

## Previsão dos galgamentos na baía da Praia da Vitória para avaliação de risco e alerta

M. T. REIS

Eng. Civil, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal, [treis@lnec.pt](mailto:treis@lnec.pt)

C. J. E. M. FORTES

Eng. Civil, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal, [jfortes@lnec.pt](mailto:jfortes@lnec.pt)

D. R. C. B. NEVES

Físico, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal, [dneves@lnec.pt](mailto:dneves@lnec.pt)

S. RODRIGUES

Física, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal, [srodrigues@lnec.pt](mailto:srodrigues@lnec.pt)

J. A. SANTOS

Eng. Civil, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal, [jasantos@lnec.pt](mailto:jasantos@lnec.pt)

A. S. VIEIRA

Matemática, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal, [asvieira@lnec.pt](mailto:asvieira@lnec.pt)

A. SIMÕES

Física, Universidade dos Açores, LAMTEC, 9700-416 Praia da Vitória, Portugal, [anabela@uac.pt](mailto:anabela@uac.pt)

E. B. AZEVEDO

Eng. Agrónomo, Universidade dos Açores, Terra Chã, 9701-851 Angra do Heroísmo, Portugal, [edubrito@uac.pt](mailto:edubrito@uac.pt)

### RESUMO

Neste trabalho, descrevem-se as metodologias desenvolvidas no LNEC para a avaliação do risco associado à ocorrência de galgamentos inadmissíveis de estruturas portuárias e costeiras e para a previsão e alerta das entidades responsáveis nesses casos. Estas metodologias foram implementadas nos sistemas integrados de apoio à decisão na gestão portuária e costeira, GUIOMAR e MOIA.

Em ambos os casos, as metodologias baseiam-se primeiramente na determinação da agitação marítima e no cálculo dos valores correspondentes do galgamento da estrutura marítima. A determinação da agitação marítima é efectuada em ambos os sistemas recorrendo a uma metodologia de acoplamento de modelos numéricos de propagação de ondas. O cálculo dos galgamentos é efectuado com recurso à ferramenta NN\_OVERTOPPING2, baseada na análise de redes neuronais.

Para teste das metodologias, utilizou-se o caso de estudo da estrutura de protecção costeira da baía da Praia da Vitória, Ilha Terceira, Açores, onde se insere o porto da Praia da Vitória.

Relativamente ao cálculo do galgamento através da ferramenta NN\_OVERTOPPING2, concluiu-se que não é a ferramenta mais adequada para estudos em que o galgamento é calculado em série e/ou em tempo real, pois exige a intervenção do utilizador para optimização da análise de resultados. Relativamente às metodologias, confirmou-se a capacidade dos sistemas GUIOMAR e MOIA em realizarem, de forma interactiva e amigável, a determinação do grau de probabilidade de ocorrência de galgamentos inadmissíveis e o envio de alertas nesses casos, respectivamente. Estas metodologias, agora implementadas nos sistemas, constituem mais um passo no sentido de os tornar sistemas mais robustos e eficazes de apoio à gestão portuária e costeira.

**Palavras-chave:** Galgamentos, Avaliação de risco, Previsão e alerta, GUIOMAR e MOIA, Baía da Praia da Vitória.

## 1. INTRODUÇÃO

A determinação dos galgamentos de estruturas marítimas em zonas portuárias e costeiras é um assunto de elevada importância para a avaliação, quer do risco de falha das próprias estruturas, quer dos riscos associados à inundação destas zonas. Este   um assunto premente em Portugal, dada a severidade do clima de agita o marítima, a extensão da sua costa, a concentra o da popula o e das actividades econ micas na zona costeira e a importância dos portos para a economia nacional. Com efeito, situa es de emergência provocadas pelo estado do mar são frequentes, tornando clara a necessidade de prever situa es de risco em zonas portuárias e costeiras, de realizar mapas de risco para apoio   decisão das entidades responsáveis e de emitir atempadamente alertas, minimizando a perda de vidas e reduzindo prejuízos econ micos e ambientais.

Neste âmbito, o LNEC tem vindo a desenvolver dois sistemas integrados de apoio   decisão na gestão portuária e costeira, um cujo enfoque   de gestão diária evitando situa es de emergência (o sistema MOIA) e o outro de planeamento de interven es a longo prazo na área em estudo (o sistema GUIOMAR).

O sistema MOIA (SANTOS *et al.*, 2008)   um sistema de previsão em tempo real da agita o marítima e de emissão de alertas em caso de ocorrência de perigo para as actividades portuárias ou costeiras. Neste sistema, as características de um estado de agita o são determinadas com alguma antecedência (1 ou 2 dias), utilizando modelos numéricos para previsão da agita o marítima gerada pelo vento a escala regional, e são definidas as correspondentes consequências para as diferentes actividades portuárias ou costeiras (por exemplo, a navega o), com recurso a fórmulas empíricas ou modelos numéricos. Este conhecimento antecipado das características da agita o marítima e das suas consequências permite informar as entidades responsáveis (através de emissão de alertas) da possibilidade de ocorrência de situa es de emergência. Constituiu por isso uma ferramenta de gestão a curto prazo.

O sistema GUIOMAR (ZÓZIMO *et al.*, 2005, 2008; ZÓZIMO e FORTES, 2007; NEVES *et al.*, 2009, 2010b)   um sistema de modela o da agita o marítima em zonas portuárias e costeiras e de avalia o do risco que ela representa para as diferentes actividades portuárias e costeiras. Este sistema pretende ser uma ferramenta de planeamento a longo prazo. Por isso, recorrendo a séries temporais de agita o marítima de longa dura o (anos), avalia as consequências para as actividades desenvolvidas e permite a constru o de mapas de risco. Estes mapas servem de apoio   decisão das entidades responsáveis num ponto de vista de gestão a longo prazo.

Em ambos os sistemas já foram implementadas e aplicadas metodologias relacionadas com a navega o em zonas portuárias, como   o caso dos mapas de risco criados com o sistema GUIOMAR para a navega o no porto de Sines (NEVES *et al.*, 2010b) e no porto da praia da Vitória (NEVES *et al.*, 2011) e o caso da previsão de movimentos verticais excessivos de um navio e emissão de alertas para o porto da Praia da Vitória com o sistema MOIA.

Para além disso, já se encontra implementada no sistema GUIOMAR uma metodologia de cáculo do espraiamento em estruturas marítimas ou em praias e das respectivas cotas de inunda o com recurso a formula es empíricas baseadas em dados experimentais ou de campo. Esta metodologia já foi aplicada   praia de Vale do Lobo, Algarve, permitindo efectuar mapas de risco de inunda o da região em estudo, que inclui zonas protegidas por estruturas de enrocamento (RAPOSEIRO *et al.*, 2009a,b, 2010a,b,c).

No presente trabalho, o enfoque   na previsão dos galgamentos de estruturas marítimas para avalia o de risco e alerta. Assim, pretende-se estender as metodologias que se têm vindo a desenvolver para a navega o e inunda o,   determina o dos galgamentos de estruturas de protec o portuária e costeira e   sua implementa o quer no sistema GUIOMAR para a avalia o

do risco de ocorrência de galgamentos inadmissíveis de estruturas, quer no sistema MOIA para a sua previsão atempada com emissão de alertas caso os valores de galgamentos excedam valores pré-estabelecidos.

É de salientar que o fundamental para a aplicação dessas metodologias de risco, previsão e alerta é o cálculo dos galgamentos das estruturas marítimas, que pode ser efectuado com recurso a formulações empíricas, redes neuronais, modelação numérica e física. Neste trabalho, recorreu-se à aplicação de uma ferramenta desenvolvida com base em redes neuronais.

Nesta comunicação, no ponto 2, descrevem-se a ferramenta NN\_OVERTOPPING2 para determinação do galgamento de uma estrutura marítima e os limites admissíveis para os caudais médios de galgamento. No ponto 3, apresenta-se a metodologia de avaliação do risco e o sistema GUIOMAR, enquanto que o ponto 4 é dedicado à metodologia de previsão e alerta no âmbito do sistema MOIA. No ponto 5, apresenta-se o caso de estudo da protecção marginal da baía da Praia da Vitória, onde se insere o porto da Praia da Vitória. A comunicação termina no ponto 6, com as conclusões do trabalho e uma referência aos futuros desenvolvimentos.

## 2. GALGAMENTO DE ESTRUTURAS MARÍTIMAS

### 2.1 Determinação do galgamento

Actualmente, as ferramentas mais utilizadas para determinar o galgamento de uma estrutura marítima continuam a ser as formulações empíricas (e.g. BESLEY, 1999) ou semi-empíricas (e.g. REIS *et al.*, 2008), apesar do uso de ferramentas baseadas na análise de redes neuronais ser cada vez mais comum (e.g. REIS *et al.*, 2010). Tanto as formulações empíricas como as redes neuronais são ferramentas empíricas, pois baseiam-se em resultados de ensaios em modelo físico e, como tal, a sua aplicação directa é limitada a determinadas configurações de estruturas e a condições específicas de agitação.

Nos últimos tempos, devido à melhoria dos meios de cálculo e ao desenvolvimento de modelos numéricos cada vez mais potentes, o uso deste tipo de modelos começa a tornar-se cada vez mais atractivo. No entanto, ainda não existem modelos numéricos que sejam simultaneamente precisos e eficientes do ponto de vista computacional, embora os diversos tipos de modelos disponíveis, reúnam, cada um, parte destes requisitos (e.g. NEVES *et al.*, 2010a).

A modelação física permanece assim o método mais fiável de determinar o galgamento, sendo os seus resultados utilizados em estudos de protótipo e no desenvolvimento, calibração e validação dos outros métodos de cálculo do galgamento. Contudo, a modelação física é dispendiosa, morosa, exige infra-estruturas e equipamento muito específico e requer uma elevada experiência de quem realiza os ensaios e analisa os seus resultados.

Neste trabalho, utiliza-se para determinação dos caudais médios de galgamento da protecção marginal da baía da Praia da Vitória uma ferramenta baseada na análise de redes neuronais, NN\_OVERTOPPING2. Esta ferramenta foi desenvolvida no âmbito do Programa Europeu CLASH (COVELD *et al.*, 2005; VAN DER MEER *et al.*, 2005; VAN GENT *et al.*, 2005) e resulta da análise conjunta de 700 redes neuronais.

Os valores do caudal médio de galgamento,  $q$ , calculados pela ferramenta e os intervalos de confiança associados são baseados 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. A ferramenta também calcula o caudal esperado no protótipo, i.e. o valor de  $q$  corrigido para ter em conta alguns efeitos de escala e de modelo.

Esta ferramenta utiliza 15 parâmetros de entrada que incluem informação sobre a agitação marítima e a geometria da estrutura (Figura 1), o que lhe confere uma maior flexibilidade que as fórmulas empíricas/semi-empíricas. Note-se que  $H_{m0,toe}$  e  $T_{m-1,0,toe}$  são a altura significativa espectral e o período médio espectral obtidos no pé do talude da estrutura, respectivamente.

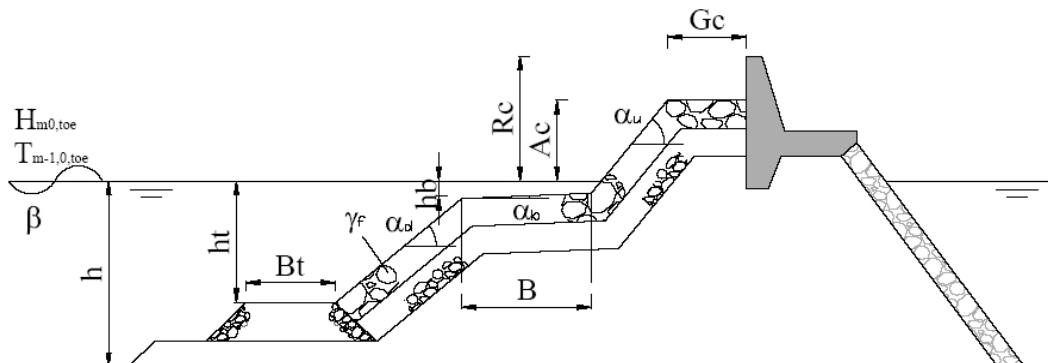


Figura 1 – Parâmetros de entrada da ferramenta NN\_OVERTOPPING2 (COVELD *et al.*, 2005).

Os caudais médios de galgamento obtidos pela NN\_OVERTOPPING2 são depois comparados com os valores admissíveis de galgamento adoptados para o caso de estudo considerado. Esta comparação permite identificar situações de risco para posterior avaliação de risco e decisão sobre a eventual necessidade de alertar as entidades responsáveis.

## 2.2 Valores admissíveis de galgamento

Um critério importante no dimensionamento de uma estrutura marítima, numa avaliação de risco ou num sistema de previsão e alerta de ocorrência de galgamentos é o valor admissível de galgamentos. Este valor depende das consequências económicas da inundação originada pelo galgamento, da natureza das actividades desenvolvidas na zona abrigada pela estrutura, do perfil da estrutura galgada e da necessidade de garantir a segurança de pessoas e infra-estruturas localizadas nessa zona. Os Quadros 1 a 4 mostram os valores críticos do caudal médio de galgamentos por metro linear de estrutura,  $q$ , recomendados no novo manual de galgamentos (PULLEN *et al.*, 2007).

Quadro 1 – Valores críticos do caudal médio de galgamentos para a estrutura marítima (adaptado de PULLEN *et al.*, 2007).

Condições e Tipo de Danos		Caudal médio $q$ (l/s/m)
<b>Estruturas de Defesa com Talude no Tardoz</b>	Sem danos se o coroamento e o tardoz estiverem bem protegidos	50 - 200
	Sem danos no coroamento e no tardoz de um dique de argila coberto por relva	1 - 10
	Sem danos no coroamento e no tardoz mesmo se não estiverem protegidos	0.1
<b>Defesas Frontais</b>	Danos em zonas de circulação pavimentadas localizadas atrás da defesa frontal	200
	Danos em zonas de circulação relvadas ou levemente protegidas	50

Quadro 2 - Valores críticos do caudal médio de galgamentos para pessoas (adaptado de PULLEN *et al.*, 2007).

Condições e Tipo de Danos	Caudal médio q (l/s/m)
Pessoal treinado, com equipamento e calçado adequado, com percepção de que se pode molhar, galgamento gera escoamentos de pouca altura, sem jactos de água a cair, perigo reduzido de queda para o mar	1 - 10
Pessoas cientes, com visão clara do mar, que não ficam facilmente perturbadas ou assustadas, capazes de tolerar o facto de ficarem molhadas, que se deslocam numa zona larga <sup>(1)</sup>	0.1

<sup>(1)</sup> Estas condições não têm que se verificar todas em simultâneo.

Quadro 3 - Valores críticos do caudal médio de galgamentos para veículos (adaptado de PULLEN *et al.*, 2007).

Condições e Tipo de Danos	Caudal médio q (l/s/m)
Circulação a baixa velocidade, galgamento gera escoamentos de pouca altura ( <i>pulsating overtopping</i> ), sem jactos de água a cair na via, veículo não imerso	10 – 50 <sup>(1)</sup>
Circulação a velocidade moderada ou alta, galgamento projectado com grande velocidade ( <i>impulsive overtopping</i> ) ou com jactos de água a cair na via que podem imergir o veículo	0.01 – 0.05 <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Estes limites estão relacionados com o galgamento efectivo obtido na via de circulação.

<sup>(2)</sup> Estes limites estão relacionados com o galgamento obtido na estrutura marítima, mas é assumido que a via de circulação se encontra imediatamente atrás da estrutura.

Quadro 4 - Valores críticos do caudal médio de galgamentos para barcos, edifícios e equipamento localizados na zona abrigada pela estrutura (adaptado de PULLEN *et al.*, 2007).

Condições e Tipo de Danos	Caudal médio q (l/s/m)
Danos significativos ou afundamento de grandes barcos	50
Afundamento de barcos pequenos localizados a 5-10 m da estrutura. Danos em grandes barcos	10 <sup>(1)</sup>
Danos em edifícios	1 <sup>(2)</sup>
Danos em equipamento localizado a 5-10 m da estrutura	0.4 <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Estes limites estão relacionados com o galgamento obtido na estrutura marítima.

<sup>(2)</sup> Estes limites estão relacionados com o galgamento efectivo obtido no edifício.

Merecedora de destaque nestes quadros é a gama crítica de caudais médios por comprimento unitário da estrutura,  $q$ , que vai desde valores tão pequenos como 0.01 l/s/m (para veículos) até 200 l/s/m (para a estrutura galgada). Note-se que para garantir a segurança de pessoas que se encontram na vizinhança da estrutura marítima, PULLEN *et al.* (2007) referem ainda uma taxa crítica mais severa de  $q=0.03$  l/s/m, mas apenas para casos especiais de pessoas totalmente desprevenidas, que não conseguem visualizar a agitação incidente, que podem facilmente ficar perturbadas ou assustadas, que não estão vestidas de forma apropriada para se molharem, que se deslocam numa zona estreita ou propícia a tropeções e quedas.

O manual refere ainda, como regra expedita, que o perigo causado por um galgamento num ponto  $x$ -metros atrás do coroamento da estrutura galgada pode ser avaliado por redução do galgamento obtido na estrutura,  $q$ , por um factor de  $x$ , para  $x$  no intervalo de 5 a 25m. Ou seja, o galgamento efectivo a uma distância  $x$  da estrutura,  $q_{\text{efectivo}}$ , é dado por  $q_{\text{efectivo}}=q/x$ .

### 3. AVALIAÇÃO DO RISCO

#### 3.1 Metodologia

A metodologia de avaliação do risco de ocorrência de galgamentos de uma estrutura marítima, que se encontra em desenvolvimento no LNEC, consiste em três passos fundamentais (Figura 2):

- Definição do regime de agitação marítima junto à estrutura de protecção do porto ou da zona costeira, que pode ser efectuada recorrendo a dados obtidos *in situ* e/ou a resultados de modelos numéricos de propagação de ondas;
- Cálculo dos galgamentos ocorridos na estrutura marítima;
- Cálculo do grau de risco associado à ocorrência de galgamentos que excedem o valor admissível pré-estabelecido.

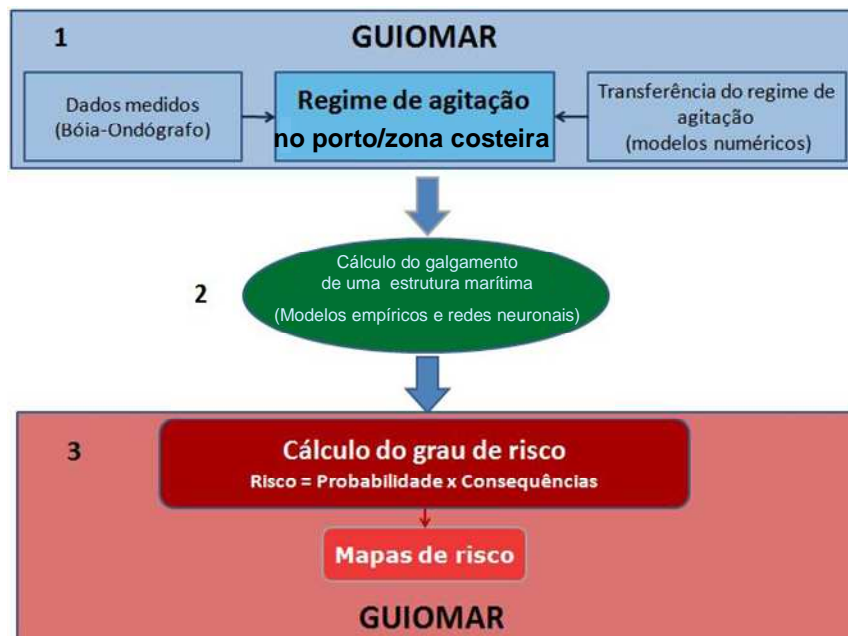


Figura 2 – Metodologia de avaliação do risco.

O sistema GUIOMAR é utilizado no estabelecimento do regime de agitação marítima junto à estrutura considerada (ver ponto 3.2). O cálculo dos galgamentos é efectuado através da ferramenta NN\_OVERTOPPING2 (ponto 2), que é corrida também a partir do sistema GUIOMAR.

Esta metodologia, que permite uma avaliação qualitativa do risco, tem como base a definição de grau de risco como o produto do grau da probabilidade de ocorrência de galgamentos não admissíveis de uma estrutura pelo grau das consequências desse acontecimento. O procedimento para avaliação do grau de risco é o seguinte:

- Definição dos diferentes valores admissíveis de galgamento com base nas características da estrutura galgada e da zona por ela protegida e posterior divisão da zona em estudo em sub-zonas consoante a variabilidade dessas características;
- Estabelecimento de uma tabela de probabilidade de ocorrência de galgamentos não admissíveis e sua aplicação a cada uma das sub-zonas consideradas para determinação dos correspondentes graus de probabilidade;
- Estabelecimento de uma tabela de consequências da ocorrência de galgamentos não admissíveis e sua aplicação a cada uma das sub-zonas consideradas para determinação dos correspondentes graus de consequências;

(iv) Para cada sub-zona, multiplicação dos valores do grau de probabilidade de ocorrência pelos valores respectivos do grau de consequências para obter o grau de risco de ocorrência de galgamentos não admissíveis nessa sub-zona. Com estes valores de risco, são construídos mapas de risco.

Após a definição das sub-zonas a considerar no cálculo dos galgamentos de determinada estrutura, a maior dificuldade surge na definição das tabelas atrás referidas.

Para calcular a probabilidade de ocorrência de galgamentos não admissíveis basta considerar a distribuição dos galgamentos para uma amostra significativa de estados de mar. Seguidamente, atribui-se um grau à mesma probabilidade de ocorrência, de acordo com o seu valor. No Quadro 5 apresentam-se os graus adoptados neste trabalho para a probabilidade de ocorrência de galgamentos não admissíveis.

Quadro 5 - Probabilidade de ocorrência de galgamentos não admissíveis.

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

Nesta metodologia de avaliação do risco de ocorrência de galgamentos não admissíveis, a tarefa mais complexa é a da definição da tabela de consequências. Até à data, ainda não foi estabelecida uma tabela deste tipo e os seu desenvolvimento constitui trabalho futuro.

A metodologia de avaliação de risco está a ser implementada no sistema GUIOMAR através de um novo módulo para aplicação automática dos procedimentos de avaliação de risco e para produção de mapas de risco pré-formatados.

### 3.2 Sistema GUIOMAR

O sistema GUIOMAR (ZÓZIMO *et al.*, 2005, 2008; ZÓZIMO e FORTES, 2007; NEVES *et al.*, 2009, 2010b) é um sistema integrado para a modelação numérica em engenharia portuária e costeira, desenvolvido em linguagem de programação VBA (*Visual Basic for Applications*), num Sistema de Informação Geográfica (SIG). É composto por três componentes principais (Figura 3):

- Um sistema de informação geográfica, e neste caso, o *software* comercial de SIG ArcGIS™;
- Um conjunto de seis módulos correspondentes a diferentes modelos de propagação e deformação da agitação marítima com diferentes domínios de aplicação;
- Uma interface gráfica (GUI), desenvolvida na linguagem de programação VBA, responsável pela ligação entre o *software* SIG e os modelos numéricos de propagação de ondas, possibilitando: a) a execução dos modelos numéricos; b) o pré e pós processamento de dados e de resultados dos modelos numéricos; e c) a utilização de funcionalidades existentes no *software* SIG, tais como a análise e a visualização de dados e resultados, tanto em 2D como em 3D.

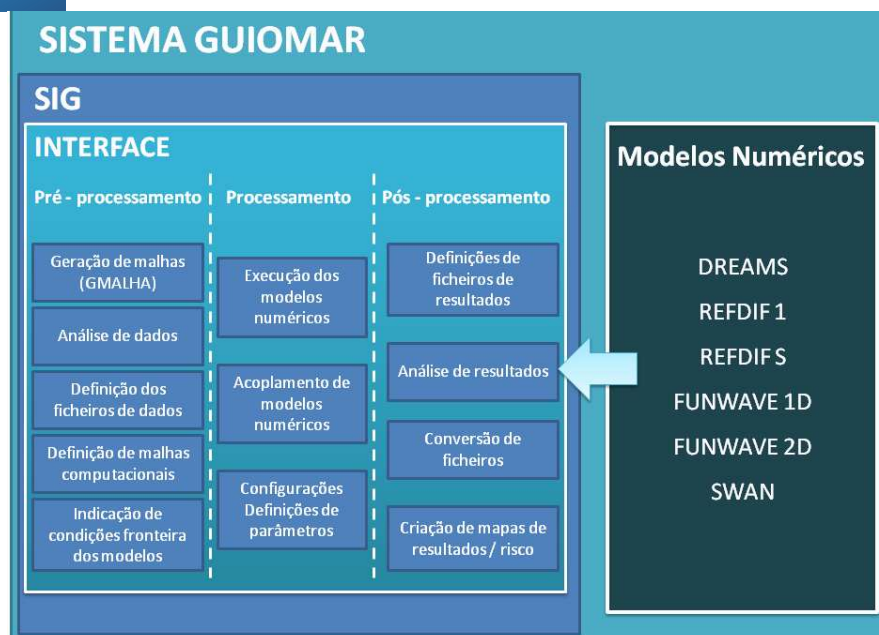


Figura 3 – Esquema do sistema GUIOMAR.

Presentemente, o sistema GUIOMAR alberga seis módulos/modelos (Figura 3): três modelos baseados na equação de declive suave - DREAMS (FORTES, 2002), REF/DIF 1 (DALRYMPLE e KIRBY, 1991) e REF/DIF S (KIRBY e OZKAHN, 1994); dois modelos baseados na equação de Boussinesq - FUNWAVE 1D e 2D (KIRBY *et al.*, 1998); e o modelo espectral de geração, propagação e dissipação da agitação marítima - SWAN (BOOIJ *et al.*, 1999). O programa GMALHA (PINHEIRO *et al.*, 2006) constitui também um módulo, sendo responsável pela geração de malhas computacionais não estruturadas para os modelos numéricos e pode correr independentemente ou acoplado.

A natureza modular do sistema permite ao programador efectuar de forma fácil os melhoramentos e actualizações, tal como a inclusão de novos modelos numéricos com capacidades superiores e que simulem diferentes processos físicos. O sistema GUIOMAR caracteriza-se pela implementação, em termos de programação do sistema, de vários procedimentos automáticos para reduzir a ocorrência de erros humanos e para acelerar a familiarização do utilizador com os procedimentos de operação dos modelos numéricos.

É através da barra de ferramentas que o utilizador escolhe o modelo a aplicar de acordo com o estudo que deseja fazer. Uma vez seleccionado o modelo, é escolhida a directoria de trabalho para o projecto e é apresentada uma série de formulários que ajudam o utilizador a introduzir, manipular e visualizar os dados de entrada no modelo e a correr o modelo numérico seleccionado. Posteriormente, os resultados produzidos podem ser visualizados acedendo à zona de visualização dos resultados nos formulários referentes a cada modelo.

O mais recente desenvolvimento no sistema GUIOMAR consiste num módulo, ainda em construção, que tem por objectivo produzir automaticamente mapas de risco de acordo com a metodologia apresentada na secção anterior. A Figura 4 representa a barra de ferramentas do sistema GUIOMAR através da qual é possível aceder à área de produção de mapas de risco. Até à data, é possível efectuar mapas de risco para a navegação em bacias portuárias (NEVES *et al.*, 2010b, 2011) associados aos movimentos verticais do navio provocados pela agitação marítima incidente. Quanto aos mapas de risco relacionados com o espraiamento e galgamento, os procedimentos estão implementados, mas falta o estabelecimento da tabela de consequências da ocorrência de galgamentos não admissíveis, como já referido anteriormente, para se poderem efectuar os mapas de risco.



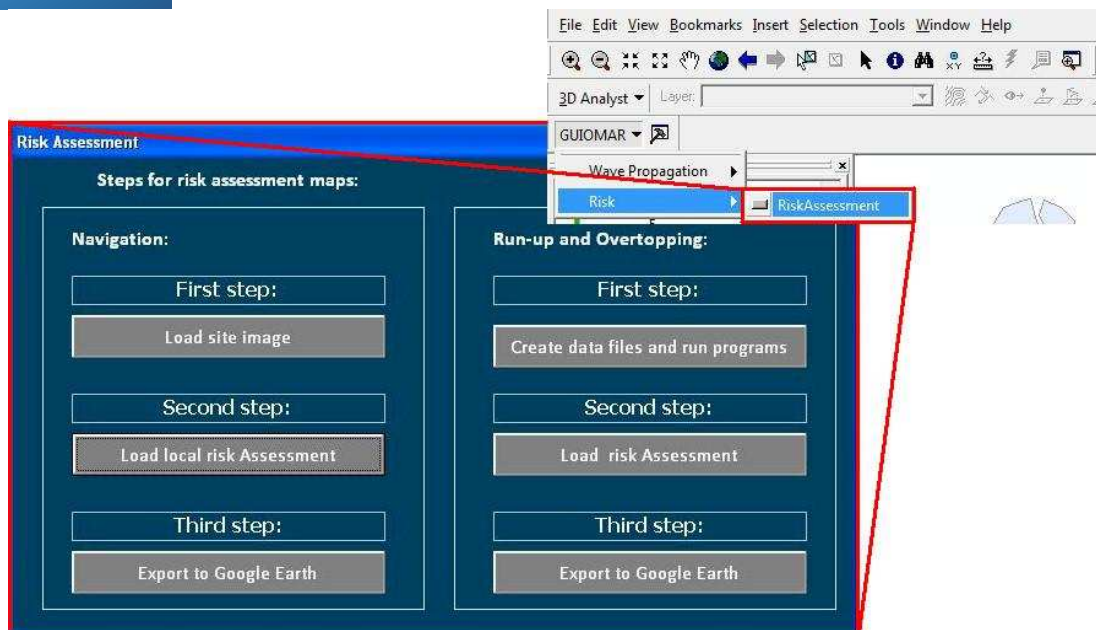


Figura 4 - Barra de ferramentas GUIOMAR com opção para avaliação de risco e interface GUIOMAR para a criação dos mapas de risco.

## 4. PREVISÃO E ALERTA

### 4.1 Sistema MOIA

A ideia principal do sistema integrado MOIA é disponibilizar ao utilizador previsões, com um ou dois dias de avanço, do estado do mar e das suas consequências em pontos seleccionados de portos ou de zonas costeiras partindo de previsões da agitação marítima ao largo dessas zonas que são depois transferidas do largo até ao interior das bacias portuárias ou até à costa. Desta forma, é possível antecipar a ocorrência de eventos adversos devidos à agitação marítima e enviar, em tempo útil, mensagens de alerta às entidades responsáveis, com o objectivo de reduzir drasticamente a ocorrência de situações de emergência em portos e zonas costeiras. Até à data, o MOIA tem sido desenvolvido especificamente para o caso de estudo do porto da Praia da Vitória, nos Açores, mas as suas funcionalidades podem ser facilmente adaptadas a outros locais de estudo. Estas funcionalidades são:

- Caracterização do estado de agitação marítima ao largo de zonas portuárias ou costeiras, através de modelos regionais de previsão de agitação;
- Caracterização dos efeitos da agitação marítima a nível de infra-estruturas portuárias e costeiras, navegação e operações portuárias;
- Envio de mensagens de alerta para as entidades responsáveis, tais como organismos portuários e municipais, para activar em tempo real procedimentos automáticos de mitigação dos riscos em situações de emergência;
- Armazenagem, numa base de dados, de toda a informação relevante.

### 4.2 Caracterização da agitação marítima junto à estrutura

No que diz respeito à primeira funcionalidade, as características da agitação marítima previstas para o largo pelo modelo WAVEWATCH III (WWIII), um modelo de terceira geração desenvolvido no NOAA/NCEP (TOLMAN, 1999), são propagadas para a costa, primeiro com o modelo SWAN (BOUIJ *et al.*, 1999), até à entrada do porto, e daí até ao interior da zona portuária ou costeira com o modelo DREAMS (FORTES, 2002).

Para que possam ser úteis no processo de tomada de decisão, as previsões das características da agitação em pontos seleccionados do interior da zona portuária ou costeira devem estar disponíveis numa base regular para as entidades responsáveis. Para tal, uma vez implementado e testado o procedimento de acoplamento dos modelos numéricos de geração e propagação da agitação marítima (WWIII, SWAN e DREAMS), passou-se à implementação dos procedimentos automáticos que permitem obter as previsões nos locais seleccionados da zona portuária ou costeira.

Em cada hora, os ficheiros contendo as previsões do WWIII das características da agitação marítima ao largo são copiados do *site* da Universidade dos Açores. Pela utilização de matrizes de transferência (SANTOS *et al.*, 2009), previamente construídas com base nos cálculos efectuados com o modelo SWAN e DREAMS e que relacionam as características da agitação ao largo e em vários locais do interior da zona portuária ou costeira, são calculadas as previsões da agitação marítima nesses locais.

Uma vez que são estas previsões das características da agitação marítima no interior da zona portuária ou costeira que podem levar à emissão de mensagens de alerta de acordo com os limiares definidos por cada entidade responsável, as mesmas devem ser adicionadas à base de dados que armazena a informação relevante do MOIA. Utiliza-se este procedimento para permitir a rastreabilidade da informação em que se apoiarão as decisões de gestão.

#### 4.3 Caracterização dos efeitos induzidos pela agitação marítima

O sistema MOIA tem vindo a ser aplicado aos efeitos da agitação marítima em termos de altura do movimento vertical de embarcações que navegam no interior do porto (SANTOS e RODRIGUES, 2010; SANTOS *et al.*, 2010). Contudo, no presente trabalho, o objecto de estudo são os efeitos da agitação marítima em termos de ocorrência de galgamentos da estrutura de protecção da baía da Praia da Vitória. Para tal, tem-se utilizado a ferramenta NN\_OVERTOPPING2 (ver ponto 2.1), mas outras metodologias com características diferentes encontram-se também em análise.

#### 4.4 Emissão de mensagens de alerta

A interface com o utilizador (Figura 5) trata do registo dos utilizadores, da selecção das sub-zonas disponíveis de cálculo do galgamento de interesse para o utilizador e da definição das mensagens de alerta que ele deseja receber, bem como o meio pelo qual tal mensagem será difundida (por enquanto, correio electrónico e/ou SMS).

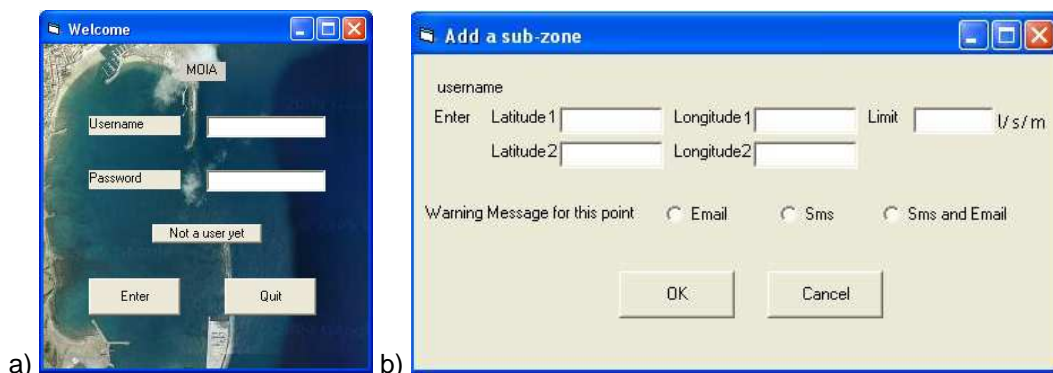


Figura 5 – A interface MOIA. a) identificação do utilizador; b) adicionar uma sub-zona de observação.

Tais mensagens devem ser emitidas sempre que, para um dado evento adverso, as variáveis observadas (as respostas ao fenómeno) apresentam valores considerados perigosos para uma

dada sub-zona e/ou actividade - no caso de estudo aqui descrito, a variável observada é o galgamento da estrutura de protecção da baía onde se insere o porto da Praia da Vitória.

Como a resposta em termos de galgamento depende das características da agitação marítima, o sistema de suporte à decisão apenas necessita de conhecer os parâmetros de estado do mar e a função que os relaciona com os valores críticos da variável observada.

## 5. CASO DE ESTUDO

Para ilustrar as etapas já desenvolvidas da nova metodologia de avaliação do risco de ocorrência de galgamentos de uma estrutura marítima com recurso ao sistema GUIOMAR e ao sistema MOIA para emissão de alertas, utilizou-se o caso da estrutura de protecção da baía da Praia da Vitória, na Ilha Terceira, Açores.

### 5.1 Caracterização geral do local

A baía da Praia da Vitória localiza-se na costa Este da Ilha Terceira, uma das nove ilhas do arquipélago dos Açores, Portugal (Figura 6). Na zona sul da baía está localizado o porto da Praia da Vitória e na zona norte encontra-se uma marina e o terminal de abastecimento da base aérea nº4. As estruturas de protecção destas infra-estruturas portuárias, os chamados molhe sul e molhe norte, definem a baía, cuja área, aproximadamente rectangular, tem cerca de 1 km x 2 km.



Figura 6 - 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 que enraízam na defesa frontal e que são aqui referidos como esporões 1 a 5, de sul para norte (Figura 7). No enraizamento do esporão 3 encontra-se um edifício no qual funciona actualmente um bar (Figuras 6 e 8).

Entre alguns dos esporões existem praias estreitas, cuja quantidade de areia vai diminuindo à medida que se caminha para sul. A praia mais extensa localiza-se entre o esporão 5 e a marina (Figura 6).



Figura 7 - Marginal da Praia da Vitória: esporões 2 a 5.

Na Figura 8 apresenta-se o perfil-tipo da defesa frontal aderente e na Figura 9 o perfil correspondente à zona do enraizamento do esporão 3, junto ao edifício.

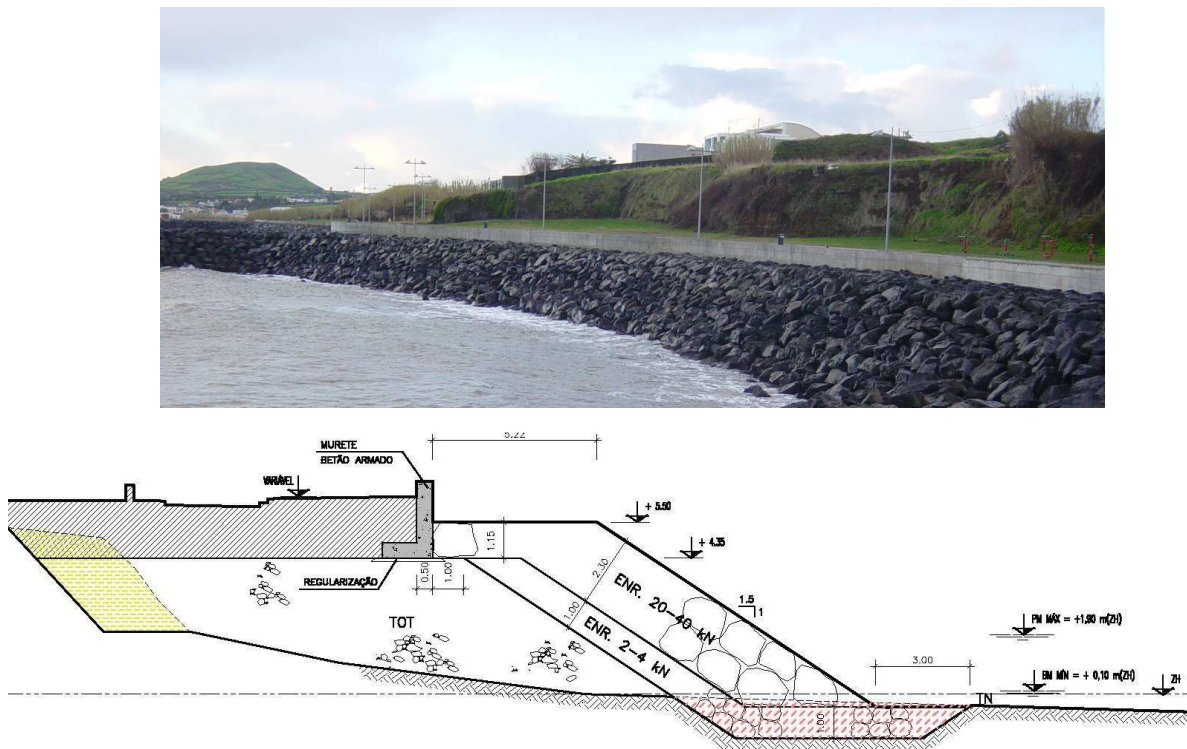


Figura 8 - Perfil tipo da defesa frontal.

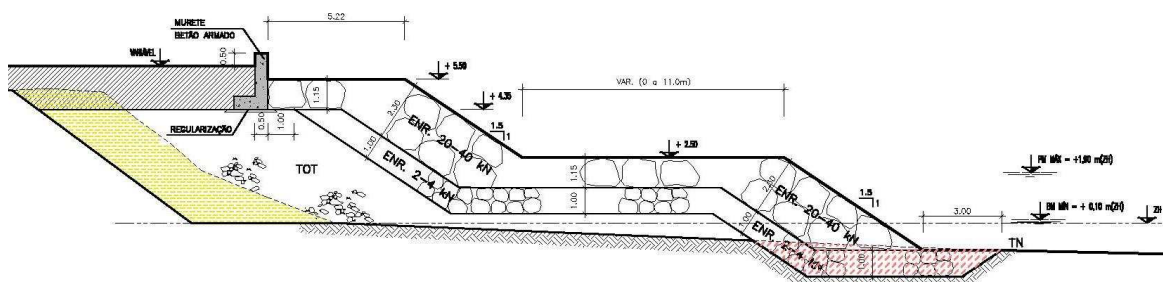


Figura 9 - Perfil da defesa frontal junto ao esporão 3.

## 5.2 Caudais admissíveis

A eventual ocorrência de galgamentos pode causar estragos na defesa frontal, na estrada marginal e no edifício localizado no enraizamento do esporão 3, e pode condicionar a utilização segura da estrada marginal por pessoas e veículos.

Para o caso de estudo em questão, os caudais efectivos admissíveis adoptados são os seguintes (ver Quadros 1 a 4):

- Estrutura galgada e estrada marginal: 200 l/s/m
- Edifício: 1 l/s/m
- Veículos: 10 l/s/m
- Pessoas: 0.1 l/s/m

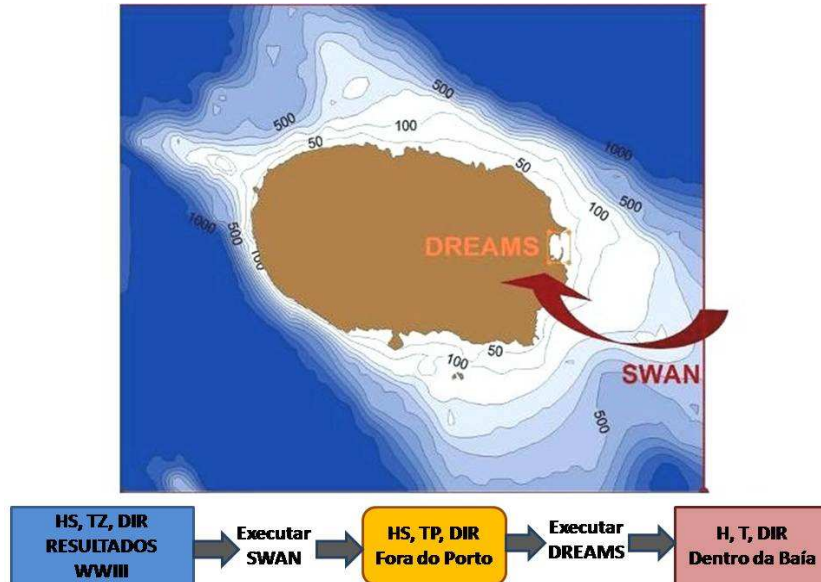
Neste trabalho, não se analisou a inundação das áreas em que se verificou a ocorrência de galgamentos.

## 5.3 Regime de agitação marítima

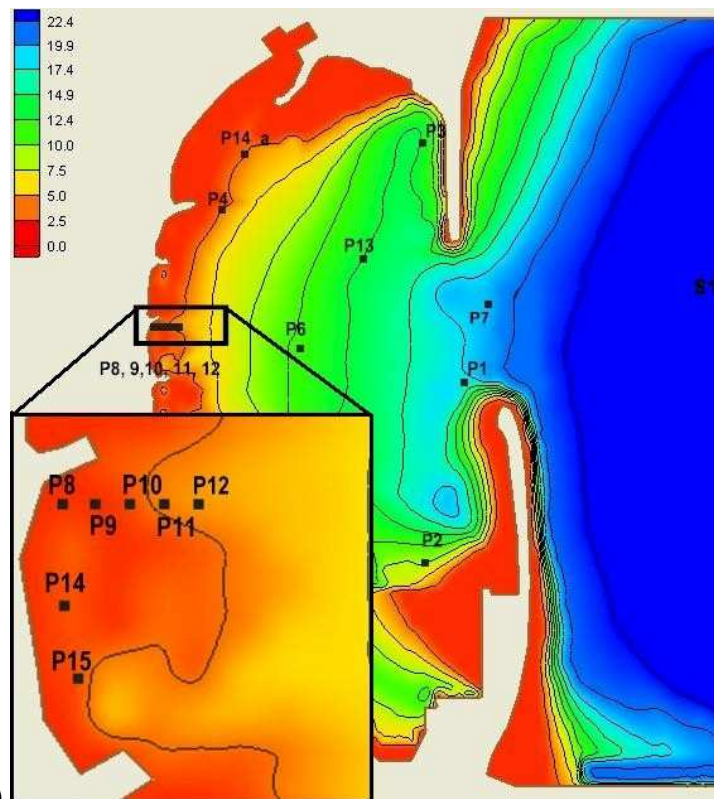
Para a definição do regime de agitação no interior da baía da Praia da Vitória foram utilizadas as previsões no nó de cálculo do modelo numérico de previsão da agitação marítima à escala oceânica WAVEWATCH III (WWIII) coincidente com o canto superior direito da Figura 10a). A implementação daquele modelo foi realizada no âmbito dos projectos CLIMAAT e MacSIMAR (AZEVEDO e GONÇALO, 2005). Neste trabalho, o conjunto de dados utilizados perfaz um total de 8760 valores horários correspondentes a 1 ano de previsão, desde o dia 1 de Janeiro de 2009 até 1 de Janeiro de 2010.

Os resultados das previsões do ano de 2009 do modelo WWIII ao largo foram transferidos para o interior da baía com recurso a dois modelos de propagação e deformação da agitação marítima: o modelo SWAN e o modelo DREAMS (Figura 10a). Assim, obtiveram-se primeiramente os valores da agitação marítima no ponto S1 (exterior à baía) com o modelo SWAN e posteriormente com o modelo DREAMS os correspondentes valores nos pontos P1 a P15 no interior

da baía (Figura 10b). Estes cálculos foram feitos para dois níveis de maré: +1.4 m (ZH), resultante da coincidência do nível médio de +1.0 m (ZH) e de uma sobrelevação meteorológica de 0.4 m; e +2.5 m (ZH), nível muito extremo que resulta da coincidência de uma preia-mar máxima de +2.0 m (ZH) e de uma sobrelevação meteorológica de 0.5 m. No futuro, estes cálculos serão feitos com variação do nível de maré ao longo do tempo.



a)



b)

Figura 10 – a) Metodologia para a transferência do regime de agitação marítima do largo para o interior da baía da Praia da Vitória; b) Batimetria com a localização dos pontos SWAN (S1) e DREAMS (P1 a P15).

A título de exemplo, apresenta-se na Figura 11 o regime de agitação obtido no ponto P8, que se localiza próximo do enraizamento do esporão 3 e por conseguinte do edifício.

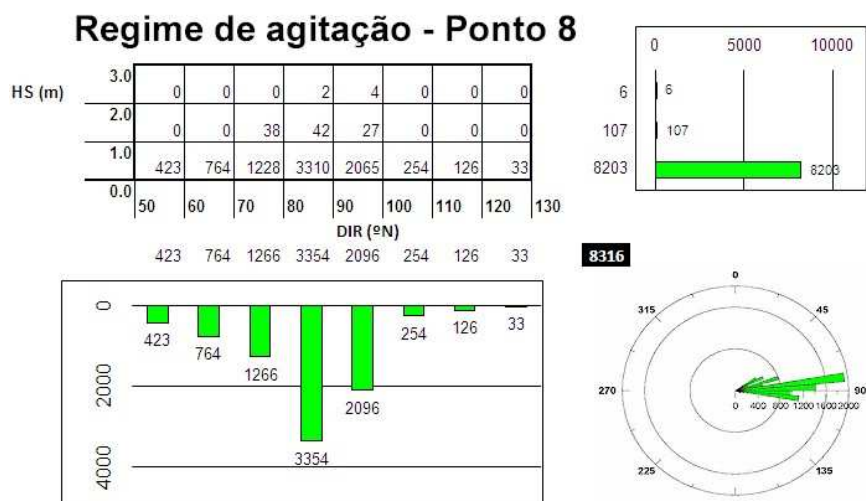


Figura 11 - Baía da Praia da Vitória. Regime geral no ponto P8: Histograma geral conjunto (HS, DIR) das ocorrências, respectivas distribuições marginais e rosa de direcções.

No Quadro 6 indicam-se os valores dos parâmetros estatísticos (máximo, média, mínimo, desvio-padrão e gama mais frequente) do estado de agitação marítima para os dois pontos seleccionados neste trabalho: P8 e P14 (entre os esporões 2 e 3). Estes pontos foram escolhidos por corresponderem a dois perfis distintos da defesa frontal. Analisando os parâmetros estatísticos apresentados no Quadro 6, em relação aos valores de HS e tal como seria de esperar, verifica-se que para os pontos P8 e P14, existe um decréscimo de HS para o nível de maré de +1.4 m (ZH) relativamente ao nível de +2.5 m (ZH). Observa-se também que o ponto P14 apresenta valores um pouco mais altos que o ponto P8. Nota-se claramente a diminuição da HS em relação à agitação no ponto S1.

Quadro 6 - Parâmetros estatísticos da agitação marítima fora do porto, ponto SWAN (S1), e nos pontos DREAMS (P8 e P14) para os níveis de maré de +1.4 m (ZH) e +2.5 m (ZH).

Pontos \ Parâmetros Estatísticos		Máximo	Média	Mínimo	Desvio Padrão	Gama mais frequente
<b>S1</b>	HS (m)	3.77	0.85	0.07	0.54	[0.0 - 1.0] (69.18%)
	TP (s)	16.69	9.19	2.45	2.48	[10.0 - 11.0] (17.28%)
	DIR (º)	352.5	47.5	7.5	54.4	[20.0 - 30.0] (47.48%)
<b>P8 +1.4m(ZH)</b>	HS (m)	2.55	0.13	0.001	0.22	[0.0 - 1.0] (98.64%)
	TP (s)	16.69	9.47	4.06	2.18	[10.0-11.0] (18.03%)
	DIR (º)	125.3	83.6	55.5	12.3	[80.0 – 90.0] (40.45%)
<b>P14 +1.4m(ZH)</b>	HS (m)	3.54	0.27	0.02	0.47	[0.0-1.0] (92.49%)
	TP (s)	16.69	9.47	4.06	2.18	[10.0-11.0] (18.03%)
	DIR (º)	112.6	86.9	57.3	9.7	[80.0 – 90.0] (41.11%)
<b>P8 +2.5m(ZH)</b>	HS (m)	2.45	0.14	0.002	0.25	[0.0 - 1.0] (98.03%)
	TP (s)	16.69	9.47	4.06	2.18	[10.0-11.0] (18.03%)
	DIR (º)	123.9	85.2	64.9	9.5	[80.0 – 90.0] (34.84%)
<b>P14 +2.5m(ZH)</b>	HS (m)	2.96	0.23	0.02	0.39	[0.0-1.0] (94.23%)
	TP (s)	16.69	9.47	4.06	2.18	[10.0-11.0] (18.03%)
	DIR (º)	114.7	85.9	69.1	7.1	[80.0 – 90.0] (60.94%)

Relativamente às direcções de onda, pode observar-se a rotação das cristas das ondas aquando da entrada na baía e que a direcção principal das ondas nos pontos P8 e P14 é praticamente perpendicular à defesa frontal aderente em estudo, ou seja de Este para Oeste.

#### 5.4 Galgamentos

Neste trabalho, os caudais médios de galgamento,  $q$ , foram calculados nos pontos P8 e P14, assumindo os níveis de maré de +1.4 m (ZH) e +2.5 m (ZH) constantes ao longo do ano de 2009.

Para analisar os resultados de galgamento, considerou-se a variação de  $q$  ao longo do ano de 2009 e, uma vez que  $q$  é fortemente dependente dos valores de  $H_S$  e  $T_{m-1,0}$ , considerou-se também a correspondente variação do parâmetro  $gHST_{m-1,0}$  (sendo  $g$  a aceleração da gravidade), muitas vezes utilizado para caudais adimensionais (REIS, 1998).

Nas Figuras 12 e 13 apresentam-se os resultados obtidos. Note-se que ao analisar estes resultados, não se pode esquecer que os níveis de maré foram considerados constantes ao longo do ano, o que compromete a veracidade dos resultados obtidos, mas não põe em causa a ilustração da análise que é possível realizar.

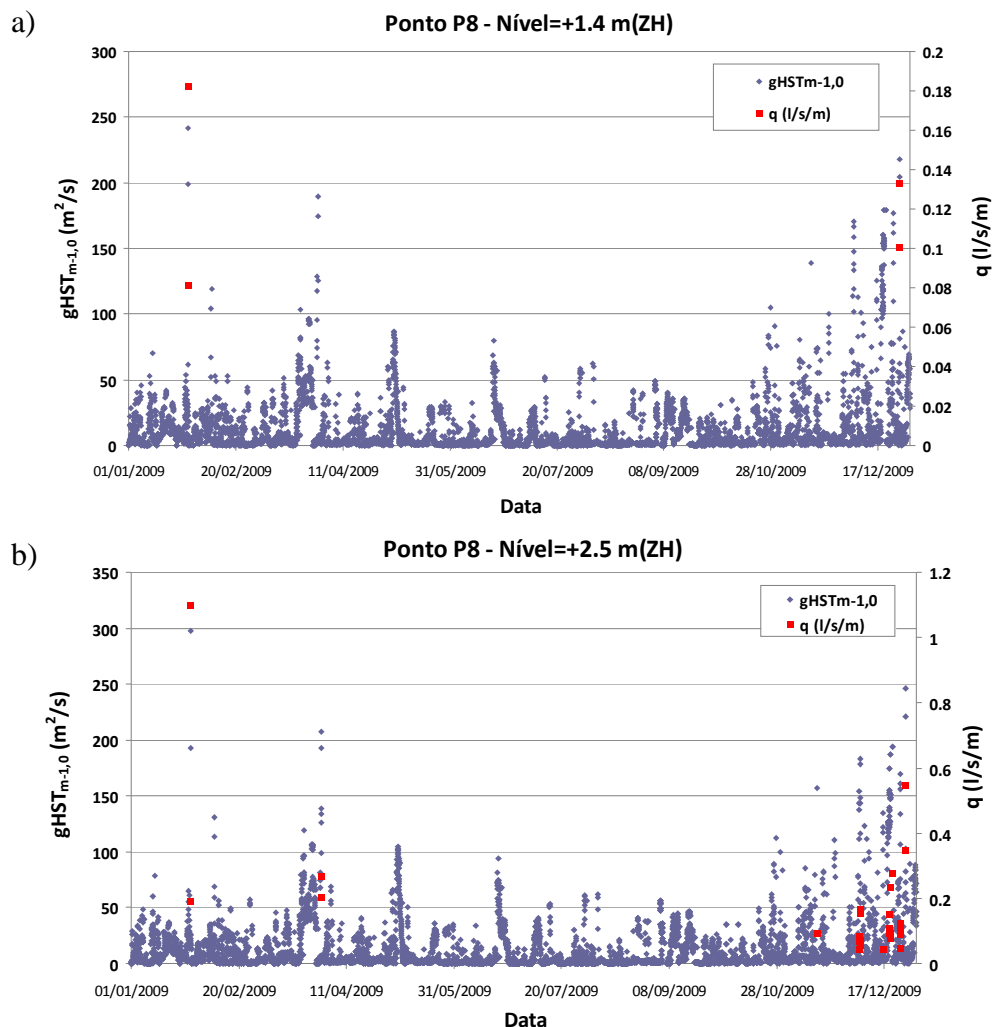


Figura 12 – Série temporal dos caudais médios,  $q$ , e de  $gHST_{m-1,0}$  obtidos em 2009 no ponto P8: a) para um nível de maré de +1.4 m (ZH); b) para um nível de maré de +2.5 m (ZH).



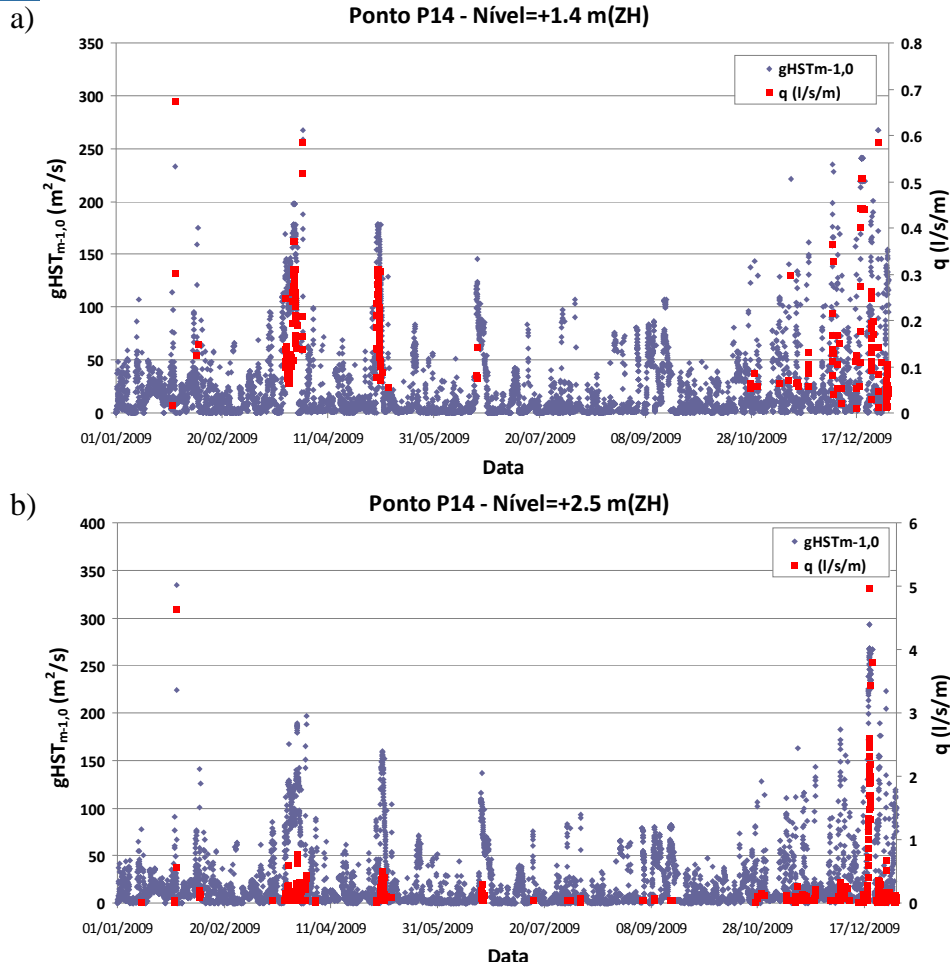


Figura 13 – Série temporal dos caudais médios,  $q$ , e de  $gHST_{m-1,0}$  obtidos em 2009 no ponto P14: a) para um nível de maré de +1.4 m (ZH); b) para um nível de maré de +2.5 m (ZH).

## 5.5 Análise de resultados

A título de exemplo, analisam-se seguidamente os resultados obtidos apenas para o ponto P8, nível de maré de +1.4 m (ZH), e para o ponto P14, nível de maré de +2.5 m (ZH).

No ponto P8, para um nível de maré de +1.4 m (ZH), verificam-se 4 ocorrências de galgamento, em 2 dias do ano, correspondendo a uma probabilidade de ocorrência de 0.05%, ou seja, de acordo com o Quadro 5, é um evento adverso improvável (grau 1) e ocorre com  $gHST_{m-1,0} > 200 \text{ m}^2/\text{s}$ , aproximadamente. A consulta dos Quadros 1 a 4 e os resultados apresentados na Figura 12a) revelam que o valor médio dos galgamentos a que a estrutura está sujeita é inferior a 0.18 l/s/m, sugerindo que o galgamento não provoca danos na estrutura galgada, nem danos estruturais na marginal (estrada e passeios) e no edifício que aí se localiza. Assumindo que a circulação de veículos se faz a baixa velocidade, os galgamentos também não puseram em causa a sua segurança e integridade. A segurança das pessoas que transitam nesta zona estaria no limiar da existência de perigosidade em 3 ocorrências, sendo necessário nestes casos a emissão de alertas às entidades responsáveis através do sistema MOIA, para eventual aviso à população e/ou interdição da zona.

No ponto P14, para um nível de maré de +2.5 m (ZH), verificam-se 473 ocorrências de galgamento, em 69 dias do ano, correspondendo a uma probabilidade de ocorrência de 5.4%, ou seja, de acordo com o Quadro 5, é um evento adverso raro (grau 2) e ocorre com  $gHST_{m-1,0} > 75 \text{ m}^2/\text{s}$ , aproximadamente. A consulta dos Quadros 1 a 4 e os resultados apresentados

na Figura 13b) revelam que o valor médio dos galgamentos a que a estrutura está sujeita é inferior a 4.96 l/s/m, sugerindo que o galgamento não provoca danos na estrutura galgada, nem danos estruturais na marginal (estrada e passeios). Assumindo que a circulação de veículos se faz a baixa velocidade, os galgamentos também não puseram em causa a sua segurança e integridade. Os valores de caudais são perigosos para as pessoas que transitam nesta zona em 261 casos, correspondentes a 38 dias do ano, sendo necessário nestas situações a emissão de alertas.

## 6. CONCLUSÕES E FUTUROS DESENVOLVIMENTOS

Nesta comunicação, apresentam-se as metodologias desenvolvidas no LNEC quer para a avaliação do risco associado à ocorrência de galgamentos de estruturas portuárias ou costeiras, quer para a previsão em tempo real e emissão de alertas às entidades responsáveis em casos em que esses galgamentos são inadmissíveis. Estas metodologias foram implementadas nos sistemas integrados de apoio à decisão GUIOMAR e MOIA, respectivamente. Enquanto que o sistema GUIOMAR está mais direccionado para a realização de estudos de avaliação de risco, o MOIA é um sistema de previsão e alerta em tempo real.

Em ambos os casos, as metodologias baseiam-se primeiramente na determinação da agitação marítima e no cálculo dos valores correspondentes do galgamento da estrutura marítima. A determinação da agitação marítima é efectuada em ambos os sistemas recorrendo ao acoplamento de modelos numéricos de geração e propagação de ondas (WWIII, SWAN e DREAMS). O cálculo dos galgamentos é efectuado com recurso à ferramenta NN\_OVERTOPPING2, baseada na análise de redes neuronais.

A metodologia de avaliação do risco ao galgamento, que foi implementada no sistema GUIOMAR, considera que o grau de risco é o produto do grau atribuído à probabilidade de ocorrência de galgamentos que ultrapassam um limiar pré-estabelecido pelo grau atribuído às consequências dessa excedência. Embora os procedimentos gerais desta metodologia já tenham sido incluídos no GUIOMAR, a tabela que estabelece as consequências da ocorrência de galgamentos não admissíveis encontra-se em desenvolvimento e por conseguinte, não é ainda possível construir mapas de risco.

A metodologia para a emissão de alertas às entidades responsáveis que foi implementada no MOIA compara os valores dos galgamentos associados a um dado estado de agitação marítima ao largo com os valores críticos de galgamento admissíveis. Sempre que ocorre a excedência desses valores, um alerta é enviado à entidade responsável (por correio electrónico e/ou SMS).

Para teste das metodologias, utilizou-se o caso de estudo da estrutura de protecção costeira da baía da Praia da Vitória, Ilha Terceira, Açores, onde se insere o porto da Praia da Vitória.

Relativamente ao cálculo do galgamento através da ferramenta NN\_OVERTOPPING2, apesar da sua simplicidade de utilização, rapidez de cálculo e abrangência no que diz respeito ao tipo de estruturas e condições de agitação que contempla, os resultados do caudal médio não se devem extrair de forma expedita do ficheiro de resultados sem ser feita uma análise dos comentários que lhes estão associados, o que dificulta a utilização desta ferramenta em estudos em que o galgamento é calculado em série e/ou em tempo real. Em todo o caso, a ferramenta apresenta limitações pelo que os resultados obtidos devem ser confirmados com ensaios em modelo físico reduzido e através de observações de campo e troca de impressões com as entidades locais.

Relativamente às metodologias, confirmou-se a capacidade dos sistemas GUIOMAR e MOIA em realizarem, de forma interactiva e amigável, a determinação do grau de probabilidade de ocorrência de galgamentos inadmissíveis e o envio de alertas nesses casos, respectivamente.

Mais ainda, as metodologias agora implementadas nos sistemas constituem mais um passo no sentido de os tornarem sistemas mais robustos e eficazes de apoio à gestão portuária e costeira.

Como trabalho futuro refira-se a utilização de outras metodologias de cálculo do galgamento e a comparação das vantagens e inconvenientes de cada uma delas, o desenvolvimento uma tabela de consequências e a análise da inundação das áreas em que se verifica a ocorrência de galgamentos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a autorização concedida pela Administração do Porto da Praia da Vitória para realizar os estudos de caracterização da linha de costa e estruturas do porto. Agradecem ainda à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) pelo financiamento concedido através dos projectos PTDC/AMB/67450/2006 e PTDC/ECM/73145/2006.

## BIBLIOGRAFIA

- AZEVEDO, E.B; GONÇALO, V. (2005). "O projecto CLIMAAT e o seu contributo para a monitorização e caracterização da agitação marítima no arquipélago dos Açores", in *Proc. 4<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro (CD-Rom).
- BESLEY, P. (1999). *Overtopping of Seawalls: Design and Assessment Manual*, Environment Agency, R&D Technical Report W178, UK. (ISBN: 1-85705-069-X).
- 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*, **104**, C4, pp. 7649-7666.
- COVELD, E.M.; Van Gent, M.R.A.; POZUETA, B. (2005). *Neural Network: Manual NN\_OVERTOPPING 2*, CLASH WP8 – Report, Junho.
- DALRYMPLE, R.A.; KIRBY, J.T. (1991). *REF/DIF 1. Version 2.3 Documentation Manual. Combined Refraction/Diffraction Model*, CACR Report No. 91-2, University of Delaware, Janeiro.
- FORTES, C.J.E.M. (2002). *Transformações não-lineares de ondas marítimas em zonas portuárias. Análise pelo método dos Elementos Finitos*, Tese de doutoramento, IST/DEM.
- KIRBY, J.T.; OZKAHN, H.T. (1994). *REF/DIF S Version 1.1 - Documentation and Users Manual*, CACR Report No. 94-04, University of Delaware.
- KIRBY, J.T.; WEI, G.; CHEN, Q.; KENNEDY, A.B.; DALRYMPLE, R.A. (1998). *FUNWAVE 1.0 – Fully Nonlinear Boussinesq Wave Model Documentation and User's Manual*, Research Report No. CACR-98-06, Center for Applied Coastal Research, University of Delaware.
- NEVES, D.R.C.B.; ZÓZIMO, A.C.; PINHEIRO, L.V.; FORTES, C.J. (2009). "GUIOMAR: Geo(graphical) User Interface for cOastal and MARine Modeling. Supported Decision System". *Journal of Coastal Research*, *SI 56 (Proc. 10<sup>th</sup> International Coastal Symposium)*, pp. 1542-1546.
- NEVES, M.G.; REIS, M.T.; DIDIER, E. (2010a). "Comparisons of wave overtopping at coastal structures calculated with AMAZON, COBRAS-UC and SPHYSICS", in *Proc. ECCOMAS CFD 2010*, V European Conference on Computational Fluid Dynamics, 14 a 17 de Junho, LNEC, Lisboa.
- Neves, D.R.; Rodrigues, S.; Reis, M.T.; Fortes, C.J.; Santos, J.A. (2010b). "Aplicação ao Porto de Sines (Portugal) de uma nova metodologia de avaliação do risco para a navegação portuária utilizando o sistema de informação geográfica Guiomar". *Revista de Gestão Costeira Integrada (Journal of Integrated Coastal Zone Management)*, **10**, 4, pp. 483-504. ISSN: 1646-8872.
- Neves, D.R.C.B.; Rodrigues, S.; Vieira, A.S.; Santos, J.A.; Fortes, C.J.E.M.; Reis, M.T.; Simões, A.;

- Azevedo, E.B. (2011). "Avaliação do risco para a navegação em zonas portuária. Avanços na constituição de um sistema de suporte à decisão", in *Proc. VI Congresso Sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa*, 4 a 8 de Abril, Ilha da Boa Vista, Cabo Verde (CD-Rom).
- PINHEIRO, L.V., FERNANDES, J.L.M.; FORTES, C.J.E.M. (2006). "Sobre um gerador de malhas de elementos finitos com densidade local condicionada à batimetria para modelos de propagação de ondas em zonas portuárias", in *Proc. I CNMNMFT*, Lisboa, 8 e 9 de Junho.
- 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, Expertise Netwerk Waterkeren, NL, and Kuratorium fur Forschung im Kusteningenieurwesen, DE, Agosto.
- RAPOSEIRO, P.D.; FORTES, C.J.; REIS, M.T.; FERREIRA, J.C. (2010a). "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, pp. 129-137 (ISBN: 978-972-8612-64-1).
- RAPOSEIRO, P.D.; REIS, M.T.; FORTES, C.J.E.M. (2009a). "Methodology for estimating run-up and flooding at the costal zone using the GUIOMAR system: application to Vale do Lobo beach", in *Proc. CoastGIS'09, 9<sup>th</sup> International Symposium on GIS and Computer Cartography for Coastal Zone Management*, 30 de Setembro a 2 de Outubro, Santa Catarina, Brasil.
- RAPOSEIRO, P.D.; REIS, M.T.; FORTES, C.J.E.M. (2009b). "Ferramenta de cálculo e análise do espraiamento em estruturas de enrocamento: caso de estudo praia de Vale do Lobo", in *Proc. III Encontro Nacional de Riscos, Segurança e Fiabilidade: Riscos Industriais e Emergentes*, Lisboa, 3 a 5 de Novembro de 2009, C. Guedes Soares, C. Jacinto, A.P. Teixeira & P. Antão (Eds.), Edições Salamandra, Lisboa, 2, pp. 775-790.
- RAPOSEIRO, P.D.; REIS, M.T.; FORTES, C.J.E.M.; FERREIRA, J.C. (2010b). "Análise de cotas de inundação na praia de Vale do Lobo", in *Proc. 10<sup>o</sup> Congresso da Água – Marcas d'Água*, APRH, Alvor, 21 a 24 de Março de 2010 (CD-Rom).
- RAPOSEIRO, P.D.; REIS, M.T.; FORTES, C.J.E.M.; FERREIRA, J.C.; NEVES, D.R.C.B. (2010c). "Avaliação do Risco de Inundação na Praia de Vale do Lobo", in *Proc. Conferência Ibérica ESIG 2010*, 10 a 12 de Fevereiro, Oeiras.
- REIS, M.T. (1998). *Probabilistic Assessment of the Safety of Coastal Structures*, Tese para a obtenção do grau de Doctor in Philosophy, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Liverpool, Reino Unido, Janeiro.
- REIS, M.T.; HU, K.; HEDGES, T.S.; MASE, H. (2008). "A comparison of empirical, semiempirical, and numerical wave overtopping models". *Journal of Coastal Research*, 24, 2B, pp. 250-262.
- REIS, M.T.; NEVES, M.G.; LOPES, M.R.; HU, K.; SILVA, L.G. (2010). "Rehabilitation of Sines West Breakwater: wave overtopping study". *Maritime Engineering Journal*. ISSN: 1741-7597. (no prelo)
- SANTOS, J.A.; GUILHERME, L.; FORTES, C.J.E.M.; PALHA, A.; SIMÕES, A. (2008). "Metodologia para previsão da agitação marítima implementada no pacote MOIA", in *O Sector Marítimo Português*, Edições Salamandra, Lda. Lisboa.
- SANTOS, J.A.; GUILHERME, L.; FORTES, C.J.E.M.; PINHEIRO, L.; SIMÕES, A. (2009). "Coupling numerical models for wave propagation in the MOIA package". *Journal of Coastal Research*, SI 56 (Proc. 10<sup>th</sup> International Coastal Symposium), pp. 544–548.
- SANTOS, J.A.; RODRIGUES, S. (2010). "Interacção da agitação marítima com navios na entrada do

- porto de Praia da Vitória”, in *Proc. XXIV Congresso Latino-americano de Hidráulica*, Punta del Este, Uruguay, Novembro.
- SANTOS, J.A.; RODRIGUES, S.; PINHEIRO, L.; NEVES, D.R.; FORTES, C.J.; REIS, M.T.; SIMÕES, A.; AZEVEDO, E.B. (2010). “Managing wave-induced risks in port operations”, in *Proc. Int. Conf. on Coastal Conservation and Management*, Estoril, Abril.
- TOLMAN, H.L. (1999). *User Manual and System Documentation of WAVEWATCH-III Version 1.18*, NOAA / NWS / NCEP / OMB Technical Note 166, 110 pp.
- VAN DER MEER, J.W.; VAN GENT, M.R.A.; POZUETA, B.; VERHAEGHE, H., STEENDAM, G.J.; MEDINA, J.R. (2005). “Applications of a neural network to predict wave overtopping at coastal structures”, in *Proc. ICE Coastlines, Structures & Breakwaters '05*, Thomas Telford, London, pp. 259-268.
- VAN GENT, M.R.A.; POZUETA, B.; VAN DEN BOOGAARD, H.F.P. & Medina, J.R. (2005). *D42 Final Report on Generic Prediction Method*, CLASH WP8 – Report, 33pp.
- ZÓZIMO, A.C.; FORTES, C.J.E.M. (2007). “Estado actual e desenvolvimentos futuros do sistema integrado de apoio à tomada de decisão em engenharia costeira: GUIOMAR”. *Tecnologias da Água*, **52**, edição IV, Outubro/Dezembro, pp. 54-65.
- ZÓZIMO, A.C.; FORTES, C.J.E.M.; NEVES, D.R.C.B. (2008). “GUIOMAR: Geographical User Interface for cOastal and MARine modeling. Recent developments and assessment of potential geographical errors”, in *Proc. Med Days of Coastal and Port Eng.*, Palermo, 7 a 9 de Outubro.
- ZÓZIMO, A.C.; GONÇALVES, A.; FORTES, C.J.E.M.; CHARNECA, N. (2005). “Ferramenta SIG para modelos de propagação de ondas. Desenvolvimentos preliminares”, in *Proc. 7º SILUSBA*, Évora (CD-ROM).