

Desenvolvimento do Sistema de Previsão e Alerta de Inundações HIDRALERTA: Caso de Estudo da Costa da Caparica.

P. Poseiro⁽¹⁾, M. Reis⁽¹⁾, C. Fortes⁽¹⁾, E. Lopes⁽²⁾, A. Sabino⁽²⁾ e A. Rodrigues⁽²⁾

(1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil. pposeiro@lnec.pt

(2) CITI, Departamento de Informática, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

Resumo: Nesta comunicação faz-se a descrição dos módulos do sistema de previsão e alerta de galgamento/inundações em zonas costeiras e portuárias, HIDRALERTA. Este sistema, que está em desenvolvimento, efetua previsões de agitação marítima até 180 horas, e calcula os correspondentes galgamentos/cotas de inundação recorrendo a modelos numéricos, redes neuronais e/ou fórmulas empíricas. Sempre que sejam excedidos limites pré-estabelecidos para os galgamentos/cotas de inundação de cada área da zona de estudo, definidos de acordo com a sua vulnerabilidade, é acionado o alerta. Ilustra-se a aplicação deste sistema na Costa da Caparica, cujos acontecimentos recentes de galgamento/inundação evidenciam as suas potencialidades.

Palavras-chave: alerta, previsão, galgamento, inundação, sistema, zonas costeiras e portuárias.

1. INTRODUÇÃO

A severidade do clima de agitação marítima que caracteriza a costa portuguesa leva frequentemente a situações de emergência que põem em causa a segurança de pessoas, bens e infraestruturas, tendo consequências graves para a economia e para o ambiente. Merecem destaque as situações que envolvem o galgamento de estruturas costeiras e portuárias pelas consequências associadas à sua destruição e à inundação das zonas protegidas por estas.

Do exposto, torna-se fundamental dotar as autoridades nacionais de um sistema de previsão e alerta que, com a devida antecedência, alerte para a ocorrência de situações de emergência e que permita a adoção, por essas entidades, de medidas para evitar a perda de vidas e minimizar prejuízos económicos e ambientais.

Neste contexto, tem vindo a ser desenvolvido, um sistema de previsão, de alerta e de avaliação do risco de galgamento/inundações em zonas costeiras e portuárias, denominado HIDRALERTA (Fortes *et al.*, 2013; Poseiro *et al.*, 2014; Sabino *et al.*, 2014). A ideia base do sistema é a utilização de previsões/medições de agitação marítima para a determinação dos seus efeitos em termos de valores de galgamento e/ou de cotas de inundação em zonas específicas, recorrendo a modelos numéricos, redes neuronais (para as zonas portuárias) e fórmulas empíricas (para as zonas costeiras). A comparação destes valores com valores máximos pré-estabelecidos permite: i) a avaliação, em tempo real, de situações de emergência e a emissão de alertas às entidades competentes sempre que se preveja estar em causa a segurança de pessoas, bens ou atividades desenvolvidas; ii) a construção de mapas de risco, considerando séries temporais longas de previsões da agitação marítima ou cenários pré-definidos associados às mudanças climáticas e/ou eventos extremos.

O sistema é constituído por 4 módulos:

I – Características da Agitação Marítima;

II – Galgamento/Inundação;

III – Avaliação do Risco;

IV - Sistema de Alerta.

Nesta comunicação descreve-se o trabalho que tem vindo a ser desenvolvido na implementação do sistema, na sua componente de previsão e alerta na zona da Costa da Caparica.

A seguir a esta introdução descreve-se, na secção 2, a metodologia adotada pelo sistema na vertente de sistema de alerta, bem como o seu processo de implementação e o ponto de situação em que se encontra. Na secção 3 são apresentados os resultados obtidos através do sistema para o caso de estudo e na secção 4 apresentam-se algumas considerações finais.

2. METODOLOGIA

O sistema de previsão e alerta implementado para a zona da Costa da Caparica é composto por vários módulos, de acordo com o esquema da Figura 1. O módulo I (Características da Agitação Marítima) baseia-se na acoplagem de um conjunto de modelos numéricos de previsão da agitação marítima e da sua propagação até à zona de estudo. O módulo II (Galgamento/Inundação) calcula os valores do espraiamento (*runup*) e conseqüente galgamento e/ou inundação, recorrendo a fórmulas empíricas baseadas em medições de campo e em ensaios em modelos físicos reduzidos. A cota de inundação é obtida pela soma do espraiamento com o nível de maré. O módulo III (Avaliação do Risco) realiza a avaliação de risco associada ao galgamento/inundação e produz informação adicional que serve de base ao sistema de alerta (módulo IV). O módulo IV avalia as situações

de emergência para uma determinada área de interesse e envia automaticamente uma mensagem de alerta para as autoridades responsáveis. Nas próximas subsecções descrevem-se mais detalhadamente os módulos I, II e IV. O módulo III não é detalhado nesta comunicação uma vez que não é o objetivo direto da mesma. Mais pormenores sobre este módulo podem consultar-se em Fortes *et. al* (2013).

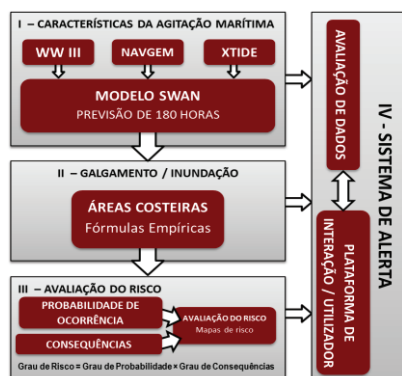


Fig. 1. Esquema do Sistema HIDRALERTA para as zonas costeiras

A metodologia aqui apresentada já foi implementada no porto e baía da Praia da Vitória, Açores, tal como é descrito em Poseiro *et al.* (2014). Existem, no entanto, algumas diferenças a considerar no sistema aqui descrito, na medida em que este adota uma metodologia diferente para o cálculo do espraiamento/galgamento/inundação, uma vez que se trata de uma área costeira e não de uma área portuária, como no caso da Praia da Vitória. Desta forma, para o caso da Costa da Caparica é utilizado um conjunto de fórmulas empíricas para cálculo do espraiamento/galgamento, em vez de uma ferramenta neuronal, como no caso da Praia da Vitória (Poseiro *et al.*, 2014).

2.1 Características da agitação marítima

O sistema faz diariamente o *download* das previsões (180 horas seguintes) das características da agitação marítima ao largo - WaveWatch III (Tolman, 1999), através da FNMOOC (*The Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center*), que correspondem à altura significativa, período de onda e direção de onda, dos ventos regionais disponibilizados pela FNMOOC através do modelo NAVGEM (Whitcomb, 2012) nas suas componentes horizontal (U) e vertical (V), e do nível de maré astronómica, obtido através do *software* XTide (Flater, 1998). Os dados estão disponíveis para cada 3 horas.

Na transferência das condições ao largo para junto à costa é utilizado o modelo SWAN (Booij *et al.*, 1999). Desta forma, é possível saber com maior resolução as características da agitação marítima junto à costa.

2.2 Galgamento/Inundação

Neste módulo, para o caso em estudo (Costa da Caparica - área costeira) o sistema calcula o *runup*

correspondente a uma dada condição de agitação marítima (obtida com o modelo SWAN) nas diferentes secções consideradas. Estas secções correspondem a zonas de praia na Costa da Caparica, sem e com estruturas aderentes de proteção.

O *runup* é estimado através da aplicação das fórmulas empíricas propostas por Hunt (1959), obtida com base em ensaios em modelo físico, e por Holman (1986), Stockdon *et al.* (2006), Nielsen e Hanslow (1991), Ruggiero *et al.* (2001), Guza e Thornton (1982) e Teixeira (2009), obtidas com base em dados de campo (praias naturais). Na zona de praia em que existe uma estrutura aderente de defesa costeira, é estimado o *runup* e o galgamento correspondente com base na aplicação das fórmulas empíricas de Mase *et al.* (2013), obtidas com base em ensaios em modelo físico.

A cota de inundação é obtida pela soma do *runup* com o nível de maré.

2.3 Sistema de alerta

O sistema de alerta é constituído por dois componentes: o componente de avaliação de dados e o componente de interação com o utilizador.

No componente de avaliação de dados, o sistema integra a informação relevante para a identificação de um alerta. Além disso, integra também os limiares de galgamento/inundação admissíveis definidos em cada secção em que se divide a zona de estudo. Esses limites são estabelecidos com a ajuda das autoridades locais e de acordo com os eventos perigosos verificados no passado.

O componente de interação com o utilizador é materializado numa aplicação *web*, na qual todo o sistema de alerta é parametrizado. A aplicação está desenhada para ser utilizada em *browsers* tradicionais e móveis, adequando a informação de acordo com as características do dispositivo cliente (Figura 2).



Fig. 2. Sistema HIDRALERTA na web – desktop e mobile

No sistema o nível de alerta associado à área de interesse é função dos limiares de galgamento/inundação alcançados em cada secção das estruturas analisadas. Assim, o sinal de alerta é acionado sempre que estes limiares sejam excedidos. Torna-se, portanto, particularmente relevante conseguir a melhor caracterização possível de cada zona em estudo, tendo em conta as suas características e as atividades que nela acontecem,

bem como uma análise profunda dos registos históricos de galgamentos/inundação.

O sistema permite ainda a análise e visualização de dados históricos, através de tabelas, gráficos e mapas. Os mapas permitem a visualização espacial dos riscos e consequências associados à área de interesse.

A parte *web* está a ser concebida com recurso a ferramentas de domínio público: a plataforma de desenvolvimento *web Django (Python)*, para o desenvolvimento do componente de interação; e o sistema de gestão de base de dados *PostgreSQL* (com a extensão espacial *PostGIS*).

3. APLICAÇÃO DO SISTEMA

3.1 Caracterização do local

A praia de São João da Caparica localiza-se no extremo norte da Costa da Caparica, município de Almada (Figura 3). Representa uma área balnear de grande importância para as cidades de Lisboa e Almada, constituindo um ponto de lazer para moradores e turistas durante todo o ano. A praia apresenta um comprimento de 1380 m e está confinada entre dois esporões: o esporão Norte, que tem um comprimento de 350 m, e o esporão localizado a sul, com um comprimento de 150 m. No seguimento do que se tem verificado nos últimos anos, em 2014, a Costa da Caparica foi alvo de forte agitação marítima que causou grandes danos nas estruturas e nas praias, para além de ter posto pessoas em risco. De seguida ilustra-se a aplicação do sistema de alerta durante o dia 2014-02-02, altura em que ocorreu uma violenta tempestade que causou inundações significativas na zona.

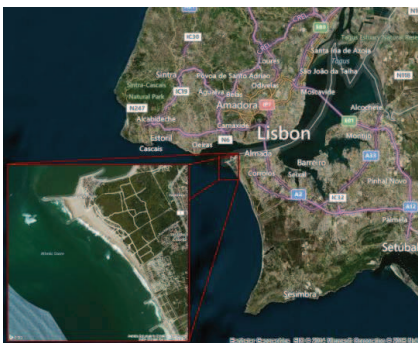


Fig. 3. Localização do caso de estudo. Praia de S. João da Caparica

3.2 Resultados obtidos pelo sistema

Na Figura 4 está representado um exemplo dos *Layouts* obtidos pelo módulo I (Caraterização da Agitação Marítima), nomeadamente a previsão da agitação marítima a nível regional efetuada pelo WaveWatch III, e a nível local, obtido com o modelo SWAN, para o dia 2014-02-02 às 0:00h.

Na aplicação do módulo II do sistema, para o cálculo do *runup* em duas zonas seleccionadas da praia (sem e com estrutura de proteção aderente) admitiram-se dois perfis de praia (Figura 5) que

resultam de um levantamento LiDAR realizado em 2011 para Portugal Continental (Silva *et al.*, 2011).

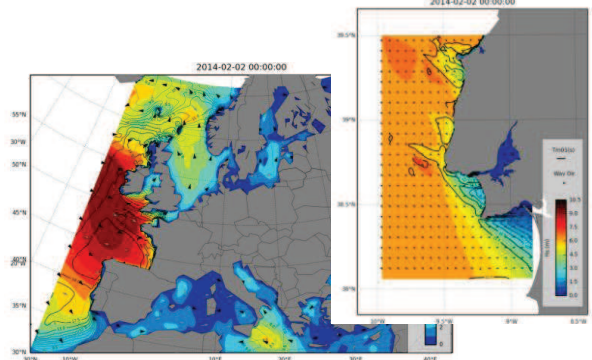


Fig. 4. Layouts obtidos pelo módulo I do sistema HIDRALERTA (H_s , T_{m01} , Θ_{pr} , UV) para as 0h do dia 02/02/2014

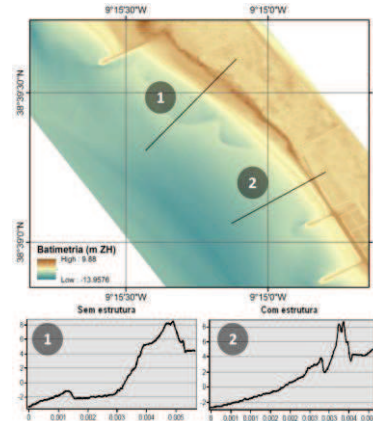


Fig. 5. Perfis na praia de S. João da Caparica nas zonas com e sem estrutura aderente (em relação ao ZH)

No caso do perfil de praia sem estrutura, usaram-se todas as fórmulas empíricas para cálculo do *runup* indicadas na secção 2.2 para cada condição de agitação marítima incidente. Verificou-se que, os resultados obtidos pelas diferentes fórmulas não apresentavam diferenças significativas entre si, com exceção da fórmula desenvolvida por Stockdon *et al.* (2006), pelo que os respetivos resultados não foram considerados para os cálculos seguintes. Assim, com os valores de *runup* das fórmulas restantes, efetuou-se uma média. A cota de inundação é dada pela soma das contribuições da maré astronómica, M.A. (referente ao ZH), com a sobrelevação meteorológica, S.M., e com o valor médio do *runup*.

Para o caso do perfil de praia com estrutura aderente consideraram-se os resultados da aplicação da fórmula empírica de Mase *et al.* (2013), que se considera ser adequado para este tipo de estruturas, mas que ainda terá de ser sujeito a um processo de validação.

Finalmente, a aplicação do módulo IV aos resultados de galgamento/cota de inundação obtidos, permite a construção de *Layouts* como o da Figura 6, onde estão representados os níveis de alerta obtidos nessa zona para o dia e hora referidos. Para definição desses alertas, considerou-se, nesta fase, que os limiares correspondem aos níveis máximos de cota de

coroamento das faces da praia e da estrutura de proteção (Figura 5), que são aproximadamente de 8 m (ZH).

Como se pode observar na Figura 6, para o instante temporal considerado, obtiveram-se os níveis de alerta 3 e 4, no lado norte e sul da praia, respetivamente.

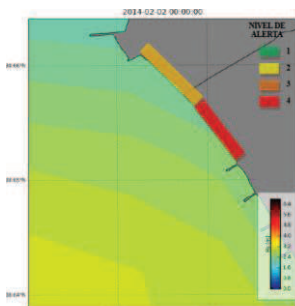


Fig. 6. Layout obtido pelo módulo IV do sistema HIDRALERTA (Hs, Níveis de Alerta) para as 0h do dia 02/02/2014

É de salientar a validação do sistema é um processo em curso. À presente data apenas foi efetuada a validação do sistema, para o módulo I (Neves, 2013), com recurso a dados da boia ondógrafo da Administração do Porto de Lisboa.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta comunicação apresenta-se o estado atual de desenvolvimento do sistema HIDRALERTA, sistema que permite a previsão de situações de emergência e alerta das autoridades competentes sempre que se registam galgamentos e inundações em zonas costeiras e portuárias. Foi apresentada sumariamente a aplicação dos módulos I, II e IV do sistema na zona da Costa da Caparica, de modo a ilustrar algumas das potencialidades do mesmo. Atualmente, o sistema apresenta a capacidade de ter já acoplado todos os elementos necessários para a emissão de alertas em tempo real, mas ainda há alguns aspetos a serem melhorados, especialmente no módulo IV. Os dois primeiros módulos estão já em funcionamento em permanência.

O trabalho futuro passa necessariamente pela validação do sistema, nomeadamente dos seus módulos II e IV com a colaboração das autoridades locais e com a utilização de dados históricos, no sentido de garantir a fiabilidade do sistema.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FCT o financiamento concedido através do projeto HIDRALERTA – Flood forecast and alert system in coastal and port areas, ref. PTDC/AAC-AMB/120702/2010. Um agradecimento especial à Eng.^a Teresa Sá Pereira da APL pela colaboração e disponibilidade.

REFERÊNCIAS

Booij, N., Ris, R.C. e Holthuijsen, L.H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions, Part

I, Model description and validation. *J.G.R.*, C4(104): 7649-7666.

Flater, D. (1998). *XTide Manual: Harmonic tide clock and tide predictor*. E.U.A.

Fortes, C.J.E.M., Reis, M.T., Poseiro, P., Capitão, R., Sabino, A., Rodrigues, M.C., Raposeiro, P., Ferreira, J.C., Silva, C., Simões, A. e Azevedo, E.B. (2013). O projeto HIDRALERTA - sistema de previsão e alerta de inundações em zonas costeiras e portuárias. In 8^{as} JPECP, LNEC.

Guza, R.T. e Thornton, E.B. (1982). Swash oscillations on a natural beach. *J. Geoph. Res.*, 87 (C1), 483-491.

Holman, R.A. (1986). Extreme value statistics for wave run-up on a natural beach. *Coastal Eng.*, 9, 527-544.

Hunt, I.A. (1959). Design of seawalls and breakwaters. *J. of Waterways and Harbours Div.*, 85, 123-152.

Mase, H., Tamada, T., Yasuda, T., Hedges, T.S. e Reis, M.T. (2013). Wave Runup and overtopping at seawalls built on land and in very shallow water. *J. of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 139, 346-357.

Neves, P. (2013). Avaliação do risco de inundação da zona da Costa da Caparica. MSc Th., FCTUC, 120p.

Nielsen, P. e Hanslow, D.J. (1991). Wave Runup Distributions on Natural Beaches. *J.C.R.*7(4):1139-1152.

Poseiro, P., Sabino, A., Fortes, C.J., Reis, M.T. e Rodrigues, A. (2014). Aplicação do sistema HIDRALERTA de previsão e alerta de inundações: Caso de estudo da Praia da Vitória. *Actas do 12º Congresso da Água*, Lisboa.

Ruggiero, P., Komar, P.D., McDougal, W.G., Marra, J.J. e Beach, R.A. (2001). Wave Runup, Extreme Water Levels and the Erosion of properties backing beaches. *J.C.R.*, 17, 407-419.

Sabino, A.; Rodrigues, A.; Araújo, J.; Poseiro, P.; Reis, M. T.; Fortes, C. J. E. M. (2014). Wave Overtopping Analysis and Early Warning Forecast System, *ICCSA 2014*,

Silva, M., Patrício, P., Mariano, A., Morais, M. Obtenção de dados geográficos de base para as zonas costeiras de Portugal Continental (2011). *VII Conf.Nac.Cart.Geod.* Porto.

Stockdon, H.F., Holman, R.A., Howd, P.A. e Sallenger Jr., A.H. (2006). Empirical parameterization of setup, swash, and runup. *Coastal Eng.*, 53, 573-588.

Teixeira, S.B. (2009). *Demarcação do leito e da margem das águas do mar no litoral sul do Algarve*. ARH Algarve.Faro.

Tolman, H. (1999). *User Manual and System Documentation of WAVEWATCH-III. version 1.18*, NOAA/NWS/NCEP /OMB Technical Note 166, 110p., Washington, E.U.A.

Whitcomb, T. (2012). Navy global forecast system, NAVGEM: Distribution and user support. In *2nd Sci. Work. on ONR DRI: Unified Parameterization for Extended Range Prediction*, Monterey, California.