

APLICAÇÃO DO SISTEMA HIDRALERTA DE PREVISÃO E ALERTA DE INUNDAÇÕES: CASO DE ESTUDO DA PRAIA DA VITÓRIA

Pedro POSEIRO (1); André SABINO (2); Conceição J. FORTES (1); Maria Teresa REIS (1); Armanda RODRIGUES (2)

Resumo

Descreve-se nesta comunicação o Sistema de Previsão e Alerta de Inundações em Zonas Costeiras e Portuárias – HIDRALERTA, que é uma ferramenta para: a) a previsão da ocorrência de situações de emergência e o alerta às entidades responsáveis, para tomarem medidas para evitar perda de vidas e minimizar prejuízos económicos e ambientais, b) a gestão a longo prazo dessas zonas através da análise de séries temporais/cenários pré-definidos de agitação marítima/nível de mar e dos efeitos de consequentes galgamentos/inundações. Desta forma, é possível proceder à avaliação do risco nessas zonas e elaborar mapas de risco, constituindo-se assim uma ferramenta útil para o planeamento e gestão integrada/sustentada das zonas costeiras/portuárias.

É dada especial ênfase ao sistema de alerta que utiliza medições/previsões da agitação marítima e do nível do mar para calcular os seus efeitos na costa/porto, nomeadamente em termos de galgamentos/inundações. A comparação destes valores com valores limite pré-estabelecidos permite identificação, em tempo real, de situações de emergência e emissão de alertas, sempre que se preveja estar em causa a segurança de pessoas, bens ou atividades desenvolvidas nessas zonas.

Esta comunicação pretende ilustrar a aplicação deste sistema ao caso da Praia da Vitória (Terceira/Açores), enquanto sistema de previsão e alerta de inundações.

Palavras-chave: Alerta, Galgamento, Inundação, Previsão, Sistema, Zonas costeiras e portuárias

¹ Laboratório Nacional de Engenharia Civil

² Universidade Nova de Lisboa

1 INTRODUÇÃO

As situações de emergência provocadas pelo estado do mar na costa de Portugal Continental e também nas Ilhas são frequentes, pondo em causa a segurança de pessoas, bens e infraestruturas e com consequências graves para a economia e para o ambiente. Dessas situações merecem destaque as que envolvem o galgamento de estruturas marítimas, portuárias e costeiras, pelas consequências associadas à destruição dessas estruturas ou à inundação das zonas protegidas por estas. Trata-se de um tema premente em Portugal, dada a elevada extensão da sua costa, a severidade do clima de agitação marítima, a grande concentração de população e de atividades económicas no litoral e a importância dos portos para a economia nacional. Por essa razão, considera-se importante 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 permita a adoção por essas entidades de medidas para evitar perda de vidas e minimizar prejuízos económicos e ambientais.

Além disso, é importante que esse sistema seja também uma ferramenta de gestão a longo prazo, que permita simular cenários futuros que considerem as mudanças que têm sido provocadas pelas alterações climáticas e que têm contribuído para um aumento do nível médio das águas do mar e para a ocorrência de fortes tempestades. Só deste modo, é possível fazer um planeamento e gestão integrada e sustentada das zonas costeiras e portuárias.

É neste âmbito que se insere o sistema HIDRALERTA, em desenvolvimento no LNEC no âmbito de um projeto homónimo financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, Fortes *et al.* (2013), que é um sistema de previsão e alerta de inundações em zonas costeiras e portuárias, mas que também permite a avaliação de risco associado, a partir de medições/previsões da agitação marítima ao largo e do nível de mar.

A ideia-base do sistema, que surge no seguimento do trabalho anterior de Zózimo *et al.* (2008), Raposeiro *et al.* (2010) e Neves *et al.* (2012), é a utilização de medições/previsões da agitação marítima e do nível de mar nas zonas costeiras e portuárias, para calcular galgamentos/inundações nessas zonas. A comparação destes valores com valores limite pré-estabelecidos permite: i) a previsão, 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 nessas zonas; ii) a construção de mapas de risco, considerando longas séries temporais de medições/previsões da agitação marítima e nível de mar ou cenários pré-definidos associados às mudanças climáticas e/ou eventos extremos. O protótipo está a ser desenvolvido para a Praia da Vitória (porto e baía) e para a zona de Lisboa-Vale do Tejo (Costa da Caparica).

Até à data, o trabalho desenvolvido no sistema HIDRALERTA tem sido essencialmente relacionado com o módulo de risco, Neves *et al.* (2012), Rocha (2012), Poseiro *et al.* (2013a, b) e Rocha *et al.* (2013), com aplicações do sistema na avaliação do risco de galgamento/inundação nos portos de Sines, Praia da Vitória e Ponta Delgada.

Nesta comunicação descreve-se essencialmente o trabalho desenvolvido até à data no módulo do sistema de alerta e da sua aplicação à Praia da Vitória (porto e baía), na

Ilha Terceira, Açores. Neste módulo, o sistema utiliza as medições/previsões da agitação marítima, até 180 horas, obtidas com o modelo regional WaveWatch III (Tolman, 1999) e os dados de maré astronómica obtidos através do *software* XTide (Flater, 1998). Para transferir as características da agitação para a entrada do porto e depois para o porto, utiliza os modelos de propagação de ondas SWAN (Booij *et al.*, 1999) e DREAMS (Fortes, 2002). Os dados de vento regional necessários para correr juntamente com os dados do modelo WAVEWATCH III no modelo SWAN são disponibilizados através do modelo NAVGEM (Whitcomb, 2012).

O modelo DREAMS permite obter as características das ondas em frente de cada estrutura do porto, as quais são usadas como parâmetros de entrada para a ferramenta neuronal NN_OVERTOPPING2 (Coeveld *et al.*, 2005), em conjunto com características do perfil de cada uma dessas estruturas marítimas. A NN_OVERTOPPING2 dá uma estimativa do caudal médio galgado por unidade de comprimento do coroamento da estrutura. Neste caso, as diferentes estruturas marítimas que foram consideradas são: os quebra-mares norte e sul do porto e a defesa frontal aderente que protege a baía da Praia da Vitória. Assim, tendo em conta os limites de caudal médio de galgamento descritos em Pullen *et al.* (2007) e as recomendações das autoridades locais, são estabelecidos diferentes limiares de galgamento tendo em conta as características da estrutura galgada e da área por ela protegida, bem como das atividades aí desenvolvidas. Os alertas são ativados sempre que os limites definidos forem ultrapassados.

A seguir a esta introdução, descreve-se brevemente na secção 2 a metodologia adotada pelo sistema, bem como o seu processo de implementação, incluindo o ponto de situação em que se encontra o sistema na sua componente de alerta. Na secção 3 descreve-se a sua aplicação à Praia da Vitória (porto e baía). Na secção 4 apresentam-se algumas considerações finais.

2 METODOLOGIA DO SISTEMA HIDRALERTA

O projeto HIDRALERTA visa a criação de uma ferramenta *user-friendly* que permita:

- A previsão, em tempo real, de situações de emergência provocadas por galgamentos/inundações e a emissão de alertas às entidades competentes sempre que se preveja estar em causa a segurança de pessoas, bens ou atividades desenvolvidas nas zonas costeiras/portuárias;
- Avaliação do risco e produção de mapas de risco que constituam uma ferramenta de apoio à decisão pelas entidades competentes. Estes mapas são construídos com séries temporais de medições/previsões da agitação marítima e do nível do mar de longa duração ou com cenários pré-definidos associados às mudanças climáticas e/ou eventos extremos.

O sistema pode ser dividido em quatro módulos, de acordo com o seguinte esquema (Figura 1): I – Características da agitação marítima; II – Galgamento / inundação; III – Avaliação do risco; e IV - Sistema de alerta. De seguida, descrevem-se, sucintamente, cada um dos módulos do sistema. Várias aplicações desta metodologia são descritas em Neves *et al.* (2012), Rocha (2012), Poseiro *et al.* (2013a, b) e Rocha *et al.* (2013), principalmente relacionadas com a avaliação do risco de galgamento/inundação nos portos de Sines, Praia da Vitória e Ponta Delgada.



Figura 1. Esquema do Sistema HIDRALERTA.

2.1 Características da agitação marítima

O objetivo deste módulo é a determinação das características da agitação marítima em zonas costeiras e portuárias em termos de altura de onda significativa (H_s), período de onda (médio, T_m , ou de pico, T_p) e direção média (θ). Essas características de agitação marítima podem ser obtidas tanto no âmbito da realização de previsões, que estão disponíveis com 180 horas de antecedência (com resultados de 3 em 3 horas), como no âmbito do estabelecimento dos regimes de agitação marítima necessários à avaliação do risco de galgamento/inundação, que estão disponíveis para vários anos anteriores (Figura 2). De igual modo, podem obter-se dados históricos ou previsões até 180 horas para o campo de ventos.

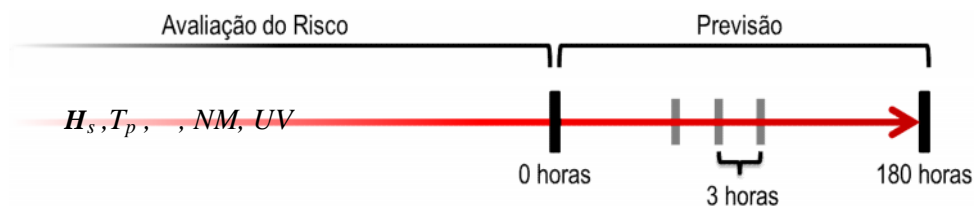


Figura 2. Esquema de funcionamento do módulo para obtenção das condições de agitação marítima.

Em ambos os casos, a determinação das características da agitação marítima junto à costa ou no interior de um porto é efetuada através de um ou mais modelos numéricos de geração e/ou propagação de ondas considerados adequados para a zona em estudo. O tipo e número de modelos numéricos a aplicar dependem das características da região de estudo (por exemplo, do tamanho do domínio computacional) e dos fenómenos envolvidos na propagação.

No presente projeto, consideraram-se os seguintes modelos para a previsão de agitação marítima e propagação dessas previsões para junto à costa ou no interior de zonas portuárias: o modelo de previsão da agitação marítima à escala regional, WAVEWATCH III (Tolman, 1999), também denominado por WW III, o modelo espectral

não linear de geração e propagação de ondas em zonas costeiras, SWAN (Booij *et al.*, 1999), para zonas costeiras e o modelo linear de propagação de ondas em zonas portuárias, DREAMS (Fortes, 2002). Os dados de vento regional necessários para correr juntamente com os dados do modelo WW III no modelo SWAN são disponibilizados através do modelo NAVGEM (Whitcomb, 2012).

No caso do sistema de alerta, utilizam-se as previsões da agitação marítima com antecedência de 180 horas, ao largo, fornecidas pelo modelo WW III e procede-se à sua transferência para zonas costeiras abertas, com o modelo SWAN, e também para o interior de zonas portuárias, com o modelo DREAMS. Obtém-se assim, no ponto de interesse da zona de estudo, a previsão das características da agitação marítima a 180 horas, em termos de H_s , T_m ou T_p , e σ . Neste caso, para a definição das séries temporais do nível do mar necessárias para a propagação da agitação marítima, utilizam-se previsões da maré astronómica obtidas através do *software* XTide (Flater, 1998). A componente da sobrelevação meteorológica tem sido, até à data, considerada de forma aproximada, através de um valor constante.

No caso da avaliação do risco utiliza-se exatamente o mesmo procedimento do sistema de alerta no que diz respeito aos modelos utilizados, mas os dados provenientes do WW III dizem respeito a longas séries temporais, o que permite estabelecer regimes de agitação marítima (observado, médio e de extremos). É de salientar que, neste caso, também se pode recorrer a medições *in situ*, com recurso a boias ondógrafo, e proceder também, caso se justifique, à transferência desses dados para a zona de interesse. Para a definição das séries temporais do nível do mar, utilizam-se dados de marégrafos ou, quando estes não existem, resultados de modelos numéricos que simulam maré astronómica (também disponíveis no XTide) e a componente da sobrelevação meteorológica.

2.2 Galgamento / Inundação

O objetivo do segundo módulo é a estimação dos galgamentos/inundações em áreas costeiras e infraestruturas portuárias. Pretende-se assim, quer no sistema de alerta, quer no módulo de avaliação do risco, estimar os valores do caudal médio galgado ou da cota de inundação correspondentes a uma dada condição de agitação marítima/nível de mar verificada em cada secção das estruturas analisadas na zona de estudo.

Neste projeto, para estimar o galgamento de estruturas marítimas utilizou-se a ferramenta neuronal NN_OVERTOPPING2 (Coeveld *et al.*, 2005), desenvolvida no âmbito do projeto europeu CLASH (Coeveld *et al.*, 2005; Van der Meer *et al.*, 2005; Van Gent *et al.*, 2005). Esta ferramenta processa os resultados produzidos por 700 redes neuronais artificiais, cujos parâmetros de entrada incluem informação sobre a agitação marítima/nível de mar e a geometria da estrutura. A ferramenta fornece o valor do caudal médio galgado por unidade de comprimento do coroamento da estrutura, q , entre outros parâmetros estatísticos.

Tal como ilustra a Figura 1 no seu segundo módulo, a NN_OVERTOPPING2 é utilizada para as áreas portuárias, onde existem estruturas marítimas. Para o caso de se tratarem apenas de zonas costeiras, onde se incluem as praias (com ou sem estruturas aderentes de proteção), são utilizadas apenas fórmulas empíricas, a partir dos resultados dos modelos SWAN e DREAMS ou, até mesmo, do WW III.

2.3 Avaliação do risco

O objetivo do módulo III é a avaliação do risco de galgamento/inundação de zonas costeiras e portuárias, com a subsequente construção de mapas de risco. Pretende-se saber, por um lado, qual a probabilidade de ocorrência de um dado galgamento/inundação “excessivo” a que uma dada secção de uma estrutura está sujeita, através da análise das séries temporais de longa duração dos caudais médios galgados (determinados no módulo II), e por outro avaliar as consequências desses galgamentos/inundações na própria estrutura, bem como na área que essa estrutura protege e nas atividades que aí se desenvolvem. Para o caso de se realizar a avaliação de risco para cenários pré-estabelecidos, aos quais estão normalmente associados períodos de retorno, será apenas necessário fazer uma avaliação das consequências.

Assim, a avaliação do risco é baseada na combinação entre os valores de probabilidade de ocorrência de valores excessivos de galgamento/inundação para a estrutura/área em estudo e os valores atribuídos às consequências dessa ocorrência perigosa. Para simplificar, determina-se o grau de risco e considera-se uma escala de grau de probabilidade, associada à probabilidade de uma ocorrência de galgamento/inundação acima de um certo limiar pré-estabelecido, e uma escala de grau de consequências associada aos prejuízos desse acontecimento (Equação 1).

$$\text{Grau de Risco} = \text{Grau de probabilidade} \times \text{Grau de consequências} \quad (1)$$

Para a avaliação do risco de galgamento/inundação numa dada zona costeira ou portuária, é utilizado o seguinte procedimento:

- Avaliar a natureza das atividades desenvolvidas na zona abrigada por cada secção das estruturas analisadas e qual o impacto do galgamento/inundação/ na segurança de pessoas e infraestruturas;
- Estabelecer os caudais críticos de galgamento associados a cada secção de estrutura analisada. Estes limiares devem ser estabelecidos com base nas recomendações de Pullen *et al.* (2007) e em informação local;
- Avaliar o grau de consequências de ocorrência de um caudal acima dos limites definidos para cada secção de estrutura. A avaliação deste grau pode ser efetuada de forma simplista, como proposto por Raposeiro *et al.* (2010), ou de forma mais elaborada, com base no trabalho desenvolvido em Poseiro *et al.* (2013b);
- Determinar o grau de probabilidade de ocorrência desses caudais associados a cada secção de estrutura. Estes graus foram estabelecidos em Raposeiro *et al.* (2010);
- Avaliar o grau de risco (Raposeiro *et al.*, 2010).

É importante notar que a avaliação do risco não está dissociada do sistema de alerta, uma vez que o estabelecimento dos caudais limites para os quais o sistema alerta as entidades responsáveis depende da análise efetuada na avaliação do risco, principalmente no que diz respeito à avaliação das consequências.

2.4 Sistema de alerta

O objetivo deste módulo é o desenvolvimento de um sistema para previsão, em tempo real, das situações de emergência para uma determinada área de interesse e envio automático de mensagens de alerta para as autoridades responsáveis.

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 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 na componente III do sistema, os limites para os caudais admissíveis. Esses limites já têm em conta as consequências dos galgamentos 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 zona tendo em conta as suas características e as atividades que nela acontecem, bem como uma análise profunda dos galgamentos 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 é 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 3). 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 vários perfis de utilização do sistema. Estes são o público em geral, os especialistas 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 especialistas 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.

Os requisitos do sistema em desenvolvimento contemplam necessidades de informação consideradas pela equipa do projeto HIDRALERTA e que resultam num conjunto de elementos cujas relações se encontram modeladas no diagrama da Figura 4.

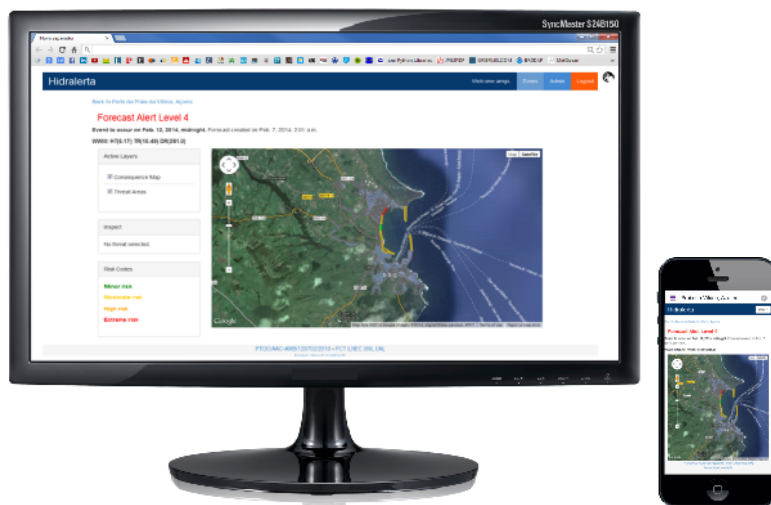


Figura 3. Mapa de previsão de emissão de alerta. Exemplo da adequação de conteúdo da interface *web*, de acordo com as características do *browser* cliente.

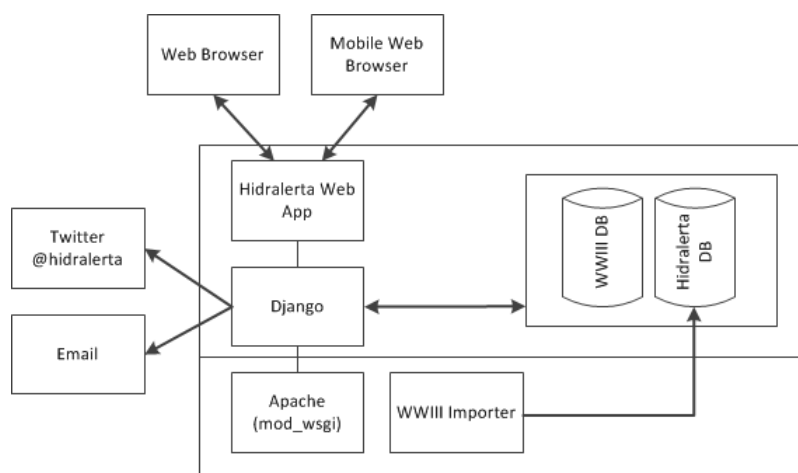


Figura 4. Arquitetura da aplicação.

O modelo de dados relaciona os elementos de informação recebidos (agitação marítima, níveis de mar, ventos e galgamentos), 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. Também contempla os diversos perfis de utilizador.

O sistema de alerta está a ser construído em *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 À PRAIA DA VITÓRIA

3.1 Caracterização do local

A Praia da Vitória localiza-se na costa Este da Ilha Terceira, uma das nove ilhas do arquipélago dos Açores (Figura 5). É limitada a norte pela Ponta da Má Merenda e a sul pela Ponta do Baixio, tendo cerca de 2400 m de comprimento e 1100 m de largura máxima.

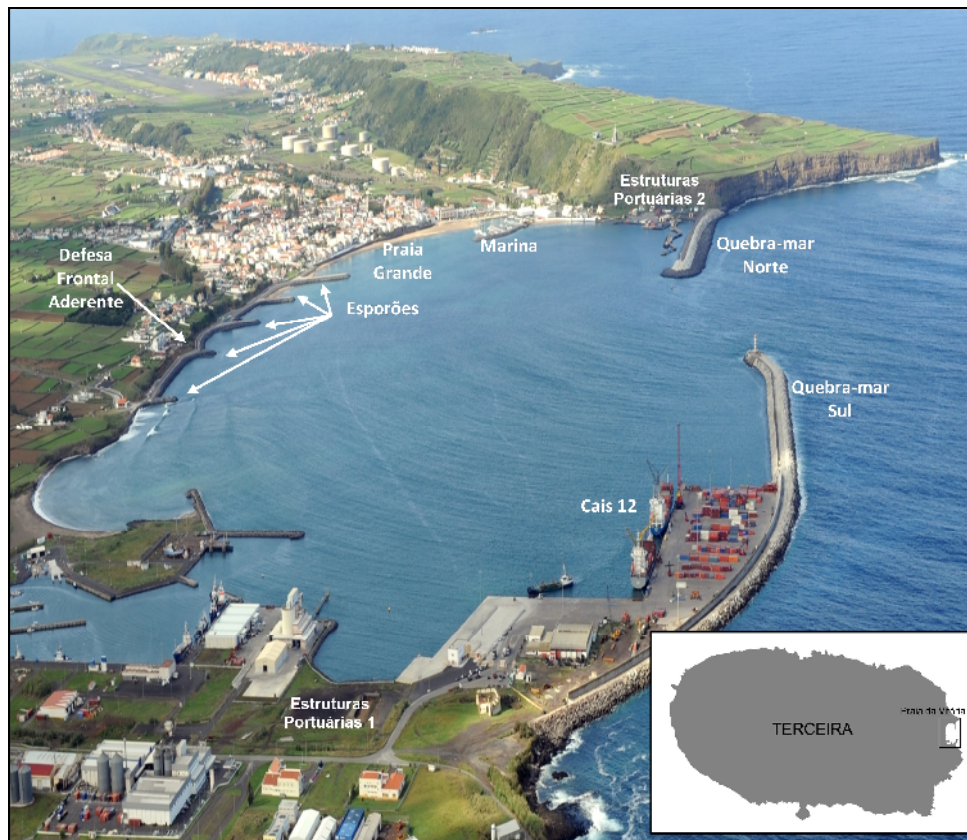


Figura 5. Porto e Baía da Praia da Vitória.

Enraizado na Ponta da Má Merenda e com a direção norte-sul, encontra-se o chamado quebra-mar norte, com 560 m de comprimento, destinado a dar abrigo às instalações portuárias de apoio à Base Aérea das Lajes (Estruturas portuárias 2). O quebra-mar sul, com cerca de 1300 m de comprimento e um traçado curvo, encontra-se enraizado no lado sul da baía, para abrigar o Cais 12 e as instalações portuárias dos setores comercial e das pescas do porto da Praia da Vitória (Estruturas portuárias 1). 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 que enraízam na defesa frontal. Existem algumas praias ao longo da baía, onde se destaca a Praia Grande, no lado norte. Junto a esta praia encontra-se uma marina com cerca de 210 postos de amarração, cais de receção e infraestruturas de apoio.

Nas próximas secções, exemplifica-se a aplicação do sistema de alerta à baía e ao porto da Praia da Vitória, e mais concretamente, ao molhe sul e à defesa frontal aderente, ilustrando-se o tipo de resultados que são obtidos a partir do sistema.

3.2 Aplicação do sistema

Para a caracterização da agitação marítima (H_s , T_m , T_p , ...) ao largo da Praia da Vitória, o sistema utiliza, uma vez por dia, os resultados das previsões da agitação marítima, para as 180 horas seguintes, obtidos com o modelo WW III e que são disponibilizados pelo *The Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center* (FNMOC) de 3 em 3 horas. Para a área em questão, os dados do modelo WW III estão disponíveis com resolução de 1° , desde setembro de 2003. Os dados de vento regional e de níveis de maré, necessários para correr juntamente com os dados do modelo WW III no modelo SWAN, são disponibilizados também pela FNMOC, através do modelo NAVGEM (Whitcomb, 2012), e pelo *software* XTide (Flater, 1998), respetivamente. Este último é um modelo de previsão de maré astronómica que dispõe de informações de marés desde 1700 até 2100. A título de exemplo, apresenta-se na Figura 6 um *Layout* gerado pelo sistema para os dados provenientes do WW III, H_s e ...

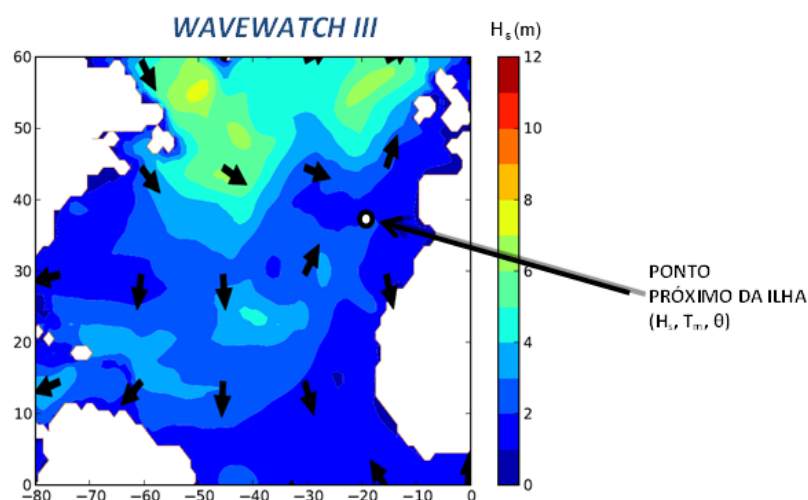


Figura 6. Exemplo do *Layout* gerado pelo sistema para os dados provenientes do WW III, H_s e ...

Dos resultados apresentados pelo modelo WW III são extraídos os valores que se encontram mais perto da Ilha Terceira para que estes representem as condições de fronteira para os modelos que serão usados de seguida. Esses valores são transferidos para o interior do porto e da baía da Praia da Vitória com recurso a dois modelos de propagação e deformação da agitação marítima: o modelo SWAN e o modelo DREAMS. A utilização dos modelos e as suas condições de aplicação encontram-se descritas em Neves *et al.* (2012). Na Figura 7 são apresentados o tipo de *layouts* gerados pelo sistema de alerta para os resultados obtidos pelo modelo SWAN, H_s e ..., e DREAMS, H_s e ...

No cálculo dos galgamentos sobre as duas estruturas consideradas utilizou-se a ferramenta NN_OVERTOPPING2. A metodologia encontra-se descrita em Poseiro *et al.*

(2013a). Na Figura 8 exemplifica-se o tipo de *layouts* gerado pelo sistema de alerta com os resultados obtidos ao longo do porto e baía da Praia da Vitória pela ferramenta NN_OVERTOPPING2 para oito secções (D1 a D8), que correspondem também às secções nas quais é necessário calcular as condições de agitação marítima.

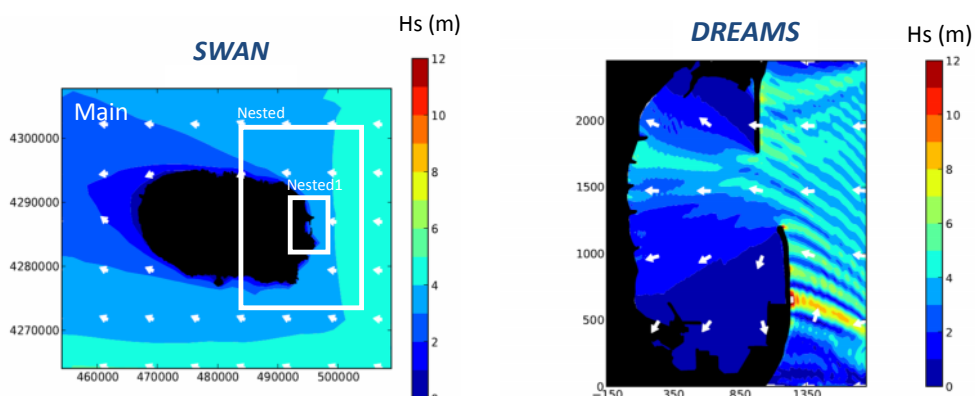


Figura 7. Exemplo dos Layouts gerados pelo sistema de alerta para os resultados obtidos pelo modelo SWAN, H_s e σ (as várias grelhas consideradas no modelo foram Main_Grid, Nested_Grid e Nested1_Grid) e DREAMS, H_s e σ .

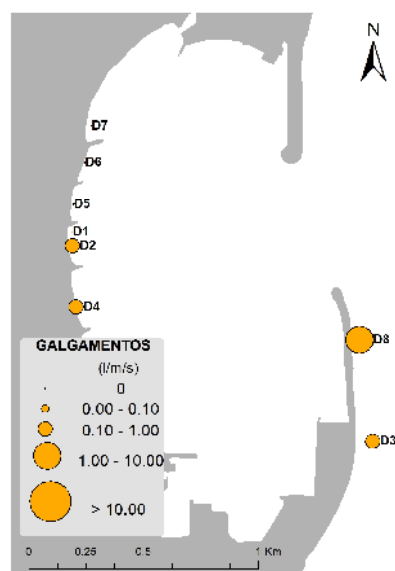











Figura 8. Exemplo de *layout* gerado pelo sistema de alerta para os resultados obtidos pela ferramenta NN_OVERTOPPING2.

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). O Quadro 1 mostra os limites de caudais médios galgados associados a cada tipo de perigo. Estes limites dependem das características das estruturas 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 reconhecido pelo sistema.

Quadro 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 coroaamento e o tardoaz 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

Seguidamente, caracterizaram-se cada uma das secções das estruturas estudadas (D1 a D8) e identificaram-se as atividades que aí acontecem, bem como os perigos que lhes estão associados. De acordo com os limites apresentados no Quadro 1, construiu-se a título de exemplo o Quadro 2 para as secções D3 e 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 este quadro 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.

Quadro 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; ∞[
D3		7	7	7	7	7
			1	1	1	1
			6	6	6	6
				4	4	4
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 no Quadro 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 9).

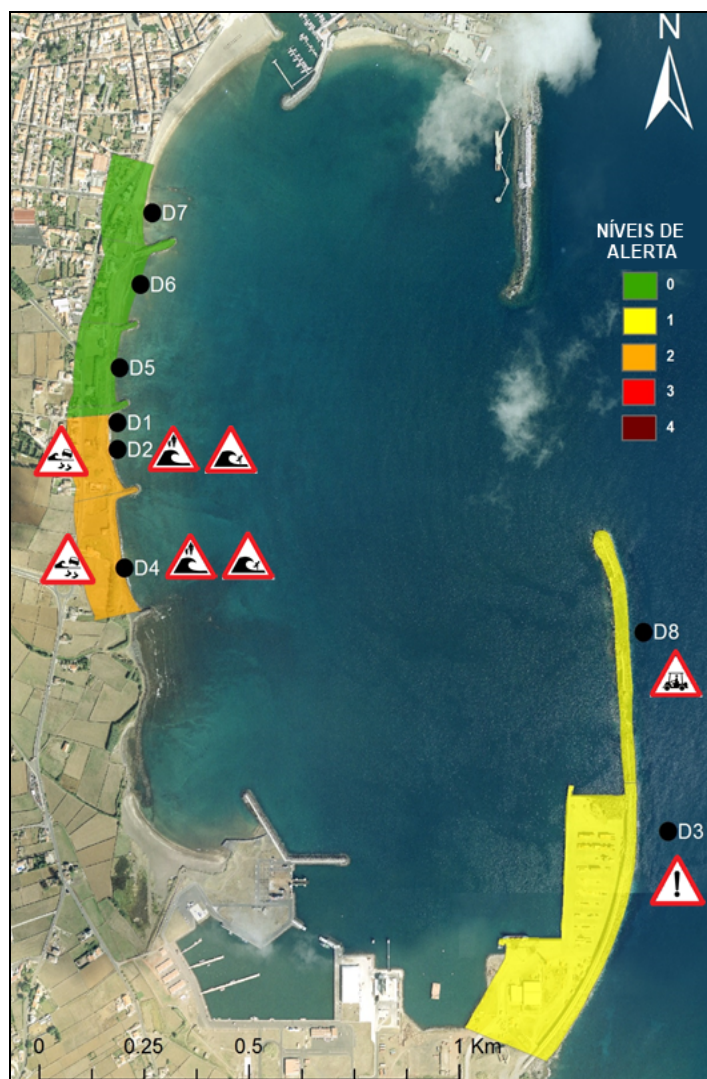


Figura 9. Exemplo de *layout* de alerta gerado pelo sistema

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentou-se nesta comunicação, o Sistema de Previsão e Alerta de Inundações em Zonas Costeiras e Portuárias - HIDRALERTA, que se encontra em desenvolvimento no LNEC. O sistema é composto por quatro módulos principais: I – Características da agitação marítima; II – Galgamento / inundação; III – Avaliação do risco; e IV - Sistema de alerta. A aplicação do sistema de alerta, módulos I, II e IV, foi efetuada ao porto e à baía da Praia da Vitória, Ilha Terceira, Açores, de modo a ilustrar as potencialidades destes módulos do sistema.

O sistema encontra-se ainda a ser implementado, nomeadamente o módulo IV, relativo ao sistema de alerta. Os dois primeiros módulos estão já em funcionamento em permanência. O sistema precisa de ser validado com a colaboração das autoridades locais e com dados históricos, no sentido de se tornar um sistema altamente fiável.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e a Tecnologia (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 ao Luís Teixeira da Praia Ambiente, Anabela Simões e Eduardo Azevedo da Universidade dos Açores e Maria Conceição Rodrigues da Azorina pela colaboração e disponibilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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. Geographical Res., C4, 104, 7649-7666.

Coeveld, E.M., Van Gent, M.R.A. e Pozueta, B. (2005). *Neural Network: Manual NN_OVERTOPPING2*. CLASH WP8 – Report BV.

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

Fortes, C.J.E.M. (2002). *Transformações Não Lineares de Ondas em Zonas Portuárias. Análise pelo Método dos Elementos Finitos*. Tese de Doutoramento, Eng. Mecânica, IST. Lisboa.

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., Azevedo, E.B. (2013). O projeto HIDRALERTA - sistema de previsão e alerta de inundações em zonas costeiras e portuárias. In *8ªs JPECP*, LNEC, 10 e 11 de outubro. Lisboa.

Neves, D.R., Santos, J.A., Reis, M.T., Fortes, C.J.E.M., Simões, A., Azevedo, E.B. e Rodrigues, M.C. (2012). Metodologia de avaliação do risco associado ao galgamento de estruturas marítimas. Aplicação ao porto e à baía da Praia da Vitória, Açores, Portugal. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 12(3), 291-312.

Neves, P., Poseiro, P., Fortes, C.J.E.M., Reis, M.T., Capitão, R., Antunes do Carmo, J.S., Raposeiro, P., Ferreira, J.C. (2013). Aplicação da metodologia de avaliação do risco de inundação/galgamento na praia de São João da Caparica. In *8ªs JPECP*, LNEC, 10 e 11 de outubro. Lisboa.

Poseiro, P., Fortes, C.J.E.M., Reis, M.T., Santos, J.A., Simões, A., Rodrigues, C. e

Azevedo, E. (2013a). A methodology for overtopping risk assessment in port areas: Application to the Port of Praia da Vitória (Azores, Portugal). In SCACR, LNEC, 4 a 7 de junho. Lisboa.

Poseiro, P., Fortes, C.J.E.M., Santos, J.A., Reis, M.T. e Craveiro, J. (2013b). Aplicação do processo de análise hierárquica (AHP) à análise das consequências de ocorrência de galgamentos. O caso da baía da Praia da Vitória. In 8ªs JPECP, LNEC, 10 e 11 de outubro. Lisboa.

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. Netwerk Waterkeren, NL, Kuratorium fur Forschung im Kusteningenieurwesen, DE, August.

Raposeiro P.D, Fortes, C.J.E.M., Reis, M.T. e Ferreira, J.C. (2010). *Development of a methodology to evaluate the flood risk at the coastal zone*. In Geographic Technologies Applied to Marine Spatial Planning and Integrated Coastal Zone Management, Calado, H. e Gil, A. (Eds.), Universidade dos Açores – Centro de Informação Geográfica e Planeamento Territorial, agosto, 129-137. ISBN: 978-972-8612-64-1.

Rocha, T. (2012). *Avaliação do Galgamento de Estruturas Portuárias. Aplicação ao Porto da Praia da Vitória, Açores*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Especialização em Hidráulica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto.

Rocha, T., Fortes, C., Reis, M.T., Santos, J.A., Neves, D., Portela, L. e Pinto, F.T. (2013). Avaliação Comparativa do Risco de Galgamentos na Praia da Vitória, Terceira, Açores. *Vetor – Revista de Ciências Exatas e Engenharias*, 23(1), 104-120.

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

Van der Meer, J.W., Van Gent, M.R.A., Pozueta, B., Verhaeghe, H., Steendam, G.J. e Medina, J.R. (2005). Applications of a neural network to predict wave overtopping at coastal structures. In *ICE Coasts, Structures & Breakwaters'05*, Thomas Telford, London, 259-268.

Van Gent, M.R.A., Pozueta, B., Van den Boogaard, H.F.P. e Medina, J.R. (2005). *D42 Final Report on Generic Prediction Method*, 33 p., CLASH WP8 Report, Delft, Holanda.

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

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 *Mediterranean Days of Coastal, Port Engineering*, Palermo, 7-9 October. Itália.