



## Análise de eventos de inundação com o recurso a modelação numérica XBeach e a fórmulas empíricas. Caso de estudo: Cova-Gala

Alice Bortoli\*, Andreia Ferreira, Conceição Fortes, Alphonse Nahon

\*DHA-NPE, LNEC, Portugal, [alice.bortoli@studio.unibo.it](mailto:alice.bortoli@studio.unibo.it)

**Tema:** Monitoramento e modelagem nas zonas costeiras

**Palavras-chave:** galgamento, *run-up*, riscos costeiros, Cova-Gala, XBeach

### 1 INTRODUÇÃO

Um dos objetivos do projeto MOSAIC.pt, é desenvolver metodologias de apoio à gestão do risco de inundação em zonas costeiras, melhorando a capacidade de previsão de eventos de galgamento e inundação para diferentes tipologias costeiras. A previsão destes eventos de galgamento pode ser realizada através da aplicação de fórmulas empíricas, como a fórmula de Mase (Mase *et al.*, 2013), doravante designada por fórmula de Mase, capaz de oferecer resultados em curto prazo e com baixo investimento. Alternativamente, o recurso a modelos numéricos fornece uma representação dos fenómenos físicos mais abrangente e rigorosa, em detrimento do tempo computacional, que aumenta consideravelmente. A aplicação destas ferramentas a um caso de estudo real, pressupõe uma análise de sensibilidade e calibração dos parâmetros empíricos ou semi-empíricos dos métodos utilizados. Neste trabalho, aplicou-se a fórmula de Mase e o modelo XBeach à praia da Cova-Gala para avaliar a ocorrência de galgamento durante uma tempestade, ocorrida em fevereiro de 2019, e estudar a viabilidade de aplicação dos métodos em análise. Esta tempestade foi alvo de monitorização através de uma campanha de campo (Freire *et al.*, 2020). Com base nestes dados, efetuou-se uma análise de sensibilidade das ferramentas de previsão a um conjunto de parâmetros, de modo a determinar os que melhor reproduzem a realidade.

### 2 CASO DE ESTUDO: PRAIA DA COVA-GALA

A praia da Cova-Gala situa-se na costa ocidental portuguesa, ao sul da entrada do porto de Figueira da Foz (Figura 1). É uma praia arenosa com uma extensão de 2 km e um alinhamento essencialmente N-S. Neste troço costeiro está implementado um campo de esporões, composto por 5 esporões, acompanhado de uma estrutura de defesa aderente no seu setor sul. Este sistema de defesa costeira resulta da necessidade de proteção do aglomerado urbano, destacando-se a proximidade à linha de costa de estradas e estacionamentos, instalações recreativas e apoios de praia, assim como habitações, aumentando a sua vulnerabilidade aos eventos de risco. Durante o mês de fevereiro de 2019, com a passagem de uma tempestade foram observadas evidências de galgamento, nomeadamente através da monitorização realizada no dia 21/02/2019 em que se verificaram evidências de galgamento no troço de defesa aderente entre os perfis P10 e P11 (Freire *et al.*, 2020), através de levantamentos topográficos do alcance do espraio, registou-se uma cota de 10.10 m (ZH) atingida pelo espraio entre os perfis P10 e P11.

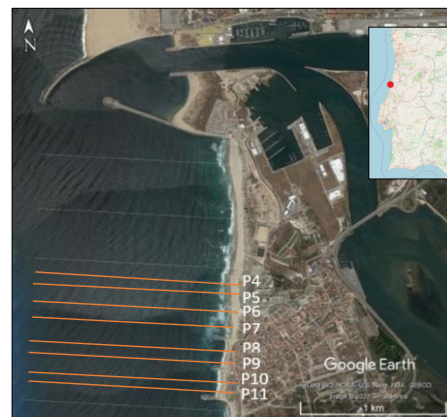


Figura 1: Localização da praia da Cova Gala e representação dos perfis estudados



## 2.1 Aplicação da formulação empírica de Mase

A fórmula empírica de Mase (Mase *et al.*, 2013) permite a determinação do espraçamento (*run-up*) e do caudal médio de galgamento,  $q$  ( $\text{l.s}^{-1}$  por m), num perfil topo-batimétrico de praia incluindo estruturas de defesa costeira emersas. Nesta aplicação, os perfis considerados atingiram a profundidade dos 12 m (ZH), tendo sido extraídos de um modelo digital de terreno (MDT) topo-batimétrico (COSMO, 2019). Os dados de agitação marítima e os níveis de maré foram calculados com o modelo SCHISM (Zhang *et al.*, 2016), implementado para o porto da Figueira da Foz (Nahon *et al.*, 2020). Na fronteira oceânica o SCHISM foi forçado com espectros de agitação marítima obtida pelo modelo WWIII do sistema OPENCoastS, e elevações e correntes de maré proveniente da base de dados FES2014. Na integridade do domínio de cálculo, o modelo SCHISM foi ainda forçado com campos de vento e pressão atmosférica provenientes do modelo de reanálise ERA-5. A agitação e os níveis de mar, entre os dias 1 e 28 de fevereiro de 2019, foram assim extraídos no alinhamento de oito perfis (P4 a P11, Figura 1), na batimétrica dos 12 m (ZH). Aplicando a fórmula de Mase foram determinados o espraçamento e o caudal médio de galgamento para cada perfil. Tendo sido feito um teste de sensibilidade da resposta de galgamento e espraçamento ao fazer variar o coeficiente de permeabilidade ( $\gamma$ ) de 0.7, 0.8 e 1.0.

## 2.2 Aplicação do modelo XBeach

XBeach é um modelo hidro e morfo-dinâmico desenvolvido para simular eventos extremos (Roelvink *et al.*, 2018). No presente caso, foram efetuadas simulações 1D no perfil P11, em modo não-hidrostático. O perfil utilizado atingem a profundidade de 25 m (ZH), e é resultado da compilação do MDT topo-batimétrico de alta resolução (0.3 m) (COSMO, 2019) com o modelo batimétrico de menor resolução (100 m) (EMODnet, 2019). Foi considerado o conjunto de parâmetros de forçamento para o qual se obteve o maior *run-up* através da aplicação da fórmula de Mase, considerando-se como sendo as condições de pico da tempestade, nomeadamente  $H_s=3.52$  m,  $T_p=15$  s,  $NM=4.01$ m (22/02/2019 às 4:30h). Foi feita a variação dos parâmetros *maxbrsteep* (critério de máx. decl. da onda) e *bedfriccoef* (coef. do atrito de fundo) do modelo XBeach para identificar valores dos parâmetros que melhor representam o alcance de máximo espraio observado no campo. A análise foi realizada para o perfil P11, porque foi o único perfil com evidência de galgamento da estrutura de defesa aquando do levantamento topográfico.

## 3 RESULTADOS

Na Figura 2 apresentam-se os resultados da análise de sensibilidade efetuada com a fórmula de Mase, para o perfil P11, considerando a variação do coeficiente de permeabilidade. Uma análise semelhante foi também efetuada considerando os parâmetros *maxbrsteep* e *bedfriccoef* do modelo XBeach (Figura 3).

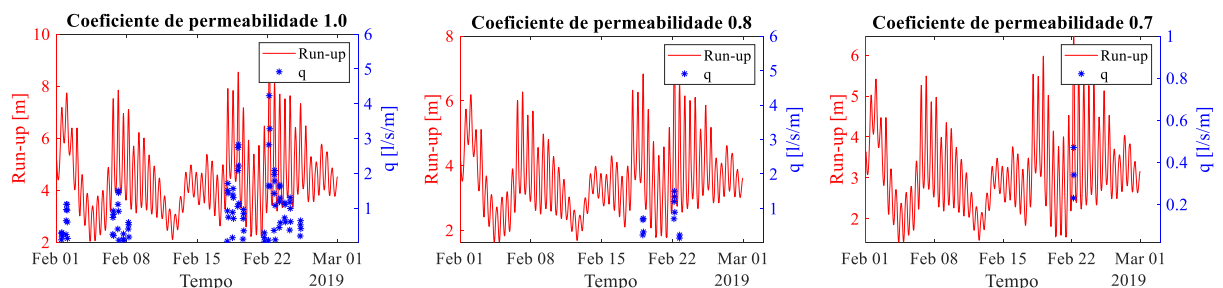


Figura 2: Valores de *run-up* e caudal médio de galgamento obtidos com base na fórmula de Mase para o Perfil P11, no mês de fevereiro de 2019, par o coeficiente de permeabilidade  $\gamma = 0.7$  (à direita),  $\gamma = 0.8$  (no centro) e  $\gamma = 1.0$  (à esquerda)

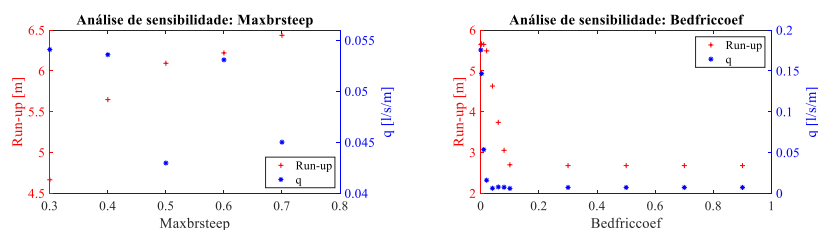


Figura 3: Valores de run-up e caudal médio de galgamento obtidos recorrendo à modelação XBeach para o Perfil P11, fazendo variar o parâmetro numérico *maxbrsteep* (à direita) e *bedfriccoef* (à esquerda) do dia 22/02/2019 às 4:30h.

#### 4 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Relativamente à fórmula de Mase, os resultados em termos de cota de máximo espraio obtidos adotando os valores de coeficiente de permeabilidade de 0.8 e 1.0, sobrestimam a cota máxima atingida pela água no perfil P11, assim como o caudal médio de galgamento, face ao que seria expectável, tendo-se concluído que recorrendo ao coeficiente de permeabilidade de 0.7 obtém-se uma melhor aproximação do espraio no perfil P11 (10.48 m), face ao medido no terreno, assim como a magnitude do caudal médio de galgamento que se admite que não tenha excedido 1 l/s/m. A análise conduzida com o modelo XBeach permitiu identificar que, para o caso de estudo, o conjunto de parâmetros *maxbrsteep* = 0.5 e *bedfriccoef* = 0.01 foi o que mais se aproximou aos valores medidos em campo, tendo-se obtido uma cota de máximo espraio no perfil P11 de 10.11 m. Neste estudo, os resultados mostram-se satisfatórios para ambos os métodos utilizados tendo-se conseguido reproduzir o *run-up* medido em campo. Os próximos passos da modelação numérica envolvem a aplicação dos parâmetros escolhidos nos perfis P4 a P11, para o mês de fevereiro em análise de modo a avaliar a aplicabilidade a este troço de costa. Por fim, serão efetuadas simulações com cenários de alterações climáticas.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao projeto MOSAIC.pt, financiado pela FCT (PTDC/CTA-AMB/28909/2017) e à equipa do projeto, em particular aos elementos: Filipa S.B.F. Oliveira, João N.C. Oliveira, Paula Freire (levantamentos topográficos), André Fortunato (modelação) e Graça Neves (fórmulas empíricas). Agradecem ainda ao projeto EW-Coast, ALG-LISBOA-01-145-FEDER-028657 - FCT, IP.

#### REFERÊNCIAS

- COSMO, 2019. Modelo Digit. Elev. DEM Praia Imersa E Emersa Entre Praia Cabo Mondego À Praia Cova Gala. URL <https://cosmo.apambiente.pt/data/1264>
- EMODnet, 2019. URL <https://portal.emodnet-bathymetry.eu/>
- Freire, P., Oliveira, F.S.B.F., Oliveira, J.N.C., 2020. Critical flood conditions in two beaches of the Portuguese central west coast 316–319.
- Mase, H., Tamada, T., Yasuda, T., Hedges, T.S., Reis, M.T., 2013. Wave Runup and Overtopping at Seawalls Built on Land and in Very Shallow Water. *J. W. Port Coast. Ocean Eng.* 139, 346–357.
- Nahon, A., Fortunato, A.B., Azevedo, A., Rogeiro, J., Oliveira, A., Jesus, G., Silva, P.A., Freire, P., 2020. Implementation and validation of an operational forecasting system for nearshore hydrodynamics with OPENCoastS 5.
- Roelvink, D., McCall, R., Mehvar, S., Nederhoff, K., Dastgheib, A., 2018. Improving predictions of swash dynamics in XBeach: The role of groupiness and incident-band runup. *Coast. Eng.* 134, 103–123. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2017.07.004>
- Zhang, Y.J., Ye, F., Stanev, E.V., Grashorn, S., 2016. Seamless cross-scale modeling with SCHISM. *Ocean Model.* 102, 64–81. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2016.05.002>