



# ANÁLISE DE EVENTOS DE RISCO ATRAVÉS DE MODELAÇÃO NUMÉRICA XBEACH. CASO DE ESTUDO – COSTA DA CAPARICA

Andreia Marques FERREIRA<sup>1</sup>, Conceição J.E.M. FORTES<sup>1</sup>, Maria Teresa REIS<sup>1</sup>, Juan L. GARZON<sup>2</sup>

1. Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, [afferreira@lneec.pt](mailto:afferreira@lneec.pt), [jfortes@lneec.pt](mailto:jfortes@lneec.pt), [treis@lneec.pt](mailto:treis@lneec.pt)
2. CIMA/FCT, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, [jlhervas@ualg.pt](mailto:jlhervas@ualg.pt)

## RESUMO

Neste estudo recorre-se à modelação numérica para a simulação de eventos de galgamento, inundação e erosão costeira em zonas costeiras devido a ocorrência de tempestades. Esta metodologia está a ser estudada para o troço costeiro da Costa da Caparica, na área que compreende toda a extensão da estrutura de defesa aderente, para a tempestade Hércules/Christine. Nesta modelação numérica recorreram-se aos modelos numéricos SWAN e XBeach. Estes modelos foram utilizados para simular 96 h de forçamentos oceanográficos sobre a área de estudo, representando assim a tempestade entre os dias 3 e 7 de janeiro de 2014. Os resultados preliminares apontam para um subestima dos *run-up* consequência da parametrização do modelo e das características da batimetria considerada.

**Palavras-Chave:** Riscos costeiros; Galgamento; Erosão; *run-up*; Agitação marítima; Costa da Caparica

## 1. INTRODUÇÃO

No âmbito do projeto EW-Coast – *Early warning system for coastal risks induced by storms*, pretende-se o desenvolvimento, teste e validação de um sistema de previsão e alerta para eventos de risco de galgamento, inundação e erosão em zonas costeiras, com base numa rede bayesiana. O sistema será aplicado a 3 casos de estudo (Praia da Quarteira, Praia de Faro e Costa da Caparica) e avaliará os potenciais impactos para cada local de estudo (EW-Coast, 2019).

Comumente, as análises e previsão de risco no domínio costeiro baseiam-se em formulações empíricas, tanto para o galgamento e inundação como para análise da erosão, podendo inclusive recorrer-se a indicadores (geoindicadores), como é o caso da análise de evolução de praias de areia (Carapuço *et al.*, 2016). Estes métodos têm a grande vantagem de se obterem resultados num curto espaço de tempo com baixo investimento. No entanto, os resultados são pouco precisos, em grande parte, devido à limitada aplicabilidade de cada formulação empírica. O que contrasta com imensa diversidade de conteúdos costeiros e de amplitude das condições de forçamento dos sistemas, é aqui que os modelos numéricos se apresentam como uma alternativa viável, pois possuem maior capacidade de resolução para a conjugação da diversidade de *inputs*. Ademais, englobam um maior número de processos físicos. O problema da utilização destes modelos prende-se com o tempo de computação, barreira esta que tem vindo a diminuir em consequência da evolução da tecnologia, tendo permitido ampliar a sua utilização, e consequente validação, aumentando a robustez destas ferramentas. Apesar destes avanços, em grandes áreas costeiras, é comum recorrer-se ao acoplamento de modelos numéricos para a simulação dos efeitos da agitação marítima, em termos de galgamento, inundação e erosão costeira.

Neste projeto e no presente estudo, utilizaram-se dois modelos numéricos: SWAN (Booij *et al.*, 1999) e XBEACH (eXtream Beach, Roelvink *et al.*, 2009). O modelo numérico SWAN, é um modelo espectral que efetua a geração e propagação da agitação marítima em grandes áreas costeiras (não inclui processos morfodinâmicos). O modelo numérico XBeach, adequado a pequenas áreas, combina processos hidro e morfodinâmicos e respetivos impactos em praias de areia para a escala de tempo de tempestades (Roelvink *et al.*, 2009).

Assim, efetuou-se a aplicação dos modelos SWAN e XBEACH ao caso de estudo da Costa da Caparica, considerando como forçamento as características da agitação marítima associadas à tempestade Hércules/Christine, que atingiu Portugal Continental de 5 a 7 de janeiro de 2014 (Santos & Mendes, 2014). Esta é uma tempestade documentada com impactos conhecidos na área de estudo, o que constitui um bom caso de estudo para validação dos modelos SWAN e XBEACH nesta situação extrema.

## 2. CASO DE ESTUDO: COSTA DA CAPARICA

A Costa da Caparica situa-se na costa oeste de Portugal continental, no troço costeiro imediatamente a sul do estuário exterior do rio Tejo. A área de estudo concentra-se no troço que compreende a estrutura de proteção costeira da Costa da Caparica. Abrangendo assim o troço sul da praia de São João da Caparica até ao troço norte da Nova Praia (Fig. 1). Esta área de estudo apresenta uma extensão longilitoral aproximada de 2,70 km, com uma orientação predominante NNW-SSE, sendo um troço litoral baixo e arenoso com estruturas rígidas de proteção aderente em toda a extensão da área de estudo, acompanhado de um campo de esporões. Esta é uma área urbana, onde sobre a estrutura de proteção aderente estão implantados diversos apoios de praia (bares e restaurantes), acessível todo o ano.

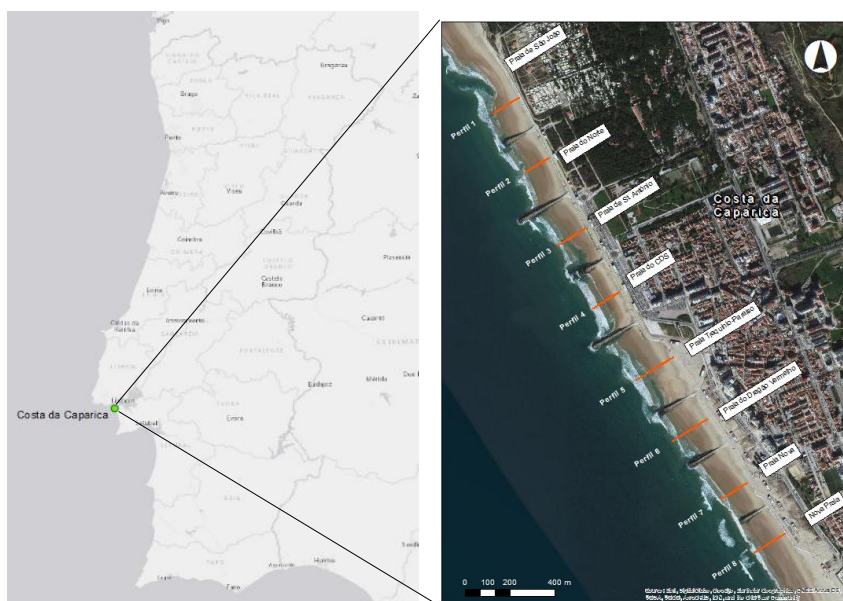


Fig. 1 – Área de estudo da Costa da Caparica, com indicação do nome das praias e representação dos perfis de análise de *run-up*

A Costa da Caparica é uma zona sensível a eventos de galgamento e erosão. Destes decorrem gastos avultados a fim de manter as condições balneares e proteger a linha de costa. No âmbito do projeto EW-Coast foi elaborado um levantamento, entre 2000 e 2019, de eventos de erosão e/ou galgamento na zona de estudo. Deste, registaram-se 24 eventos documentados, verificando-se a ocorrência de um, ou mais, eventos em 63% dos anos, entre 2000 e 2019.

### 2.1. Estratégia de Modelação

Neste estudo optou-se por fazer a modelação da propagação da agitação marítima através de duas ferramentas de modelação sequenciadas. A primeira, foi o modelo SWAN (Simulating Waves Nearshore) (Booij *et al.*, 1999), em que se consideraram três domínios computacionais (regional, intermedio e local), correspondentes a malhas encaixadas, em cujas fronteiras foram impostos os forçamentos de agitação marítima obtidos a partir do modelo WAM (ECMWF - European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) e de nível do mar registados pelo marégrafo de Cascais. Recorreu-se a dois modelos batimétricos, o modelo batimétrico do rio Liz ao cabo Espichel, com resolução de 250 m (IH, 2013), e um modelo batimétrico alta resolução do rio Tejo (EMODnet, 2019), Fig. 2, para construção das malhas batimétricas. A modelação foi validada através de dados registados pela boia ondógrafo da Administração do Porto de Lisboa (APL), que se encontra nas imediações da área de estudo.

A segunda, o modelo XBeach para 2D, em modo *surf beat*, na propagação da agitação marítima até ao limite do espraio em simultâneo com a modelação dos processos morfodinâmicos decorrentes dos forçamentos oceanográficos. Este modelo é alimentado pelos resultados de agitação marítima obtidos pelo SWAN. Para o modelo XBeach, recorreu-se ao acoplamento de várias batimetrias, modelo batimétrico alta resolução do rio Tejo

(EMODnet, 2019), o modelo LIDAR 2011 para zonas costeiras (DGTerritório, 2011) e levantamentos realizados com recurso a drone no âmbito do projeto EW-Coast, pela equipa da UAlg, entre praias de Santo António e Traquínio-Paraíso (praia emersa, estruturas de proteção aderentes e seu tardo) em 2019.

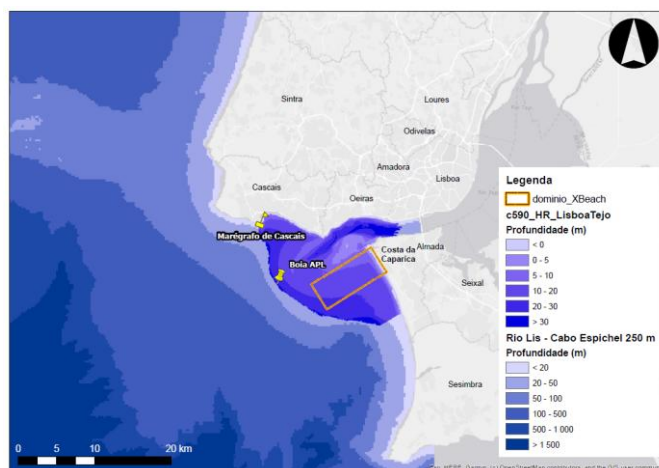


Fig. 2 – Representação da batimetria, localização da boia ondógrafo da APL e do marégrafo de Cascais e domínio de aplicação do modelo XBeach

## 2.2. Modelação em curso

Atualmente, o estudo encontra-se em fase de desenvolvimento. O domínio do modelo XBeach está a ser forçado durante 96 h, entre 3 a 7 de janeiro de 2014, correspondendo à tempestade Hércules/Christine, com altura de onda significativa máxima de cerca de 5 m (Tabela 1), considerando uma direção de onda constante, perpendicular ao alinhamento do troço em estudo (238°N). Para uma primeira análise, foram escolhidos oito perfis transversais ao longo da área de estudo (um por praia), nos quais foram analisadas as cotas altimétricas máximas alcançadas pelo espraiamento (*run-up*), ao longo das 96 h modeladas.

Tabela 1 – Caracterização dos forçamentos entre os dias 3 e 7 de janeiro de 2014, no ponto da boia da APL

Hs (m)		Tp (s)		Dir (°N)		Nível do Mar (m ZH)	
Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
2.75	5.06	13.4	20.3	263	277	0.63	3.98

Dos resultados preliminares obtidos, a cota máxima atingida pelo *run-up* não ultrapassa o coroamento das estruturas de defesa aderente (e.g. Fig. 3) na praia do Dragão Vermelho (perfil 6) e verifica-se que a modelação numérica está a subestimar *run-up* e, consequentemente, o galgamento.

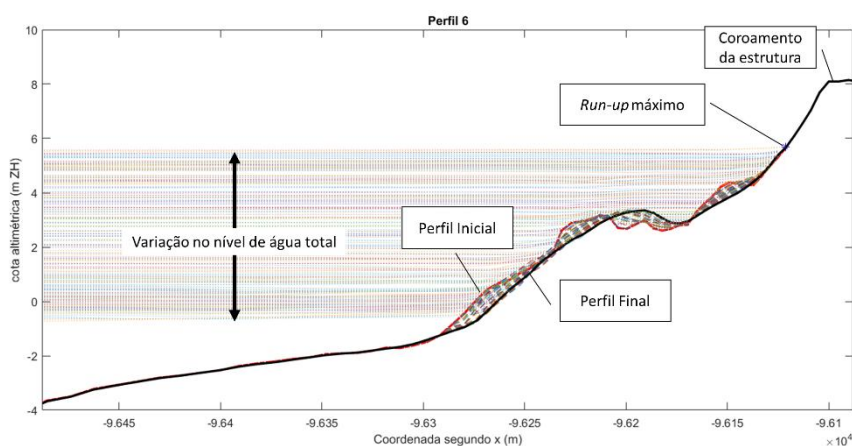


Fig. 3 – Exemplo da variação hidro e morfodinâmica obtida a cada 30 minutos das 96 h simuladas, na praia do Dragão Vermelho (perfil 6)

### 3. DISCUSSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Até ao momento, ainda não foi possível aferir se a subestima do *run-up* advém da parametrização imposta ao modelo XBeach ou se é devido às características da batimetria considerada. Note-se que por falta de informação não se dispõe da batimetria da zona de estudo antes da ocorrência da tempestade Hercules em 2014, principalmente na zona de águas pouco profundas, pelo que os presentes cálculos são efetuados para uma batimetria baseada em levantamentos recentes o que condiciona os resultados obtidos e pode levar a diferenças significativas. Por outro lado, este troço costeiro em estudo apresenta uma batimetria, em águas intermédias, pouco regular no interior do domínio considerado, e dessa forma, o modelo pode não conseguir responder corretamente aos forçamentos impostos.

Os passos seguintes serão a calibração da parametrização do modelo, a análise da batimetria e a reprodução do modelo em modo 1D, através de um pente de perfis ao longo da área de estudo, a fim de validar a modelação para o *run-up* e erosão.

Após estas será necessário avaliar eventos dos galgamentos e compará-los com as formulações empírica, e/ou outras metodologias existentes.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao projeto com referência ALG-LISBOA-01-145-FEDER-028657 atribuída pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, IP, suportado pelos orçamentos do Programa Operacional Regional do Algarve e do Programa Operacional Regional de Lisboa na sua componente FEDER e pelo orçamento da Fundação para a Ciência e a Tecnologia na sua componente OE. Agradecem ainda ao projeto Mosaic.pt - Análise do risco de inundação costeira a partir de múltiplas fontes para comunidades seguras e desenvolvimento sustentável, referência PTDC/CTA-AMB/28909/2017 atribuída pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, IP. Também agradecem à Administração do Porto de Lisboa, S.A., pelos dados de agitação marítima medidos na boia cedidos.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Booij, N, Ris, RC & Holthuijsen, LH (1999). A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation. *J. Geographical Res.*, C4, 104, 7649-7666.
- Carapuço, M. M., Tabora, R., Silveira, T. M., Psuty, N. P., Andrade, C., & Freitas, M. C. (2016). Coastal geoindicators: Towards the establishment of a common framework for sandy coastal environments. *Earth-Science Reviews*, Vol. 154, pp. 183–190. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.01.002>



- Roelvink, D., Reniers, A., van Dongeren, A., van Thiel de Vries, J., McCall, R., & Lescinski, J. (2009). Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands. *Coastal Engineering*, 56(11–12), 1133–1152. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2009.08.006>
- Santos, Â., & Mendes, S. (2014). Impacts of the storm Hercules in Portugal. *Finisterra*, XLIX, 98, 197–220. <http://www.scielo.mec.pt/pdf/fin/n98/n98a13.pdf>

#### **REFERÊNCIAS INTERNET**

- DGTerritório. (2011). Modelo Digital do Terreno das Zonas Costeiras de Portugal Continental com resolução de 1 m (400 m em terra) - LiDAR (Continente). Disponível em:  
<<http://id.igeo.pt/cdg/b93228d48b794d4f8c78759409387c8f>> Acesso em 7 de outubro de 2019
- EMODnet. (2019). EMODnet Bathymetry Viewing and Download service. Disponível em:  
<<https://portal.emodnet-bathymetry.eu/>> Acesso em 7 de outubro de 2019
- EW-Coast. (2019). EW-Coast – Early warning system for coastal risks induced by storms. Disponível em:  
<<https://www.cima.ualg.pt/EW-COAST/>> Acesso em 9 de dezembro de 2019
- IH. (2013). Modelo batimétrico - do Rio Lis ao Cabo Espichel. Disponível em:  
<[http://horus.hidrografico.pt/content/dados/ModeloBatimetrico\\_RioLis\\_CaboEspichel.rar](http://horus.hidrografico.pt/content/dados/ModeloBatimetrico_RioLis_CaboEspichel.rar)> Acesso em 7 de outubro de 2019