

# INUNDAÇÕES E GALGAMENTOS COSTEIROS: UMA BASE DE DADOS DE OCORRÊNCIAS E SEUS IMPACTOS PARA A COSTA CONTINENTAL PORTUGUESA ENTRE 1980 E 2018

Barros, José Leandro <sup>1\*</sup>; Santos, Pedro Pinto <sup>2</sup>; Tavares, Alexandre Oliveira <sup>3</sup>; Freire, Paula <sup>4</sup>

1 Centro de Estudos Sociais, Universidade de Coimbra; leandrobarros@ces.uc.pt

2 Centro de Estudos Geográficos, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa; pmpsantos@campus.ul.pt

3 Departamento de Ciências da Terra e Centro de Estudos Sociais, Universidade de Coimbra; atavares@ci.uc.pt

4 Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC); pfreire@lnec.pt

\*Autor correspondente: leandrobarros@ces.uc.pt; Tel.: +351 239 855 570

**Resumo:** A zona costeira de Portugal Continental caracteriza-se pela sua elevada densidade populacional e multiplicidade de usos, ocupação e actividades. A base de dados *MOSAIC* identifica e analisa as ocorrências de inundações e galgamentos costeiros, e seus impactos, entre 1980 e 2018, com base na análise hemerográfica de jornais nacionais e regionais, relatórios e documentos científicos. Foram identificadas 650 ocorrências e 1708 impactos, destacando-se entre eles os associados a áreas públicas, impactos humanos, degradação ambiental e danos em edifícios. Os resultados mostram uma grande variabilidade espacial e temporal das ocorrências, em que 77% surgem na zona costeira ocidental, a norte do rio Tejo.

**Palavras-chave:** Zona costeira; Galgamentos; Base de dados; Ocorrências; Impactos

**Abstract:** The coastal zone of mainland Portugal is characterized by high population density and multiplicity of uses, occupation and activities. The *MOSAIC* database identifies and analyses the occurrences of flooding and coastal overtopping, and their impacts, between 1980 and 2018, based on the hemerographic analysis of national and regional newspapers, reports and scientific documents. 650 occurrences and 1708 impacts were identified, standing out among them those associated with public areas, human impacts, environmental degradation and buildings damages. Results show great spatial and temporal variability of the occurrences, with 77% appearing on the western coastal zone north of Tagus river.

**Keywords:** Coastal zone; Coastal flooding; Database; Occurrences; Impacts

## 1. Introdução

Nas últimas décadas as inundações costeiras e respetivos impactos tornaram-se uma preocupação crescente, resultado do aumento da exposição e de alterações nos diferentes forçadores de inundações costeiras (Nicholls & Cazenave, 2010; Weisse et al., 2014). Os danos e impactos associados a desastres naturais nas zonas costeiras têm vindo a aumentar a nível mundial nas últimas décadas (Sekovski et al., 2020). O aumento expectável do nível médio do mar e da frequência e intensidade dos eventos climáticos extremos (Bertin et al., 2013), aliado ao aumento da exposição face a inundações e galgamentos costeiros, podem exacerbar os danos e impactos relacionados com desastres naturais nas zonas costeiras (Neumann et al., 2015). Em Portugal, a zona costeira caracteriza-se por uma multiplicidade de usos, ocupação e actividades, que a transformam numa área de importância estratégica. Salienta-se que  $\frac{3}{4}$  da população e cerca de 80 % do Produto Interno Bruto estão aí

concentrados (Santos et al., 2017), numa área onde o risco de subida do nível do mar é elevado (Rocha et al., 2020). Por outro lado, esta zona é também caracterizada por uma assimetria entre a costa oeste e sul em termos de condições de agitação marítima (Andrade & Freitas, 2002).

Diversos autores têm vindo a recolher informação histórica relacionada com diferentes desastres naturais com recurso a análise hemerográfica de jornais, relatórios técnicos e documentos científicos. Esta recolha tem como objetivo analisar ocorrências e eventos do passado e impactos associados, no sentido de melhor compreender os processos e perspetivar as dinâmicas futuras (Barriandos & Rodrigo, 2006; Raska & Emmer, 2014). São vários os exemplos de base de dados de desastres naturais, que se distinguem pela tipologia de desastre considerado, bem como por fatores espaciais e temporais e critérios de seleção associados. A ausência de uma base de dados nacional de inundações e galgamentos costeiros motivou a criação da base de dados, aqui apresentada, denominada de *MOSAIC*. A base de dados *MOSAIC* identifica e analisa as ocorrências de inundações e galgamentos costeiros e seus impactos, no período entre 1980 e 2018, com base na análise hemerográfica de jornais nacionais e regionais. Esta análise foi complementada com a análise de relatórios técnicos e documentos científicos, bem como com dados *hindcast* (Fortunato et al., 2016) de condições oceanográficas para o período em causa. Este trabalho enquadra-se no esforço de desenvolvimento de uma metodologia inovadora de apoio à gestão do risco de inundação costeira, suportando uma melhor capacidade de previsão da ocorrência de inundações e galgamentos costeiros em diferentes tipologias. A incidência espacial da base de dados *MOSAIC* é a totalidade da zona costeira de Portugal Continental (Figura 1).

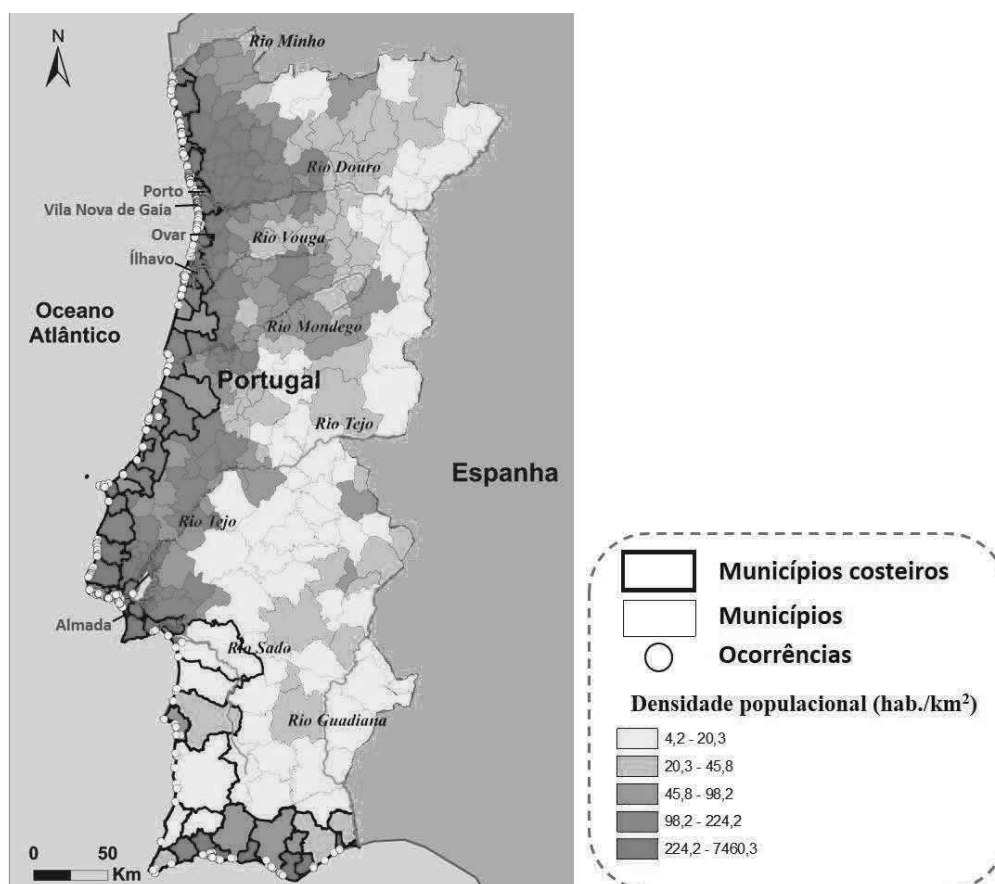


Figura 1. Enquadramento da zona costeira de Portugal continental considerada na base de dados *MOSAIC*, densidade populacional por município e localização das ocorrências

## 2. Métodos

A construção da base de dados *MOSAIC* teve por base a análise hemerográfica de um total de oito jornais, três de âmbito nacional e cinco regionais. Os jornais selecionados tiveram em consideração dois critérios quanto à sua cobertura espacial e temporal: a) o jornal deve ter sido publicado continuamente

por pelo menos 20 anos e b) o jornal selecionado deve garantir uma boa distribuição nacional e regional das notícias. Os jornais foram analisados com recurso a uma análise sistemática e pontual, tal como descrito em Tavares et al. (2021). Por forma a validar a análise hemerográfica, foram também considerados dados referentes a séries temporais de condições oceanográficas ao longo da costa (*hindcast*) entre 1980 e 2018, bem como a análise de diferentes relatórios técnicos e artigos científicos (Tavares et al., 2021). Este trabalho permitiu não só validar o trabalho anterior, como também identificar novas ocorrências. Relativamente à sua estrutura, a base de dados *MOSAIC* é composta por seis categorias, subdivididas em diferentes campos, que identificam e caracterizam a ocorrência nas suas múltiplas dimensões. A base de dados caracteriza-se por ser georreferenciada, com campos alfanuméricos abertos e fechados dos tipos numérico e textual. Cada ocorrência é georreferenciada com recurso a um Sistema de Informação Geográfica e caracterizada relativamente aos impactos associados. Uma análise mais detalhada sobre a metodologia adoptada é providenciada em Tavares et al. (2021). Na base de dados, perda ou impacto humano é entendido como a consequência direta sobre humanos, nomeadamente a existência de vítimas mortais, feridos, desalojados e evacuados (Santos et al., 2014). Dano é entendido como as consequências materiais em qualquer tipo de propriedade, infraestruturas ou instalação, como por exemplo rede viária e edifícios (Santos et al., 2014). Relativamente ao conceito de ocorrência, a definição baseia-se em Zêzere et al. (2014) com as necessárias adaptações. Nesse sentido, considera-se como ocorrência um caso específico relacionado com inundações ou galgamento costeiro referente a uma localização espacial única e um período temporal específico.

### 3. Resultados e discussão

A análise efetuada permitiu identificar um total de 650 ocorrências de inundações e galgamento costeiro com grande variabilidade temporal e espacial. No entanto, é possível identificar dois setores distintos: o primeiro concentra 77% das ocorrências e engloba municípios costeiros a norte do rio Tejo, enquanto o segundo engloba os restantes municípios costeiros com 23% das ocorrências. Destaca-se que da totalidade dos municípios costeiros (54) apenas 9 não apresentam qualquer ocorrência. Se considerarmos a área de incidência dos diferentes Programas de Orla Costeira (POC) conclui-se que 85% das ocorrências estão localizadas nos POC Caminha- Espinho (177), Ovar-Marinha Grande (207) e Alcobaça-Cabo Espichel (168) (Figura 2a). A nível municipal, verifica-se que dos cinco concelhos com maior número de ocorrências (Ovar-69; Almada-55; Porto-50; Ílhavo-48; Vila Nova de Gaia-35), com exceção de Almada, todos se localizam a norte do rio Mondego (Figura 1). Quanto à distribuição temporal das ocorrências, 93% ocorrem no denominado inverno marítimo, ou seja, entre outubro e março, destacando-se o mês de janeiro com 51% do total de ocorrências. Para este valor muito contribuiu a tempestade Hércules que afetou a costa continental portuguesa entre os dias 3 e 7 de janeiro de 2014, a qual representa 37% das ocorrências entre 1980 e 2018. As ocorrências associadas à tempestade Hércules que apresentam grande dispersão espacial e elevado número e variedade de impactos associados. Em termos anuais, destacam-se os anos de 2014, 1996 e 2010 que concentram, por ordem decrescente, 56% do total das ocorrências, resultado das diferentes tempestades que afetaram a zona costeira continental nestes anos. Em 1996, a maioria das ocorrências surgem na primeira quinzena de janeiro devido a um conjunto de tempestades que afetaram as costas oeste e sul do continente. Em 2010, destacam-se a tempestade Xynthia (27 e 28 de fevereiro), que apresentou uma grande concentração de ocorrências na costa sul, e um conjunto de tempestades na primeira semana de outubro que originaram muitas ocorrências na zona costeira entre os municípios do Porto e Figueira da Foz. A Figura 2b mostra a evolução temporal das ocorrências, onde se observa um progressivo aumento do número entre 1980 e 2018, com tendências distintas de evolução nas diferentes décadas. O destaque vai para o período entre 2010 e 2018 que concentra 53% das ocorrências, mostrando um claro crescimento relativamente às décadas anteriores, com destaque para 2014 (Figura 2b).

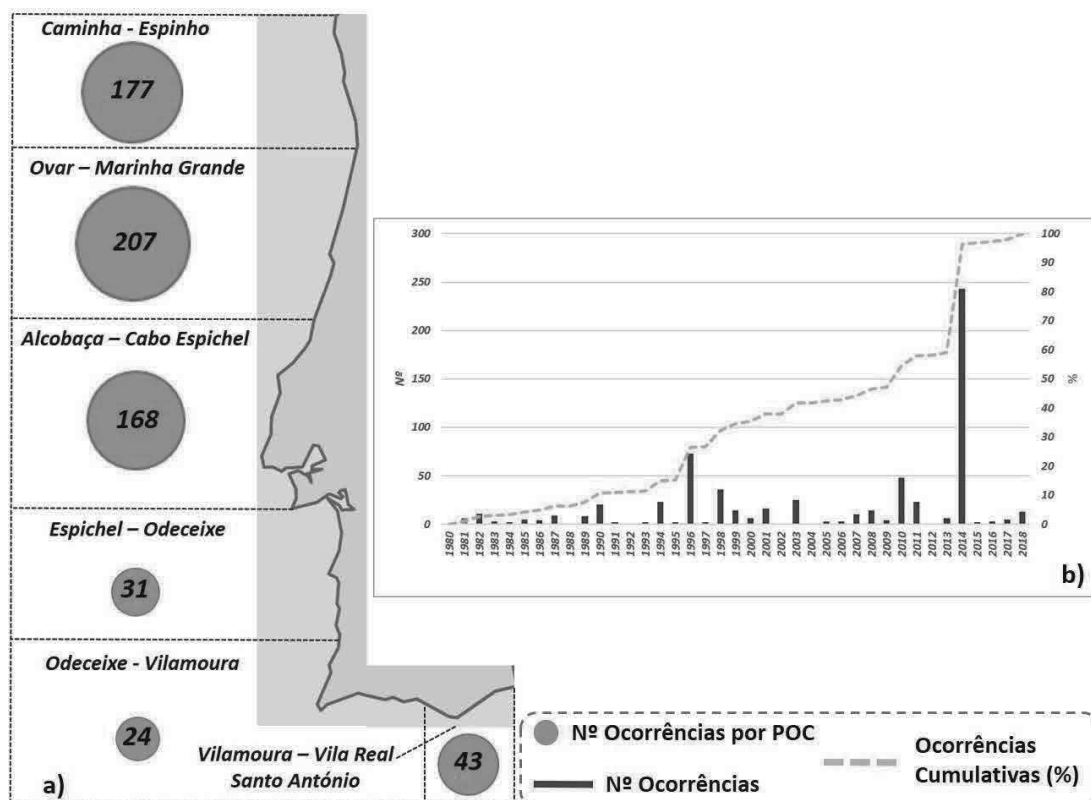


Figura 2. Distribuição e evolução das ocorrências: (a) Ocorrências por POC; (b) Evolução e distribuição anual (Adaptado de Tavares et al., 2021).

Relativamente aos impactos e danos, às 650 ocorrências identificadas estão associados um total de 1708 perdas e danos, distribuídos por 7 categorias e 56 tipologias. A categoria que apresenta mais danos relaciona-se com as áreas públicas (23%), com destaque para danos na via pública, passadiços e passeios. Seguem-se os impactos humanos (18%) com destaque para as pessoas evacuadas e desalojadas. Os danos relacionados com a degradação ambiental (17%) e com o sistema natural (16%) estão associados principalmente ao sistema praia/duna. No caso dos danos em edifícios (13%) predominam os danos em edifícios comerciais, residenciais e em apoios de praia. Relativamente aos danos em infraestruturas (11%), salientam-se os danos em estruturas de proteção costeira e em muros de proteção de áreas adjacentes à zona litoral. A categoria com menor expressão é a dos danos materiais (2%) onde sobressaem os impactos em automóveis e barcos. A análise decenal à distribuição dos diferentes danos e impactos mostra que há tendências distintas ao longo das décadas analisadas (Figura 3). A década de 80 é marcada predominantemente por danos em áreas públicas, infraestruturas e degradação ambiental. A década seguinte caracteriza-se por um aumento generalizado em todas as categorias de impactos. Este aumento é particularmente visível nas perdas humanas (73 evacuados) e nos danos em edifícios. Entre 2000 e 2009 verifica-se uma diminuição dos impactos e das ocorrências relativamente à década anterior. No período entre 2010 e 2018 há um acentuado crescimento nos impactos transversal a todas as categorias, com especial destaque para a existência de 121 desalojados.

O presente trabalho demonstra a importância e o potencial de uma base de dados de ocorrências de galgamento e inundações costeiras baseada em análise hemerográfica. No entanto, esta abordagem apresenta algumas limitações relacionadas com a sobre representação de algumas ocorrências relativamente a outras e a existência de falta de informação relevante sobre algumas ocorrências, nomeadamente em relação aos forçadores do processo de inundações. Apesar destas limitações, a metodologia desenvolvida permitiu identificar e analisar as ocorrências de inundações e galgamentos costeiros entre 1980 e 2018 para a zona costeira de Portugal continental, de forma sistematizada. A base de dados MOSAIC, distingue-se pela abrangência de categorias e tipologias consideradas na análise, bem como, pelo facto de todas as ocorrências serem validadas pelo cruzamento de informação presente em diversos jornais, bem como pela informação presente em relatórios e artigos científicos. Este trabalho

complementado pelo trabalho de campo, permitiu obter a localização exata de 60% das ocorrências e uma localização aproximada de 32%. A metodologia adotada apresenta também como inovação o uso de dados *hindcast* sobre as condições oceanográficas para, pontualmente, suportar a análise hemerográfica, tal como descrito em Tavares et al. (2021). A base de dados *MOSAIC* é um importante contributo para a avaliação da vulnerabilidade territorial das zonas costeiras, bem como para a gestão do risco de inundação, permitindo satisfazer alguns dos requisitos presentes na diretiva europeia relativa à avaliação e gestão do risco de inundação (2007/60/CE).

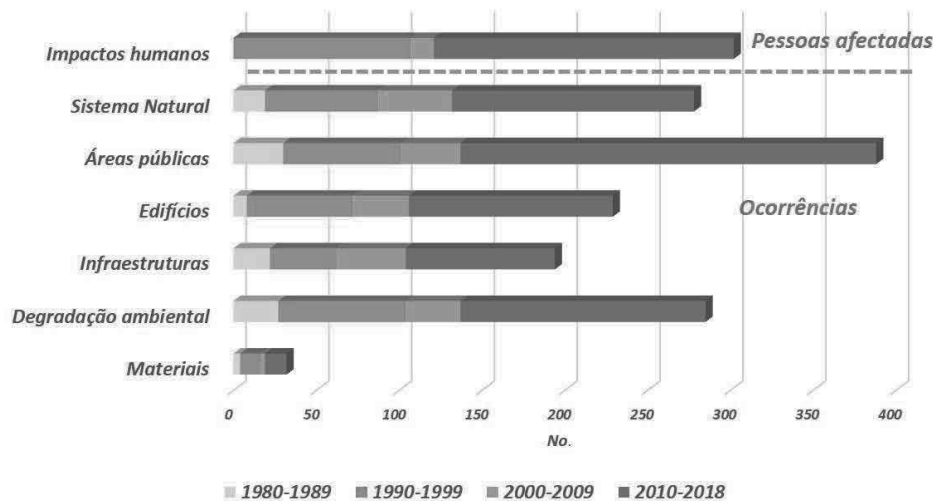


Figura 3. Número de ocorrências e de pessoas afectadas por década e por categorias de danos e perdas

#### 4. Conclusões

O presente trabalho demonstra a importância e o potencial de base de dados históricas sobre desastres naturais, com recurso à análise hemerográfica. A base de dados *MOSAIC*, aqui apresentada, para além de identificar ocorrências de inundação e galgamento costeiro, permite avaliar os impactos associados. A identificação das áreas costeiras mais vulneráveis, a caracterização espacial e temporal das ocorrências, dos seus impactos e respetivos forçadores são resultados relevantes que se podem extrair desta base de dados. Esta informação histórica associada a sistemas de previsão em tempo real e monitorização dos diferentes forçadores de inundação costeira e a modelos de vulnerabilidade territorial, contribuirá para o desenvolvimento de um quadro de referência inovador de apoio à gestão do risco de inundação costeira. Os resultados obtidos poderão ser analisados e discutidos com os diferentes *stakeholders* e entidades oficiais, com o objetivo de contribuir para a criação de comunidades costeiras mais seguras e resilientes, em linha com as estratégias nacionais e regionais existentes e com o Quadro de Sendai para a Redução do Risco de Catástrofes.

#### Agradecimentos

O projeto *MOSAIC.pt* (PTDC/CTA-AMB/28909/2017) é financiado por fundos nacionais através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT). Pedro Pinto Santos é financiado pela FCT no âmbito do projeto com a referência CEEIND/00268/2017.

#### Bibliografia

Barriandos, M., & Rodrigo, F. S. (2006). Study of historical flood events on Spanish rivers using documentary data. *Hydrological Sciences Journal*, 51(5), 765–783.

- Bertin, X., Prouteau, E., & Letetrel, C. (2013). A significant increase in wave height in the North Atlantic Ocean over the 20th century. *Global and Planetary Change*, 106, 77–83.
- Fortunato, A. B., Li, K., Bertin, X., Rodrigues, M., & Miguez, B. M. (2016). Determination of extreme sea levels along the Iberian Atlantic coast. *Ocean Engineering*, 111(1), 471–482.
- Neumann, B., Vafeidis, A. T., Zimmermann, J., & Nicholls, R. J. (2015). Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding—a global assessment. *PloS One*, 10, Article e0118571.
- Nicholls, R. J., & Cazenave, A. (2010). Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science*, 328, 1517–1520.
- Raska, P., & Emmer, A. (2014). The 1916 catastrophic flood following the Bílá Desná dam failure: The role of historical data sources in the reconstruction of its geomorphologic and landscape effects. *Geomorphology*, 226, 135–147.
- Rocha, C., Antunes, C., & Catita, C. (2020). Coastal Vulnerability Assessment Due to Sea Level Rise: The Case Study of the Atlantic Coast of Mainland Portugal. *Water*, 12(2), 360.
- Santos, P. P., Tavares, A. O., & Zêzere, J. L. (2014). Risk analysis for local management from hydro-geomorphologic disaster databases. *Environmental Science & Policy*, 226, 135–147.
- Santos, F. D., Lopes, A. M., Moniz, G., Ramos, L., & Taborda, R. (2017). Grupo de Trabalho do Litoral: Gestão da Zona Costeira: O desafio da mudança. Filipe Duarte Santos, Gil Penha-Lopes e António Mota Lopes (Eds). Lisboa.
- Sekovski, I., Del Río, L., & Armaroli, C. (2020). Development of a coastal vulnerability index using analytical hierarchy process and application to Ravenna province (Italy). *Ocean & Coastal Management*, 183, 104982.
- Tavares, A. O., Barros, J. L., Freire, P., Santos, P. P., Perdiz, L., & Fortunato, A. B. (2021). A coastal flooding database from 1980 to 2018 for the continental Portuguese coastal zone. *Applied Geography*, 135, 102534.
- Weisse, R., Bellafiore, D., Menendez, M., Mendez, F., Nicholls, R. J., Umgiesser, G., & Willems, P. (2014). Changing extreme sea levels along European coasts. *Coastal Engineering*, 87, 4–14
- Zêzere, J. L., Pereira, S., Tavares, A. O., Bateira, C., Trigo, R. M., Quaresma, I., Santos, P. P., Santos, M., & Verde, J. (2014). Disaster: A GIS database on hydro-geomorphologic disasters in Portugal. *Natural Hazards*. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-1018-y>