

O PROJETO HIDRALERTA - SISTEMA DE PREVISÃO E ALERTA DE INUNDAÇÕES EM ZONAS COSTEIRAS E PORTUÁRIAS

C.J.E.M. Fortes¹, M.T. Reis¹, P. Poseiro¹, R. Capitão¹, J.A. Santos², L.P. Pinheiro¹, A. Rodrigues³,
A. Sabino³, M.C. Rodrigues⁴, P.D. Raposeiro³, J.C. Ferreira³, C. Silva⁵, A. Simões⁶, E.B.
Azevedo⁶

¹LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Emails: jfortes@lnec.pt; treis@lnec.pt; pposeiro@lnec.pt; rcapitao@lnec.pt; lpinheiro@lnec.pt

²ISEL – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

Emails: d1486@dec.isel.pt

³Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia

Emails: a.rodrigues@fct.unl.pt; andre.sabino@gmail.com; praposeiro@fct.unl.pt; jcrf@fct.unl.pt

⁴Azorina – Sociedade de Gestão Ambiental e Conservação da Natureza, SA

Emails: Maria.CS.Rodrigues2@azores.gov.pt

⁵Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas

Emails: cpsilva@fcsh.unl.pt

⁶Universidade dos Açores, LAMTEC

Emails: anabela@uac.pt; edubrito@mail.angra.uac.pt

RESUMO

Nesta comunicação descreve-se o projeto HIDRALERTA – “Sistema de previsão e alerta de inundações em zonas costeiras e portuárias”, cujo objetivo principal é o desenvolvimento de um sistema, com o mesmo nome, de previsão, alerta e avaliação de risco associado ao galgamento e inundação em zonas costeiras e portuárias, apoiado em medições/previsões da agitação marítima nessas zonas. Os casos de estudo considerados são o porto e baía da Praia da Vitória e a zona de Lisboa-Vale do Tejo (Costa da Caparica). Para este efeito, o projeto envolve a modelação numérica e experimental e a recolha de dados de medição nas zonas de estudo.

Neste trabalho descrevem-se as metodologias e atividades desenvolvidas ao longo do projeto HIDRALERTA, referindo-se os principais resultados até agora alcançados.

1. INTRODUÇÃO

Na costa portuguesa, são frequentes as situações de emergência provocadas pelo estado do mar, nas quais é posta em causa a segurança de pessoas e bens e que têm consequências graves para a economia e ambiente. Dessas situações merecem destaque as que envolvem o galgamento de estruturas marítimas e portuárias, pelo risco associado à destruição dessas estruturas ou à inundação das zonas por elas protegidas. Trata-se de um tema premente em Portugal, dada a elevada extensão da sua costa, a grande concentração de população e de atividades económicas nessa zona, a severidade do clima de agitação marítima e a importância dos portos para a economia nacional. Por essa razão, considera-se imperativo dotar as autoridades nacionais de um sistema de previsão e alerta que, com a devida antecedência, avise da ocorrência de situações de emergência e permita a adoção por essas entidades de medidas para evitar perdas 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 relacionados com as mudanças devidas às alterações climáticas, que têm contribuído para um aumento do nível médio das águas do mar e para a ocorrência de fortes tempestades, aumentando a probabilidade de inundações associadas às mesmas. Só deste modo é possível fazer um planeamento e gestão integrada e sustentada das zonas costeiras e portuárias. Notar também que um sistema deste tipo contribui para a

satisfação do estipulado na diretiva 2007/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23-10-2007, que recomenda a elaboração de cartas de risco de inundações até 2013 e planos de gestão dos riscos, incluindo a realização de sistemas de previsão e alerta precoce, até 2015.

É neste âmbito que se insere o projeto de investigação HIDRALERTA, em curso desde março de 2012, que tem como objetivo principal o desenvolvimento do sistema HIDRALERTA de previsão, alerta e avaliação de risco associado ao galgamento e inundação em zonas costeiras e portuárias, a partir de medições/previsões da agitação marítima nessas zonas. Pretende-se assim desenvolver uma ferramenta capaz de avaliar, em tempo real, situações de emergência e emitir alertas às entidades competentes sempre que se preveja estar em causa a segurança de pessoas, bens ou atividades desenvolvidas nessas zonas. Além disso, o sistema deve produzir mapas de risco que constituam uma ferramenta de apoio à decisão, no âmbito de uma gestão a médio e longo prazo das zonas costeiras e portuárias. O protótipo está a ser desenvolvido para o porto e baía da Praia da Vitória e para a zona de Lisboa-Vale do Tejo (Costa da Caparica). Para este efeito, o projeto envolve a modelação numérica e experimental e a recolha de dados de medição *in situ* nesses locais.

O projeto, que tem a duração de 3 anos, envolve a participação das instituições seguintes: Laboratório Nacional de Engenharia Civil (Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas do Departamento de Hidráulica e Ambiente), Universidade Nova de Lisboa (Faculdade de Ciências e Tecnologia e Faculdade de Ciências Sociais e Humanas) e Universidade dos Açores.

Nesta comunicação descrevem-se as metodologias e atividades desenvolvidas ao longo do projeto HIDRALERTA, referindo-se os principais resultados até agora alcançados. A seguir a esta introdução, no ponto 2, descrevem-se, brevemente, o projeto e as suas tarefas. No ponto 3 descrevem-se os casos de estudo e os desenvolvimentos já efetuados para os mesmos e no ponto 4 apresentam-se algumas considerações finais.

2. O PROJETO HIDRALERTA

2.1 Introdução

O objetivo do projeto, denominado HIDRALERTA, é o desenvolvimento do sistema de previsão e alerta de inundações em zonas costeiras e portuárias, mais especificamente:

1. Criação de uma ferramenta *user-friendly* que permita:
 - Avaliação, em tempo real, de situações de emergência e a emissão de alertas às entidades competentes sempre que se preveja estar em causa a segurança de pessoas, bens ou atividades desenvolvidas nessas zonas;
 - Avaliação do risco por intermédio de mapas de risco que constituam uma ferramenta de apoio à decisão pelas entidades competentes. Estes mapas são construídos com longas séries temporais de previsões da agitação marítima ou com cenários pré-definidos associados às mudanças climáticas e/ou eventos extremos;
2. Desenvolvimento de um protótipo para o porto e baía da Praia da Vitória, Ilha Terceira, Açores e da zona de Lisboa-Vale do Tejo (Costa da Caparica) (Figura 1).

A ideia-base do sistema, que surge no seguimento do trabalho anterior de Zózimo *et al.* (2008), é a utilização de previsões da agitação marítima nas zonas costeira e portuária, para calcular os efeitos dos galgamentos e inundações nessas zonas. A comparação destes valores com valores pré-estabelecidos permite: i) a avaliação, em tempo real, de situações de emergência e a emissão de alertas às entidades competentes, sempre que se preveja estar em causa a segurança de pessoas, bens ou atividades desenvolvidas nessas zonas; ii) a construção de mapas de risco, considerando longas séries temporais de previsões da agitação marítima ou cenários pré-definidos associados às mudanças climáticas e/ou eventos extremos.

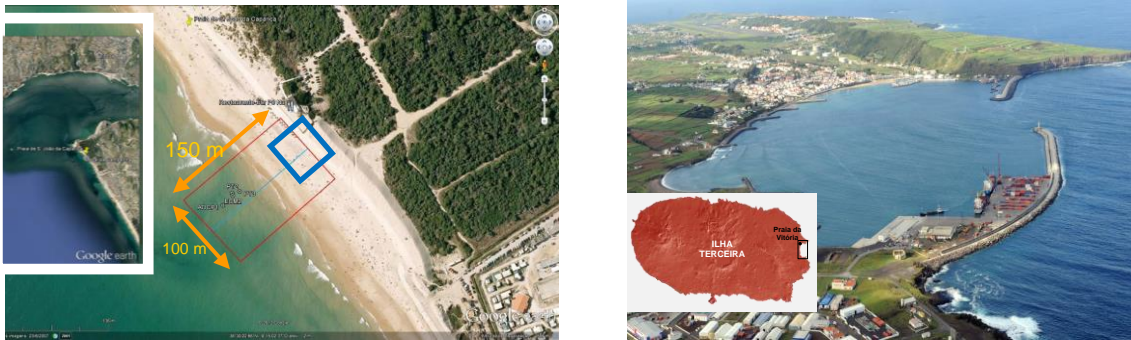


Figura 1 - Localização das áreas de estudo: Praia de São João da Caparica (esquerda, *Google earth*® 2013) e Praia da Vitória, Ilha Terceira, Açores (direita)

Assim, o sistema pode ser dividido em quatro módulos, que constituem também as tarefas do projeto (Figura 2): I – Agitação marítima; II - Inundação e galgamentos; III - Sistema de alerta e base de dados; IV - Mapas de risco. De seguida, descrevem-se sucintamente, cada um dos módulos do sistema e o trabalho efetuado para os mesmos. Várias aplicações desta metodologia são descritas em Neves *et al.* (2012), Rocha (2012), Rocha *et al.* (2013), Neves (2013) e Poseiro *et al.* (2013a, b).

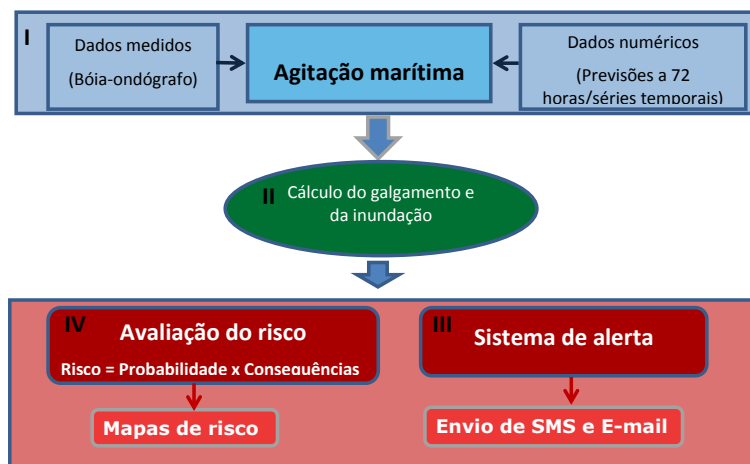


Figura 2 - Esquema do sistema HIDRALERTA

2.2 Agitação marítima na zona de estudo

O objetivo deste módulo é a determinação das características da agitação marítima em zonas costeiras e portuárias, com vista à obtenção quer das previsões da agitação marítima a 72 horas, que constituirão a base do sistema de alerta, quer dos regimes de agitação marítima, necessários à avaliação do risco de galgamentos e inundações.

Em ambos os casos, a determinação das características da agitação marítima num dado local 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 dependem das características da região de estudo (por exemplo, do tamanho do domínio computacional) e dos fenómenos envolvidos na propagação.

No presente projeto, consideram-se os seguintes modelos: o modelo de previsão da agitação marítima à escala regional, WAVEWATCH III (Tolman, 1999), o modelo espectral não linear de geração e propagação de ondas em zonas costeiras, SWAN (Booij *et al.*, 1999) e o modelo linear de propagação de ondas em zonas portuárias, DREAMS (Fortes, 2002).

No caso do sistema de alerta, utilizam-se as previsões da agitação marítima com antecedência de 72 horas, ao largo, fornecidas pelo modelo WAVEWATCH 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 72 horas, em termos de altura de onda significativa, período de onda (médio ou de pico) e direção média.

No caso da avaliação do risco, utilizam-se longas séries temporais, também estimadas pelo modelo WAVEWATCH III, procede-se à sua transferência para zonas costeiras abertas com o modelo SWAN (Booij *et al.*, 1999) e para o interior de zonas portuárias com o modelo DREAMS (Fortes, 2002). Obtém-se assim, no ponto de interesse da zona em estudo, séries temporais de valores da altura de onda significativa, período de onda (médio ou de pico) e direção média com os quais se podem 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.

Em termos do trabalho desenvolvido neste módulo, primeiramente efetuou-se a acoplagem destes diferentes modelos numéricos, Neves *et al.* (2012) e Poseiro *et al.* (2013a,b), e procedeu-se à sua aplicação aos casos de estudos do projeto. Para além disso, procedeu-se à realização de uma campanha de medição de dados, Capitão *et al.* (2012), em 29 e 30 de outubro de 2012, na praia de São João da Caparica – Costa da Caparica (Figura 1), onde se efetuaram medições de dados hidrodinâmicos que servirão para testar e validar os modelos numéricos a incluir no sistema HIDRALERTA. O posicionamento dos diversos equipamentos foi efetuado ao longo de um perfil de praia, onde foram montadas 3 estruturas, localizadas em zonas antes e após a rebentação. Nesta área de estudo (indicada a roxo na Figura 1), foi instalado o conjunto de instrumentação na face da praia e na plataforma de baixa-mar, na zona central, num perfil transversal à praia (indicado a azul na Figura 1). Nesta zona decorreram, em contínuo, durante todo o período de campanha, trabalhos específicos, e foi montada uma estrutura para apoio logístico e manutenção da instrumentação. Os dados obtidos na campanha consistiram em medições simultâneas de pressão, velocidades de corrente, direções e temperatura da água, para os diferentes pontos do perfil de praia, e medições com DGPS para levantamento topográfico da praia. Posteriormente, foram efetuadas análises temporais e espectrais aos dados medidos, a descrever num relatório técnico a publicar oportunamente no âmbito do projeto.

Recentemente, têm sido efetuados desenvolvimentos no sistema de modo a substituir o modelo linear DREAMS, baseado na equação de declive suave, pelo modelo não linear do tipo Boussinesq BOUSS-WMH (*BOUSSinesq Wave Model for Harbours*), Pinheiro *et al.* (2011). Este modelo resolve as equações de Boussinesq estendidas, deduzidas por Nwogu (1993), com termos adicionais para modelar a geração das ondas no interior do domínio, a absorção e reflexão das ondas nas fronteiras e para controlar as oscilações numéricas. Trata-se de um modelo válido desde águas de profundidade intermédia a águas pouco profundas e permite uma descrição precisa da evolução de estados de mar reais em zonas abrigadas de profundidade variável, especialmente em zonas onde os efeitos não lineares são importantes. Nesse âmbito, o modelo tem vindo a ser aperfeiçoado com a inclusão de novos fenómenos físicos, nomeadamente a dissipação de energia devida ao atrito de fundo e a rebentação das ondas, fenómenos particularmente importantes em zonas de baixa profundidade. A metodologia utilizada consiste em adicionar à equação de conservação da quantidade de movimento um termo de tensão tangencial de fundo, no caso do atrito de fundo, e um termo de viscosidade turbulenta, no caso da rebentação, simulando assim a dissipação de energia causada por estes fenómenos.

2.3 Inundação e galgamentos

O objetivo deste módulo é a estimação da inundação e dos galgamentos em áreas costeiras e infraestruturas portuárias. Pretende-se assim, quer no sistema de alerta, quer no módulo de avaliação do risco, estimar os valores da cota de inundação ou do caudal médio galgado correspondentes a uma dada condição de agitação marítima verificada na zona de estudo (ou nos diferentes trechos em que a zona de estudo se pode dividir).

São várias as metodologias utilizadas para o cálculo da inundação de uma zona e do galgamento de uma estrutura, como é o caso de fórmulas empíricas, redes neuronais, modelos físicos ou modelos numéricos (Reis *et al.*, 2012). Embora os modelos numéricos tenham vindo a tornar-se uma ferramenta interessante para a avaliação de galgamentos, ainda não existe um

modelo numérico capaz de, simultaneamente, produzir resultados rápidos, precisos e eficientes a nível computacional (Reis *et al.*, 2012). Por essa razão, muitos dos procedimentos para avaliação do caudal médio galgado por unidade de comprimento do coroamento de uma estrutura marítima ainda se baseiam nos resultados de ensaios em modelo de escala reduzida ou em observações de protótipo.

Nesse sentido, o trabalho desenvolvido consistiu essencialmente na utilização de fórmulas empíricas (para a determinação do espraiamento e galgamento) e de redes neuronais (para a determinação do galgamento). Importa referir que, tanto as tradicionais formulações empíricas, como as redes neuronais, são ferramentas empíricas, isto porque têm como base um conjunto alargado de testes em modelo físico e de observações de protótipo, limitando assim o cálculo do espraiamento/galgamento à definição das características das estruturas estudadas e às condições de agitação consideradas nos modelos físicos/protótipos. Até à data, a utilização de modelos físicos e numéricos não foi ainda efetuada, constituindo, contudo, objetivo futuro.

2.3.1 Utilização de fórmulas empíricas para o cálculo do espraiamento e galgamento

Na literatura, em geral, para zonas costeiras sem estruturas de proteção, têm sido propostas várias fórmulas (Tabela 1), todas elas de caráter empírico, para o cálculo do espraiamento (*run-up*) e respetivas cotas máximas de inundação, que dependem, na sua maioria, das condições de agitação marítima em águas profundas e do declive da face da praia. A Tabela 1 apresenta as fórmulas que têm sido utilizadas neste trabalho. Com exceção da formulação de Hunt (1959), obtida com base em ensaios em modelo físico, as restantes formulações foram desenvolvidas com base em dados de campo (praias naturais). Nesta tabela, $R_{2\%}$ é o *run-up* excedido por 2% de todos os *run-up*, $R_{m\acute{a}x}$ é o *run-up* máximo e $R_{1/3}$ é o *run-up* significativo (média do terço mais alto dos *run-up*).

As fórmulas apresentadas na Tabela 1 têm em conta, na sua maioria, o número de Iribarren (eq. 1), ξ_0 , que, por sua vez, tem em conta o declive do perfil de praia, $\tan \beta$, a altura significativa da onda ao largo, H_0 , e o comprimento de onda ao largo, L_0 :

$$\xi_0 = \tan \beta / (H_0 / L_0)^{0.5} \quad (1)$$

em que L_0 pode ser obtido através $L_0 = g * T^2 / (2 * \pi)$. Nalgumas expressões L_0 é obtido com base no período de pico da onda, T_p (L_{0p}), e noutras, com base no período significativo da onda, T_s (L_{0s}). Apenas na eq. (6) de Holman (1986) a altura de onda significativa é a altura incidente na praia, H_i , e não ao largo. H_{orms} nas eqs. (8) e (9) representa a raiz quadrada da média das alturas de onda ao largo.

Uma vez que o *run-up* é uma variável estatística, para efeitos de galgamento do cordão dunar utiliza-se comumente a estimativa do *run-up* com probabilidade de excedência de 1% ($R_{1\%}$), ou seja, correspondente ao nível que é excedido somente por 1% da série de ondas associadas a determinada altura significativa de onda, assumindo uma distribuição de Rayleigh para os espraiamentos individuais (Sancho *et al.*, 2011). Uma vez calculados os valores do *run-up* numa dada zona costeira, é necessário calcular as cotas de inundação, C.I., referidas ao Zero Hidrográfico (ZH). Assumindo que o cálculo das mesmas resulta apenas da soma das contribuições da maré astronómica, M.A. (referente ao ZH), com a sobrelevação meteorológica, S.M., e com o *run-up*, $R_{1\%}$, os valores das cotas C.I. serão dados por

$$C.I. = M.A. + S.M. + R_{1\%} \quad (2)$$

Dado que a inundação de uma zona costeira é um fenómeno complexo, a eq. (2) representa uma forma simplificada do cálculo da cota máxima de inundação, assumindo que $R_{1\%}$ é uma boa estimativa de $R_{m\acute{a}x}$. Assim, para uma dada condição de agitação marítima e um dado perfil da praia é determinado o correspondente valor de *run-up*, segundo as fórmulas apresentadas na Tabela 1 e a correspondente cota máxima de inundação recorrendo à eq. (2).

Para as zonas com estruturas de proteção (portos ou zona costeiras) é necessário a determinação do galgamento da estrutura, sendo que uma das grandezas pela qual os galgamentos são expressos é o caudal, geralmente apresentado sob a forma de caudal médio de galgamento por unidade de comprimento de estrutura, q ($m^3/s/m$).

Tabela 1 - Fórmulas para o cálculo do *run-up*

Autores	Run-up	
Hunt (1959)	$R_{2\%} = \tan\beta * (H_0 * L_{0s})^{0.5}$	(3)
	$R_{2\%} = 3 * H_0$	(4)
Holman (1986)	$R_{2\%} = H_0 * (0.83 * \xi_{0p} + 0.20)$	(5)
	$R_{2\%} = H_i * (0.78 * \xi_s + 0.20)$	(6)
Nielsen & Hanslow (1991)	$R_{2\%} = L_{RU}(-\ln(0.02))^{0.5}$	(7)
	$L_{RU} = 0.6 * \tan\beta * (H_{orms} L_{0s})^{0.5} \quad \tan\beta \geq 0.1$	(8)
	$L_{RU} = 0.05 * (H_{orms} * L_{0s})^{0.5} \quad \tan\beta < 0.1$	(9)
Stockdon <i>et al.</i> (2006)	$R_{2\%} = 0.043 * (H_0 L_{0p})^{0.5} \quad \xi_{0p} < 0.3$	(10)
	$R_{2\%} = 1.1 * (0.35 * \tan\beta * (H_0 L_{0p})^{0.5} + [(H_0 L_{0p} (0.563 * (\tan\beta)^{0.5} + 0.004))^{0.5}] / 2) \quad \xi_{0p} > 0.3$	(11)
Teixeira (2009)	$R_{m\acute{a}x} = 0.80 * H_0 + 0.62 \quad (\text{mais antiga})$	(12)
	$R_{m\acute{a}x} = 1.08 * H_0 * \xi_{0m\acute{a}x} \quad (\text{mais recente})$	(13)
Ruggiero <i>et al.</i> (2001)	$R_{2\%} = 0.27 * (\tan\beta * H_0 L_{0p})^{0.5} \quad \xi_{0p} \geq 0.5$	(14)
	$R_{2\%} = 0.5 * H_0 - 0.22 \quad \xi_{0p} < 0.5$	(15)
Guza & Thornton (1982)	$R_{1/3} = 0.71 * H_0 + 0.035$	(16)

Tabela 2 - Fórmulas empíricas para o cálculo de *run-up*/galgamento (Mase *et al.*, 2013)

Run-up	$R_{2\%} = H_0 * (2.99 - 2.73 * \exp(-0.57 * (\tan\beta / \sqrt{H_0 / L_0})))$	(17)
	$R_{1/10} = H_0 * (2.72 - 2.56 * \exp(-0.58 * (\tan\beta / \sqrt{H_0 / L_0})))$	(18)
	$R_{1/3} = H_0 * (2.17 - 2.18 * \exp(-0.70 * (\tan\beta / \sqrt{H_0 / L_0})))$	(19)
Galgamento	$q = \sqrt{g H_0^3} * [0.018 * (R_{m\acute{a}x} / H_0)^{3/2} * \{1 - (R_c / H_0) / (R_{m\acute{a}x} / H_0)\}^{3.200}]$	(20)
	$q = \sqrt{g H_0^3} * [0.018 * (R_{m\acute{a}x} / H_0)^{3/2} * \{1 - (R_c / H_0) / (R_{m\acute{a}x} / H_0)\}^{6.240}]$	(21)

No presente trabalho, para o caso de galgamento, seguiu-se a metodologia de Mase *et al.* (2013), que utiliza fórmulas empíricas (baseadas em ensaios em modelo físico) que relacionam o *run-up* e o galgamento de estruturas localizadas junto ou acima da linha de costa. Na Tabela 2 estão representadas as formulações empíricas propostas por estes autores para o cálculo do *run-up* e posterior cálculo do caudal médio galgado. Estas formulações utilizam, em geral, as características das ondas em águas profundas (H_0 , L_0) e as características da estrutura (a distância entre o nível médio da água e a cota de coroamento, R_c , e o declive imaginário, $\tan\beta$, que tem em consideração a configuração da secção transversal da estrutura e do perfil da praia em frente à estrutura) como parâmetros de entrada. Nesta tabela, $R_{1/10}$ é o *run-up* correspondente à média do décimo mais alto dos *run-up*, $R_{m\acute{a}x(37\%,100)}$ é o *run-up* máximo não excedido em 37% dos casos em ensaios com 100 ondas e $R_{m\acute{a}x(99\%,100)}$ o *run-up* máximo não

excedido em 99% dos casos em ensaios com 100 ondas. A implementação destas fórmulas e os cálculos do *run-up* e do galgamento foram realizados recorrendo a programação em linguagem FORTRAN™ (Fortes *et al.*, 2013a, 2013b e 2013c).

2.3.2 Utilização de redes neuronais para o cálculo do galgamento

Um dos recursos para o cálculo do galgamento é a utilização de ferramentas neuronais que consistem num procedimento de transformação de parâmetros de entrada do problema (por exemplo, as características geométricas do perfil da estrutura e os parâmetros definidores do estado de agitação incidente naquele perfil) na variável de saída (no caso, o caudal médio galgado por unidade de comprimento do coroamento da estrutura). Neste trabalho, utilizou-se a ferramenta 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, do tipo *multi-layer feed-forward*, que usam no processo de treino o algoritmo matemático de *error-backpropagation* combinado com um algoritmo *quasi-Newton* ou *Levenberg-Marquardt*. A ferramenta fornece o valor médio do caudal médio galgado por unidade de comprimento do coroamento da estrutura, q , e outros parâmetros estatísticos daquela amostra de resultados.

As redes neuronais contidas naquela ferramenta são baseadas em cerca de 8400 combinações de input-output provenientes de ensaios em modelo físico para diversas características da agitação e diferentes tipos de estruturas, tais como quebra-mares de talude, de estrutura mista e verticais. Os ensaios foram realizados em diferentes laboratórios da Europa, América e Japão. Todas as redes neuronais utilizam os mesmos 15 parâmetros de entrada (Coeveld *et al.*, 2005) que incluem informação sobre a agitação marítima e a geometria da estrutura, o que lhes confere maior flexibilidade do que as fórmulas empíricas/semi-empíricas.

Recentemente, no âmbito do projeto HIDRALERTA, foi desenvolvida uma outra rede neuronal, do tipo ARTMAP (*Adaptive Resonance Theory*), com técnicas de *Lógica Fuzzy*, que foi já aplicada quer na previsão da agitação marítima transferida desde a boia situada em frente ao Porto de Sines até ao posto 2 do seu terminal de granéis líquidos (Santos *et al.*, 2013a), quer ao estudo do galgamento do trecho do molhe Oeste do porto que protege esse posto (Santos *et al.*, 2013b). Os resultados obtidos até ao momento foram bastante satisfatórios, apesar de terem sido obtidos utilizando para parâmetros de treino da rede valores ainda não otimizados, pelo que será necessário realizar uma análise de sensibilidade a estes parâmetros para garantir que a rede ARTMAP-*Fuzzy* gere os melhores resultados possíveis.

2.4 Sistema de alerta e base de dados

O objetivo deste módulo é o desenvolvimento de um sistema para análise 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 desenho do sistema parte do princípio que o nível de alerta associado à área de interesse é determinado pelas condições de agitação num conjunto de pontos críticos. Ou seja, de acordo com os limiares de galgamento/inundação alcançados nesses pontos e associados a determinadas condições de agitação, será atribuído um nível de alerta à área de interesse.

O sistema de alerta é constituído por dois componentes: o componente de avaliação de dados; e o componente de interação com o utilizador. O componente de avaliação de dados tem a responsabilidade de integrar a informação relevante para a identificação de um alerta. Dessa informação fazem parte: a topografia e batimetria da área, as tabelas de risco, as tabelas de transferência e os dados provenientes de sensores, e.g., boia ondógrafo, radar, etc. A avaliação de dados é efetuada depois dos dados provenientes de sensores serem tratados. Esse tratamento consiste em registar as leituras dos sensores e calcular eventuais interpolações entre o ponto onde é efetuada a leitura e pontos críticos (onde é necessário caracterizar a agitação, o que permitirá determinar situações de alerta). Os dados variam de acordo com o sensor utilizado, sendo que a seleção da informação relevante constitui um parâmetro do sistema de alerta. Para a introdução dos dados provenientes das boias ondógrafo, foi implementado um serviço de importação automática que monitoriza periodicamente a informação produzida pelo sensor. No futuro, o sistema deverá suportar a importação de dados provenientes do modelo WAVEWATCH III. Com a caracterização dos

pontos críticos efetuada torna-se possível avaliar os dados de forma a concluir sobre o estado de alerta. Essa avaliação é tomada com base nas tabelas de risco, que fazem corresponder um nível de risco a um determinado conjunto de valores nos pontos críticos. Torna-se, portanto, particularmente relevante conseguir a melhor caracterização possível nestes pontos, através de leitura de sensores no local ou do cálculo de interpolações, quando a leitura direta não é possível. 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. As operações de parametrização permitidas são: a definição de áreas de interesse; a caracterização de pontos críticos; a definição e caracterização de sensores e associação a áreas de interesse; a construção de tabelas de risco e transferência. Além destas operações, o sistema também permite a análise de dados de sensores e alertas. Esta análise é realizada através de tabelas, gráficos e mapas. As tabelas e gráficos permitem a observação das leituras feitas pelos sensores e o resultado das interpolações realizadas para os pontos críticos. 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.

O mapa de risco é construído para medições ou valores calculados nos pontos críticos, dentro de um determinado limiar. Este limiar caracteriza um tipo de evento adverso (galgamento/inundação). Cada ponto ou área está caracterizado com o grau local de risco. O mapa tem também associado um grau geral de risco. Este tipo de mapa é estático e não depende da identificação de um alerta; existe para caracterizar vulnerabilidades da área de interesse. Os graus de risco utilizados correspondem a valores definidos previamente, de acordo com o estudo efetuado à área de interesse, e permitem perceber a relação entre a probabilidade de ocorrência de eventos adversos e as consequências esperadas para esses eventos (ver secção 2.5). Os mapas de consequências contêm a descrição dos efeitos esperados para a área de interesse, associados a um determinado nível de alerta. Este mapa é gerado depois de se determinar que existe um evento adverso.

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. Os especialistas deverão poder aceder às funcionalidades de parametrização e análise de informação. As autoridades responsáveis são 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 e que resultam num conjunto de elementos cujas relações se encontram modeladas no diagrama da Figura 3.

O modelo de dados relaciona os elementos de informação recebidos dos sensores, 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 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 MySQL.

2.5 Avaliação do risco e construção de mapas de risco

O objetivo deste módulo é a avaliação do risco de inundação e galgamento de zonas costeiras e portuárias. Esta avaliação é baseada na combinação entre os valores de probabilidade de ocorrência de valores críticos de inundação/galgamento e os valores de consequências dessa ocorrência perigosa. Para simplificar a determinação do grau de risco, 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, conforme a eq. (22):

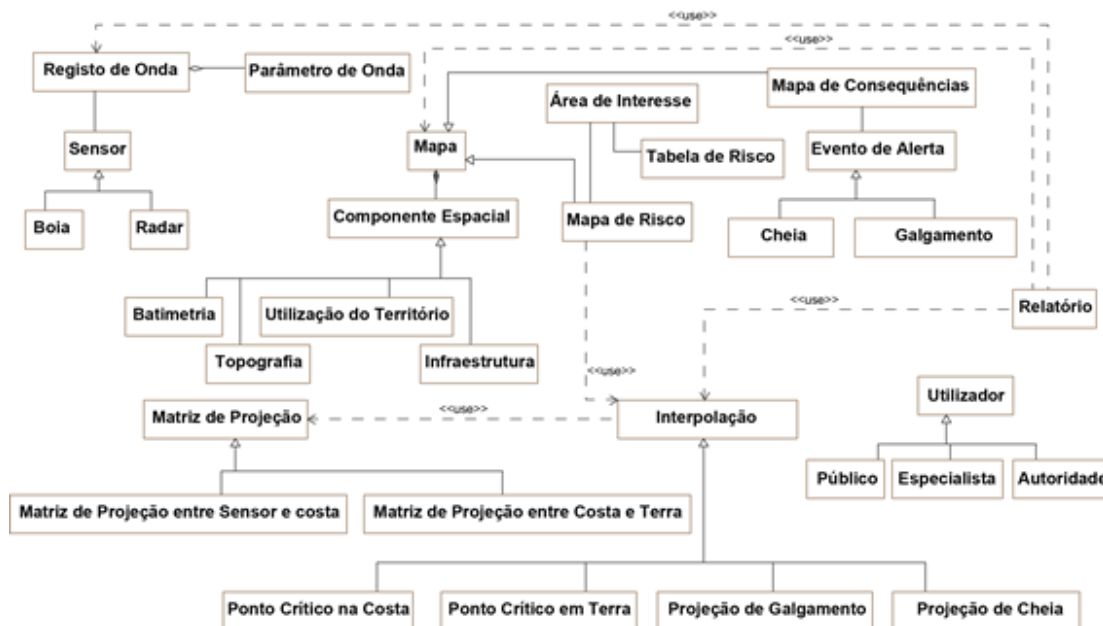


Figura 3 - Diagrama de relações

$$\text{Grau de Risco} = \text{Grau de probabilidade} \times \text{Grau de consequências} \quad (22)$$

Para a avaliação do risco de inundação ou galgamento numa dada zona costeira ou portuária, o procedimento seguido é: a) avaliar a natureza das atividades desenvolvidas na zona abrigada pela estrutura e qual o impacto da inundação/galgamento na segurança de pessoas e infraestruturas; b) estabelecer os caudais críticos de galgamento admissíveis a cada estrutura e tipo de atividade; c) avaliar o grau de probabilidade de ocorrência desses caudais; d) avaliar o grau de consequências; e) avaliar o grau de risco.

Avaliação das atividades da zona em estudo

A avaliação da natureza das atividades desenvolvidas na zona abrigada pela estrutura e do impacto na segurança de pessoas e infraestruturas passa pela obtenção do máximo de informação da zona em estudo. Este trabalho, que deve envolver todas as entidades com responsabilidade sobre a zona em estudo, é fundamental para ter confiança na metodologia de avaliação do risco para uma dada zona de estudo.

Caudais limites

Os limiares para os caudais admissíveis são definidos com base nas diretivas existentes (Pullen *et al.*, 2007), que levam em conta a natureza das atividades desenvolvidas na zona abrigada pela estrutura, o perfil da estrutura galgada e a necessidade de garantir a segurança de pessoas e infraestruturas localizadas nessa zona.

Grau de probabilidade de ocorrência

Quanto aos graus de probabilidade de ocorrência de inundação/galgamento acima de um determinado limiar, os mesmos são definidos com base na Tabela 3 (Raposeiro *et al.*, 2010).

Grau de consequências

No âmbito da avaliação das consequências de ocorrência de inundação ou galgamento numa dada zona, o trabalho desenvolvido iniciou-se por uma abordagem simplista. Considerou-se, de forma qualitativa e global, as consequências que um daqueles eventos tem para a zona de estudo: para as atividades desenvolvidas na zona abrigada pela estrutura, para o perfil da estrutura galgada, para a segurança de pessoas e infraestruturas localizadas nessa zona ou para o ambiente. Na Tabela 4 está representada uma descrição preliminar dos graus das consequências da ocorrência de um evento com valores da cota máxima de inundação e/ou de caudal médio de galgamento que excedem limites pré-estabelecidos (Raposeiro *et al.*, 2010, 2013).

Tabela 3 – Graus de probabilidade de ocorrência de inundação/galgamento que excede os limiares pré-estabelecidos

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

Tabela 4 - Graus de consequências da ocorrência de inundação/galgamento que excede os limiares pré-estabelecidos

Descrição	Consequências (Guia de Orientação)	Grau
Insignificantes	Locais com características geotécnicas relativamente estáveis; praias de areia natural, locais ocupados por <i>habitats</i> de reduzido valor ecológico; caminhos locais ou valas de drenagem	1
Reduzidas	Locais com solos de características geotécnicas fracas ou possuindo alguma vegetação do tipo arbustivo ou outro que lhe confira alguma estabilidade; áreas ocupadas por <i>habitats</i> em condições fitossanitárias débeis.	2
Sérias	Locais com infraestruturas de proteção costeira; locais com estruturas para atividades económicas relevantes; locais com características geotécnicas muito fracas, pouco estáveis e de reduzida resistência à desagregação; áreas ocupadas por <i>habitats</i> com algum interesse ecológico.	5
Muito Sérias	Locais com ocupação humana permanente (zonas urbanas planeadas); locais com estruturas para atividades económicas muito relevantes e permanentes; locais com características geotécnicas muitíssimo fracas, muito instáveis e de muito reduzida resistência à desagregação, sem vegetação estabilizadora; locais com elementos naturais de grande valor cuja perda seria difícil de compensar.	10
Catastróficas	Locais com ocupação humana permanente; locais absolutamente únicos e de enorme valor, e cuja perda seria irreparável; sistemas praia - duna.	25

No entanto, naquela metodologia não há qualquer hierarquização ou atribuição de pesos de importância entre estas diferentes vertentes ambientais, económicas ou sociais que para uma dada zona de estudo a ocorrência de um dado evento perigoso acima de um dado limiar possa ter. É uma forma muito qualitativa de obter o grau de consequências. Recentemente, Poseiro *et al.* (2013b) aplicaram uma metodologia desenvolvida por Antunes (2012) baseada numa análise multicritério que permite analisar espacialmente, classificar e atribuir pesos a cada uma das vertentes que caracterizam uma dada zona de estudo.

Esta metodologia para elaboração do mapa de consequências consiste na construção de um índice espacial de pressão antrópica no litoral através da aplicação do Processo de Análise Hierárquica (AHP). Este processo 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 indicador considerado (Craveiro *et al.*, 2012). Neste processo foram considerados vários indicadores (e sub-indicadores) para representar a pressão antrópica, que incluíam a distribuição espacial do uso do solo, dos edifícios, da população e do turismo. A estes indicadores e sub-indicadores (no 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 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 crescente de importância que varia entre 1 e 9. De notar que, em cada ponto do espaço, existirá apenas uma daquelas propriedades. Por fim, a ferramenta *Weighted Overlay* permitiu integrar todos os indicadores (e sub-indicadores) com os seus pesos definidos e obter o mapa de consequências.

No procedimento anterior, para aplicar o AHP é utilizada uma escala de importância relativa entre pares de indicadores (*a, b*) (Saaty, 2005) em que se indica quantas vezes mais importante é o indicador *a* face ao indicador *b*. Atribuem-se valores que variam entre 1 e 9 no caso de *a* ser mais importante que *b* ou o seu recíproco quando *b* for mais importante que *a*. A matriz de comparação é construída como indicado na Tabela 5, quando são apenas dois os indicadores. Para obter os pesos relativos a cada indicador, é necessário normalizar esta matriz. Para tal,

para uma dada coluna, divide-se o valor de cada coeficiente pela soma de todos os coeficientes dessa coluna.

Tabela 5 – Tabela de índices de consistência aleatória

	Indicador 1	Indicador 2
Indicador 1	1	Avaliação numérica
Indicador 2	1/Avaliação numérica	1

O peso que cada indicador terá é calculado a partir do vetor próprio. Vargas (2010) propõe obter um valor aproximado para este vetor através da média aritmética dos valores obtidos em cada linha da matriz normalizada. Cada uma daquelas componentes do vetor próprio é utilizada diretamente para definir a importância de cada indicador. Para validar a consistência dos pesos atribuídos é calculado um índice de inconsistência λ_{Max} , como mostra a eq. (23):

$$\lambda_{Max} = \sum [(Vetor\ próprio)_{Indicador\ i} \times Peso\ total\ de\ cada\ coluna_{Indicador\ i}] \quad (23)$$

O cálculo do índice de consistência CI (Saaty, 2005) é dado pela eq. (24):

$$CI = \frac{\lambda_{Max} - n}{n - 1} \quad (24)$$

em que CI é o índice de consistência, n é o número de indicadores avaliados e λ_{Max} é o índice de inconsistência. Por fim, Saaty (2005) propõe calcular a taxa de consistência, CR , através da eq. (25):

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0.1 \quad (25)$$

A matriz será considerada consistente se CR for menor do que 10%. O valor de RI é fixo e tem como base o número de indicadores avaliados, conforme a Tabela 6.

Tabela 6 – Tabela de índices de consistência aleatória

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Grau de Risco

Até à data, para a obtenção do grau de risco de inundação/galgamento, realiza-se uma avaliação qualitativa que resulta do produto dos graus atribuídos à Probabilidade de Ocorrência de um evento adverso (Tabela 3) e às Consequências da ocorrência desse evento (Tabela 4). Ainda não se utilizou a metodologia multicritério. Posteriormente recorre-se a uma matriz de cruzamento entre os dois graus, representada na Tabela 7a. A Tabela 7b representa uma descrição de avaliação da aceitabilidade do grau de risco obtido na tabela anterior.

Tabela 7 – a) Graus de risco. b) Descrição de avaliação da aceitabilidade do grau de risco

GRAU DE RISCO		Consequências					Grau	Descrição	Controlo de Risco (Guia de Orientação)
		1	2	5	10	25			
Probabilidade de Ocorrência	1	1	2	5	10	25	1-3	Insignificante	Risco desprezável; não é preciso levar a cabo medidas de controlo de risco.
	2	2	4	10	20	50	4-10	Reduzido	Risco que pode ser considerado aceitável/tolerável caso se seleccione um conjunto de medidas para o seu controlo, possíveis danos materiais de pequena dimensão.
	3	3	6	15	30	75	15-30	Indesejável	Risco que deve ser evitado se for razoável em termos práticos; requer uma investigação detalhada e análise de custo-benefício; é essencial a monitorização.
	4	4	8	20	40	100	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.).
	5	5	10	25	50	125			

3. COSTA DA CAPARICA

3.1 Caracterização local

A praia de São João da Caparica localiza-se no extremo norte da Costa da Caparica, município de Almada (Figura 4). Trata-se de uma praia relativamente extensa, representando uma área balnear de grande importância para as cidades de Lisboa e Almada. Constitui ainda um ponto de lazer para moradores e turistas durante todo o ano.



Figura 4 – a) Localização do caso de estudo, da boia ondógrafo da APL e da praia de São João da Caparica. Fotografias da praia na zona b) sem e c) com estrutura aderente

A praia de São João da Caparica tem um comprimento de 1380 m e está confinada entre dois esporões. O esporão norte tem um comprimento de 350 m e o esporão sul tem um comprimento de 150 m. A praia é de origem sedimentar arenosa e é caracterizada por um sistema dunar pequeno e frágil, com uma série de construções de madeira (bares e restaurantes) localizados na duna frontal (Figura 4b). Junto ao esporão sul encontra-se ainda uma estrutura longitudinal aderente constituída por uma camada de enrocamento e com um núcleo constituído por areias e pedras de pequenas dimensões (Figura 4c).

A escolha por este local foi resultado das seguintes razões: a) encontra-se próximo de uma cidade onde o risco associado à ocorrência de galgamentos e inundação é de maior importância para a sociedade civil; b) é um local onde existem vários dados históricos de perfis batimétricos e topográficos, de agitação, de situações de galgamentos da estrutura aderente e inundação das zonas adjacentes; c) foi neste local que recentemente, em 17 de fevereiro de 2011, ocorreu um grave evento de galgamento e rotura do cordão dunar, seguido de alimentação artificial que tem funcionado bastante bem até agora.

Para esta praia, o trabalho efetuado até à data envolveu: a) a aplicação da metodologia de avaliação do risco em dois perfis da praia, sem e com estrutura aderente; b) fase preliminar de construção de mapas de vulnerabilidade; c) o desenvolvimento do sistema de alerta.

3.2 Avaliação do Risco

A metodologia de avaliação do risco apresentada na seção 2 foi aplicada aos dois referidos perfis da praia de São João da Caparica, um sem estrutura aderente e outro com estrutura aderente (Neves *et al.*, 2012, Neves, 2013, Neves *et al.*, 2013). Primeiramente, efetuou-se a caracterização do regime de agitação marítima com base nos dados medidos *in situ* por uma boia ondógrafo posicionada a oeste do Bugio. O período de dados escolhido foi de 2007 a 2012, e não a partir de 2005, porque só se dispôs de dados de maré a partir de 2005. Com base nesse regime de agitação marítima, procedeu-se ao cálculo do *run-up*/galgamento (caudal médio galgado) nos dois perfis de praia através da aplicação de diferentes fórmulas empíricas, desenvolvidas para praias/estruturas com diferentes características (Tabela 1 e Tabela 2). O nível máximo de inundação na praia foi calculado considerando o valor de *run-up* com probabilidade de excedência de 1% ($R_{1\%}$) somado ao nível de maré medido no marégrafo de Cascais.

3.2.1 Caracterização da agitação marítima

A caracterização da agitação marítima ao largo da praia de São João da Caparica é efetuada com base nos dados da boia ondógrafo da Administração do Porto de Lisboa (APL), que se encontra estacionada à entrada da barra de acesso ao estuário do Tejo (Figura 4a). A boia ondógrafo, do tipo “Triaxys directional wave buoy”, localiza-se a uma latitude de $38^{\circ} 37' 25''$ N, a uma longitude de $9^{\circ} 23' 09''$ W (WGS84) e a uma profundidade batimétrica de -30 m (ZH). Nesta boia existem

dados desde 30 de dezembro de 2005 até 16 de novembro de 2012 (cerca de 7 anos), mas com períodos extensos de falhas. Neste trabalho são particularmente relevantes os parâmetros HS (altura significativa), TZ (período médio), TP (período de pico) e Dir (direção de pico). A título de exemplo, na Figura 5 apresentam-se as séries temporais de HS e Hmax (altura de onda máxima) para o mesmo período. É de salientar o grande número de falhas de medição e a sua extensão.

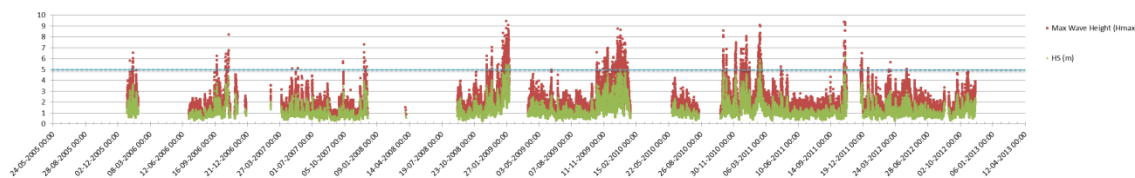


Figura 5 - Séries temporais de alturas de onda (HS e Hmax), de 30.12.2005 a 16.11.2012

3.2.2 Estudo do run-up/galgamento

Para a zona de praia de São João da Caparica, mais concretamente para o perfil de praia sem estrutura aderente, o *run-up* foi estimado através da aplicação das fórmulas apresentadas na Tabela 1. Assim, para cada condição de agitação marítima (altura, período e direção de onda) do regime ao largo (i.e., na boia ondógrafo), em conjunto com as características do perfil da praia, são aplicadas as fórmulas mencionadas anteriormente e obtêm-se as estimativas dos valores de *run-up*, por exemplo, o *run-up* excedido apenas por 1% de todos os *run-up*, $R_{1\%}$, considerado neste trabalho como uma boa estimativa de $R_{m\acute{a}x}$. Para o cálculo da cota máxima de inundação pela eq. (2), foram consideradas as medições do marégrafo de Cascais (que incluem as componentes da maré astronómica e da sobrelevação meteorológica) e os valores de $R_{1\%}$. Esta cota máxima de inundação servirá para a análise do risco de inundação.

Na zona de praia em que existe uma estrutura aderente de defesa costeira, foi estimado o caudal médio de galgamento com base nas fórmulas empíricas de Mase *et al.* (2013), Tabela 2. De igual forma, o regime de agitação marítima na boia ondógrafo e as características do perfil de praia e da estrutura aderente foram considerados na aplicação destas fórmulas.

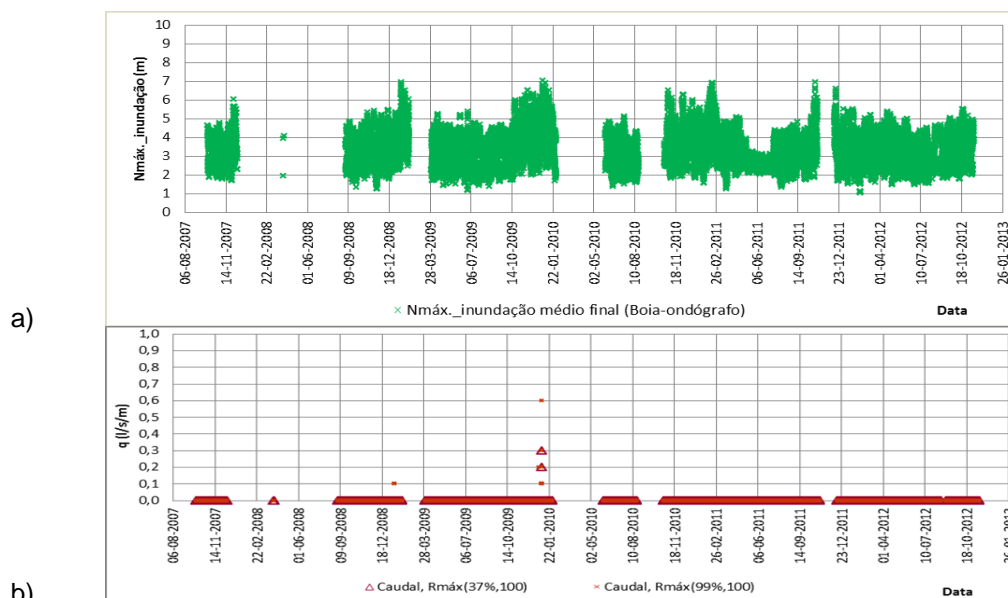


Figura 6 - Séries temporais de: a) cota máxima de inundação (médias) - zona da praia sem estrutura aderente; b) caudais médios galgados por metro linear da estrutura correspondentes a $R_{m\acute{a}x}(37\%,100)$ e a $R_{m\acute{a}x}(99\%,100)$ - zona da praia com estrutura aderente

Na Figura 6a encontram-se representados os valores da média das cotas máximas de inundação de todos os autores ao longo do período de estudo. Da análise desta figura verifica-se que os valores médios da cota máxima de inundação variam entre 1.05 m e 7.03 m. A média obtida é de

3.35 m. Na Figura 6b encontram-se as séries temporais dos caudais médios galgados por metro linear de estrutura correspondentes a $R_{\text{máx}(37\%,100)}$ e a $R_{\text{máx}(99\%,100)}$.

3.2.3 Avaliação do risco de inundação/galgamento

Para a avaliação de risco foi seguida a metodologia descrita em 2.5, pelo que houve que estabelecer os valores da cota máxima da praia e os valores limites do caudal médio galgado por metro linear da estrutura referidos anteriormente. Para esse efeito, considerou-se que para a zona de praia sem estrutura aderente, o perfil representativo desta contém uma cota máxima de 5.1 m (ZH), ou seja, acima desta cota ocorre galgamento do cordão dunar e inundação da zona protegida. No caso da zona de praia com estrutura aderente são impostos os seguintes limites, de acordo com o tipo de estrutura em causa e a natureza das atividades e das infraestruturas existentes, Pullen *et al.* (2007):

- A estrutura de defesa costeira apresenta uma geometria que se enquadra numa estrutura de defesa com talude no tardo, sem danos no coroamento e no tardo caso estes se encontrem bem protegidos (50-200 l/s/m);
- Relativamente às pessoas, devido ao parque de campismo localizado atrás da estrutura, a zona enquadra-se na condição de que as pessoas estão totalmente desprevenidas, que não conseguem observar a agitação incidente, que podem facilmente ficar assustadas ou perturbadas, com vestuário inapropriado para se molharem (0.03 l/s/m);
- Danos nos edifícios (infraestruturas do parque, receções e balneários) dentro do parque de campismo localizado atrás da estrutura de defesa costeira (1 l/s/m);
- Danos em equipamentos localizados a 5-10 m da estrutura (0.4 l/s/m).

Perante os valores limites adotados para a cota máxima de inundação e para o caudal médio galgado por metro linear de estrutura, obtêm-se para a praia sem e com estrutura de proteção aderente as probabilidades de ocorrência de valores que excedam os limites pré-estabelecidos. No caso da praia sem estrutura de proteção aderente, para a cota máxima admitida de 5.1 m (ZH), a probabilidade de ocorrência de acontecimentos com risco de inundação é de 3%. Pela consulta da tabela de probabilidades (Tabela 3) este valor encontra-se num intervalo de 1-10%, associado a um grau de probabilidade de ocorrência de 2 (acontecimento raro). No caso da praia com estrutura de proteção aderente, as probabilidades de ocorrência de galgamentos para as diferentes vertentes (estrutura, pessoas, edifícios e equipamentos) é inferior a 5%.

Para a definição do grau de consequências adotou-se a Tabela 4. No presente trabalho, o grau de consequências considerado adequado ao local de estudo é o grau 10, uma vez que se trata de um local com ocupação humana permanente, com estruturas para atividades económicas muito relevantes e permanentes (bares, restaurantes e parque de campismo), e ainda por se tratar de um local pouco estável devido ao desaparecimento da restinga (Cova do Vapor-Bugio) e do consequente emagrecimento da praia, que possui um cordão dunar pequeno e frágil. Posto isto, as consequências da ocorrência de eventos extremos no local de estudo consideram-se muito sérias.

Com a caracterização do grau de probabilidade de ocorrências na praia e na estrutura e do grau de consequências dessas ocorrências, obtêm-se o grau de risco através do produto dos dois graus mencionados anteriormente. Desta forma, na Tabela 8 apresentam-se os resultados do grau de risco associado ao local de estudo.

Tabela 8 - Grau de risco para as zonas em estudo

Graus	Praia sem estrutura aderente	Praia com estrutura aderente			
		Estrutura	Pessoas	Edifícios	Equipamentos
Grau de probabilidade de ocorrência	2	1	1	1	1
Grau de consequências	10	10	10	10	10
Grau de risco	20	10	10	10	10
Aceitabilidade	Indesejável	Reduzido	Reduzido	Reduzido	Reduzido

A Tabela 8 mostra que a zona da praia sem estrutura de proteção aderente apresenta um risco indesejável, pelo que deve ser tomado um conjunto de medidas para que o mesmo seja minorado caso seja razoável do ponto de vista prático, i.e., deve ser efetuada uma investigação detalhada e realizada uma análise custo-benefício de modo a concluir sobre a viabilidade das medidas mitigadoras. É, de qualquer modo, fundamental proceder à monitorização da zona em estudo. No que diz respeito à zona de praia com estrutura de proteção aderente, o risco é reduzido e tolerável desde que se adote um conjunto de medidas para o seu controlo.

3.3 Fase preliminar da elaboração dos mapas de vulnerabilidade

Com o objetivo de contribuir para um “Modelo de Ocupação Sustentável do Solo” que tenha em consideração a vulnerabilidade territorial às inundações de origem marítima com uma consequente redução do risco, encontram-se em desenvolvimento os mapas que permitem identificar pontos críticos da área de estudo, face às condições de agitação marítima encontradas no local.

Desde os anos 90 do século passado que o litoral oceânico em estudo revela uma menor resistência quer a episódios de tempestade, quer a episódios de marés vivas, o que evidencia o início de um novo ciclo regressivo. Ferreira (1999) e Laranjeira e Ferreira (2000) desenvolveram metodologias com o objetivo de avaliar a vulnerabilidade e o risco biofísico em áreas litorais sob pressão antrópica. Neste estudo, será apenas abordado o início da metodologia de avaliação da vulnerabilidade relacionado com os fenómenos de erosão, uma vez que estes são os determinantes no risco dos sistemas em estudo. Na realidade, a erosão, de origem quer marinha, quer continental, é um dos processos responsáveis pela degradação ambiental e consequente perda de biodiversidade na área de estudo (Laranjeira e Ferreira, 2000). O esquema da Figura 7 ilustra a base conceptual a partir da qual se estruturou a metodologia que se encontra em desenvolvimento.

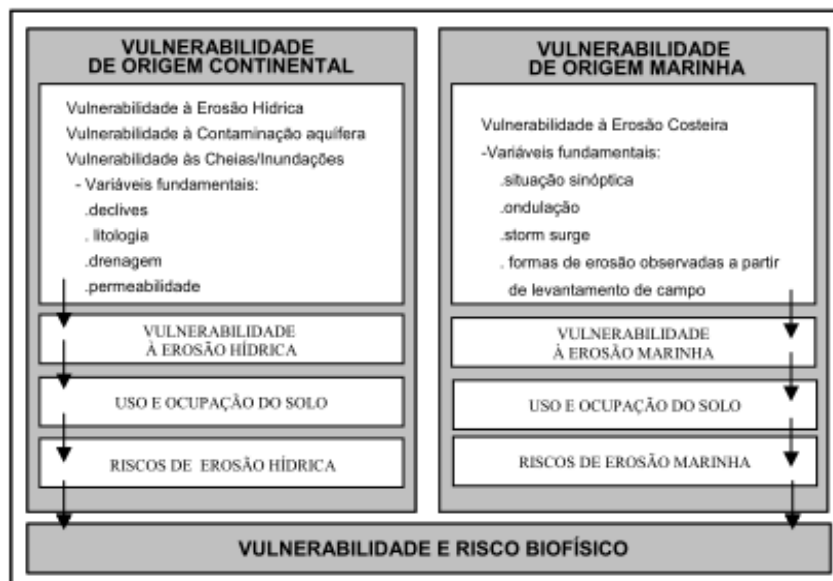


Figura 7 - Enquadramento conceptual simplificado para a determinação da vulnerabilidade e risco biofísico de origem erosiva em litorais sob pressão antrópica (Ferreira e Laranjeira, 2000)

Tendo apenas em conta os sistemas de praia – duna frontal (planície litoral), podemos distinguir quatro grandes tipos de processos erosivos despoletados pelos episódios de temporal e tempestade:

- erosão marinha por sapamento, que afeta fortemente o cordão dunar frontal, talhando perfis de arriba ao longo da frente dunar do sistema com alturas que atingem os 6 m (até à crista da duna) na área em estudo, destruindo alguns dos bares.

- erosão marinha por galgamentos oceânicos, registados em todos os principais acessos pela duna frontal até à praia, e que evidenciam bem a vulnerabilidade do sistema, uma vez que aproveitam todas as descontinuidades do cordão dunar de origem antrópica.
- erosão hídrica e erosão mista (de origem simultaneamente marinha e hídrica), que ocorre essencialmente na desembocadura dos rios, onde as torrentes de água e materiais provenientes das cheias do Tejo concorrem significativamente para a destruição das dunas.

Através da análise dos efeitos morfogenéticos do conjunto de episódios de temporais estudados nos últimos anos, será possível constatar que o cordão dunar frontal e a praia são sistemas mais vulneráveis à erosão marinha. O comportamento dos sistemas referidos revela que a vulnerabilidade à erosão marinha está fortemente dependente da/do:

- litologia: areias soltas da praia e do cordão dunar frontal;
- localização geográfica e características da plataforma: tudo leva a crer que, numa tempestade de Oeste, a energia da ondulação se concentra tendencialmente no interior das enseadas, provocado um “efeito de funil”, e os declives pouco acentuados da plataforma contribuem para um aumento significativo da altura da onda incrementando assim o seu poder energético;
- estado de degradação dos sistemas devido ao uso desregrado: áreas de interrupção da duna frontal em resultado da abertura de acessos à praia, pisoteio generalizado no sistema dunar.

Verifica-se no local que a regeneração natural da duna frontal é consideravelmente superior onde a pressão humana não determina grande transformação do sistema.

3.4 Sistema de alerta

O desenvolvimento inicial do sistema de alerta assenta sobre o caso de estudo da Costa da Caparica. O desenho das interfaces tem como guia os requisitos descritos na secção 2.4. Na Figura 8 encontram-se dois ecrãs tipo da aplicação, de acordo com o modelo que tem vindo a ser desenvolvido.



Figura 8 - Modelo da interface para o sistema de alerta

Cada alerta corresponde a uma área de interesse e contém gráficos que facilitam a consulta rápida de alguns parâmetros. É possível observar com mais detalhe todos os parâmetros e mapas.

4. BAÍA DA PRAIA DA VITÓRIA

4.1 Caracterização local

A baía da Praia da Vitória localiza-se na costa este da Ilha Terceira, uma das nove ilhas do arquipélago dos Açores, e tem cerca de 2400 m de comprimento e 1200 m de largura (Figura 9). Enraizado na Ponta da Má Merenda junto ao forte do Espírito Santo e com a direção norte-sul, foi construído, no início da década de sessenta, o 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). Mais tarde, na década de oitenta, foi construído um segundo quebra-mar com cerca de 1300 m de comprimento e um traçado curvo, 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 (Estruturas portuárias 1).

O porto da Praia da Vitória é a maior infraestrutura portuária dos Açores, e a segunda maior, a seguir à de Ponta Delgada, no que se refere ao movimento de navios e de mercadorias. O porto da Praia da Vitória apresenta vários cais (sendo o cais 12 o maior) e estruturas de atracagem que oferecem condições de manobra de trabalho e de abastecimento (água, eletricidade e combustível).

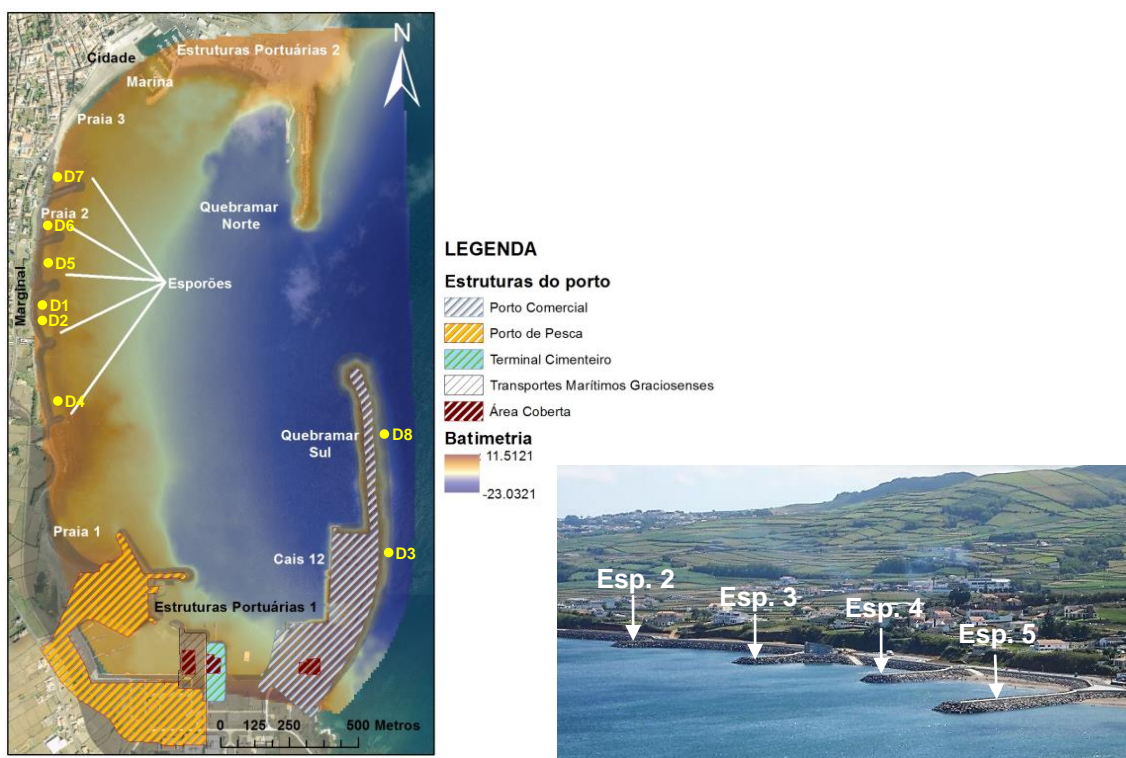


Figura 9 - Baía da Praia da Vitória

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. Estes têm comprimentos diferentes e estão implantados segundo uma direção próxima de WSW-ENE. Entre alguns dos esporões existem praias estreitas, cuja quantidade de areia vai diminuindo à medida que se caminha para sul. A praia mais extensa, Praia Grande, localiza-se entre o esporão 5 e a marina (Praia 3 da Figura 9). Existe ainda uma praia localizada na zona sul da defesa frontal (Praia 1 da Figura 9). Beneficiando do abrigo proporcionado pelo quebra-mar norte, foi construída, no final da década de noventa, pela Câmara Municipal da Praia da Vitória, uma marina, entre a Prainha e a Praia Grande, com cerca de 210 postos de amarração, cais de receção e infraestruturas de apoio.

Para este porto, o trabalho efetuado até à data envolveu: a) a aplicação da metodologia de avaliação do risco ao longo da baía da Praia da Vitória, i.e., para várias estruturas ao longo da

baía; b) a construção de mapas de risco; c) a aplicação da análise multicritério.

4.2 Avaliação do risco de galgamento (forma qualitativa)

Na avaliação do risco qualitativa descrita na secção 2.5, considerou-se um período de dados de agitação marítima entre 2008 e 2012 (5 anos), o efeito do vento local e a variação astronómica do nível de maré. Esta metodologia foi aplicada a oito estruturas ao longo do porto e baía da Praia da Vitória, de D1 a D8 (Figura 9).

Para o cálculo do galgamento em cada estrutura da baía, utilizaram-se as características da agitação marítima estimadas pelo modelo WAVEWATCH III (Tolman, 1999), as estimativas de ventos do modelo NCDC/NOAA (Tolman, 1999) e a variação do nível de maré astronómica do modelo da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL). O modelo SWAN (Booij *et al.*, 1999), primeiro, e o modelo DREAMS (Fortes, 2002), a seguir, permitiram o cálculo das condições de agitação marítima em frente às diferentes estruturas no interior do porto. Os galgamentos são estimados, para cada estrutura, com a ferramenta NN_OVERTOPPING2 (Coeveld *et al.*, 2005). Esta ferramenta considera as características de agitação marítima obtidas com o modelo DREAMS e as características geométricas da estrutura (Poseiro *et al.*, 2013a). A sua aplicação origina um conjunto de resultados no qual, ao longo do período de 5 anos, se registaram vários eventos de galgamento, Figura 10.

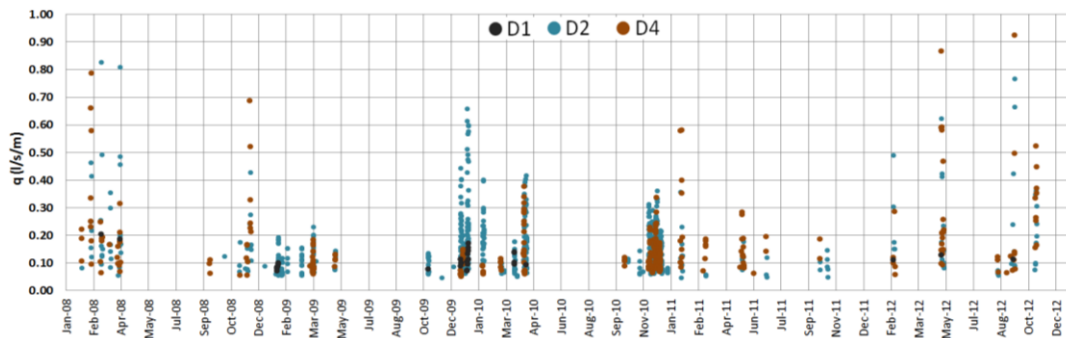


Figura 10 - Galgamento, q , para as estruturas localizadas junto do ponto D1, D2 e D4

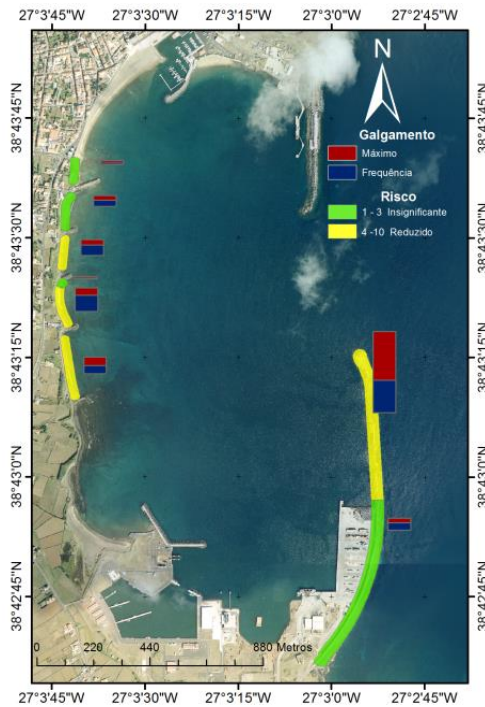


Figura 11 - Mapa de risco (pessoas)

De acordo com as atividades existentes junto a estas estruturas, definiram-se limites com base nas tabelas de Pullen *et al.* (2007) e, sempre que esses limites foram excedidos, houve um aumento do grau de probabilidade de ocorrência. Quanto ao grau de consequências, é definido com base numa tabela, de acordo com a natureza das atividades e também da informação fornecida pela autoridade portuária (Poseiro *et al.*, 2013a). Uma vez que o risco associado aos galgamentos é dado pelo produto entre o grau de probabilidade de ocorrência de galgamentos e o grau de consequências dessa ocorrência, é possível proceder à elaboração dos mapas de risco a fim de se obter informação acerca das regiões onde as ações de mitigação devem ser implementadas. A Figura 11 mostra um exemplo de um mapa de risco para as pessoas.

4.3 Avaliação das consequências

Para a avaliação das consequências, seguiu-se a metodologia indicada na secção 2.5, Poseiro *et al.* (2013b). Assim, após recolha da informação total sobre o porto e a baía, definiram-se os valores dos índices de consistência relativos entre cada indicador e obteve-se a matriz normalizada, Tabela 9.

Tabela 9 - Tabela da matriz normalizada

		I 1	I 2	I 3	I 4	I 5
I 1	Cota de inundação	0.075	0.136	0.075	0.075	0.065
I 2	Uso do solo	0.025	0.045	0.053	0.053	0.032
I 3	Edifícios	0.375	0.318	0.374	0.374	0.387
I 4	População	0.375	0.318	0.374	0.374	0.387
I 5	Vias de comunicação	0.150	0.182	0.125	0.125	0.129

A partir da matriz da Tabela 9, determinou-se o valor do vetor próprio para cada indicador. Esse valor reflete o peso de cada indicador e é obtido simplesmente pela média aritmética dos valores de cada linha da matriz normalizada, Tabela 10. Desta forma, os Edifícios e a População apresentam o maior peso (37%), depois as Vias de comunicação (14%), seguido pela Cota de inundação (9%) e, por fim, pelo Uso do solo (4%). A partir das eqs. (23) a (25) e da Tabela 10 é possível determinar a taxa de consistência, que neste caso se verificou ser significativamente inferior a 10%.

Tabela 10 - Valor aproximado para o vetor próprio para cada indicador

	I 1	I 2	I 3	I 4	I 5
Valor aproximado para vetor próprio (%)	0.09	0.04	0.37	0.37	0.14

No caso dos edifícios, foram considerados dois sub-indicadores, a densidade de alojamentos e as áreas destes. Uma vez definidos os pesos de cada indicador, é necessário definir o peso dos atributos de cada um. Com vista a simplificar, não se considerou necessário aplicar novamente o método AHP. Desta forma, definiram-se numa escala crescente de importância de 1 a 9 os níveis em cada indicador através da reclassificação.

A Figura 12 mostra o mapa de pesos atribuídos a cada indicador: ao uso de solo (Figura 12a), vias de comunicação (Figura 12b), áreas dos edifícios (Figura 12c), cotas de inundação (Figura 12d), densidade de alojamentos (Figura 12e) e densidade populacional (Figura 12f) com a reclassificação já realizada com o peso que se quer dar a cada atributo de cada indicador.

Todos estes passos se encontram descritos no diagrama construído no *ModelBuilder* (Poseiro *et al.*, 2013b). Após correr o modelo do *ModelBuilder* obteve-se o mapa de consequências apresentado na Figura 13, que representa as áreas que apresentam maior vulnerabilidade e pressão antrópica numa escala de 1 a 5.

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 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 (Poseiro *et al.*, 2013a) 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 3), está associada a um nível elevado de probabilidade de ocorrência de galgamentos/inundações, pelo que será uma zona de maior risco.

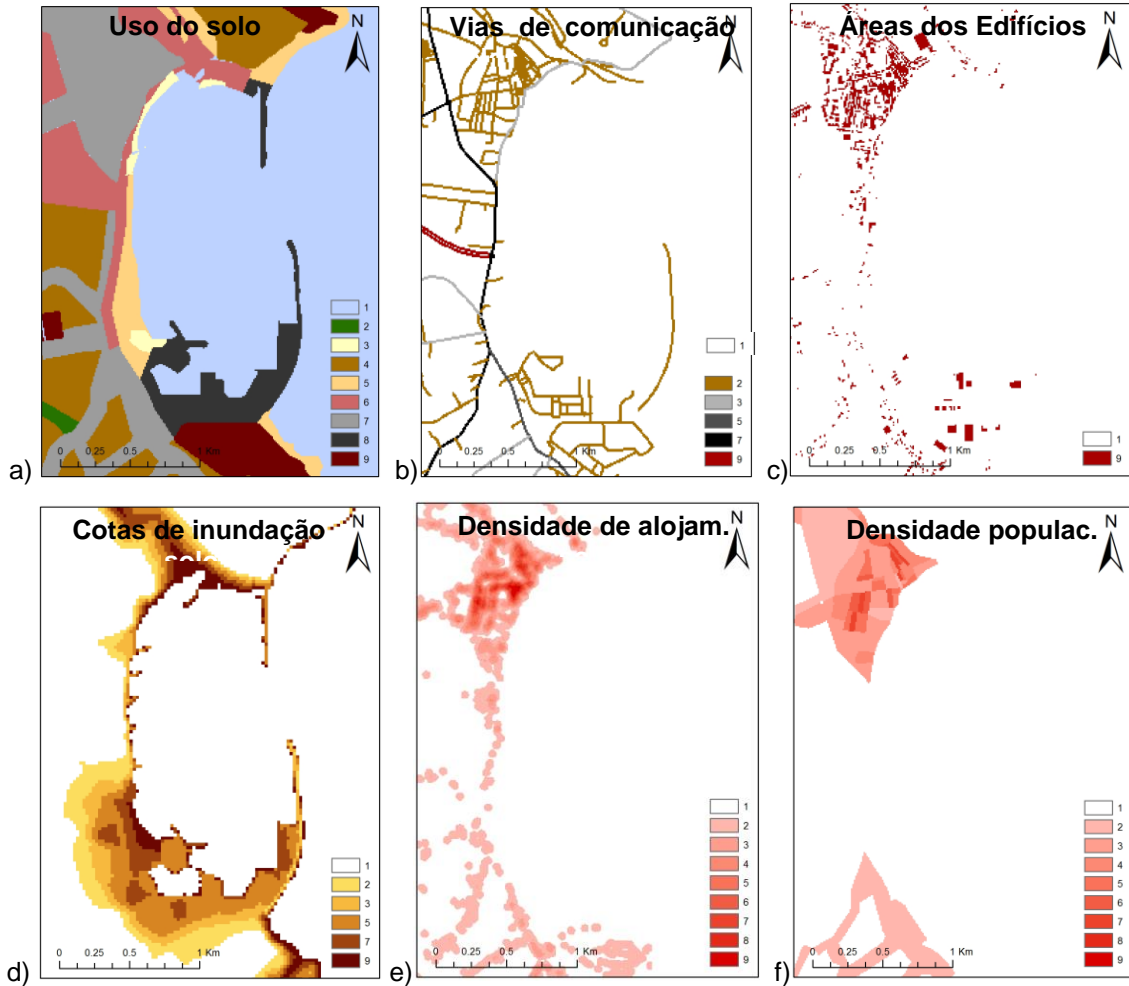


Figura 12 - Índices e pesos atribuídos aos vários indicadores/sub-indicadores: a) uso do solo, b) vias de comunicação, c) áreas dos edifícios, d) cotas de inundação, e) densidade de alojamentos e f) densidade populacional

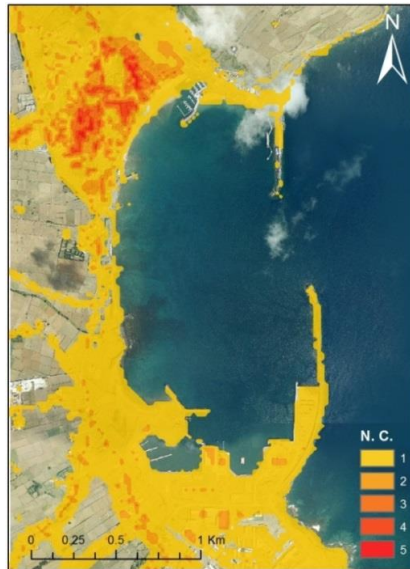


Figura 13 - Mapa de consequências da ocorrência de galgamentos/inundações na Praia da Vitória

5. CONCLUSÃO

Descreveu-se nesta comunicação o projeto HIDRALERTA – sistema de previsão e alerta de inundações em zonas costeiras e portuárias. Este projeto, que envolve três metodologias (a aquisição de dados, a modelação experimental e a modelação numérica), tem como principal objetivo o desenvolvimento de um sistema de previsão e alerta de inundações e galgamentos em zonas costeiras e portuárias. Implementado em ambiente SIG, tem como ideia-base a utilização de previsões da agitação marítima (a 72 horas) para calcular os efeitos dessa agitação na costa, nomeadamente em termos de inundações e galgamentos. Dos resultados obtidos até ao momento, salientam-se:

- a recolha de dados batimétricos, altimétricos, de agitação marítima, de ventos e de níveis de mar para as zonas em estudo;
- o conjunto de dados *in situ* adquiridos na campanha de campo na praia de São João da Caparica que servirá para a validação dos modelos numéricos;
- a previsão da agitação marítima através da aplicação do sistema integrado de modelos numéricos;
- os desenvolvimentos que têm sido efetuados no modelo numérico não linear de propagação de ondas, BOUSS-WMH, com a inclusão de novos fenómenos físicos, nomeadamente a dissipação de energia devida ao atrito de fundo e rebentação das ondas, fenómenos importantes em zonas de baixa profundidade;
- a utilização de metodologias baseadas em fórmulas empíricas e em redes neuronais para a estimação dos valores de *run-up*/galgamento em zonas de praia com e sem estruturas de proteção;
- o desenvolvimento de uma nova rede neuronal, do tipo ARTMAP (*Adaptive Resonance Theory*) com técnicas de Lógica Fuzzy, já aplicada quer na previsão da agitação marítima, quer no estudo do galgamento;
- o desenvolvimento e aplicação de uma metodologia de avaliação de risco aos casos de estudo do projeto, baseada numa avaliação das consequências de forma qualitativa;

- o desenvolvimento de uma metodologia para a construção de mapas de consequências, baseada no método AHP, e sua aplicação ao porto da Praia da Vitória;
- o desenho e o início de implementação do sistema de alerta, e das suas interfaces. Aplicação do novo sistema à praia da Costa da Caparica.

O trabalho futuro poderá envolver as seguintes atividades:

- usar os dados *in situ* da praia da Costa da Caparica já existentes na validação dos modelos numéricos de propagação de ondas usados;
- aplicar o modelo de ondas BOUSS-WMH aos casos de estudo do projeto;
- calcular com recurso a modelos numéricos, o espraçamento/galgamento/inundação de estruturas tipo, a definir, para os dois casos de estudo do projeto;
- realizar ensaios em modelo físico de galgamento dessas estruturas tipo para medição do espraçamento, caudais galgados e cotas de inundação. Estes dados serão utilizados na avaliação do desempenho de ferramentas empíricas, neuronais ou numéricas;
- melhorar a metodologia de construção de mapas de consequências através da especificação *a priori* de pesos a atribuir a cada indicador/sub-indicador, de acordo com informações fornecidas pelas autoridades portuárias e costeiras. Caso se considere necessário, pode expandir-se a utilização do AHP a sub-indicadores, como se fez neste trabalho para o caso dos edifícios;
- criar mapas que ilustrem a distribuição espacial dos volumes galgados, que possam ser cruzados/complementados com mapas de consequências, de modo a poderem obter-se mapas de risco mais completos de ocorrência de galgamentos/inundações;
- definir os níveis (*thresholds*) para acionamento de alertas;
- melhorar as diferentes fases do sistema de alerta.

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.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antunes, Ó. (2012). Análise Multicritério em SIG para Determinação de um Índice Especializado de Pressão Antrópica Litoral. Casos de Espinho, Caparica e Faro. Tese de Mestrado, FCSH, Universidade Nova de Lisboa.
- 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 Research*, C4, 104, 7649-7666.
- Capitão, R., Fortes, C.J.E.M. e Raposeiro, P. (2012). Relatório da Campanha à Costa da Caparica, 29-30 de outubro de 2012. Relatório 02/2012 – HIDRALERTA, LNEC.
- Coeveld, E.M., Van Gent, M.R.A. e Pozueta, B. (2005). Neural Network: Manual NN_OVERTOPPING2. CLASH WP8 – Report, junho.
- Craveiro, J.L., Antunes, O., Freire, P., Oliveira, F., Almeida, I.D. e Sancho, F. (2012). Comunidades urbanas na orla costeira: a metodologia multicritério AHP (Analytic Hierarchy Process) para a construção de um índice de vulnerabilidade social face à ação marítima. Atas do 2º Cong. Ibero Americano de Responsabilidade Social, ISEG, Lisboa, 25 a 27 de outubro.
- Ferreira, J.C. e Laranjeira, M.M. (2000). Avaliação da Vulnerabilidade e Risco Biofísico em Áreas Litorais Sob Pressão Antrópica. Contributo Metodológico para uma Gestão Ambiental”. *Geonova (Revista do Dep. Geografia e Planeamento Regional da Universidade Nova de Lisboa)*, Nº2 /2000, FCSH/UNL, Lisboa, 153-170.

- Ferreira, J.C. (1999). Vulnerabilidade e Risco Biofísico em Áreas Costeiras. O Arco Litoral Caparica – Espichel. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Ambiente, Universidade de Lisboa, 161p.
- 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.
- Fortes, C.J.E.M., Reis, M.T. e Neves, P. (2013a). Programa Calcula_Runup_NovasEquações_condições_largo_1.f. Programa de cálculo do run-up e do nível máximo de inundação utilizando várias formulações empíricas. Relatório 01/2013 – HIDRALERTA, LNEC.
- Fortes, C.J.E.M., Reis, M.T. e Neves, P. (2013b). Calcula_Runup_Holman_condicoescosta.f. Programa de cálculo do runup e do nível máximo de inundação utilizando várias formulações empíricas. Relatório 02/2013 – HIDRALERTA, LNEC.
- Fortes, C.J.E.M., Reis, M.T. e Neves, P. (2013c). Calcula_Runup_galgamento_Mase.f. Programa de cálculo do runup e do nível máximo de inundação utilizando várias formulações empíricas. Relatório 03/2013 – HIDRALERTA, LNEC.
- 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 Engineering*, 9, 527-544.
- Hunt, I.A. (1959). Design of seawalls and breakwaters. *Journal of Waterways and Harbours Division*, 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(5), 346-357.
- 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. (2013). Avaliação do risco de inundação da zona da Costa da Caparica. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente), FCT, Uni.de Coimbra, 120p.
- 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. 8^{as} JPECP, LNEC, 10 e 11 de outubro.
- Nielsen, P. e Hanslow, D.J. (1991). Wave runup distributions on natural beaches. *Journal of Coastal Research*, 7(4), 1139-1152.
- Nwogu, O. (1993) Alternative form of Boussinesq equations for near-shore wave propagation. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 119(6), 618-638.
- Pinheiro L., Fortes C.J.E.M., Santos J.A., Fernandes L., Walkley M. (2011) Boussinesq-type numerical model for wave propagation near shore and wave penetration in harbors. MARTECH 2011, 1st Int. Conf. on Maritime Tech. and Engineering. 10 a 12 de maio, 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). 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. 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. 8^{as} JPECP, LNEC, 10 e 11 de outubro.
- 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, 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. e Guerreiro, J. (2013). Preliminary phases of the Hidralerta System: Assessment of the flood levels at São João da Caparica beach, Portugal, *J. of Coastal Res.*, SI 64, 1896-1900.
- 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.
- Reis, M.T., Neves, M.G., Didier, E., Ferreira, O., Silva, L.G., Afonso, C., Lopes, M.R. e Fortes, C.J. (2012). Maritime structures wave overtopping studies. The Portuguese experience. *Proc. PIANC 2nd Mediterranean Days of Coastal and Port Eng.*, 23 a 25 de maio, Valência, Espanha, Asociación Técnica de Puertos y Costas (ATPyC), 311-330.
- 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.
- Rocha, T., Fortes, C., Reis, M.T., Santos, J.A., Neves, D., Portela, L. e Pinto, F.T. (2013). Comparative evaluation of overtopping risk at Praia da Vitória, Terceira, Azores. *Vetor – Revista de Ciências Exatas e Engenharias*.
- 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.
- Saaty, T.L. (2005). *Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs, and Risks*. Pittsburgh: RWS Publications.
- Sancho, F., Oliveira, F.S.B. e Freire, P. (2011). Níveis máximos do espraiamento no litoral da Ria Formosa. *7as JPECP*, Porto, 6 e 7 de outubro.
- Santos, F.L., Reis, M.T., Fortes, C.J., Lotufo, A.D.P. e Maciel, G.F. (2013a). ARTMAP Artificial Neural Networks with Fuzzy Logic. Their Application to Study the Wave Conditions at Sines Port, Portugal. *Proc. 6th SCACR – International Short Course/Conference on Applied Coastal Research*, 4 a 7 de junho, LNEC, Portugal.
- Santos, F.L., Reis, M.T., Fortes, C.J., Lotufo, A.D.P. e Maciel, G.F. (2013b). Estudo de Galgamentos Utilizando Redes Neurais Artificiais do Tipo Artmap com Lógica Fuzzy. *8as JPECP*, LNEC, 10 e 11 de outubro.
- 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(7), 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. (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. *Proc. 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.
- Vargas, R. (2010). Utilizando a Programação Multi-critério (Analytic Hierarchy Process – AHP) para Selecionar e Priorizar Projetos na Gestão de Portfólio. *PMI Global Congress 2010*, Washington, 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. *Proc. Mediterranean Days of Coastal, Port Engineering*, Palermo, 7 a 9 de outubro.