

VI SEMINÁRIO E WORKSHOP EM ENGENHARIA OCEÂNICA

Rio Grande, 11 a 14 de Novembro de 2014

Aplicações do sistema de previsão e alerta do risco de galgamentos em zonas costeiras e portuárias: Costa da Caparica e Praia da Vitória

Pedro Poseiro¹, Conceição Fortes¹, Maria Teresa Reis¹, João Alfredo Santos²

¹ Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal

e-mail: pposeiro@lnec.pt, jfortes@lnec.pt, treis@lnec.pt

² Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Rua Conselheiro Emídio Navarro 1, 1959-007, Lisboa, Portugal

e-mail: jasantos@dec.isel.pt

RESUMO

Nesta comunicação, descreve-se o trabalho que tem vindo a ser desenvolvido na aplicação da componente previsão e alerta de risco de galgamentos/inundações do sistema HIDRALERTA na zona costeira da Costa da Caparica, perto da cidade de Almada, e no porto da Praia da Vitória, localizado na ilha Terceira do Arquipélago dos Açores, ambos locais em Portugal.

Nesta componente, o sistema avalia as situações de emergência em zonas costeiras e portuárias, em termos de galgamentos/inundações para uma determinada área de interesse e envia automaticamente mensagens de alerta para as autoridades responsáveis. Desta forma, as autoridades poderão atempadamente adotar medidas mitigadoras que evitarão a perda de vidas e minimizarão prejuízos económicos e ambientais. As aplicações efetuadas ilustram as potencialidades do sistema como ferramenta de auxílio à gestão portuária e costeira.

Palavras-chave: Previsão e alerta, Galgamento, HIDRALERTA, Costa da Caparica, Porto da Praia da Vitória

1. INTRODUÇÃO

No âmbito do projeto HIDRALERTA (Fortes *et al.*, 2013) tem vindo a ser desenvolvido um sistema de previsão, de alerta e de avaliação do risco de galgamentos/inundações em zonas costeiras e portuárias, denominado HIDRALERTA (Zózimo *et al.* 2008, Santos *et al.*, 2011, Reis *et al.*, 2011, Neves *et al.*, 2012, Neves, 2013, Rocha, 2012, Poseiro *et al.*, 2014a, b, 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 caudal médio galgado 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 útil, 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 (Figura 1): I – Características da Agitação Marítima; II – Galgamento/Inundação; III – Avaliação do Risco; IV - Sistema de Alerta.

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:

- em zonas costeiras, os valores do espriamento (*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 espriamento com o nível de maré;
- em zonas portuárias, os valores do caudal médio galgado com recurso a ferramentas baseadas em resultados da aplicação de redes neuronais artificiais (“ferramentas neuronais”).

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 mensagens de alerta para as autoridades responsáveis.



Figura 1. Esquema do sistema HIDRALERTA para as zonas costeiras e portuárias.

A descrição mais detalhada da metodologia adotada no sistema HIDRALERTA, bem como o seu processo de implementação podem ser consultados em Poseiro *et al.* (2014a, b).

Nesta comunicação descreve-se o trabalho que tem vindo a ser desenvolvido na implementação do sistema, nas suas componentes de previsão (Módulos I e II) e alerta (Módulo IV) na zona costeira da Costa da Caparica, perto da cidade de Almada, e no porto da Praia da Vitória, localizado na ilha Terceira do Arquipélago dos Açores, ambos locais em Portugal.

É de salientar que existem diferenças significativas quando o sistema é aplicado a uma zona costeira ou a uma zona portuária, uma vez que as metodologias de determinação da agitação marítima e de cálculo do espraiamento/galgamento/inundação são diferentes. No caso das zonas portuárias, para a caracterização da agitação marítima em frente às diferentes estruturas usuais nessas zonas, é necessário recorrer a modelos numéricos de propagação de ondas aplicáveis a zonas confinadas, o que não acontece quando se aplica o sistema a uma zona aberta, como são a maioria das zonas costeiras em Portugal. Além disso, para a determinação do galgamento/inundação em zonas costeiras, como o caso da Costa da Caparica, Poseiro *et al.* (2014b), é utilizado um conjunto de fórmulas empíricas para o cálculo do espraiamento/galgamento, em vez da aplicação de redes neuronais artificiais, como no caso da Praia da Vitória que é uma zona portuária (Poseiro *et al.*, 2014a).

A seguir a esta introdução descreve-se sucintamente, na secção 2, apenas o módulo IV (sistema de alerta), e nas secções 3 e 4 a implementação do sistema nos dois locais de estudo, apresentando-se exemplos de resultados-tipo do sistema. Na secção 5 apresentam-se algumas considerações finais.

2. SISTEMA DE ALERTA (MÓDULO IV)

O sistema de alerta permite a previsão, em tempo real, das situações de emergência para uma determinada área de interesse e o envio automático de mensagens de alerta para as autoridades responsáveis.

O sistema de alerta (Sabino *et al.*, 2014; Poseiro *et al.* 2014b) 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 parte do princípio que o nível de alerta associado à área de interesse é determinado de acordo com os limiares de galgamento/inundação alcançados em cada secção das estruturas analisadas. Desta forma, é atribuído um nível de alerta a cada secção considerada homogénea. Para o funcionamento do sistema de alerta têm de estar definidos, com base no estudo de avaliação do risco realizado no módulo III do sistema, os limites para os caudais admissíveis ou para as cotas de espraiamento. Esses limites já têm em conta as consequências dos acontecimentos perigosos galgamento/inundação em cada zona, pelo que, em caso de estes limites serem excedidos, é acionado o sinal de alerta, bem como a sua localização num mapa. Torna-se, portanto, particularmente relevante conseguir a melhor caracterização possível de cada secção, tendo em conta as suas características e as atividades que nela acontecem, bem como uma análise profunda de galgamentos/inundações registados anteriormente. Os resultados gerados pelo componente de avaliação assumem diversas formas, nomeadamente, gráficos, mapas e relatórios. Estes são depois transmitidos ao componente de interação com o utilizador para permitir a avaliação da situação pelo mesmo.

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

permitidas são a definição de áreas de interesse e a caracterização de pontos críticos. Além destas operações, o sistema também permite a análise de dados históricos. Esta análise é realizada através de tabelas, gráficos e mapas. Os mapas permitem a visualização espacial dos riscos e consequências associados à área de interesse. Cada mapa contém a identificação de pontos e áreas consideradas relevantes.

Existem também vários perfis de utilização do sistema. Estes são o público em geral, técnicos responsáveis pela manutenção do sistema e as autoridades responsáveis por uma determinada área de interesse. O público em geral deverá poder aceder a um resumo (i.e., nível de alerta, descrição rápida e mapa de risco/consequências) do estado de alerta de uma determinada área de interesse, assim como aos alertas publicados pela conta de *Twitter* associada ao projeto (@hidralerta). Os técnicos deverão poder aceder às funcionalidades de parametrização e análise de informação. As autoridades responsáveis serão recetoras de mensagens de alerta enviadas pelo sistema, sempre que um novo alerta é criado. As condições de envio e conteúdo destas mensagens são definidas por protocolos estabelecidos com as autoridades.

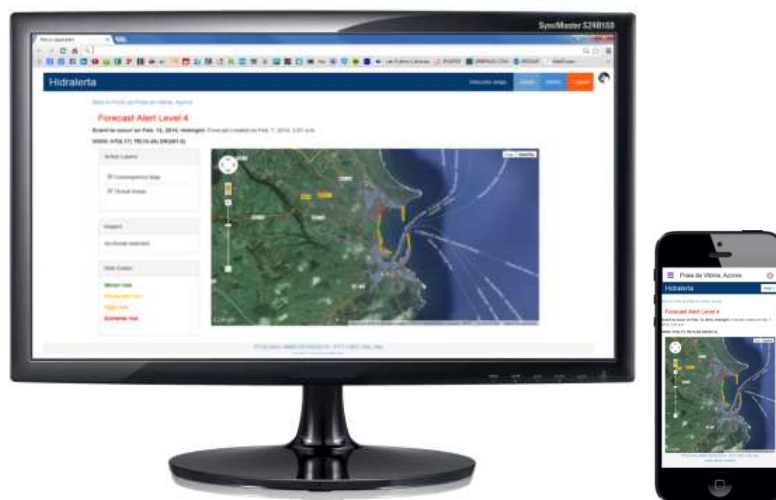


Figura 2. Mapa de previsão de emissão de alerta. Exemplo da adequação de conteúdo da interface web, de acordo com as características do *browser* cliente.

Note-se que o modelo de dados relaciona os elementos de informação recebidos (agitação marítima, nível de maré, ventos, perfis de praia e das estruturas, cota de inundação e caudal médio galgado), os valores projetados para os pontos críticos e a informação espacial com os vários tipos de mapas e eventos de alerta associados à área de interesse.

O sistema de alerta está a ser construído na linguagem de programação *Python*, através de um conjunto de *scripts* que acoplam todos os modelos e automatizam todos os procedimentos para o funcionamento do sistema. 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 DE ALERTA: PRAIA DA COSTA DA CAPARICA

3.1 Caracterização do local

A praia de São João da Caparica localiza-se no extremo norte da Costa da Caparica, no município de Almada (Figura 3). É 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 tem 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. Além disso, parte da linha de costa é protegida por uma estrutura aderente de enrocamento com 400 m de comprimento que termina no esporão localizado a sul. À semelhança do que se verificou nos últimos anos, também 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 para o dia 2 de fevereiro de 2014, Poseiro *et al.* (2014b), altura em que ocorreu uma violenta tempestade que causou inundações significativas ao longo de toda a Costa da Caparica. Esta aplicação consistiu: na utilização de resultados dos modelos numéricos de geração e propagação de ondas, *WaveWatch III* e *SWAN*, incluídos no módulo I do sistema, para a determinação das condições de agitação marítima junto à praia para esse dia; e na subsequente utilização de fórmulas empíricas, incluídas no módulo II do sistema, para determinação dos valores de espraiamento/galgamento e cotas de inundação nas zonas sem e com estrutura aderente de proteção. No módulo III é efetuada a comparação dessas cotas de inundação com as cotas da praia e da estrutura aderente de proteção existente e avalia-se a necessidade de emitir ou não) alertas e qual o grau dos mesmos.



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

3.2 Módulo I - Caracterização da agitação marítima

O sistema faz diariamente o *download* do FNMOC (*The Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center*) das previsões (para as 180 horas seguintes, com 3 horas de intervalo): a) das características da agitação marítima (altura significativa, período de pico do espectro e direção média do período de pico) obtidas com o modelo numérico WaveWatch III (Tolman, 1999), o qual tem para a área em questão, uma resolução de 0.25°, desde março de 2009; b) das componentes horizontal (U) e vertical (V) dos ventos regionais previstos com o modelo NAVGEM (Whitcomb, 2012), o qual tem para a área em questão, uma resolução de 0.5°, desde março de 2013; c) e do nível da maré astronómica na região em estudo, obtido com o modelo XTide (Flater, 1998). Este último é um modelo de previsão de maré astronómica que dispõe de informações de marés desde 1700 até 2100. 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 praia de S. João da Caparica.

Na Figura 4 está representado um exemplo do tipo de *layouts* que são obtidos pelo módulo I, 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 2 de fevereiro de 2014 às 3:00h, onde se observou o pico de uma grande tempestade.

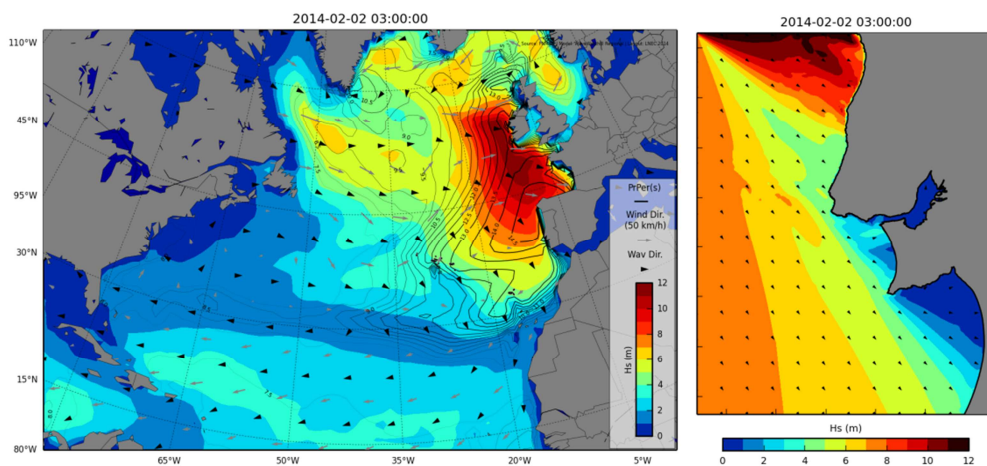


Figura 4. Módulo I: *Layouts* obtidos pelo sistema HIDRALERTA para as 3:00h do dia 2 de fevereiro de 2014: a) WaveWatch III; b) SWAN.

3.3 Modulo II - Cálculo do espraiamento/galgamento/inundação

O sistema calcula o espraiamento (*runup*) correspondente a uma dada condição de agitação marítima (obtida com o modelo SWAN) nas duas secções consideradas ao longo da praia de S. João da Caparica, na Costa da Caparica. Estas secções correspondem a zonas desta praia, sem e com estrutura de proteção. O *runup* é estimado através da aplicação, quer da fórmula empírica propostas por Hunt (1959), obtida com base em ensaios em modelo físico, quer das propostas 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 defesa frontal aderente de proteção 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.

Na aplicação do módulo II do sistema, para o cálculo do *runup* em duas zonas selecionadas da praia (sem e com estrutura de proteção) admitiram-se dois perfis de praia que resultam de um levantamento LiDAR realizado em 2011 para Portugal Continental (Silva *et al.*, 2011). A partir desses perfis aplicam-se as respetivas fórmulas para as duas zonas e obtêm-se as cotas de inundação, tal como apresentadas na Figura 5a para o instante em análise (2 de fevereiro de 2014 às 3:00). Verifica-se na Figura 5a que na zona com estrutura obteve-se uma cota de inundação que a galgou, tendo atingido a área protegida pela mesma. Na zona sem estrutura, o mar não ultrapassou o sistema dunar, mas atingiu várias estruturas localizadas na praia. Desta forma, o sistema acionou o nível de alerta vermelho (nível 3) para a secção com estrutura e o alerta laranja (nível 2) para a zona sem estrutura, tal como se pode observar na Figura 5b. Estes níveis são explicados em 3.4.

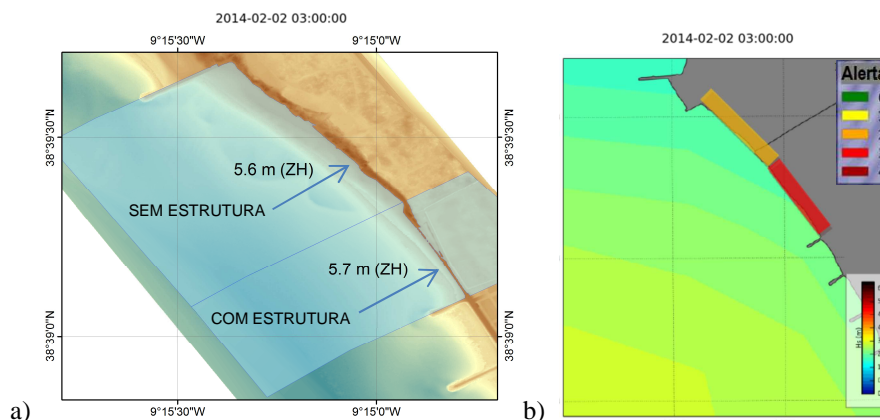


Figura 5. a) Cota de inundação obtida para a praia de S. João da Caparica nas zonas sem e com estrutura de proteção (em relação ao ZH); b) Módulo IV: Níveis de alerta para as 3:00h do dia 2014-02-02.

No caso do perfil de praia sem estrutura, usaram-se todas as fórmulas empíricas para cálculo do *runup* 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 (referente ao ZH), com a sobrelevação meteorológica, e com o valor médio do *runup*.

Para o caso do perfil de praia com estrutura de proteção utilizaram-se os resultados da aplicação das fórmulas empíricas de Mase *et al.* (2013), que se consideram adequadas para este tipo de estruturas, mas que ainda carecem de um processo de validação.

3.4 Módulo IV - Sistema de alerta

A aplicação do módulo IV aos resultados de galgamento/cota de inundação obtidos permite a construção de *layouts* como o da Figura 5b, onde estão representados os níveis de alerta obtidos nessa zona para o dia e hora referidos. Para definição desses alertas, consideram-se diferentes cotas de inundação para as duas zonas analisadas, em que se utilizaram como dados base o levantamento LiDAR, a fim de se verificar o alcance das áreas inundadas e se essas áreas são ou não representativas de perigo para as pessoas e bens.

Os níveis de alerta são definidos de acordo com uma análise feita *à priori* das áreas afetadas para diferentes cotas de inundação, tendo em conta as consequências para as pessoas e bens. Os diferentes níveis têm o seguinte significado: Verde (0) – sem perigo; Amarelo (1) – é necessário precaução por parte das pessoas que circulam nesta área; Laranja (2) – é necessário chamar as autoridades para tomar medidas de contingência no local, podendo registar-se alguns danos; Vermelho (3) – é necessário chamar as autoridades, porque as pessoas e as infraestruturas existentes no local estão em perigo; Vermelho escuro (4) – nível de alerta máximo. É necessário evacuar completamente o local. As infraestruturas podem ficar seriamente danificadas e as pessoas correm risco de vida. Como se pode observar na Figura 5b, para o instante temporal considerado, obtiveram-se os níveis de alerta 3 e 4, no lado norte e sul da praia, respetivamente.

É de salientar que a validação do sistema para esta praia é um processo em curso. À presente data, foi já efetuada a validação do sistema para o módulo I (Neves, 2013), com recurso a dados da boia ondógrafo da Administração do Porto de Lisboa, e encontra-se em realização a validação do módulo II com os casos de inundação verificados no Inverno do presente ano de 2014.

4. ALICAÇÃO DO SISTEMA DE ALERTA: O PORTO E BAÍA DA PRAIA DA VITÓRIA

4.1 Caracterização do local

A baía da Praia da Vitória localiza-se na costa este da Ilha Terceira, uma das nove ilhas do arquipélago dos Açores (Figura 1. Esquema do sistema HIDRALERTA para as zonas costeiras e portuárias. Figura 6a). Enraizado na Ponta do Espírito Santo e com a direção norte-sul, foi construído, no início da década de sessenta, um molhe (o chamado molhe norte), com 560 m de comprimento, destinado a dar abrigo às instalações portuárias de apoio à Base Aérea das Lajes. Mais tarde, na década de oitenta, foi construído um segundo molhe (o molhe sul), enraizado no lado sul da baía, próximo do forte de Santa Catarina, para abrigar as instalações portuárias dos sectores comercial e das pescas do porto da Praia da Vitória (Figura 6b). Este molhe tem cerca de 1300 m de comprimento e um traçado curvo, em planta. Beneficiando do abrigo proporcionado por estes molhes e aproveitando parcialmente as instalações do primitivo porto de pesca, foi construída, no final da década de noventa, pela Câmara Municipal da Praia da Vitória, uma marina.

O interior da baía da Praia da Vitória, protegido pelos dois molhes exteriores, tem um comprimento de 2400 m e uma largura máxima de 1100 m. A linha de costa da baía caracteriza-se pela existência de uma defesa frontal aderente com cerca de 1 km de comprimento e de um campo de cinco esporões na zona central, em frente à abertura existente entre os molhes, que enraízam na defesa frontal, têm comprimentos diferentes, estão implantados segundo uma direção próxima de WSW-ENE e que são aqui referidos como esporões 1 a 5, de sul para norte (Figura 6). No enraizamento do esporão 3 encontra-se um edifício no qual funciona atualmente um bar. Entre alguns dos esporões existem praias estreitas, cuja quantidade de areia vai diminuindo à medida que se caminha para sul. A praia mais extensa localiza-se entre o esporão 5 e a marina. Neste trabalho e a título exemplificativo, o sistema foi aplicado na sua vertente de sistema de alerta (módulos I, II e IV), no dia 13/03/2013, altura em que se verificaram alguns episódios de galgamento. Esta metodologia foi aplicada a várias estruturas ao longo do porto e baía da Praia da Vitória (Figura 7).



Figura 6. Porto e baía da Praia da Vitória. Estruturas marítimas existentes.



Figura 7. Secções consideradas para análise do galgamento (D1 a D9).

Assim, com o módulo I, os modelos WaveWatch III (Tolman, 1999), SWAN (Booij *et al.*, 1999) e DREAMS (Fortes, 1993), determinam-se as condições de agitação marítima em frente a cada uma das secções/estruturas. Com o módulo II, e utilizando a ferramenta neuronal NN_OVERTOPPING2 (Coeveld *et al.*, 2005), obtiveram-se as correspondentes estimativas do caudal médio galgado por unidade de comprimento do coroamento de cada estrutura. Tendo em conta os limites de caudal médio de galgamento descritos em Pullen *et al.* (2007) e as recomendações das autoridades locais, foram estabelecidos diferentes limiares de galgamento tendo em conta as características das estruturas galgadas e das áreas por elas protegidas, bem como das atividades aí desenvolvidas. Os alertas são ativados sempre que os limites definidos forem ultrapassados – Módulo IV.

4.2 Módulo I - Caracterização da agitação marítima

A caracterização da agitação marítima é feita de forma semelhante ao do caso da Costa da Caparica; características da agitação marítima ao largo e dados de vento na região de interesse descarregados do *Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center*. Para a área em questão, os dados do modelo WaveWatch III estão disponíveis com resolução de 1°, desde setembro de 2003. Dos resultados apresentados pelo modelo WaveWatch III são extraídos os valores que se encontram mais perto da ilha Terceira, que constituem as condições de fronteira dos modelos que serão usados de seguida. O nível da maré astronómica na mesma região é estimado com o modelo XTide (Flater, 1998) e as características da agitação marítima são transferidas do largo para a zona de entrada do porto com o modelo SWAN (Booij *et al.*, 1999). Como se trata de uma zona abrigada, utiliza-se o modelo DREAMS (Fortes, 1993) para transferir as características da agitação marítima da zona da entrada para o interior do porto.

A utilização dos modelos e as suas condições de aplicação encontram-se descritas em Neves *et al.* (2012). A título de exemplo para o dia 13 de março de 2013 às 15 horas, apresenta-se na Figura 78a um *layout* gerado pelo sistema para os parâmetros provenientes do WW III. Nas Figura 78b e Figura 8c são apresentados o tipo de *layouts* gerados pelo sistema para os resultados obtidos pelos modelos SWAN e DREAMS, respetivamente.

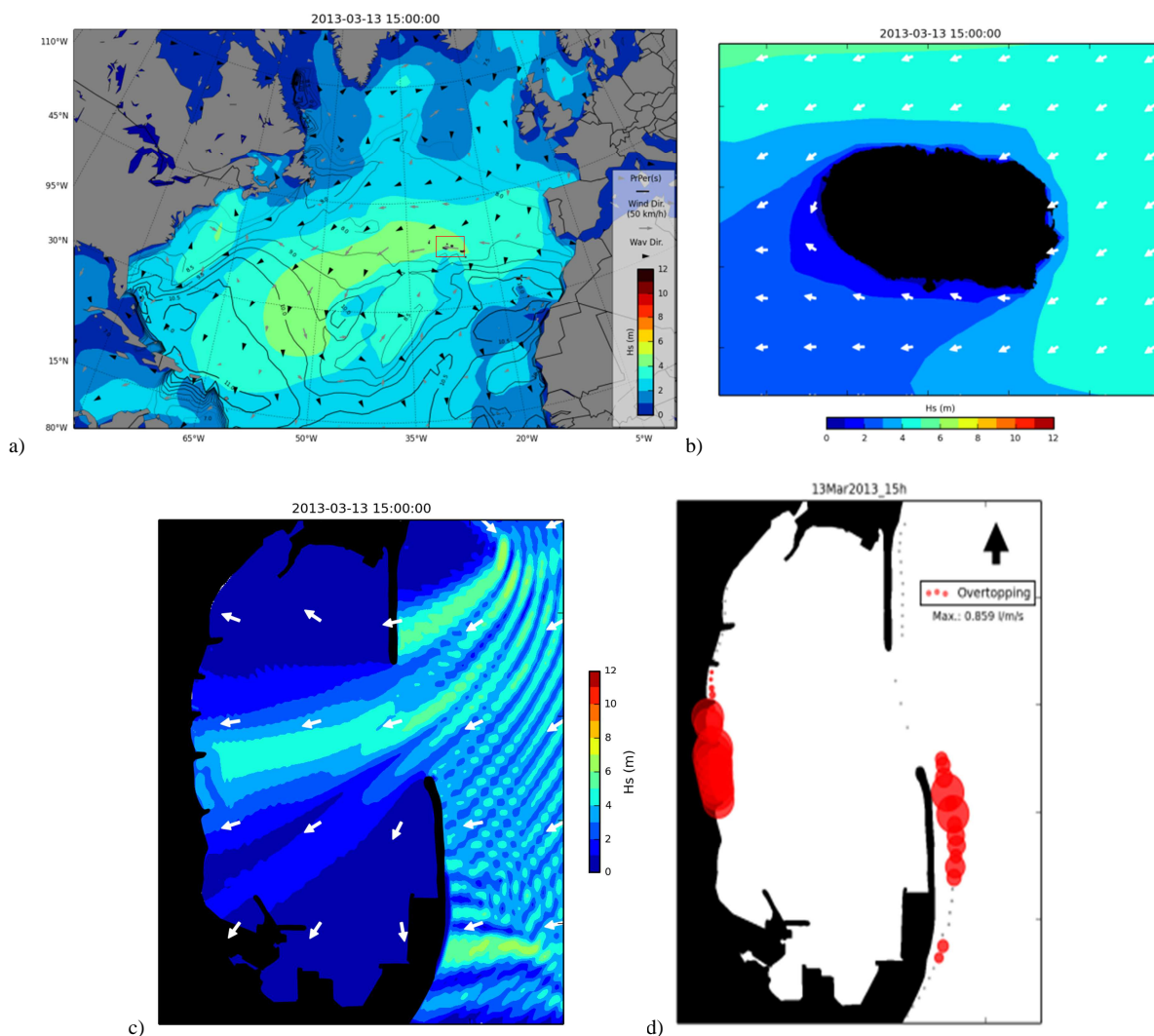


Figura 7. Módulo I: Exemplo de *layouts* gerados pelo sistema para as 15:00h do dia 13/03/2013: a) dados provenientes do WaveWatch III; b) resultados obtidos pelo modelo SWAN; c) resultados obtidos pelo modelo DREAMS; d) Módulo II: Exemplo de *layout* gerado pelo sistema de alerta para os resultados obtidos pela ferramenta NN_OVERTOPPING2

4.3 Módulo II - Cálculo do galgamento

No cálculo dos galgamentos sobre as nove estruturas consideradas utilizou-se a ferramenta NN_OVERTOPPING2, desenvolvida no âmbito do projeto europeu CLASH (Coeveld *et al.*, 2005). As vantagens desta ferramenta residem na capacidade de prever o caudal médio galgado em perfis de estruturas mais complexas (como as da Praia da Vitória) do que as usualmente contempladas pelas fórmulas empíricas, bem como na determinação de intervalos de confiança para as estimativas do caudal médio galgado e da influência dos efeitos de modelo e de escala na estimativa correspondente ao protótipo. São 15 parâmetros de entrada da rede que incluem informação sobre a agitação marítima e a geometria da estrutura.

Considerando a agitação marítima obtida com o modelo DREAMS e as características das estruturas, a ferramenta NN_OVERTOPPING2 permite o cálculo do caudal médio galgado por unidade de comprimento do coroamento de cada estrutura do porto e baía da Praia da Vitória. Na Figura 7d exemplifica-se o tipo de *layout* gerado pelo sistema de alerta com os resultados obtidos ao longo do porto e baía da Praia da Vitória pela ferramenta NN_OVERTOPPING2.

4.4 Módulo IV- Sistema de alerta

Para a emissão da previsão de alerta foi necessário primeiro estabelecer os caudais críticos admissíveis com base nas informações fornecidas pelas autoridades locais e nas recomendações de Pullen *et al.* (2007). Na Tabela 1 mostram-se os limites de caudais médios galgados associados a cada tipo de perigo. Estes limites dependem das características das estruturas galgadas e das áreas por elas protegidas, bem como das atividades aí desenvolvidas. A cada situação fez-se corresponder um símbolo de perigo, bem como um número de identificação (ID) reconhecido pelo sistema.

Seguidamente, caracterizaram-se cada uma das secções das estruturas estudadas e identificaram-se as atividades que aí acontecem, bem como os perigos que lhes estão associados. De acordo com os limites apresentados na Tabela 1, construiu-se, a título de exemplo, a Tabela 2 para a zona do Cais 12 (D3) e para uma zona da defesa frontal aderente (D4), tendo-se dividido os caudais médios de galgamento em intervalos consecutivos e associado o tipo de perigo que pode acontecer numa dada secção da estrutura para um dado valor de galgamento. Para esta tabela foi também definido empiricamente qual o nível de alerta (verde, amarelo, laranja, vermelho ou vermelho escuro) correspondente a cada secção e para cada intervalo de galgamento considerado. Note-se que esta é uma primeira abordagem desta metodologia que está ainda em discussão com as entidades responsáveis.

Tabela 1. Limites de caudais admissíveis associados a cada tipo de perigo (adaptado de Pullen *et al.* (2007).

ID	Sinal	Pedestres – Tipos de perigos e razões	Caudal médio galgado (l/s/m)
1		Pessoal treinado, com equipamento e calçado adequado, com perceção de que se pode molhar, galgamento gera escoamentos de pouca altura, sem jatos de água a cair, perigo reduzido de queda para o mar	1-10
2		Pessoas cientes, com visão clara do mar, que não ficam facilmente perturbadas ou assustadas, capazes de tolerar o facto de ficarem molhadas, que se deslocam numa zona larga	0.1
3		Pessoas desprevenidas, sem visão clara do mar, que ficam facilmente perturbadas ou assustadas, que não estão vestidas de forma apropriada para se molharem, que se deslocam numa zona estreita ou propícia a tropeções e quedas	0.03
Veículos – Tipos de perigos e razões			
4		Circulação a baixa velocidade, galgamento gera escoamentos de pouca altura (pulsating overtopping), sem jatos de água a cair na via, veículo não imerso	10-50
5		Circulação a velocidade moderada ou alta, galgamento projetado com grande velocidade (impulsive overtopping) ou com jatos de água a cair na via que podem imergir o veículo	0.01-0.05
Equipamentos – Tipos de perigos e razões			
6		Danos em edifícios	1
7		Danos em equipamento localizado a 5-10 m da estrutura	0.4
Estruturas marítimas - Tipos de perigos e razões			
8		Sem danos se o coroamento e o tardoiz estiverem bem protegidos	50-200
9		Danos em zonas de circulação pavimentadas localizadas atrás da defesa frontal	200
10		Danos em zonas de circulação relvadas ou levemente protegidas	50

Tabela 2. Exemplo para as secções D3 e D4 dos níveis de alerta definidos e tipos de perigo associados para os intervalos de caudal médio galgado.

Q (l/m/s)]0;0.1[[0.1;1[[1;10[[10;50[[50;200[[200; ∞[
Cais 12 (D3)		7	7	7	7	7
			1	1	1	1
			6	6	6	6
				4	4	4
Defesa frontal aderente (D4)	5	5	5	5	5	5
		2	2	2	2	2
				4	4	4
						9

Definidos os limites de galgamento, uma mensagem de alerta é enviada para as autoridades responsáveis com as descrições apresentadas na Tabela 1 sempre que estes forem excedidos, bem como é gerado um mapa que identifica as áreas em perigo com o respetivo nível de alerta (Figura 8).

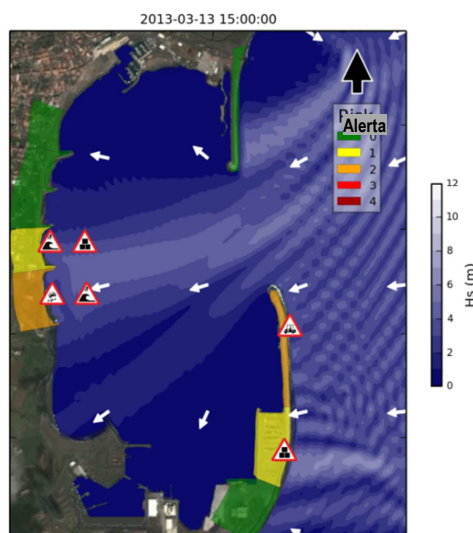


Figura 8. Módulo IV: Exemplo de *layout* de alerta gerado pelo sistema HIDRALERTA para para as 15:00h do dia 13/03/2013.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta comunicação descreveram-se as aplicações 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), na zona da praia de S. João da Caparica, na Costa da Caparica, e na zona do porto e baía da Praia da Vitória, na ilha Terceira, nos Açores. 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, no que diz respeito à definição dos limiares a considerar.

O trabalho futuro passa necessariamente pela validação do sistema, nomeadamente do seu módulo IV, com a colaboração das autoridades locais e com a utilização de dados históricos, no sentido de garantir a fiabilidade do sistema. Mais ainda, é importante o desenvolvimento de uma tabela de consequências com custos associados e a análise da inundação das áreas em que se verifica a ocorrência de galgamentos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o financiamento da FCT através dos projetos HIDRALERTA - PTDC/AAC-AMB /120702/2010, DITOWEC - PTDC/ECM-HID/1719/2012 e EROS - PTDC/CTE-GIX/111230/2009. Agradece-se às entidades Universidade dos Açores (LAMTEC e Centro de Estudos do Clima, Meteorologia e Mudanças Globais), designadamente à colaboração e fornecimento de dados produzidos no âmbito do projecto ESTRAMAR (FEDER-MAC/3/C117), Portos dos Açores, Administração do Porto de Lisboa (Teresa Sá Pereira), Câmara Municipal da Praia da Vitória, à FCUL (C. Antunes), pela colaboração e fornecimento de dados necessários à aplicação do sistema. Um agradecimento especial aos elementos da equipe (Rui Capitão, Liliana Pinheiro, João Craveiro, José Carlos Ferreira, Susana F. Silva, Paulo Raposeiro, André Sabino, Armanda Rodrigues, Carlos Silva, Eduardo de Azevedo (ESTRAMAR), Francisco Reis (ESTRAMAR), Conceição Rodrigues e Anabela Simões), por toda a ajuda prestada durante este trabalho. Agradece-se também aos alunos de licenciatura e mestrado bem como os professores responsáveis que efetuaram trabalho neste âmbito: Tânia Rocha, Marta Martinho, Eduardo Lopes, Inês Silva, Patrícia Neves, J. Antunes do Carmo e F. Taveira Pinto.

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." *Journal of Geographical Research*, C4, 104, 7649-7666.
- Coeveld, E.M., Van Gent, M.R.A. e Pozueta, B., 2005. *Neural Network: Manual NN_OVERTOPPING 2. CLASH WP8 – Report*.
- Flater, D., 1998. *XTide Manual: Harmonic tide clock and tide predictor*. E.U.A.
- Fortes, C.J.E.M., 1993. *Modelação matemática da refração e difração combinadas de ondas marítimas (análise pelo método dos elementos finitos)*. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica, IST, Lisboa, Portugal.
- 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 *Proceedings of the 8^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, LNEC, 10-11 de outubro. Lisboa.
- Guza, R.T. e Thornton, E.B., 1982. "Swash oscillations on a natural beach." *Journal of Geophysical Research*, 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." *Journal 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." *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 139, 346-357.
- Neves, D.R.C.B., Santos, J.A., Reis, M.T., Fortes, C.J.E.M., Rodrigues, S., Simões, A. e Azevedo E.B., 2012. "Metodologia de avaliação do risco associado ao galgamento de estruturas marítimas. Aplicação ao porto e à baía da Praia da Vitória, Açores, Portugal." *Revista de Gestão Costeira Integrada*. (no prelo: <http://www.aprh.pt/rgci/rgci322.html>).
- Neves, P. 2013. *Avaliação do risco de inundação da zona da Costa da Caparica*. Dissertação Mestrado, FCTUC, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.
- Nielsen, P. e Hanslow, D.J., 1991. "Wave Runup Distributions on Natural Beaches." *Journal of Coastal Research*, 7(4), 1139-1152.
- Poseiro, P., Sabino, A., Fortes, C.J., Reis, M.T. e Rodrigues, A., 2014a. "Aplicação do sistema HIDRALERTA de previsão e alerta de inundações: Caso de estudo da Praia da Vitória." In *Proceedings of the 12^o Congresso da Água*, 5 a 8 de março, Lisboa, Portugal.
- Poseiro, P., Reis, M.T., Fortes, C.J.E.M., Sabino, A., Rodrigues, A., 2014b. "Aplicação do Sistema de Previsão e Alerta de Inundações HIDRALERTA: Caso de estudo da Costa da Caparica." In *Proceedings of the 3^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, Lisboa, Portugal.
- Pullen, T., Allsop, N.W.H., Bruce, T., Kortenhaus, A., Schuttrumpf, H. e Van der Meer, J.W., 2007. *EurOtop: Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual*. Environment Agency, UK, Exper. Network Waterkeren, The Netherlands, Kuratorium fur Forschung im Kusteningenieurwesen, Germany.
- Reis, M.T., Fortes, C.J.E.M., Neves, D.R.C.B., Rodrigues, S., Vieira, A.S., Simões, A. e Azevedo, E.B., 2011. "Previsão dos galgamentos na baía da Praia da Vitória para avaliação de risco e alerta." In *Proceedings of the VI Congresso Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras*, 4 a 8 de Abril, Boa Vista, Cabo Verde.
- Rocha, T., 2012. *Avaliação do galgamento de estruturas portuárias. Aplicação ao porto da Praia da Vitória, Açores*. Tese de mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Hidráulica. FEUP, Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- 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." *Journal of Coastal Research*, 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". In *Proceedings of the 14th International Conference on Computational Science and Its Applications, ICCSA 2014*, Guimarães, Portugal
- Santos, J.A., Reis, M.T., Neves, D.R.C.B., Fortes, C.J.E.M., Rodrigues, S., Azevedo, E.B., Rodrigues, M.C., Simões, A., Ramalheira, J. e Raposeiro, P., 2011. "Aplicação de uma metodologia para avaliação do risco para a navegação e galgamentos no Porto da Praia da Vitória." In *Proceedings of the 7^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, AIPCN/PIANC, Porto, Portugal.
- Silva, M., Patrício, P., Mariano, A., Morais, M., 2011. "Obtenção de dados geográficos de base para as zonas costeiras de Portugal Continental." In *Proceedings of the VII Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia*. 5 e 6 de maio de 2011. Porto, Portugal.
- Stockdon, H.F., Holman, R.A., Howd, P.A. e Sallenger Jr., A.H., 2006. "Empirical parameterization of setup, swash, and runup." *Coastal Engineering*, 53, 573-588.
- Teixeira, S.B., 2009. "Demarcação do leito e da margem das águas do mar no litoral sul do Algarve." *ARH do Algarve*, Faro, Portugal.
- 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*. 2nd Scientific Workshop on ONR DRI: Unified Parameterization for Extended Range Prediction.
- Zózimo, A.C., Fortes, C.J.E.M. e Neves, D.R.C.B., 2008. "GUIOMAR: Geographical User Interface for cOastal and MARine modeling. Recent developments and assessment of potential geographical errors", In *Proceedings of the Mediterranean Days of Coastal, Port Engineering*, , 7-9 October, Palermo, Itália.