



territorium • 22

RISCOS

TERRITÓRIOS DE CONVERGÊNCIA

Imprensa da Universidade de Coimbra  
Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança

2015

RISCO DE GALGAMENTO NAS ESTRUTURAS MARÍTIMAS DA PRAIA DA VITÓRIA:  
RESULTADOS DO SISTEMA HIDRALERTA\*

103

OVERTOPPING RISK AT PRAIA DA VITÓRIA MARITIME STRUCTURES: RESULTS FROM THE HIDRALERTA SYSTEM

C. J. E. M. Fortes

Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC  
[jfortes@lneec.pt](mailto:jfortes@lneec.pt)

R. Reis

Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC  
[reis@lneec.pt](mailto:reis@lneec.pt)

M. T. Reis

Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC  
[treis@lneec.p](mailto:treis@lneec.p)

P. Poseiro

Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC  
[pposeiro@lneec.pt](mailto:pposeiro@lneec.pt)

J. Craveiro

Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC  
[jcraveiro@lneec.pt](mailto:jcraveiro@lneec.pt)

J. A. Santos

Instituto Superior de Engenharia de Lisboa - ISEL  
[jasantos@dec.isel.pt](mailto:jasantos@dec.isel.pt)

RESUMO

O sistema HIDRALERTA é um sistema de previsão, alerta e avaliação de risco associado ao galgamento e inundação em zonas costeiras e portuárias, tendo como ideia base a utilização de medições/previsões da agitação marítima, para calcular os seus efeitos em termos de galgamentos e inundações. Este trabalho descreve a componente Avaliação do Risco do sistema HIDRALERTA e apresenta aplicações ao porto e baía da Praia da Vitória, ilustrando as potencialidades do mesmo.

**Palavras-chave:** HIDRALERTA, agitação marítima, galgamento, inundação, risco.

ABSTRACT

The HIDRALERTA system is a system of forecasting, risk assessment and warning associated with the overtopping and flooding in coastal and port areas, with the basic idea of using measurements/estimates of wave conditions to calculate their effects in terms of overtopping and flooding. This paper describes the Risk Evaluation component of the HIDRALERTA system and presents applications to the port and bay of Praia da Vitória, illustrating its potential.

**Keywords:** HIDRALERTA, wave conditions, wave overtopping, flooding, risk.

RESUMEN

*Riesgo de rebase en las estructuras marítimas de Praia da Vitória: Resultados del sistema HIDRALERTA* - El sistema HIDRALERTA es un sistema de previsión, alerta y evaluación del riesgo asociado con el desbordamiento e inundación en zonas costeras y portuarias. Se basa en la utilización de mediciones/predicciones de agitación marítima para calcular sus efectos en términos de desbordamiento e inundación. Este artículo describe la componente de Evaluación de Riesgo del sistema HIDRALERTA y presenta sus aplicaciones al puerto y bahía de Praia da Vitória, lo que ilustra su potencial.

**Palabras clave:** HIDRALERTA, agitación marítima, desbordamiento, inundación, riesgo.

RÉSUMÉ

*Risque de franchissement sur les structures maritimes de Praia da Vitória: Résultats du système HIDRALERTA* - Le système HIDRALERTA est un système de prévision, d'alerte et d'évaluation du risque associé au franchissement et l'inondation des zones côtières et portuaires, avec l'idée de base de l'utilisation de mesures/estimations des vagues pour calculer leurs effets en termes de franchissements et d'inondations. Cet article décrit la composante Evaluation du Risque du système HIDRALERTA et présente des applications au port et la baie de Praia da Vitória, illustrant le potentiel de celui-ci.

**Mots-clé:** HIDRALERTA, vagues, franchissement, inondation, risque.

\* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada no III Congresso Internacional, I Simpósio Ibero-Americano e VIII Encontro Nacional de Riscos, tendo sido submetido em 30-01-2015, sujeito a revisão por pares a 30-04-2015 e aceite para publicação em 21-07-2015.

Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 22, 2015, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

## Introdução

A avaliação do risco de ocorrência de galgamentos/inundações em zonas costeiras e portuárias tem grande relevância para a segurança e gestão destas zonas. Encontra-se em desenvolvimento, desde 2010, o sistema HIDRALERTA (P. D. Raposeiro *et al.*, 2010, 2013, T. Rocha, 2012, P. Neves *et al.*, 2013, P. Poseiro *et al.*, 2013a, b, 2014, C. J. E. M. Fortes *et al.*, 2013, 2014a, b), que é um sistema de previsão, alerta e avaliação de risco associado ao galgamento e inundações em zonas costeiras e portuárias, a partir de medições/previsões da agitação marítima ao largo. O sistema está a ser desenvolvido, por componentes, em linguagem *Python* e implementado numa plataforma *WebGIS*.

Trata-se de uma ferramenta para: a) a previsão da ocorrência de situações de emergência e o alerta às entidades responsáveis, para que estas tomem medidas que evitem perda de vidas e minimizem 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 e portuárias.

O sistema é constituído por quatro módulos (fig. 1): I - Características da Agitação Marítima; II - Galgamento/Inundação; III - Avaliação do Risco; e IV - Sistema de Alerta.



Fig. 1 - Esquema do sistema HIDRALERTA.

Fig. 1 - Sketch of the HIDRALERTA system.

O módulo I (Características da Agitação Marítima) tem como objetivo a determinação das características da agitação marítima ao largo e em áreas costeiras e portuárias e 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) possibilita a avaliação dos galgamentos e inundações em zonas costeiras e infraestruturas portuárias e para tal calcula:

- Em zonas costeiras, os valores do espraçamento (*runup*) e consequente galgamento e/ou inundações, recorrendo a fórmulas empíricas baseadas em medições de campo e em ensaios em modelos físicos reduzidos. A cota de inundações é obtida pela soma do espraçamento com o nível de maré (maré astronómica e sobrelevação meteorológica);
- Em zonas portuárias, os valores do caudal médio galgado com recurso a ferramentas baseadas na aplicação de redes neuronais artificiais (ferramentas neuronais).

O módulo III (Avaliação do Risco) permite a avaliação do risco de galgamento/inundações de zonas costeiras e portuárias, com a subsequente construção de mapas de risco para apoio à gestão dessas zonas e produz informação adicional que serve de base ao sistema de alerta (módulo IV). Baseia-se na análise das séries temporais longas de agitação e galgamentos (ou cenários pré-definidos associados às mudanças climáticas e/ou eventos extremos) obtidas nos módulos II e III, respetivamente. O módulo IV avalia as situações de emergência, em tempo real, para uma determinada área de interesse e envia automaticamente mensagens de alerta para as autoridades responsáveis.

Os protótipos do sistema estão a ser construídos para dois locais da costa portuguesa: o porto da Praia da Vitória, Terceira, Açores e a praia de S. João da Caparica, Almada.

A descrição mais detalhada da metodologia adotada no sistema HIDRALERTA, bem como o seu processo de implementação, podem ser consultados em P. Poseiro *et al.* (2013a, b, 2014) e C. J. E. M. Fortes *et al.* (2013, 2014a, b).

Este artigo descreve o trabalho que tem vindo a ser desenvolvido na implementação do sistema, nas suas componentes de avaliação do risco (módulos I a III), no porto da Praia da Vitória, localizado na ilha Terceira do Arquipélago dos Açores. Ilustram-se, para este porto, dois desses desenvolvimentos efetuados ao nível dos módulos II e III, nomeadamente:

- A utilização de outra ferramenta neuronal, Overtopping Predictor v1.1 (H. Verhaeghe, 2005), em alternativa à NN\_OVERTOPPING2 (E. M. Coeveld *et al.*, 2005), com o objetivo de comparar os resultados de galgamentos destas duas ferramentas (R. Reis *et al.*, 2014);
- A avaliação das consequências (P. Poseiro *et al.*, 2013b) através da aplicação do Processo de Análise Hierárquica (AHP), que consiste no desenvolvimento de um índice espacial de pressão antrópica (O. Antunes, 2012, J. L. Craveiro, 2014). A metodologia AHP baseia-se na ponderação de dimensões e

indicadores de vulnerabilidade com recurso a sucessivas avaliações emparelhadas através de uma escala convencional adotada e a testes de consistência para validação de resultados.

Assim, depois desta introdução apresenta-se uma breve descrição da metodologia de avaliação do risco e das suas respetivas etapas, evidenciando os procedimentos associados à sua implementação no sistema HIDRALERTA. São ilustradas aplicações do sistema HIDRALERTA ao porto e baía da Praia da Vitória.

### Metodologia de Avaliação do Risco

A metodologia para a avaliação do risco da ocorrência de galgamentos de estruturas marítimas em desenvolvimento no LNEC contempla três módulos no sistema HIDRALERTA (fig. 1): I - Características da Agitação Marítima; II - Galgamento/Inundação; e III - Avaliação do Risco.

#### Módulo I - Características da Agitação Marítima

O objetivo deste módulo é a determinação das características da agitação marítima na zona em estudo (zonas portuárias ou costeiras) em termos de altura de onda significativa ( $H_s$ ), período de onda (médio,  $T_m$ , ou de pico,  $T_p$ ) e direção média ( $Dir_p$ ). Essas características de agitação marítima podem ser obtidas com base em séries temporais longas fornecidas ao largo da zona em estudo por modelos numéricos de previsão da agitação marítima à escala regional, como é o caso do modelo WaveWatch III (H.L. Tolman, 1999). Com base nestas estimativas, são aplicados outros modelos numéricos para a propagação da agitação marítima desde o largo até junto à costa (SWAN, N. Booij *et al.*, 1999) ou até ao interior de uma zona abrigada ou portuária (DREAMS, C. J. E. M. Fortes, 1993).

Para a implementação deste módulo no sistema, foi necessário efetuar os seguintes passos: a) Automatizar o processo de recolha dos dados (P. Poseiro *et al.*, 2013a) de agitação marítima provenientes do modelo de previsão WaveWatch III (FNMOCC - *The Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center*) ou do modelo WAM (ECMWF - *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*), dos dados das marés astronómicas, com o modelo WXTide, e os dados de ventos, fornecidos também pelo FNMOCC ou pelo ECMWF; b) Acoplar os modelos numéricos SWAN e DREAMS (incluindo o forçamento do SWAN com resultados dos modelos referidos em a), P. Poseiro *et al.* (2013a), e validar cada modelo, bem como o seu acoplamento, através da comparação com dados *in situ*, obtidos na zona da Costa da Caparica em campanhas de medição de agitação marítima (29-30 de outubro, 2012), (R. Capitão *et al.*, 2012, 2014) e de levantamento de perfis de praia (29-30 de abril, 2014, 10-11 de setembro, 2014; c) Automatizar os

processos de visualização da informação gerada por cada um dos modelos numéricos (P. Poseiro *et al.*, 2013a, 2014).

#### Módulo II - Galgamento/Inundação

A avaliação dos galgamentos pode ser efetuada com recurso a modelos físicos, modelos numéricos, fórmulas empíricas ou ferramentas neuronais. No presente sistema são usadas fórmulas empíricas para a determinação do espraçamento/galgamento e consequente cota de inundação em zonas costeiras e ferramentas neuronais para estimar os galgamentos em estruturas portuárias.

No caso de zonas costeiras, o cálculo do espraçamento (*runup*) é estimado através da aplicação, quer da fórmula empírica proposta por I. A. Hunt (1959), obtida com base em ensaios em modelo físico, quer das propostas por R. T. Guza e E. B. Thornton (1982), R.A. Holman (1986), P. Nielsen e D. J. Hanslow (1991), P. Ruggiero *et al.* (2001), H. F. Stockdon *et al.* (2006) e S. B. 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 H. 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 (maré astronómica e sobrelevação meteorológica).

No caso de zonas portuárias, utilizaram-se duas ferramentas neuronais para estimar galgamentos em estruturas do tipo quebra-mar de talude e defesa frontal aderente em talude (em zonas portuárias), quando nelas incide um estado de agitação marítima: a ferramenta NN\_OVERTOPPING2 (E. M. Coeveld *et al.*, 2005), desenvolvida no âmbito do Projeto Europeu CLASH, e a ferramenta Overtopping Predictor v1.1, desenvolvida por H. Verhaeghe (2005) na Universidade de Gent, Bélgica, em paralelo com o mesmo projeto. As redes neuronais das duas ferramentas utilizam parâmetros de entrada que incluem informação sobre a agitação marítima e a geometria do perfil da estrutura. Os resultados são o valor médio do caudal médio galgado por unidade de comprimento do coroamento da estrutura,  $q$ , bem como outros valores característicos desta grandeza obtidos a partir da amostra gerada pelo conjunto de redes neuronais. Para além destes valores, as ferramentas também estimam o caudal médio galgado esperado no protótipo, i.e., o valor de  $q$  corrigido para ter em linha de conta alguns efeitos de escala (por exemplo, devido a escalar o tamanho do material do núcleo da estrutura de acordo com as suas dimensões e não com as velocidades no núcleo) e de modelo (por exemplo, a não consideração do vento no modelo físico). As principais diferenças entre as duas ferramentas estão relacionadas

com o número de testes de galgamentos e algoritmos matemáticos usados no treino e teste das ferramentas. A principal mais-valia proporcionada pela ferramenta Overtopping Predictor v1.1 é a sua capacidade em identificar condições de agitação marítima incidentes na estrutura que conduzem a situações de galgamento nulo.

Para a implementação deste módulo no sistema, houve que: a) Realizar um conjunto de programas em FORTRAN para a implementação das fórmulas empíricas (P. Neves *et al.*, 2013, M. Martinho, 2014), de modo a efetuar o acoplamento destas fórmulas com os modelos numéricos de propagação de ondas, bem como a visualização automática dos resultados; b) Realizar um conjunto de programas em FORTRAN para a implementação da ferramenta neuronal NN\_OVERTOPPING2, de modo a efetuar o acoplamento desta ferramenta com os modelos numéricos de propagação de ondas, bem como a visualização automática dos resultados, (P. Poseiro *et al.*, 2014); c) Utilizar outra ferramenta neuronal, Overtopping Predictor v1.1, em alternativa à NN\_OVERTOPPING2, com o objetivo de comparar os resultados de galgamentos destas duas ferramentas (R. Reis *et al.*, 2014).

### Módulo III - Avaliação do Risco

A avaliação do risco aos galgamentos e inundação de uma dada zona de estudo é baseada na combinação entre os valores de probabilidade de ocorrência de galgamentos superiores a um determinado limiar de caudal médio galgado e os valores de consequências relativos à superação desse limiar. Por simplificação, atribui-se à probabilidade de ocorrência uma escala de graus de

probabilidade, em vez da probabilidade da ocorrência do acontecimento perigoso, e às consequências uma escala de graus de consequências, em vez do prejuízo associado a este acontecimento.

Assim, o grau de risco é dado por: Grau de Risco = Grau de Probabilidade x Grau de Consequências. Para definir esses graus, a TABELA I é usada como guia de orientação. Note-se que os limites correspondentes aos graus nas tabelas de probabilidade e de consequências, bem como o próprio número de graus, devem refletir as características do problema em análise.

Para uma zona portuária, o processo de avaliação qualitativa do risco de galgamento de uma estrutura marítima é feito da seguinte forma:

- Divisão do local de estudo em subzonas, atendendo ao perfil transversal da estrutura e ao tipo de utilização da zona por ela protegida e consequente variabilidade do caudal médio admissível de galgamento;
- Estabelecimento dos caudais médios admissíveis de galgamento associados a cada secção de estrutura analisada, tendo em conta a natureza das atividades desenvolvidas na zona abrigada. Estes limiares devem ser estabelecidos com base nas recomendações de T. Pullen *et al.* (2007) e em informação local fornecida pelas autoridades portuárias;
- Cálculo da probabilidade de ocorrência de galgamentos não admissíveis, com base na resposta da estrutura à agitação incidente e nos limites admissíveis para cada tipo de estrutura. A

TABELA I - Avaliação do grau de risco e da sua aceitabilidade.

TABLE I - Evaluation of the risk level and its acceptability.

GRAU DE RISCO		Consequências				
		1	2	5	10	25
Probabilidade de Ocorrência	1	1	2	5	10	25
	2	2	4	10	20	50
	3	3	6	15	30	75
	4	4	8	20	40	100
	5	5	10	25	50	125

Grau de Risco	Descrição	Controlo de Risco (Guia de Orientação)
1-3	Insignificante	Risco desprezável; não é preciso levar a cabo medidas de controlo de risco
4-10	Reduzido	Risco que pode ser considerado aceitável/tolerável caso se selecione um conjunto de medidas para o seu controlo, possíveis danos materiais de pequena dimensão
15-30	Indesejável	Risco que deve ser evitado se for razoável em termos práticos; requer uma investigação detalhada e análise de custo-benefício; é necessário a monitorização
40-125	Inaceitável	Risco intolerável; tem que se proceder ao controlo do risco (e.g. eliminar a origem dos riscos, alterar a probabilidade de ocorrência e/ou as consequências, transferir o risco, etc.)

classificação dessa probabilidade é efetuada tendo em conta os graus definidos na TABELA II.

TABELA II - Grau de probabilidade associado à ocorrência de acontecimento perigoso.

TABLE II - Probability level associated with the occurrence of a dangerous event.

Descrição	Probabilidade de Ocorrência (Guia de Orientação)	Grau
Improvável	0 - 1%	1
Raro	1 - 10%	2
Ocasional	10 - 25%	3
Provável	25 - 50%	4
Frequente	> 50%	5

- Avaliação do grau de consequências de ocorrência de um caudal médio de galgamento acima dos limites definidos para cada secção de estrutura. A avaliação deste grau pode ser efetuada de forma simplista, como proposto por P. Poseiro *et al.* (2013a), ou de forma mais elaborada, como proposto em P. Poseiro *et al.* (2013b), através da metodologia AHP, O. Antunes (2012). A metodologia AHP tem como mais-valia metodológica produzir um valor sobre a própria qualidade da produção de resultados, conduzindo a um sistema integrado de ponderações finais e de hierarquização das dimensões e indicadores selecionados;
- Obtenção do grau de risco para cada subzona através do produto entre o grau da probabilidade de ocorrência e o grau de consequências de ocorrência de galgamentos não admissíveis (TABELA I).

Para a avaliação do risco de inundação em zonas costeiras, por exemplo, em praias, é necessário:

- Dividir o local de estudo em subzonas, atendendo às características da praia em estudo e ao tipo de utilização da zona protegida por esta;
- Definir para cada subzona a cota máxima de inundação de cada zona da praia;
- Determinar a probabilidade de ocorrência de inundação com base na definição da cota máxima de inundação mencionada no ponto acima e classificar essa probabilidade atendendo aos graus definidos na tabela de probabilidades de ocorrência (TABELA II);
- Analisar as consequências de ocorrência de inundação e definir o grau de consequências. A avaliação deste grau pode ser efetuada de forma simplista, como proposto por P. D. Raposeiro *et al.* (2010) e M. Martinho (2014), ou mais recentemente, por J. C. Ferreira *et al.* (2014);

- Multiplicar o valor do grau de probabilidade de ocorrência pelo valor do grau de consequências para obter o grau de risco de ocorrência de inundações não admissíveis nessa zona da praia (TABELA I).

Uma vez que a avaliação do risco está ligada ao local de estudo, a implementação deste módulo no sistema envolveu: a) Avaliação do risco de galgamento e inundação com base numa metodologia qualitativa de avaliação das consequências para o caso de estudo da Praia da Vitória e da Costa da Caparica, P. Neves *et al.* (2013) e P. Poseiro *et al.* (2013a, 2014); b) Análise da evolução do risco costeiro na Costa da Caparica através da aplicação do Índice de Vulnerabilidade Costeira (CVI), Índice de Perigosidade Costeira (CHI) e Índice do Valor dos Elementos Expostos (VEI), J. C. Ferreira *et al.* (2014); c) Avaliação das consequências (P. Poseiro *et al.*, 2013b) através da aplicação do Processo de Análise Hierárquica (AHP) que consiste no desenvolvimento de um índice espacial de pressão antrópica (O. Antunes, 2012, J. L. Craveiro, 2014), para o caso da Praia da Vitória.

#### Aplicação do Sistema HIDRALERTA na Avaliação do Risco de Galgamento no Porto e Baía da Praia da Vitória

##### Caracterização do Porto e Baía da Praia da Vitória

O porto e baía da Praia da Vitória situam-se na costa Este da ilha Terceira, no arquipélago dos Açores. A baía, limitada a norte pela Ponta da Má Merenda e a sul pela Ponta do Espírito Santo, tem cerca de 2400 m de comprimento e 1100 m de largura máxima (fig. 2).

Com a direção norte-sul, o quebra-mar norte, com 560 m de comprimento, destina-se 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, abriga as instalações portuárias dos sectores comercial e das pescas (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, em frente à abertura existente entre os quebra-mares. Estes esporões têm comprimentos diferentes, estão implantados segundo uma direção próxima de WSW-ENE e são aqui referidos como esporões 1 a 5, de sul para norte (fig. 2).

##### Estruturas Marítimas Portuárias

Com o intuito de simplificar a caracterização das estruturas do porto, foram selecionadas secções-tipo para determinados troços de cada uma das estruturas: quebra-mares sul e norte e defesa frontal (fig. 3).

No quebra-mar sul, consideram-se duas secções: uma em frente ao Cais 12 (perfil D3) (fig. 4-A) e outra entre o Cais 12 e a cabeça do quebra-mar (perfil D8) (fig. 4-B). O trecho do quebra-mar que protege o Cais 12 tem o manto protetor constituído por tetrápodos e um muro-cortina com 3.9 m de altura (fig. 4-A). No trecho entre o Cais 12 e a cabeça do quebra-mar sul o manto protetor é constituído pelos mesmos blocos de betão, mas não existe muro-cortina (fig. 4-B). O quebra-mar norte é caracterizado por um perfil-tipo (perfil D9) (fig. 5) protegido por um manto de core-locs. Ao longo da defesa frontal (perfis D1, D2 e D4 a D7) (fig. 6), os perfis das estruturas são de dois tipos: o perfil D1 junto ao esporão 3 (fig. 6-A) e o perfil D2 e D4 a D7 entre esporões (fig. 6-B).

### Zonas Protegidas pelas Estruturas

Para caracterizar as zonas do porto e baía da Praia da Vitória protegidas pelas estruturas marítimas, foram identificados os tipos de utilização das mesmas: o uso do solo, as vias de comunicação, os edifícios, os alojamentos e as pessoas residentes (fig. 7). Identificaram-se também as cotas de inundação correspondente a cada zona do porto e baía (fig. 7 C).

No caso do uso do solo e no que diz respeito aos seus atributos (zonas balneares, espaços urbanos, espaços agrícolas, etc.) verifica-se uma grande heterogeneidade na sua distribuição espacial, dada a existência de espaços urbanos e industriais e infraestruturas marítimas localizados perto do mar.

Em relação às vias de comunicação, existe uma via principal, que ladeia a baía da Praia da Vitória, na qual confluem outras vias com diferentes níveis de relevância de acordo com a tipologia da via, que permitem o acesso às zonas mais interiores da ilha. Ao longo desta via principal, são vários os edifícios.



Fig. 3 - Localização das secções (D1 a D9) representativas das estruturas.

Fig. 3 - Location of sections (D1 to D9) representative of the structures.

A maioria destes edifícios encontra-se na zona da vila, a norte da baía da Praia da Vitória.

### Aplicações do Sistema

São várias as aplicações efetuadas do sistema, na sua vertente de avaliação de risco de galgamento (Módulos I, II e III) (fig. 1), ao porto e baía da Praia da Vitória, (P.

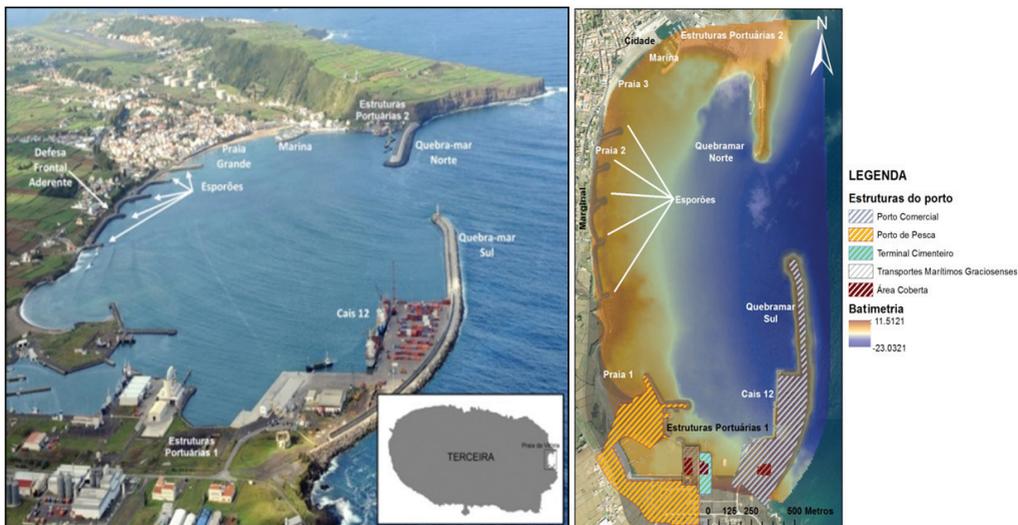
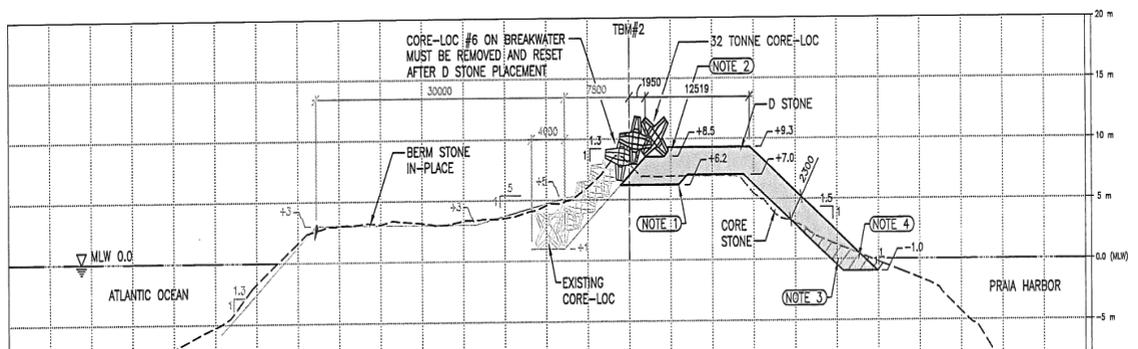
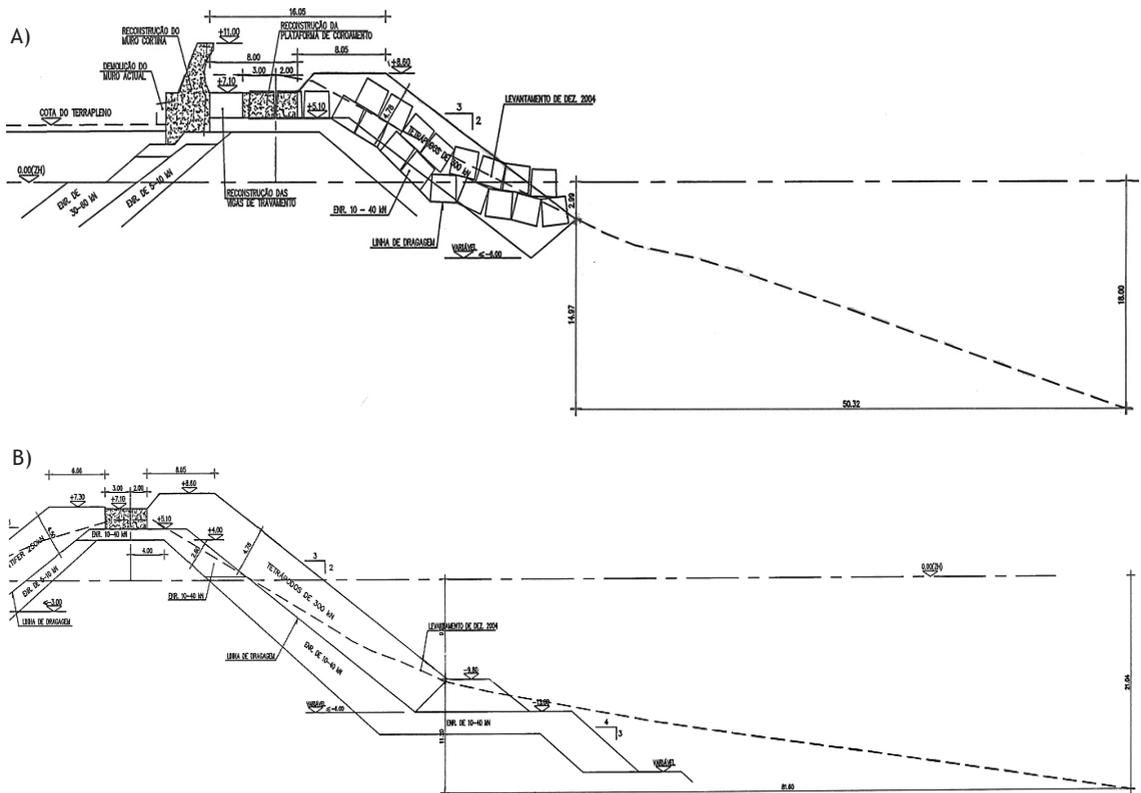


Fig. 2 - Visão geral das estruturas e atividades do porto e baía da Praia da Vitória (P. Poseiro et al., 2013b).

Fig. 2 - General view of the structures and activities of Praia da Vitória port and bay (P. Poseiro et al., 2013b).



Poseiro *et al.*, 2013 a, b, 2014). Os seguintes subcapítulos resumem, respetivamente, as aplicações feitas dos dois desenvolvimentos mais recentemente efetuados no módulo II - Galgamento/Inundação e no módulo III - Avaliação do Risco.

#### Comparação de Ferramentas Neurais na Avaliação do Risco de Ocorrência de Galgamentos

Um dos recentes estudos neste porto (R. Reis *et al.*, 2014) foi a aplicação de duas ferramentas neurais distintas, NN\_OVERTOPPING2 e Overtopping Predictor v1.1, para o

cálculo dos galgamentos das estruturas portuárias e do respetivo risco associado.

A razão para este estudo deveu-se ao facto da ferramenta NN\_OVERTOPPING2, utilizada em estudos anteriores (P. Poseiro *et al.*, 2013a), ter revelado dificuldades no fornecimento de valores de caudal médio galgado (e conseqüente cálculo do grau de risco) para situações onde realmente se verificava a sua existência. Em R. Reis *et al.* (2014) pretendeu-se testar a ferramenta Overtopping Predictor v1.1 na correção de tais limitações. Esta ferramenta (Overtopping Predictor v1.1) apresenta mais abrangência no cálculo

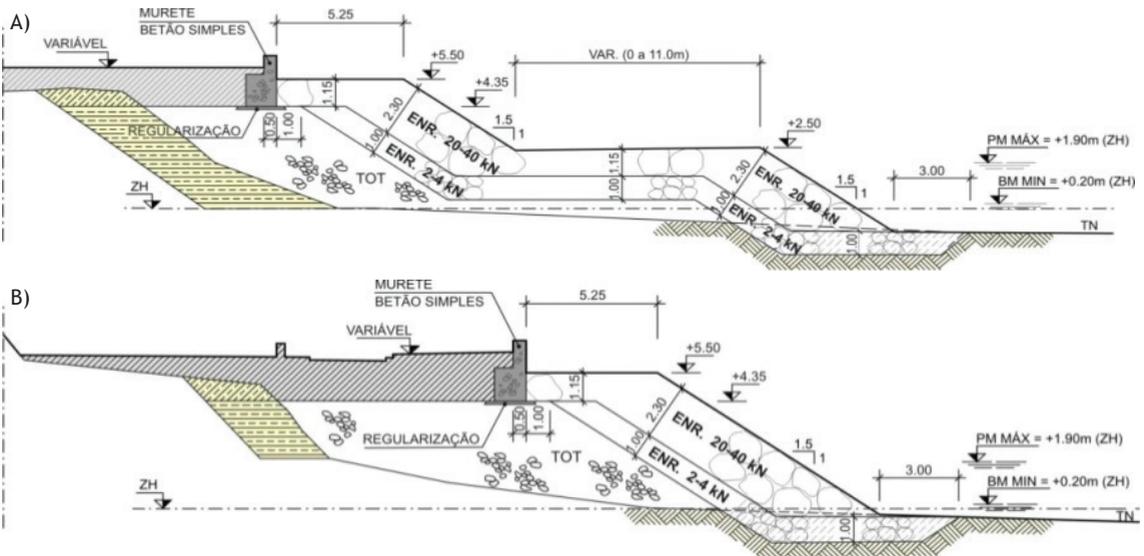


Fig. 6 - Perfis ao longo da defesa frontal: A) perfil junto ao esporão 3 (D1); B) perfil entre esporões (D2 e D4 a D7).

Fig. 6 - Cross-sections of the seawall: A) cross-section at the root of groin 3 (D1); B) cross-section between groins (D2 and D4 to D7).

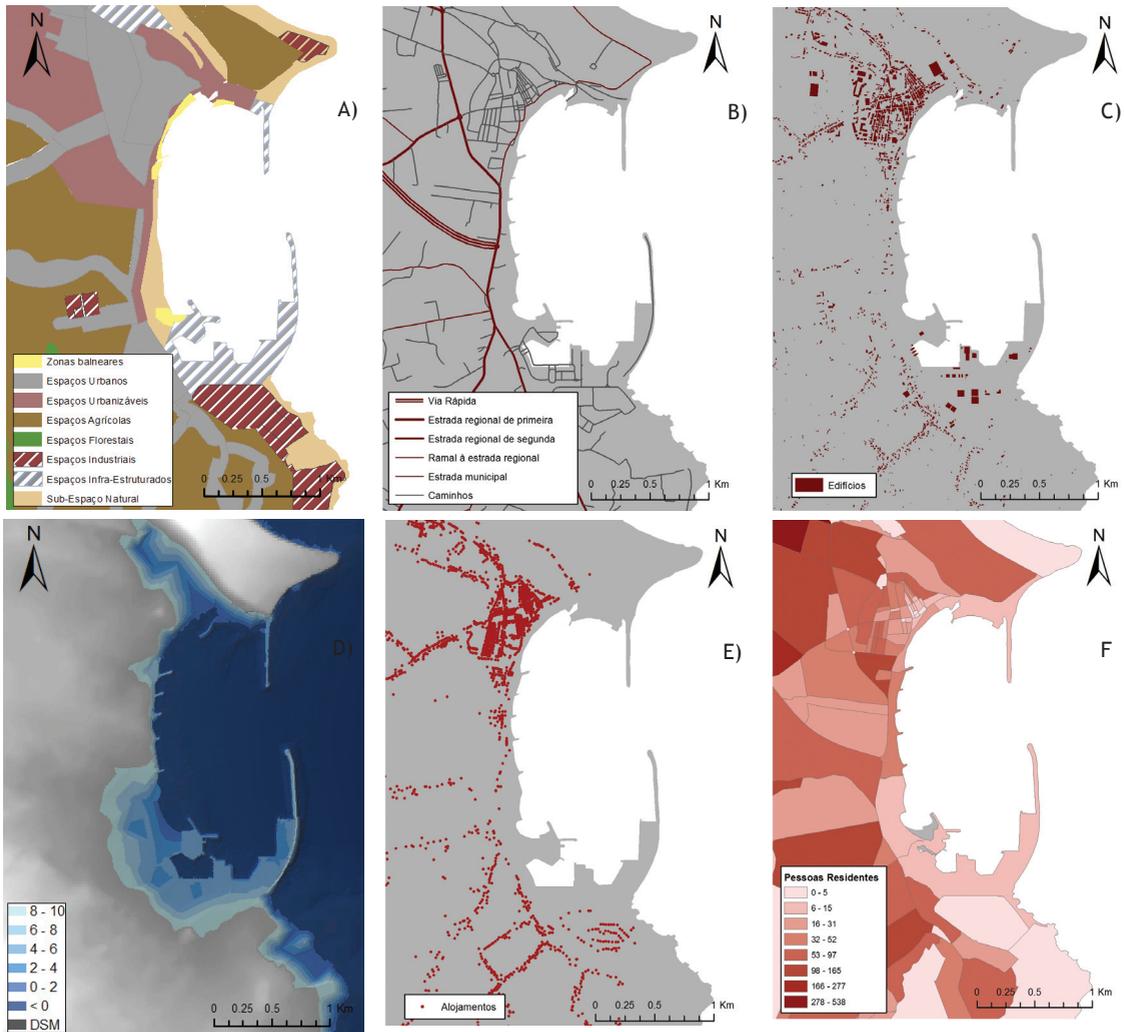


Fig. 7 - Atributos por indicador: A) uso do solo, B) vias de comunicação, C) edifícios, D) cotas de inundação, E) alojamentos e F) pessoas residentes (P. Poseiro et al., 2013b).

Fig. 7 - Attributes per disaster criterion: A) land use, B) roads, C) buildings, D) site elevations, E) accommodations and F) population density (P. Poseiro et al., 2013b).

dos galgamentos de estruturas marítimas e os seus resultados haviam-se mostrado mais adequados à realidade (A. A. Bravo *et al.*, 2013).

Avaliou-se comparativamente quais as implicações da utilização de cada uma destas ferramentas, em termos de número de eventos de galgamento não admissíveis e magnitude dos caudais médios galgados, bem como o grau de risco associado, para as 9 secções-tipo (D1 a D9) representativas de todas as estruturas do porto.

A metodologia seguida foi:

- A caracterização da agitação marítima junto às estruturas estudadas, com base no modelo de previsão da agitação marítima à escala regional, WAVEWATCH III, e em resultados de modelos de propagação de ondas, SWAN e DREAMS (módulo I). Assim, utilizaram-se os resultados das previsões ao largo do porto, para o período de 5 anos correspondente aos anos de 2008 a 2012, obtidos com o modelo WAVEWATCH III. Aqueles resultados foram transferidos para o interior da baía e do porto com recurso a dois modelos de propagação e deformação da agitação marítima: o modelo SWAN e o modelo DREAMS;
- O cálculo dos galgamentos em cada estrutura considerada (D1 a D9), com as ferramentas NN\_OVERTOPPING2 e Overtopping Predictor v1.1 (módulo II) (TABELA III);  $q_{m\acute{a}x}$  - o valor máximo de  $q$  no período de 5 anos analisado;  $q_{med}$  - média dos valores de  $q$  nesse período). Para cada uma das estruturas, foram definidas as 12 variáveis que são necessárias à aplicação das duas ferramentas neuronais. É de assinalar, que foram admitidas certas hipóteses quanto à representação das estruturas nas ferramentas neuronais, para melhor tradução da complexidade daquelas (R. Reis *et al.*, 2014).

O galgamento obtido em frente a cada uma das estruturas, para cada uma das ferramentas, pode ser consultado na fig. 8;

- A avaliação do risco associado a galgamentos que excedem limiares pré-estabelecidos de caudal médio galgado para cada secção das estruturas. Uma vez que o valor de caudal médio galgado mais restrito está associado aos perigos relativos às pessoas (0.1 l/s/m), apenas se apresenta o cálculo dos graus de probabilidade, consequências e risco para esse perigo. Para a definição do grau de consequências, adotou-se o método simplista, P. Poseiro *et al.* (2013a), sendo aquele grau igual a 2 para todos os trechos estudados. O cálculo do grau de risco para cada zona passa pela multiplicação do grau de consequências encontrado pelo grau de probabilidade, considerando apenas o perigo para as pessoas (TABELA IV).

Dos resultados obtidos (TABELA III), constata-se que, à exceção do perfil D8, as duas ferramentas identificam as estruturas onde ocorrem os maiores galgamentos e o maior número de eventos de galgamento. No entanto, a ferramenta Overtopping Predictor v1.1 não consegue quantificar os casos em que previu a existência de galgamento para os perfis D6 e D7, ao contrário do verificado pela ferramenta NN\_OVERTOPPING2. No caso do perfil D8, as condições estão fora da gama de aplicabilidade de Overtopping Predictor v1.1, não se conseguindo concluir sobre a existência (ou não) de galgamento. Overtopping Predictor v1.1 conduz a um maior número de ocorrências de galgamento face à ferramenta NN\_OVERTOPPING2, excetuando nos perfis D6 e D9 (TABELA III), no entanto a ferramenta prevê de forma generalizada valores máximos e médios de caudal médio galgado significativamente inferiores face à ferramenta NN\_OVERTOPPING2 (TABELA III). Note-se,

TABELA III - Comparação dos valores de percentagem de ocorrência de galgamentos não nulos, de  $q_{m\acute{a}x}$  e de  $q_{med}$  nos pontos D1 a D9, considerando as ferramentas neuronais NN\_OVERTOPPING2 e Overtopping Predictor v1.1.

TABLE III - Comparison of the percentage values of occurrence of overtopping discharges, of  $q_{m\acute{a}x}$  and of  $q_{med}$  at points D1 to D9, considering the neural network tools NN\_OVERTOPPING2 and Overtopping Predictor v1.1.

Local	Probabilidade (%)		$q_{m\acute{a}x}$ (l/s/m)		$q_{med}$ (l/s/m)	
	NN_OVER.2	OVER.	NN_OVER.2	OVER.	NN_OVER.2	OVER.
<b>Quebra-mar Sul</b>						
D3	0.56	1.60	0.437	0.230	0.268	0.036
D8	10.62	-	28.800	-	0.497	-
<b>Defesa Frontal</b>						
D1	0.092	0.11	0.148	0.032	0.090	0.007
D2	4.82	6.60	0.617	0.238	0.138	0.040
D4	2.28	4.65	0.380	0.095	0.116	0.020
D5	2.59	3.87	0.356	0.083	0.096	0.02
D6	1.26	0.94	0.225	-	0.084	-
D7	0.16	0.82	0.103	-	0.057	-
<b>Quebra-mar Norte</b>						
D9	0.28	0.006	0.958	0.036	0.220	0.036

TABELA IV - Grau de risco de ocorrência de galgamentos não admissíveis (categoria pessoas) nos pontos D1 a D9, considerando os resultados das ferramentas neuronais NN\_OVERTOPPING2 e Overtopping Predictor v1.1 (R. Reis *et al.*, 2014).

TABLE IV - Risk level for the occurrence of inadmissible discharges for people, at points D1 to D9, considering the results from the neural network tools NN\_OVERTOPPING2 and Overtopping Predictor v1.1 (R. Reis *et al.*, 2014).

Local	Probabilidade (%)		Grau de probabilidade		Grau de consequências	Grau de risco	
	NN_OVER.2	OVER.	NN_OVER.2	OVER.		NN_OVER.2	OVER.
<b>Quebra-mar Sul</b>							
D3	0.56	0.10	1	1	2	2	2
D8	7.35	-	2	-	2	4	-
<b>Defesa Frontal</b>							
D1	0.02	0.00	1	1	1	1	1
D2	3.04	0.03	2	1	2	4	2
D4	1.22	0.00	2	1	2	4	2
D5	1.04	0.00	2	1	2	4	2
D6	0.36	0.00	1	1	2	2	2
D7	0.01	0.00	1	1	2	2	2
<b>Quebra-mar Norte</b>							
D9	0.28	0.00	1	1	2	2	2

contudo, que considerando apenas eventos de galgamento não admissíveis para pessoas (TABELA IV), a Overtopping Predictor v1.1 conduz a um menor número de ocorrências de galgamento face à ferramenta NN\_OVERTOPPING2.

Em termos do risco (TABELA IV), NN\_OVERTOPPING2 conduz a um grau de risco de galgamento igual ou superior à da ferramenta Overtopping Predictor v1.1, uma vez que a ferramenta NN\_OVERTOPPING2 calcula valores significativamente superiores em termos de caudal médio galgado (tornando maior a probabilidade de ocorrência de galgamentos com valor acima do limite estabelecido para pessoas, 0.1 l/m/s) em relação ao obtido com Overtopping Predictor v1.1 (TABELA IV e fig. 8), apesar de, com esta última, a identificação da ocorrência de eventos de galgamento ser muito superior, mas de baixo valor (TABELA III) (R. Reis *et al.*, 2014).

Em resumo, a análise comparativa de ferramentas neuronais, permitiu concluir que o risco associado aos galgamentos calculados com a ferramenta NN\_OVERTOPPING2 é mais elevado do que o obtido com a ferramenta Overtopping Predictor v1.1. Assim, apesar do estudo anterior baseado na ferramenta NN\_OVERTOPPING2 favorecer a segurança, pode sugerir a adoção de medidas de controlo de risco desnecessárias. É por isso fundamental a validação das duas ferramentas com dados obtidos em ensaios em modelo físico ou dados *in situ*.

#### *Aplicação do Processo AHP à Análise das Consequências de Ocorrência de Galgamentos*

A avaliação das consequências da ocorrência de galgamentos/inundações acima de limites pré-estabelecidos é normalmente efetuada recorrendo a uma metodologia

simplicista (P. Poseiro *et al.*, 2013a), tal como foi apresentado na secção anterior. Com efeito, apenas com base em informação fornecida pelas autoridades costeiras e portuárias, avaliam-se globalmente e qualitativamente as consequências da ocorrência de galgamentos/inundações excessivos numa dada zona de estudo. Tem-se em conta, de forma indireta apenas, indicadores como, por exemplo, a distribuição espacial da população, das infraestruturas marítimas e terrestres, do património construído ou dos serviços e atividades na zona, ou a extensão de zona afetada pelo galgamento, expressa em termos de cotas de inundação. Mais ainda, não há a preocupação de atribuir pesos a esses indicadores que permitam expressar a importância relativa de cada um deles para a zona em estudo e em que o resultado final mostre o mapa do grau de consequências tendo em conta todos os indicadores simultaneamente.

Para colmatar estas limitações, um dos desenvolvimentos recentes do HIDRALERTA refere-se à construção de mapas de consequências de ocorrência de galgamentos pelo Processo de Análise Hierárquica (AHP) (P. Poseiro *et al.*, 2013b), considerando 8 secções-tipo das estruturas marítimas portuárias: quebra-mar sul e defesa frontal aderente (D1 a D8).

O Processo de Análise Hierárquica baseia-se na comparação sucessiva e emparelhada da informação selecionada e quantificada, tendo em vista a sua priorização hierárquica atendendo à relevância estimada de cada critério ou indicador considerado (população, património, etc.).

Neste processo e para o porto da Praia da Vitória, foram considerados vários indicadores (e sub-indicadores) para representar a pressão antrópica, que incluem a distribuição espacial do uso do solo, dos edifícios, da população e do turismo. A estes indicadores e sub-indicadores (no

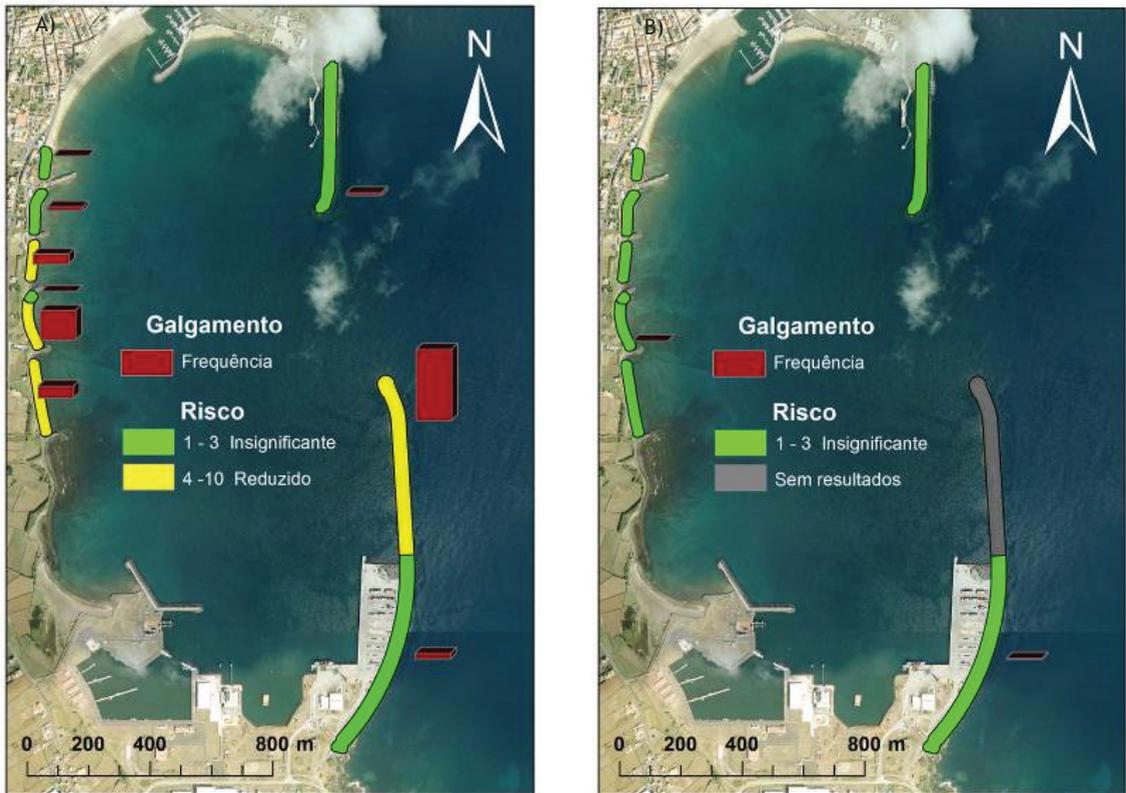


Fig. 8 - Mapas de risco correspondentes aos resultados da TABELA III e da TABELA IV obtidos com: A) NN\_OVERTOPPING2 e B) Overtopping Predictor v1.1.

Fig. 8 - Risk maps obtained from the results in TABLE III and in TABLE IV with: A) NN\_OVERTOPPING2 and B) Overtopping Predictor v1.1.

caso da população, por exemplo, consideraram-se dois sub-indicadores: Densidade populacional líquida e População total presente), atribuíram-se diferentes pesos, a partir da aplicação do AHP. Cada um destes indicadores foi integrado num sistema de informação geográfica (SIG) sob a forma de camada (*layer*), cada uma caracterizada por um conjunto de propriedades. Desta forma, fazem-se corresponder a cada uma dessas propriedades diferentes valores (pesos) numa escala que varia entre 1 e 9, correspondendo os valores maiores às propriedades dos indicadores mais importantes. De notar que, em cada ponto do espaço, existirá apenas uma daquelas propriedades. Por fim, a ferramenta Weighted Overlay do SIG permite integrar todos os indicadores (e sub-indicadores) com os seus pesos definidos e, assim, obter o mapa de consequências.

Mais concretamente, para o caso do porto e baía da Praia da Vitoria, a metodologia seguida foi:

- Define-se e organiza-se num sistema SIG a informação relevante para o estudo, sob a forma de níveis de informação. Cada um daqueles níveis corresponde a um indicador que neste caso são: o uso do solo, as vias de comunicação, os edifícios, as cotas de inundação, os alojamentos e as pessoas residentes (fig. 7).



Fig. 9 - Esquema do peso atribuído a cada classe.

Fig. 9 - Sketch of the weight assigned to each disaster criterion.

- Aplica-se o método AHP para atribuição de um peso a cada indicador, de acordo com a metodologia de T.L. Saaty (2005). No caso dos edifícios foram considerados dois sub-indicadores: a densidade de alojamentos e as áreas dos edifícios. Para estes dois sub-indicadores estabeleceram-se pesos semelhantes. Na fig. 9, são apresentados a verde os indicadores utilizados como input do modelo.
- Atribui-se um peso aos atributos, que correspondem a um conjunto de propriedades espaciais do

indicador, que foram identificadas na fig. 7. Neste caso, a classificação dessas propriedades não justifica a aplicação integral do método AHP, pelo que se atribui um peso de forma empírica numa escala de 1 a 9 (onde 1 corresponde à propriedade espacial menos importante) (fig. 10).

Atribuíram-se os pesos aos diferentes tipos de uso do solo (fig. 10-A), de acordo com a relevância e o impacto do mesmo. As vias de comunicação apresentam as características da fig-B, que resulta da classificação das vias através do tipo de via. No caso dos edifícios (fig. 10-C) apenas se consideraram dois níveis: às áreas onde se encontram os edifícios fez-se corresponder o nível máximo 9 e às áreas sem edifícios o nível mínimo 1. Relativamente às cotas de inundação, consideraram-se intervalos de 2 em 2 m a partir dos valores altimétricos fornecidos pelo DSM, reclassificaram-se esses intervalos

e obteve-se o mapa de pesos para as cotas de inundação correspondentes à fig. 10-D.

No que diz respeito à densidade de alojamentos, fig. 10-E, a informação disponibilizada encontrava-se em formato vetorial, sob a forma de Points. Com vista a obter um mapa de densidade aplicou-se a ferramenta Point Density disponível no ArcGIS. A fig. 10-E mostra a densidade de alojamentos após a reclassificação feita com base no Natural Breaks. Por último, e com base nos dados censitários fornecidos pelo INE através da BGRI para as subdivisões da divisão censitária (2011), obteve-se o número de pessoas presentes em cada uma dessas subdivisões. Foi criado um mapa de densidade de população líquida que corresponde à população que se encontra apenas nos espaços urbanos. A partir da razão entre pessoas que ocupam cada subdivisão e as áreas dessas mesmas

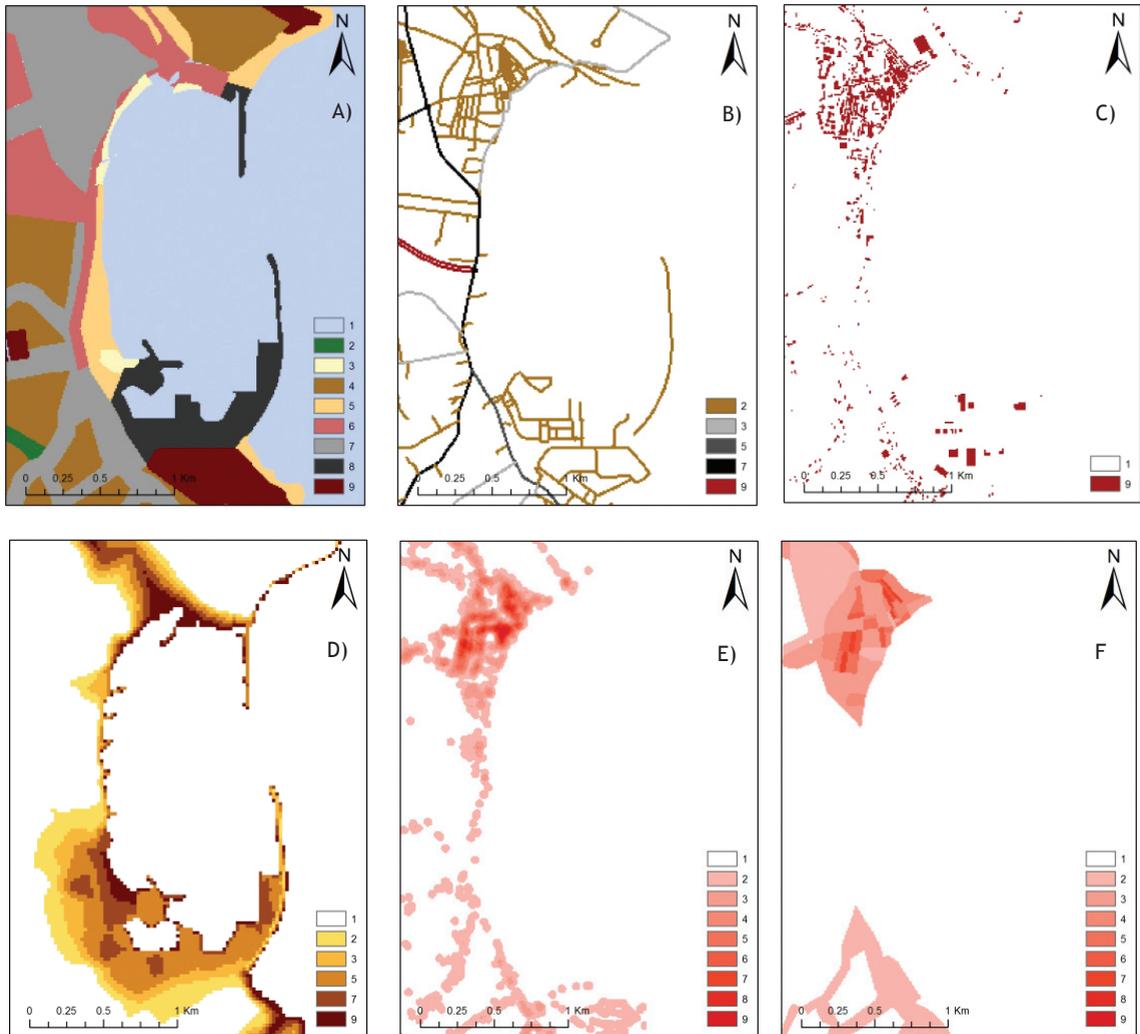


Fig. 10 - Índices e pesos conferidos aos vários atributos de cada um dos indicadores: A) uso do solo, B) vias de comunicação, C) áreas dos edifícios, D) cotas de inundação, E) densidade de alojamentos e F) densidade populacional (P. Poseiro *et al.*, 2013b).

Fig. 10 - Indices and weights assigned to the different attributes of each disaster criterion: A) land use, B) roads, C) building areas, D) site elevations, E) accommodation density and F) population density (P. Poseiro *et al.*, 2013b).

subdivisões, obteve-se a densidade de população residente líquida (fig. 10-F).

- Utiliza-se a ferramenta Weighted Overlay, O. Antunes (2012), que reúne simplesmente todos os indicadores e respetivos pesos obtidos através do AHP (fig. 9), bem como os pesos dados às propriedades (ou atributos) de cada indicador, de acordo com a fig. 10, a fim de se obter o mapa de consequências.
- Com vista a organizar, visualizar e guardar um conjunto de funções necessárias para obtenção de um mapa com diferentes níveis de consequências, nomeadamente no que diz respeito ao tratamento dos dados, utilizou-se a ferramenta ModelBuilder, disponível no ArcGIS. Após correr o modelo do ModelBuilder obteve-se o mapa de consequências, que representa as áreas que apresentam maior vulnerabilidade e pressão antrópica numa escala de 1 a 5 (fig. 11).

De acordo com a mesma figura, verifica-se que a área que diz respeito ao centro da Vila da Praia da Vitória é a que apresenta maior grau de consequências, uma vez que também é o local onde ocorre uma maior quantidade

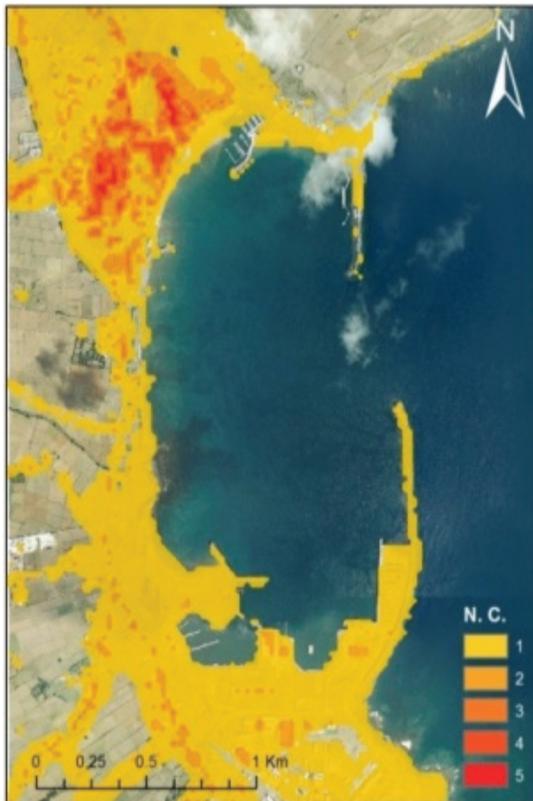


Fig. 11 - Mapa de consequências de ocorrência de galgamentos/inundações obtido pelo AHP (P. Poseiro et al., 2013b).

Fig. 11 - Map of consequences of the overtopping/flooding occurrence developed using AHP (P. Poseiro et al., 2013b).

de atividades. No entanto, tal não implica um maior grau de risco de ocorrência de galgamentos/inundações. Com efeito, tal vai depender do nível de probabilidade de ocorrência de galgamentos e inundações naquela zona, tendo estudos anteriores (P. Poseiro et al., 2013b) indicado que esse nível é baixo, pelo que se espera que esta área não apresente, assim, um grau de risco tão elevado. Em contrapartida, a zona que abrange os esporões da baía, que apresenta alguns pontos mais críticos no mapa de consequências (valores acima de 2), está associada a um nível elevado de probabilidade de ocorrência de galgamentos/inundações, pelo que será uma zona de maior risco.

### Conclusão

Esta comunicação descreve a componente de avaliação do risco associado ao galgamento e inundações de zonas costeiras e portuárias do sistema HIDRALERTA (módulos I a III) e os procedimentos efetuados para a sua implementação no sistema. Em particular, descrevem-se dois dos mais recentes desenvolvimentos do sistema relacionados com a aplicação de uma nova ferramenta neuronal para o cálculo do galgamento sobre estruturas marítimas e a utilização da metodologia AHP (Processo de Análise Hierárquica) para a construção do mapa de consequências no porto e baía da Praia da Vitória levando em conta a distribuição espacial das diferentes atividades presentes no porto.

Estas aplicações mostram que o sistema já tem acoplado todos os elementos necessários à determinação da agitação marítima no interior de portos e dos consequentes galgamentos nas estruturas marítimas, bem como a construção de mapas de consequência e de risco num porto. Mais ainda, estas aplicações ilustram as potencialidades do sistema como uma ferramenta de apoio à gestão de zonas costeiras e portuárias.

Há ainda alguns aspectos a serem melhorados, relacionados, por exemplo, com a utilização de modelos numéricos de inundações para a caracterização da distribuição espacial dos volumes galgados atrás das estruturas portuárias galgadas, de modo a que se possam construir mapas de inundações. Estes mapas poderão ser cruzados/complementados com mapas de consequências definidos pela metodologia AHP (esta metodologia será objeto de uma exploração mais consistente, em futuras aplicações), de modo a poderem obter-se mapas de risco de ocorrência de galgamentos/inundações mais completos. Outro aspecto muito importante a realizar é a validação do sistema, nomeadamente dos seus módulos II (validade das fórmulas empíricas e das ferramentas neuronais) e III (avaliação do risco) com a colaboração das autoridades locais e com a utilização de dados históricos e eventos futuros, no sentido de garantir uma elevada fiabilidade do sistema.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o financiamento da FCT através dos projetos HIDRALERTA - PTDC/AAC-AMB /120702/2010 e DITOWEC - PTDC/ECM-HID/1719/2012. Agradece-se ainda 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 projeto ESTRAMAR (FEDER-MAC/3/C117), Portos dos Açores, Câmara Municipal da Praia da Vitória e WW - Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, S.A., pela colaboração e fornecimento de dados necessários à aplicação do sistema. Um agradecimento especial aos elementos da equipe (Rui Capitão, Lílina 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 o projeto HIDRALERTA.

## Bibliografia

- Antunes, O. (2012). *Análise Multicritério em SIG para Determinação de um Índice Espacializado de Pressão Antrópica Litoral. Casos de Espinho, Caparica e Faro* (Tese de Mestrado). FCSH, Universidade Nova de Lisboa.
- Booij, N., Ris, R. C., 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.
- Bravo, A. A., Reis, M. T., Santos, J. A. (2013). Comparação de duas ferramentas de cálculo do galgamento baseadas na análise de redes neuronais. *Proc. 8<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, LNEC, 10 e 11 de outubro.
- Capitão, R., Fortes, C. J. E. M., Raposeiro, P. (2012). *Relatório da Campanha à Costa da Caparica, 29-30 de outubro de 2012*. Relatório 02/2012 - HIDRALERTA, LNEC.
- Capitão, R., Fortes, C. J. E. M., Poseiro, P., Raposeiro, P. D. (2014). Análise do desempenho do modelo SWAN na zona da Costa da Caparica. *Proc. 3<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, Instituto Hidrográfico, 24 a 26 de junho. ISSN - 978-989-705-073-2.
- Coeveld, E. M., Van Gent, M. R. A., Pozueta, B. (2005). *Neural Network Manual NN\_OVERTOPPING2*. CLASH WP8, June.
- Craveiro, J. L. (2014). A perceção do risco de erosão costeira e galgamento oceânico e a produção de um índice de vulnerabilidade social: a metodologia multicritério AHP (Analytic Hierarchy Process), âmbito de aplicação e limitações de análise. *Proc. VIII Congresso Português de Sociologia*, Universidade de Évora, 14 a 16 de abril.
- Ferreira, J. C., Silva, S. F., Seixas, L., Lopes, A. M., Fortes, C. J., Reis, M. T., Poseiro, P., Capitão, R., Malvarez, G. C., Tenedório, J. A. (2014). The resource valuation and the challenge of coastal ecosystem-based management implementation. *Proc. 2<sup>nd</sup> International Ocean Research Conference (IORC), Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO (IOC-UNESCO)*, 17 a 21 de novembro, Barcelona.
- 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). Engenharia Mecânica, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Fortes, C. J. E. M., Reis, M. T., Poseiro, P., Capitão, R., Santos, J. A., Pinheiro, L. P., Rodrigues, A., 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. *Proc. 8<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, LNEC, 10 e 11 de outubro.
- Fortes, C. J. E. M., Reis, M. T., Poseiro, P., Capitão, R., Santos, J. A., Pinheiro, L. V., Rodrigues, A., Sabino, A., Rodrigues, M. C., Raposeiro, P. D., Ferreira, J. C., Silva, C., Simões, A., Azevedo, E. B. (2014a) - HIDRALERTA project - A flood forecast and alert system in coastal and port areas. *Proc. IWA World Water Congress & Exhibition*, September 21-26, Lisbon.
- Fortes, C. J. E. M., Reis, M. T., Poseiro, P., Santos, J. A., Capitão, R., Pinheiro, L., Sabino, A., Rodrigues, A., Ferreira, J. C., Martinho, S., Raposeiro, P., Silva, C., Simões, A., Azevedo, E. B., Rodrigues M. C. (2014b). Desenvolvimentos recentes do HIDRALERTA - Sistema de previsão e alerta de inundações em zonas costeiras e portuárias. *Proc. 3<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, Instituto Hidrográfico, 24 a 26 de junho. ISSN - 978-989-705-073-2.
- Guza, R. T., Thornton, E. B. (1982). Swash oscillations on a natural beach. *Journal of Geographical Research*, 87,C1,483-491.
- Holman, R. A. (1986). Extreme value statistics for wave run-up on a natural beach. *Coastal Engineering*, 9, 527-544.

- Hunt, I. A. (1959). Design of seawalls and breakwaters. *Journal of Waterways and Harbours Division*, 85, 123-152.
- Martinho, M. (2014). *Avaliação e Gestão de Riscos em Áreas Litorais. Contributo para o Desenvolvimento de um Sistema de Previsão e Alerta de Inundação em Zonas Costeiras* (Tese de Mestrado). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Mase, H., Tamada, T., Yasuda, T., Hedges, T. S., Reis, M. T. (2013). Wave runup and overtopping at seawalls built on land and in very shallow water. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Eng.*, 139, 5, 346-357.
- 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. *Proc. 8<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, LNEC, 10 e 11 de outubro.
- Nielsen, P., Hanslow, D. J. (1991). Wave runup distributions on natural beaches. *Journal of Geographical Research*, 7, 4, 1139 - 1152.
- Poseiro, P., Fortes, C. J. E. M., Reis, M. T., Santos, J. A., Simões, A., Rodrigues, C., Azevedo, E. (2013a). A methodology for overtopping risk assessment in port areas: Application to the Port of Praia da Vitória (Azores, Portugal). *Proc. SCACR 2013 - 6th International Conference on Applied Coastal Research*, LNEC, 4 a 7 de junho.
- Poseiro, P., Fortes, C. J. E. M., Santos, J. A., Reis, M. T., 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". *Proc. 8<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, LNEC, 10 e 11 de outubro.
- Poseiro, P., Sabino, A., Fortes, C. J. E. M., Reis, M. T., Rodrigues, A. (2014). Aplicação do sistema HIDRALERTA de previsão e alerta de inundações: Caso de estudo da Praia da Vitória. *Proc. 12<sup>o</sup> Congresso da Água/16.º ENASB/XVI SILUBESA*, 5 a 8 de março, Lisboa.
- Pullen, T., Allsop, N. W. H., Bruce, T., Kortenhaus, A., Schuttrumpf, H., 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., Capitão, R., Reis, M. T., Ferreira, J. C., Pereira, M. T., Guerreiro, J. (2013). Preliminary phases of the Hidralerta system: Assessment of the flood levels at São João da Caparica beach, Portugal. *Journal of Geographical Research*, SI 64, p. 1896-1900.
- Raposeiro P. D., Fortes, C. J. E. M., Reis, M. T., 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, p. 129-137. ISBN: 978-972-8612-64-1.
- Reis, R., Fortes, C. J. E. M., Reis, M. T., Poseiro, P., Santos, J. A. (2014). Avaliação comparativa de ferramentas neuronais. Aplicação à Praia da Vitória, Terceira, Açores. *Proc. VI SEMENGO - Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica*, Rio Grande, RS-Brasil, 12 a 14 de novembro.
- 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). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, junho.
- Ruggiero, P., Komar, P. D., McDougal, W. G., Marra, J. J., Beach, R. A. (2001). Wave runup, extreme water levels and the erosion of properties backing beaches. *Journal of Geographical Research*, 17, p. 407-419.
- Saaty, T. L. (2005). *Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs, and Risks*. RWS Publications, Pittsburgh.
- Stockdon, H. F., Holman, R. A., Howd, P. A., Sallenger Jr., A. H. (2006). Empirical parameterization of setup, swash, and runup. *Coastal Engineering*, 53, 7, p. 573-588.
- Teixeira, S. B. (2009). *Demarcação do Leito e da Margem das Águas do Mar no Litoral Sul do Algarve*. Administração da Região Hidrográfica do Algarve, Faro, 207p.
- Tolman, H. L. (1999). *User Manual and System Documentation of WAVEWATCH-III Version 1.18*. NOAA /NWS / NCEP / OMB Technical Note 166, 110p., Washington, E.U.A.
- Verhaeghe, H. (2005). *Neural Network Prediction of Wave Overtopping at Coastal Structures*. PhD Thesis, Universiteit Gent, Belgium.