

# INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DO NÍVEL DE MARÉ NA AVALIAÇÃO DO RISCO DE GALGAMENTO NA BAÍA DA PRAIA DA VITÓRIA, TERCEIRA, AÇORES

## The Influence of Tide Level Variation on Overtopping Risk Assessment at Praia da Vitória Bay, Terceira Azores

TÂNIA ROCHA <sup>(1)</sup>, MARIA TERESA-REIS <sup>(2)</sup>, CONCEIÇÃO FORTES <sup>(2)</sup>, FRANCISCO TAVEIRA-PINTO <sup>(3)</sup>  
JOÃO ALFREDO SANTOS <sup>(4)</sup>, DIOGO NEVES <sup>(2)</sup> e LUÍS PORTELA <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Mestre em Engenharia Civil, FEUP,  
Rua do Doutor Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, ec10305@fe.up.pt

<sup>(2)</sup> LNEC,  
Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal, jfortes@lnec.pt, treis@lnec.pt, dneves@lnec.pt, lportela@lnec.pt

<sup>(3)</sup> Professor Catedrático, FEUP,  
Rua Professor Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, fpinto@fe.up.pt

<sup>(4)</sup> ISEL,  
Rua Conselheiro Emídio Navarro 1, 1959-007, Lisboa, Portugal, jasantos@dec.isel.pt

### Resumo

Neste trabalho, descreve-se a aplicação à baía da Praia da Vitória, na ilha Terceira, Açores, Portugal, da metodologia de avaliação do risco de galgamento em estruturas marítimas em desenvolvimento no LNEC, Neves *et al.* (2012). Em particular, avalia-se a influência da variação do nível de maré na caracterização da agitação marítima e as consequentes implicações na determinação do risco de galgamento, Rocha (2012). Esta metodologia é constituída por três etapas: a caracterização da agitação marítima, a determinação dos galgamentos sobre as estruturas e a avaliação do risco associado.

A metodologia foi aplicada a três tipos de estruturas da zona da baía da praia da vitória: o trecho do quebra-mar sul em frente ao cais 12, o enraizamento do esporão 3 e a defesa frontal aderente da baía. Os resultados assim obtidos nas estruturas selecionadas em termos de alturas de onda significativas, de caudal médio galgado e de grau de risco associado aos galgamentos, são comparados com os obtidos na situação em que o nível de maré foi considerado constante e igual a +1.4 m (ZH).

**Palavras-chave:** Galgamento, avaliação de risco, modelo SWAN, modelo DREAMS, ferramenta NN\_OVERTOPPING2, nível de maré, porto da praia da Vitória.

### Abstract

In this paper, the application to the Praia da Vitória Bay, Terceira Island, Azores, Portugal, of a methodology for assessing the wave overtopping risk of maritime structures which has been developed in LNEC, Neves *et al.* (2012) is described. The paper focuses on the tide level influence over sea-wave propagation and its implications in wave overtopping risk assessment, Rocha (2012). The approach consists of three major steps: sea-wave characterization, determination of overtopping events on maritime structures and risk evaluation.

The approach was applied to three types of maritime structures in the Praia da Vitória Bay: the south breakwater section that directly protects the dock 12 of the port, the cross-section of the root of groyne number 3 of the bay groyne field and the cross-section of the Bay front seawall. The results obtained for the selected structures are the wave characteristics, the average overtopping discharges and their associated level of overtopping risk. The results were compared with those obtained with a constant tide level of +1.4 m (ZH).

**Keywords:** Overtopping, risk assessment, SWAN model, DREAMS model, NN-OVERTOPPING2 tool, tide level, port of praia da Vitória.

### 1. Introdução

O mar, desde sempre constituiu um meio de expansão e consolidação de um país. Para Portugal, detentor de uma grande frente marítima e posicionado geograficamente próximo das principais rotas de navegação, é um forte potenciador da sua economia, merecendo assim, um estudo profundo destas vantagens.

O maior desenvolvimento e a maior densidade urbana perto da costa ou na proximidade de rios são notórios. Contudo estes fatores que influenciam de forma positiva a vivência das populações, tornam-se, por vezes, excessivos, criando circunstâncias menos positivas. Para contornar os aspetos negativos, que advêm por exemplo da irregularidade da agitação marítima, ou de um crescimento urbano desmedido nestas zonas, o Homem tem vindo a intervir.

Para isso, implementou diversos tipos de obras de engenharia, de defesa costeira e portuária, de forma a tornarem-se num obstáculo à propagação da agitação, mitigando assim a sua ação direta, criando planos de água mais tranquilos para a entrada ou acostagem de navios nos portos ou constituindo intervenções de proteção de praias.

No entanto, em Portugal, devido à severidade e aleatoriedade do clima de agitação marítima, à extensão e diversidade da costa, as situações de emergência provocadas pelo estado do mar são frequentes, tornando clara a necessidade de prever situações de risco em zonas portuárias e costeiras, de realizar mapas de risco para apoio ao planeamento e à gestão de intervenções por parte das entidades responsáveis e de emitir atempadamente alertas, minimizando a perda de vidas e reduzindo os prejuízos económicos e ambientais.

Neste estudo, dar-se-á particular atenção ao fenómeno do galgamento de estruturas marítimas pois as consequências associadas podem ser prejudiciais, como a inoperacionalidade de postos de acostagem, inundações em edifícios e equipamentos, ou mesmo danos mais graves com perda de vidas humanas.

O LNEC (Santos *et al.*, 2011; Reis *et al.*, 2011; Neves *et al.*, 2012; Rocha, 2012; Rocha *et al.*, 2012) tem vindo a desenvolver uma metodologia para avaliação do risco associado à ocorrência de galgamentos em estruturas costeiras e portuárias, com o objetivo final de criar um sistema de alerta e previsão em tempo real e consequentemente uma ferramenta de gestão e planeamento da zona costeira e portuária.

Esta metodologia consiste, de forma resumida, na caracterização da agitação marítima incidente, no cálculo do caudal médio galgado nas estruturas avaliadas e na definição do grau de risco de ocorrência de galgamentos, acima de um determinado caudal pré-definido para cada estrutura.

Para validação desta metodologia foi escolhido o porto da Praia da Vitória. Este porto, localizado na ilha Terceira, Açores, tem uma bóia ondógrafo instalada na sua proximidade, permitindo testar o desempenho dos modelos numéricos implícitos na metodologia desenvolvida pelo LNEC, por comparação com os dados reais medidos na bóia.

A aplicação da metodologia a várias estruturas existentes no porto da Praia da Vitória (Reis *et al.*, 2011) no período de 2009 a 2010 mostrou ser fácil e eficaz e deu resultados esperados para o grau de risco associado a determinadas estruturas, de acordo com a experiência dos utilizadores locais.

No entanto, também se constatou que a correta caracterização da agitação marítima é a base para tornar a metodologia eficaz e realista.

O presente trabalho é uma extensão do trabalho anterior, apresentando como grande diferença uma melhoria na caracterização da agitação marítima, através da introdução da variação do nível de maré, que até então era considerada constante e igual a +1.4m (ZH).

## 2. Metodologia de Avaliação do Risco

A metodologia para a avaliação do risco da ocorrência de galgamentos de estruturas marítimas em desenvolvimento no LNEC contempla três etapas, Figura 1.

Segue-se uma breve descrição das diferentes etapas, as quais se encontram mais desenvolvidas em Reis *et al.* (2012) e Rocha (2012).

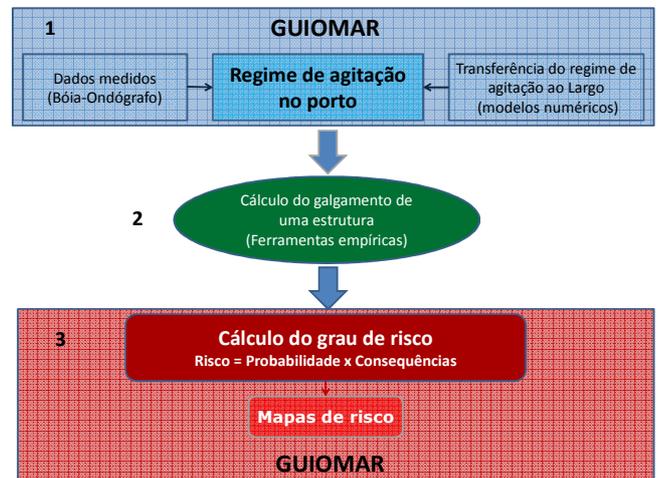


Figura 1. Metodologia para a avaliação do risco associado a galgamentos de estruturas marítimas.

### 2.1. Etapa 1 - regime de agitação marítima

O regime de agitação marítima no interior de um porto pode ser obtido com base em dados de agitação marítima medidos *in situ* (utilizando bóias-ondógrafo, por exemplo) ou ser definido com recurso a modelos numéricos de propagação de ondas.

No primeiro caso (que não é frequente), apenas se efetua a determinação dos regimes observados com base nos dados da bóia.

No segundo caso, recorre-se à utilização de modelos numéricos que transferem o regime de agitação marítima do largo (obtido por sua vez a partir de dados medidos ao largo ou de resultados de outros modelos de previsão da agitação marítima a uma escala regional) para o interior do porto.

A utilização de um ou mais modelos numéricos de propagação de ondas depende das características da região em estudo (por exemplo, a dimensão do respetivo domínio de cálculo) e dos fenómenos envolvidos na propagação das ondas.

No presente trabalho utilizaram-se os modelos SWAN, Booij *et al.* (1999), e DREAMS, Fortes (1993), aplicados a resultados do modelo de previsão da agitação marítima à escala regional WAVEWATCH III, Tolman (1999), Figura 2.

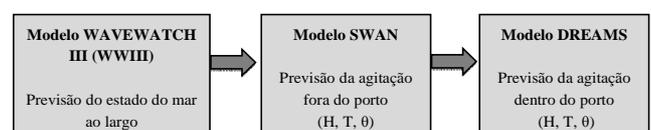


Figura 2. Utilização de modelos numéricos na caracterização da agitação marítima.

## 2.2. Etapa 2 - galgamentos em estruturas marítimas

Para a avaliação dos galgamentos utilizou-se um modelo neuronal, i.e., a ferramenta NN\_OVERTOPPING2 (Coeveld *et al.*, 2005) baseada em redes neuronais e desenvolvida no âmbito do projeto europeu CLASH.

Esta ferramenta tem como objetivo a obtenção do valor médio do caudal galgado por unidade de comprimento do coroamento da estrutura,  $q$ , apoiando-se em testes de ensaios em modelo físico, para várias características de agitação e diferentes tipos de estruturas, recolhidos em várias universidades e institutos.

Para além destes valores, a ferramenta também estima o caudal médio galgado esperado no protótipo, i.e., o valor de  $q$  corrigido para ter em linha de conta alguns efeitos de escala (e.g. devido a reproduzir o material do núcleo da estrutura de acordo com as suas dimensões e não com as velocidades no núcleo) e de modelo (e.g. a não consideração do vento no modelo físico).

Todas as redes neuronais utilizam os mesmos 15 parâmetros de entrada que incluem informação sobre a agitação marítima e a geometria da estrutura, o que lhes confere uma flexibilidade maior do que a das fórmulas empíricas (Reis *et al.*, 2012).

## 2.3. Etapa 3 - avaliação do risco

A avaliação do risco de uma dada zona de estudo é baseada no conceito de grau de risco dado por:

$$\text{Grau de risco} = \text{Grau de probabilidade} \times \text{Grau de consequência} \quad [1]$$

em que o grau de probabilidade está associado aos valores de probabilidades de ocorrência de galgamentos superiores a um determinado limiar de caudal médio galgado e o grau de consequências está associado aos valores de consequências relativos à ultrapassagem desse limiar. Para definir esses graus, os Quadros 1,2 e 3 são usados como guias de orientação. Note-se que os limites correspondentes aos graus nas tabelas de probabilidade e de consequências, bem como o próprio número de graus, devem refletir as características do problema em análise.

Assim, o processo de avaliação qualitativa do risco de galgamento de uma estrutura marítima é efetuado da seguinte forma:

- Divisão da local de estudo em subzonas, atendendo ao tipo de utilização da zona protegida pela estrutura e consequente variabilidade do caudal médio admissível de galgamento e ainda o perfil transversal da estrutura de defesa;
- Cálculo da probabilidade de ocorrência de galgamentos não admissíveis, com base na resposta da estrutura à agitação incidente e nos limites admissíveis para cada tipo de estrutura. Classificação dessa probabilidade tendo em conta os graus definidos no Quadro 2;
- Definição do grau de consequências, baseado no Quadro 3;
- Obtenção do grau de risco para cada subzona atendendo ao grau da probabilidade de ocorrência e ao grau de consequências de ocorrência de galgamentos não admissíveis, Quadro 1. Criação de um mapa de riscos.

Quadro 1. Avaliação da aceitabilidade do grau de risco obtido.

Grau de Risco	Descrição	Controlo do Risco
1 - 3	Insignificante	Risco desprezável; não é preciso levar a cabo medidas de controlo de risco
4 - 10	Reduzido	Risco que pode ser considerado aceitável/tolerável caso se selecione um conjunto de medidas para o seu controlo
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
40 - 125	Inaceitável	Risco intolerável; tem que se proceder ao controlo do risco (ex. eliminar a origem dos riscos, alterar a probabilidade de ocorrência e/ou as consequências, transferir o risco, etc)

Quadro 2. Graus de probabilidade de ocorrência de galgamentos não admissíveis.

Grau de Risco	Descrição	Probabilidade de Ocorrência
1	Improvável	0 - 1%
2	Raro	1 - 10%
3	Ocasional	10 - 20%
4	Provável	25 - 50%
5	Frequente	<50%

Quadro 3. Grau de consequências associadas à ocorrência de acontecimento perigoso.

Grau	Descrição	Consequências						
		Pessoas	Ambiente	Gestão Portuária	Património			
					Edifícios	Equipamento	Estrutura	Veículos
1	Insignificantes	Possibilidades de ferimentos muito ligeiros	Impacto ambiental desprezável	Alterações ligeiras nas atividades portuárias	Danos exteriores quase inexistentes	Danos quase inexistentes	Dano na zona ativa da estrutura não necessitando de reparação	Danos quase inexistentes
2	Reduzidas	Uma única lesão ligeira	Pequenos derrames (ex.: combustíveis)	Algumas alterações nas atividades portuárias; má publicidade para o porto a nível local	Danos interiores e exteriores insignificantes	Danos ligeiros que não implicam a paragem do equipamento; resolução quase imediata	Ocorrência de movimentos e quedas de blocos sem exposição de filtros; reparação imediata desnecessária	Danos insignificantes que não afetam a sua utilização
5	Sérias	Múltiplas lesões ligeiras ou uma única lesão grave	Algumas áreas com acesso proibido devido a poluição causada por derrames	Operações de carga e descarga condicionadas; possibilidade de paragem parcial do porto; má publicidade generalizada	Danos interiores moderados	Danos que implicam inatividade temporária do equipamento para reparação	Ocorrência de movimentos e quedas de blocos com exposição de filtros; supraestrutura afetada mas sem movimentos significativos	Danos sérios com consequências na sua utilização, mas que não levam à sua paragem temporária
10	Muito Sérias	Múltiplas lesões graves ou uma perda de vida	Episódios de poluição dentro e fora do porto com possibilidade de consequências irreparáveis para o ambiente	Impossibilidade da realização de operações de carga e descarga durante vários dias; má publicidade a nível nacional	Grandes danos no interior; estrutura do edifício afetada	Danos graves; inatividade prolongada do equipamento	Filtros afetados; movimentos substanciais da supraestrutura	Danos exteriores sérios com consequências na sua utilização que levam a uma paragem temporária
25	Catastróficas	Múltiplas perdas de vida	Derrames generalizados; contaminação muito grave; consequências irreparáveis para o ambiente; necessidade de ajuda internacional	Restrições muito sérias às operações de carga e descarga durante muito tempo; perda de trocas comerciais durante muito tempo; má publicidade internacional	Danos interiores muito graves; estrutura do edifício seriamente afetada; colapso iminente	Perda do equipamento (reparação impossível)	Colapso da estrutura	Danos sérios inviabilizando a sua utilização e definitivo

### 3. Baía da Praia da Vitória

#### 3.1. Introdução

A baía da Praia da Vitória localiza-se na costa este da ilha Terceira, uma das nove ilhas do arquipélago dos Açores, Portugal, Figura 3. Esta baía, limitada a norte pela Ponta da Má Merenda e a sul pela Ponta do Baixio, tem cerca de 2400 m de comprimento e 1100 m de largura máxima.

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 nº 4. As estruturas de proteção destas infraestruturas portuárias, quebra-mar norte e o quebra-mar sul, definem a baía, cuja área, aproximadamente retangular, tem cerca de 1 km x 2 km. 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 enraizados na defesa frontal.

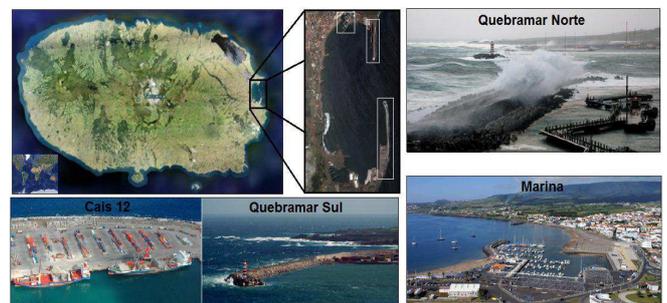


Figura 3. Porto da praia da Vitória.

Para a avaliação do grau de risco de galgamentos associados a determinadas estruturas marítimas do porto da Praia da Vitória consideraram-se o trecho do quebra-mar sul em frente ao cais 12 e dois troços na zona entre os esporões 2 e 3 da defesa frontal aderente da baía, Figura 4, cujos perfis são indicados nas Figuras 5, 6 e 7. Nas próximas secções aplica-se a metodologia de avaliação do risco de galgamentos.

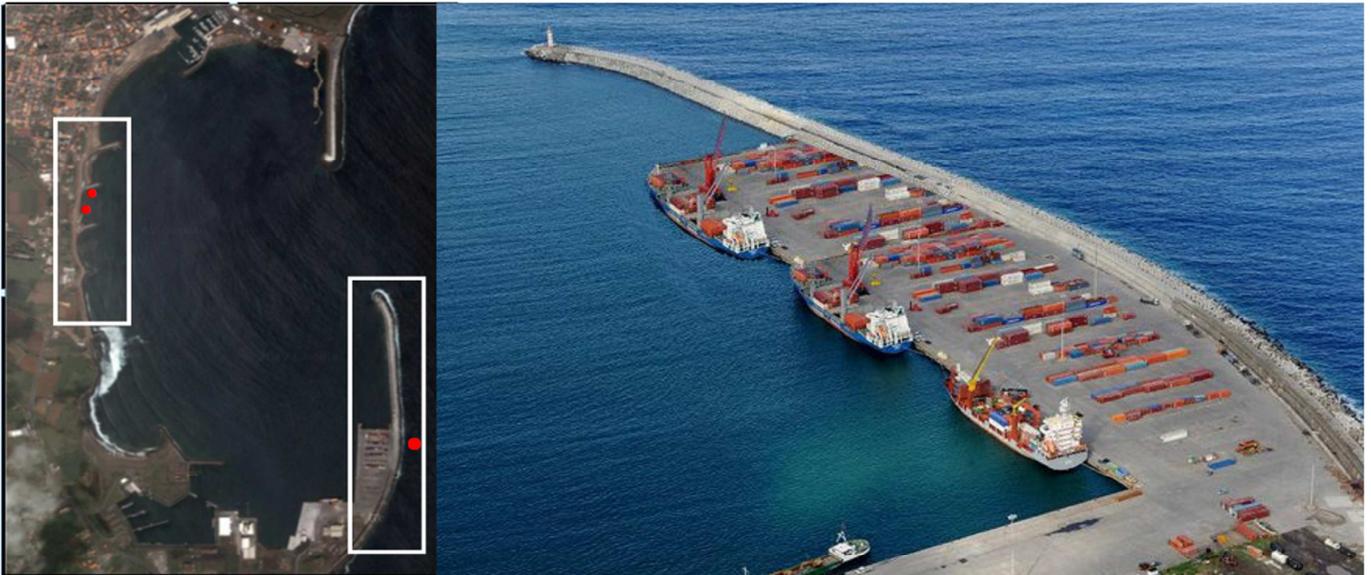


Figura 4. Visão geral das estruturas seleccionadas: Cais 12, enraizamento do esporão 3 e zona da defesa central.

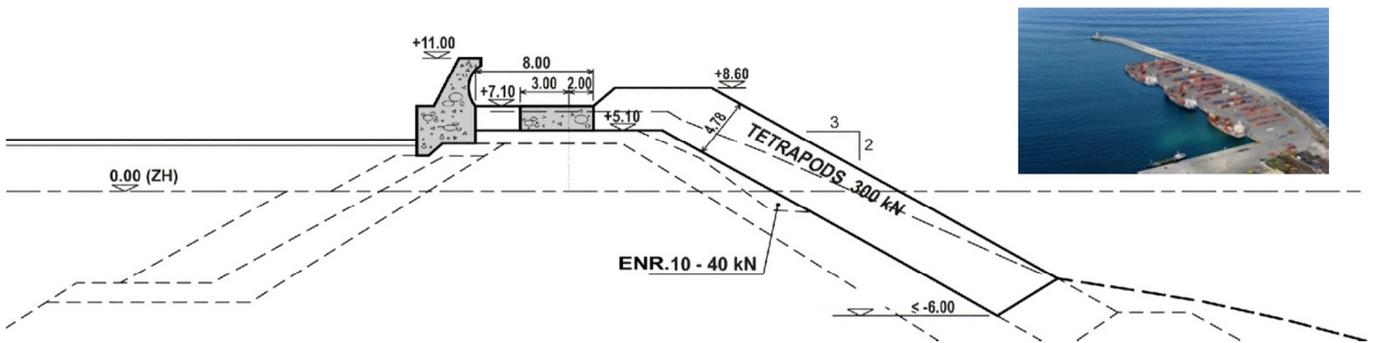


Figura 5. Perfil do Cais 12.

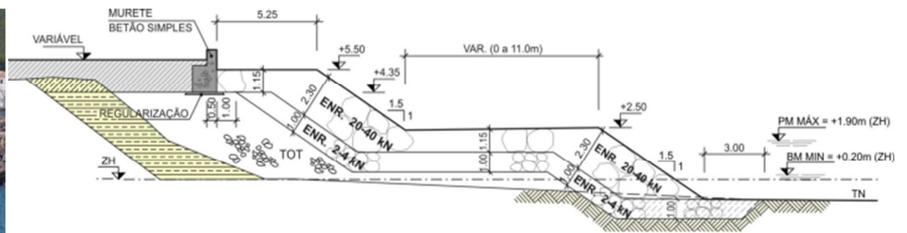


Figura 6. Fotografia e perfil da defesa frontal junto ao enraizamento do esporão 3.

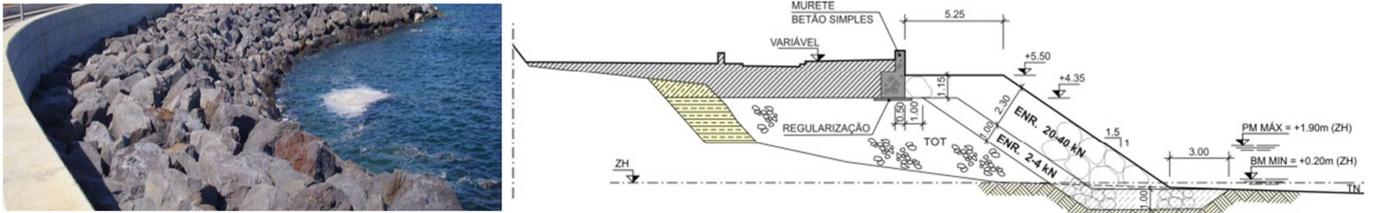


Figura 7. Fotografia e perfil tipo da defesa frontal.

### 3.2. Caracterização da agitação marítima

Utilizaram-se os resultados das previsões da agitação marítima ao largo da zona considerada, para o período correspondente aos anos de 2009 e 2010, Simões *et al.* 2009, obtidos com o modelo WAVEWATCH III (Tolman, 1999) utilizando os dados de vento do modelo MM5 (Tolman, 1999). Aqueles resultados 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 (Fortes, 1993).

A utilização dos modelos e as suas condições de aplicação encontram-se descritas em Neves *et al.* (2012). A diferença deste trabalho relativamente ao apresentado em Neves *et al.* (2012) reside essencialmente na consideração nos cálculos dos modelos de propagação da variação do nível de maré, Rocha (2012).

Os dados referentes ao nível de maré foram obtidos através do software Delft3D-Tide, Deltares (2011), que gerou os valores das marés para o período em estudo, sendo as constituintes de maré correspondentes a Angra do Heroísmo, local próximo do porto da Praia da Vitória, baseadas nas tabelas das marés de portos portugueses para o ano de 1968.

O intervalo de variação do nível de maré assim obtido e aplicado a este estudo encontra-se entre 0.2 m e 1.8 m (ZH). Note-se que não estão a ser tidos em consideração eventuais efeitos meteorológicos (pressão atmosférica, vento).

Assim, mesmo sabendo que a sobrelevação não é constante no tempo devido à variação dos fenómenos descritos acima, optou-se pela simplificação dos cálculos numéricos considerando-a fixa e igual a 0.4 m com base nos dados disponíveis.

Desta forma, os cálculos realizados neste trabalho foram efetuados para um intervalo de maré variando entre 0.6 e 2.2 m.

Os cálculos com o modelo DREAMS para estas condições de agitação marítima e marés foram obtidos nos pontos P1 - frente ao trecho do molhe sul que protege o cais 12 (fundo à cota -18.0 m (ZH)), P2 - defesa frontal (-1.4 m (ZH)) e P3 - enraizamento do esporão 3 (-1.0 m (ZH)), .

Na Figura 8 apresenta-se, a título de exemplo, a série temporal das alturas de onda significativas da agitação marítima,  $H_s$ , previstas no ponto P2, considerando ou não a variação do nível de maré.

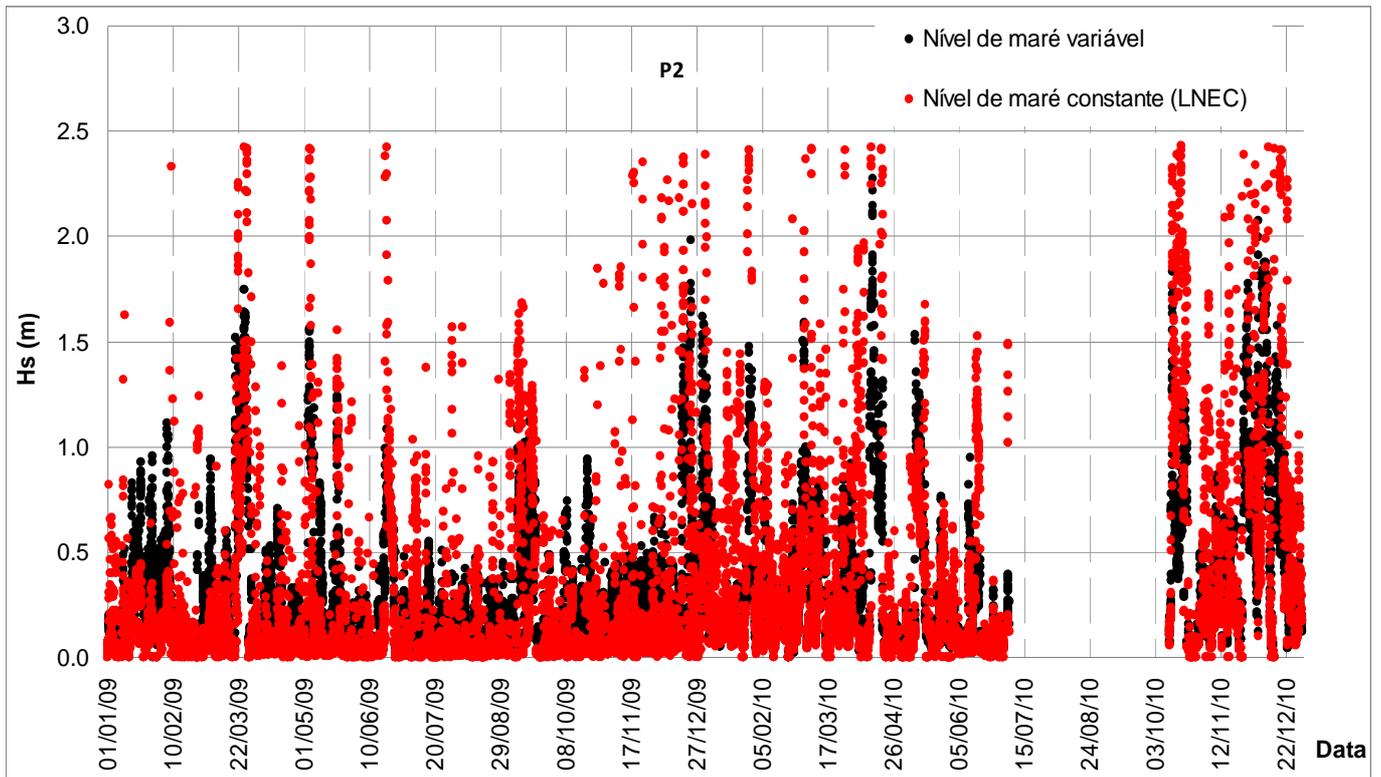


Figura 8. Série temporal das alturas de onda significativas no ponto P2, considerando ou não a variação do nível de maré.

No Quadro 4 apresentam-se os valores de  $H_{s_{max}}$  e  $H_{s_{med}}$  obtidos para todas as estruturas admitidas neste trabalho.

Quadro 4. Comparação dos valores de  $H_{s_{max}}$  e  $H_{s_{med}}$  obtidos, considerando ou não a variação do nível de maré.

Local	Nível de maré constante		Nível de maré variável	
	$H_{s_{max}}$ (m)	$H_{s_{med}}$ (m)	$H_{s_{max}}$ (m)	$H_{s_{med}}$ (m)
Cais 12 (P1)	8.06	0.79	7.44	0.86
Esporão 3 (P2)	1.99	0.18	2.00	0.29
Defesa Frontal (P3)	2.43	0.28	2.27	0.31

Os resultados mostram que, em termos gerais, o andamento e a ordem de magnitude dos valores de  $H_s$  são semelhantes considerando ou não a variação do nível de maré.

Verifica-se também que nos pontos P2 e P3 os valores de  $H_s$  são limitados pela profundidade.

No entanto, uma análise mais pormenorizada mostra que existem diferenças nos valores de  $H_s$  para as três situações estudadas: em média, os valores de  $H_s$  aumentam quando o nível de maré é considerado variável, enquanto que, em termos de máximos, os valores da altura de onda significativa, em geral, diminuem.

### 3.3. Avaliação dos galgamentos

No cálculo dos galgamentos nos três locais (P1 - cais 12 do quebra-mar sul, P2 - esporão 3 e P3 - defesa frontal) utilizou-se a ferramenta NN\_OVERTOPPING2.

Nas Figuras 9, 10 e 11 apresentam-se, a título exemplificativo, as séries temporais do caudal médio obtido com a agitação incidente prevista.

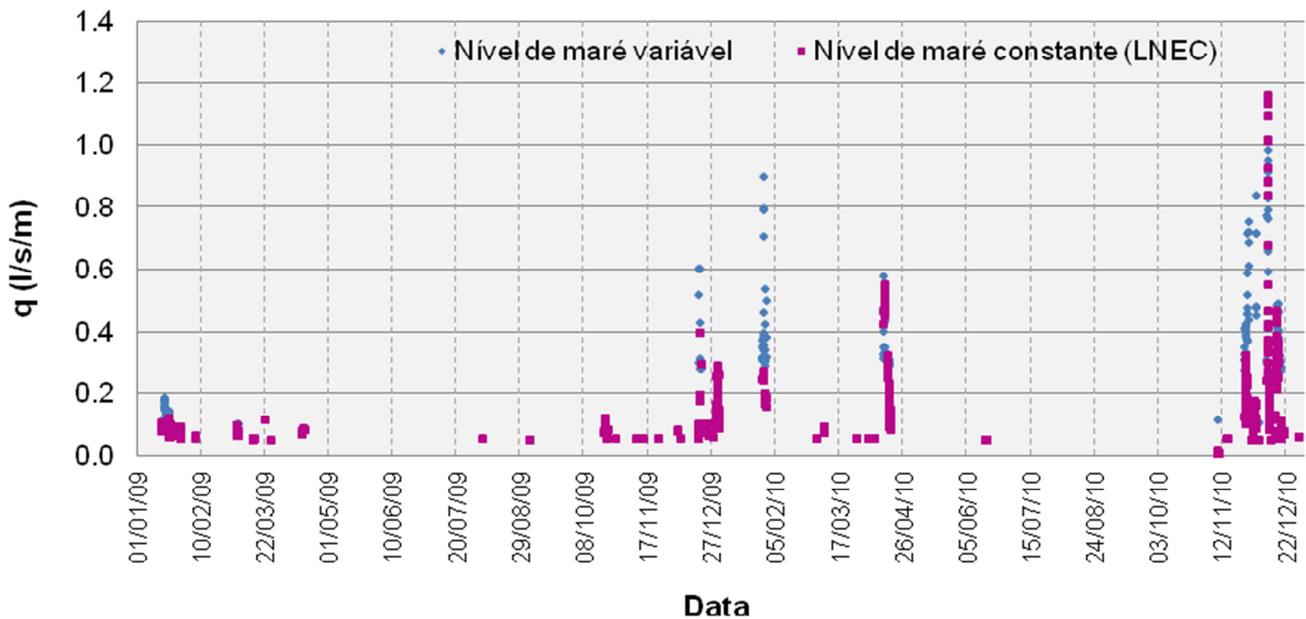


Figura 9. Série temporal dos caudais médios galgados no cais 12 (P1) considerando ou não a variação do nível de maré.

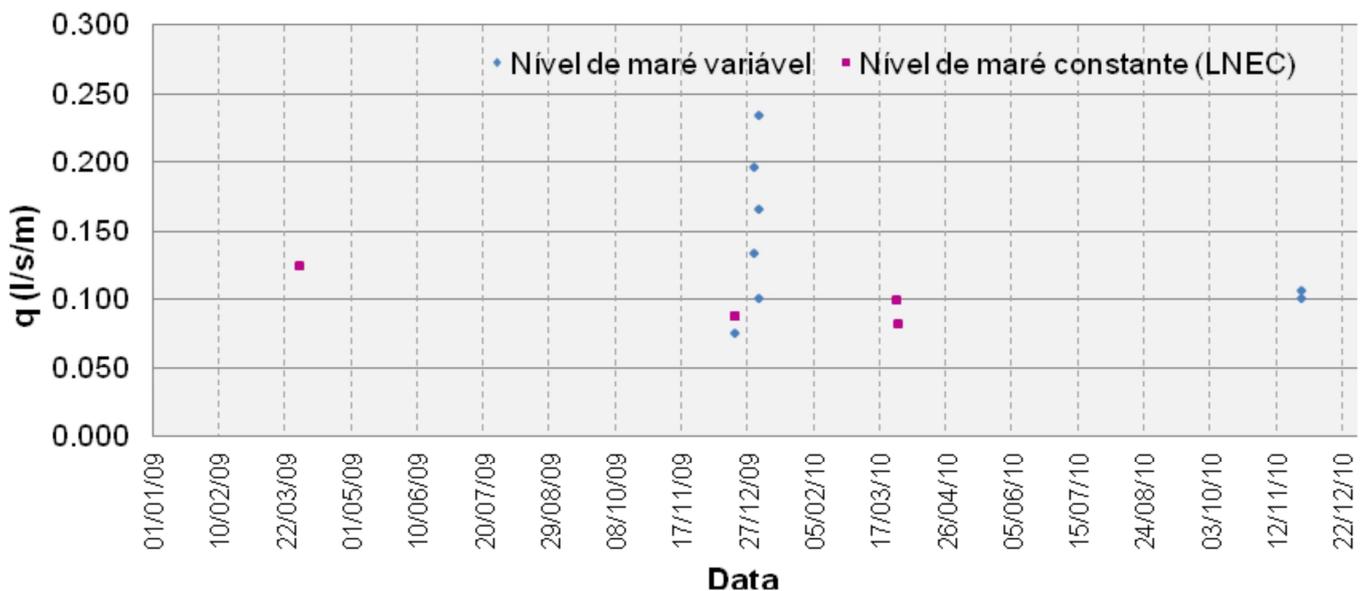


Figura 10. Série temporal dos caudais médios galgados no esporão 3 da defesa frontal (P2) considerando ou não a variação do nível de maré.

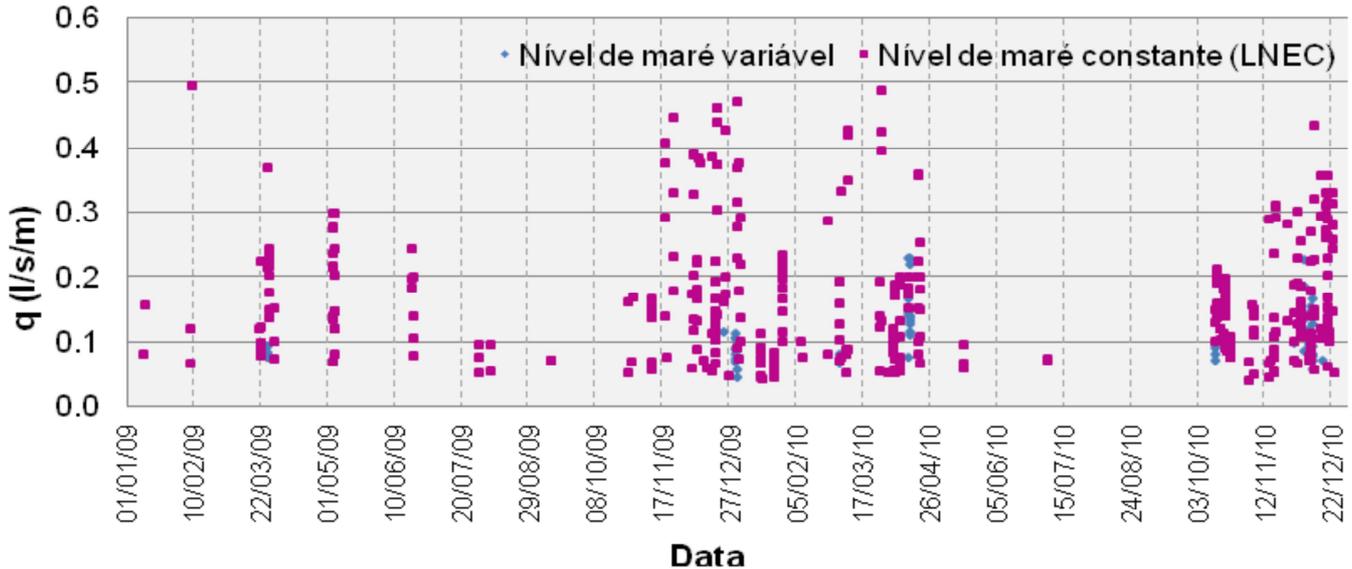


Figura 11. Série temporal dos caudais médios galgados na defesa frontal (P3) considerando ou não a variação do nível de maré.

No Quadro 5 analisam-se os valores do caudal médio de galgamento, em percentagem, de  $q_{\text{máx}}$  e de  $q_{\text{med}}$  nos pontos P1 a P3, considerando ou não o nível de maré variável.

Quadro 5. Percentagem de ocorrência de galgamentos nos pontos P1 a P3,  $q_{\text{máx}}$  e  $q_{\text{med}}$ , considerando ou não a variação do nível de maré.

Local	Galgamento (%)		$q_{\text{máx}}$ (L/s/m)		$q_{\text{med}}$ (L/s/m)	
	NM	NM	NM	NM	NM	NM
	Var.	Con.	Var.	Con.	Var.	Con.
Cais 12 (P1)	1.30	3.91	0.98	1.16	0.38	0.16
Esporão 3 (P2)	0.06	0.03	0.23	0.12	0.14	0.10
Defesa Frontal (P3)	0.57	2.98	0.23	0.49	0.11	0.16

Da análise das figuras e quadro anteriores, constata-se que, tal como seria de esperar, o enraizamento do esporão 3, representado pelo ponto P2, apresenta um número menor de ocorrências de galgamentos, sendo o quebramar sul o que sofre maior número de ocorrências e com maior caudal médio de galgamento.

Note-se que o ponto P2 é o de menor profundidade face a P1 e a P3 e nos casos P2 e P3 a altura de onda é limitada pela profundidade, daí que os galgamentos sejam inferiores a P2. Relativamente às situações com nível de maré variável ou constante, verifica-se:

- Para as três estruturas, existem diferenças, quer no número de ocorrências de galgamentos, quer nos valores de caudal médio e máximo, considerando ou não o nível de maré variável;
- No quebramar sul (P1), apesar da percentagem de galgamentos ser mais elevada quando se considera o nível de maré constante, a média dos caudais médios galgados é inferior à obtida quando se considera a variação do nível de maré. Tal deve-se essencialmente ao facto de, para o nível de maré constante se ter um maior número de ocorrências de galgamento, mas com menor caudal médio de galgamento;

- Para o esporão 3 (P2) os resultados da percentagem de galgamentos e da média dos caudais médios galgados são inferiores aos observados para o cais 12. As tendências são também contrárias ao ponto P1, existindo para todos os valores uma superioridade para o caso da maré variável, no entanto as diferenças são pouco significativas. Neste local a probabilidade de galgamentos é bastante diminuta, representando, para uma maré variável, apenas 0.06% e um galgamento médio máximo de apenas 0.23 L/s/m.

- Na defesa frontal (P3), a percentagem de ocorrências de galgamento e a média dos caudais médios galgados são superiores quando o nível de maré é constante. Embora nesta estrutura, em ambos os estudos, a altura de onda significativa esteja limitada pela profundidade, as diferenças entre ambos são notáveis, pois no estudo com nível de maré constante existe um maior número de ondas com altura superior a 2 m, sendo esta a causa de eventos de galgamento.

### 3.4. Avaliação do risco

Para a avaliação do risco de galgamento nas três estruturas deve-se: a) avaliar a natureza das atividades desenvolvidas na zona abrigada pela estrutura e qual o impacto do galgamento na segurança da própria estrutura, de pessoas e de infraestruturas; b) estabelecer os caudais críticos admissíveis consoante o tipo de estrutura e atividades; c) avaliar o grau de probabilidade de ocorrência desses caudais; d) avaliar o grau de consequências; e) avaliar o grau de risco. Assim, tendo em conta os valores limites do caudal médio galgado por metro linear da estrutura descritos por Pullen *et al.* (2007) e as características das estruturas em estudo, adotaram-se os seguintes valores limites:

- Os contentores no cais 12 encontram-se a 5-10m da estrutura galgada - 0.4 L/s/m;
- Os utilizadores do terraplano junto ao cais 12 não ficam facilmente perturbados ou assustados e, além disso, deslocam-se numa zona larga; as pessoas que se deslocam na defesa frontal têm uma visão clara do mar e também se deslocam numa zona larga - 0.1 L/s/m;

- Todas as estruturas analisadas apresentam uma geometria do ponto de vista do tardo, que podem ser enquadradas no caso de defesa frontal - 200 L/s/m;
- Danos no edifício localizado no enraizamento do esporão 3: 1 L/s/m;
- Os veículos circulam a baixa velocidade - 10 L/s/m.

Como seria de esperar, o valor de caudal médio de galgamento mais restrito está associado aos perigos relativos às pessoas. Perante estes valores adotados para as diversas categorias, obtêm-se as probabilidades de ocorrência para os três locais de estudo, Quadro 6. Analisando o cais 12, protegido pelo quebramar sul, a probabilidade de ocorrência de um caudal médio de galgamento superior ao limite para o qual não existem riscos associados aos equipamentos encontra-se no intervalo entre 0-1%, classificando-se assim, para os dois casos de estudo, como acontecimento improvável. Já em relação aos riscos associados a pessoas, por se tratar de um limite de caudal médio galgado mais restritivo, apresenta-se no intervalo entre 1-10%, denominando-se por acontecimento raro. Assim, considerando o pior cenário dos dois anos de estudo, classifica-se o cais 12 com um grau de probabilidade de 2.

Quadro 6. Probabilidade de ocorrência de galgamentos na três estruturas para as 4 categorias de consequências (Pullen *et al.*, 2007), considerando ou não a variação do nível de maré.

Local	Estrutura e edifício		Equip.		Pessoas		Veíc.	
	NM Var. (%)	NM Con. (%)	NM Var. (%)	NM Con. (%)	NM Var. (%)	NM Con. (%)	NM Var. (%)	NM Con. (%)
Cais 12 (P1)	0	0	0.47	0.8	1.3	3.7	0	0
Esporão 3 (P2)	0	0	-	-	0.1	0.04	0	0
Defesa Frontal (P3)	0	0	-	-	0.3	2.9	0	0

O enraizamento do esporão 3 apenas apresenta riscos associados às pessoas, sendo que os caudais médios galgados são completamente inofensivos para a estrutura de defesa costeira, para o edifício instalado sobre este esporão e para os veículos que circulam nas proximidades. Mesmo os possíveis riscos associados a pessoas apresentam probabilidades muito baixas, rondando os 0.05% e 0.04%, respetivamente para o estudo com variação do nível de maré e para um nível de maré constante, sendo que os 0.05% advêm da ocorrência de 7 casos em apenas três dias dos dois anos em análise. Assim, pode-se classificar o enraizamento do esporão 3 com um grau de probabilidade igual a 1, ou seja, um acontecimento improvável. A defesa frontal apresenta um caudal médio de galgamento máximo de 0.23 L/s/m, permitindo assim aferir que apenas causará perigo a pessoas, sendo, tal como o enraizamento do esporão 3, inofensivo para a própria estrutura marítima e para os veículos que próximo dela circulam. Para esta estrutura de defesa costeira, os valores de caudal médio galgado apresentam diferenças consideráveis para os dois casos de estudo, colocando a estrutura em graus de probabilidade diferentes consoante o caso de estudo em análise.

Para a definição do grau de consequências, adotaram-se os mesmos critérios do estudo anteriormente efetuado pelo LNEC, baseado em factos reais do porto obtidos através da colaboração da Administração dos Portos da Terceira e Graciosa, S.A. (APTG).

Assim, para o cais 12 do quebra-mar sul considerou-se um grau de consequências máximo de 2, associado à necessidade de algumas alterações nas atividades portuárias, por forma a garantir a segurança de pessoas e bens, não sendo necessário para tal a interrupção das atividades portuárias, pois a largura do cais permite a carga e descarga de navios em segurança.

Para o enraizamento do esporão 3 atribuiu-se um grau de consequências igual a 1, pois o caudal médio galgado não ultrapassa o limite de perigosidade em relação a edifícios, sendo possível, se necessário, proceder ao encerramento do mesmo para salvaguardar a segurança de pessoas e bens no seu interior ou proximidades.

No caso da estrutura de defesa frontal que protege essencialmente a marginal, que contém uma via de circulação a baixas velocidades e uma berma larga que impede o galgamento direto para a mesma, adotou-se um grau de consequências igual a 2.

Caso seja necessário pode-se vedar o acesso à zona, existindo uma alternativa para o acesso de veículos e pessoas aos estabelecimentos existentes na marginal.

Finalmente, o cálculo do grau de risco para cada zona passa pela multiplicação do grau de consequências encontrado pelo grau de probabilidade, Quadro 7.

Quadro 7. Grau de risco de galgamentos, considerando ou não a variação do nível de maré.

Local	Nível de maré	Grau de prob.	Grau de cons.	Grau de risco	Descrição	Controlo do risco
Cais 12 (P1)	NM Var.	2	2	4	Risco reduzido	Necessárias algumas medidas de controlo.
	NM Con.	2	2	4	Risco reduzido	Necessárias algumas medidas de controlo.
Esporão 3 (P2)	NM Var.	1	1	1	Risco insignificante	Não são necessárias medidas de controlo.
	NM Con.	1	1	1	Risco insignificante	Não são necessárias medidas de controlo.
Defesa Frontal (P3)	NM Var.	1	2	2	Risco insignificante	Não são necessárias medidas de controlo.
	NM Con.	2	2	4	Risco reduzido	Necessárias algumas medidas de controlo.

O Quadro 7 apresentam diferenças nas características da agitação incidente para os dois casos de estudo (com e sem variação do nível de maré), apenas a estrutura de defesa frontal se classifica com um grau de risco diferente nos dois estudos.

Tal facto deve-se à diferença considerável do número de ocorrências de galgamento, pois passa de um grau de probabilidade igual a 1 (nível de maré variável) para um grau de probabilidade igual a 2 (nível de maré constante).

Com a avaliação desta estrutura, pode-se aferir que o porto da Praia da Vitória apresenta risco reduzido ou mesmo insignificante relativamente ao fenómeno de galgamento, sendo apenas necessárias algumas medidas de controlo já tidas em conta atualmente pela entidade responsável do porto.

#### 4. Conclusões

Neste trabalho aplicou-se uma metodologia de avaliação do risco associado à ocorrência de galgamentos de três estruturas marítimas existentes no porto e na baía da Praia da Vitória, ilha Terceira, Açores, nomeadamente o trecho do quebra-mar sul em frente ao cais 12, o enraizamento do esporão 3 e a defesa frontal aderente, onde este esporão se encontra enraizado e que protege toda a via circundante da baía.

Seguiu-se a metodologia desenvolvida no LNEC (Santos *et al.*, 2011; Reis *et al.*, 2011; Neves *et al.*, 2012), a qual consiste na determinação das características da agitação marítima em frente às estruturas, no cálculo dos galgamentos e na avaliação do risco associado à ocorrência de galgamentos inadmissíveis.

Para a avaliação do risco considerou-se o produto do grau de probabilidade de ocorrência de galgamentos superiores a um dado limiar pelo grau associado às consequências desse limiar ser ultrapassado.

Os cálculos foram efetuados considerando a variação do nível de maré na caracterização da agitação marítima no período de 2009 a 2010 e os resultados obtidos, em termos da altura de onda significativa, caudal médio galgado e grau de risco associado a cada estrutura, foram comparados com trabalhos anteriores em que se considerava o nível de maré constante e igual a +1.4 m (ZH).

Dos resultados obtidos percebe-se a importância de uma correta caracterização do regime de agitação. Com efeito, a comparação efetuada com o estudo desenvolvido anteriormente pelo LNEC permite salientar a importância da introdução da variação do nível de maré que modifica as alturas significativas de onda e direções da agitação junto às estruturas e que provoca diferenças em relação ao número de ocorrências de galgamentos e ao caudal médio galgado.

Para as três estruturas analisadas, o risco associado ao caudal médio galgado para as duas estruturas da baía é igual ou inferior ao obtido com um nível de maré constante.

Apesar do estudo realizado pelo LNEC estar do lado da segurança, prevendo um grau de risco mais elevado do que o mesmo estudo com a variação do nível de maré, tal pode provocar um grau de risco associado ao galgamento das estruturas marítimas elevado e assim sugerir a necessidade de implementação de medidas de controlo de risco, que na realidade podem ser dispensáveis. No cais 12 não se verificaram diferenças em termos de graus de risco entre os dois estudos realizados.

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

#### Agradecimentos

Os autores agradecem o financiamento da FCT através do projeto HIDRALERTA - PTDC/AAC-AMB /120702/2010. Agradecem também aos Portos dos Açores, na pessoa da Eng. Conceição Rodrigues, e à Universidade dos Açores, nas pessoas da Dra. Anabela Simões e do Prof. Eduardo de Azevedo, toda a ajuda prestada durante este trabalho. Agradecem ainda aos projetos CLIMAAT e MacSIMAR (FEDER-INTERREG\_III B, Mac/2.3/A3, 03/Mac/2.3/A5; FEDER-MAC-Mac/1/A089) a utilização dos dados de agitação marítima.

#### Referências

- Booij, N., Ris, R.C. e Holthuijsen, L.H. (1999). *A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation*. J. Geographical Research, C4, 104, 7649-7666.
- Coeveld, E.M., Van Gent, M.R.A. e Pozueta, B. (2005). *Neural Network: Manual NN\_OVERTOPPING 2*. CLASH WP8 - Report, Junho.
- Deltares. (2011). *Delft3D - Tide. Analysis and prediction of tides, User manual*. Deltares, Delft, 3.14 ed.
- Fortes, C.J.E.M. (1993). *Modelação matemática da refração e difração combinadas de ondas marítimas (análise pelo método dos elementos finitos)*. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica, IST, Lisboa, Portugal.
- Neves, D.R., Santos, J.A., Reis, M.T., Fortes, C.J., 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*. Revista de Gestão Costeira Integrada (Journal of Integrated Coastal Zone Management), Vol. 12(3), pp. 291-312.
- Pullen, T., Allsop, N.W.H., Bruce, T., Kortenhaus, A., Schuttrumpf, H. e Van der Meer, J.W. (2007). *EurOtop: Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual*. Environment Agency, UK, Exper. Netwerk Waterkeren, NL, Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen, DE August.
- Reis, M.T., Fortes, C.J.E.M., Neves, D.R.C.B., Rodrigues, S., Santos, J.A., Vieira, A.S., Simões, A. e Azevedo, E.B. (2011). *Previsão dos galgamentos na baía da Praia da Vitória para avaliação de risco e alerta*. 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).

- Rocha, T. (2012). *Avaliação do galgamento de estruturas portuárias. Aplicação ao porto da Praia da Vitória, Açores*. Tese de mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Hidráulica. FEUP da Universidade do Porto. Junho.
- Rocha, T., Fortes, C., Reis, M.T., Santos, J.A., Neves, D., Portela, L. e Pinto, F.T. (2012). *Avaliação comparativa do risco de galgamentos na Praia da Vitória, Terceira, Açores*. Proc. V SEMENGO, Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica, 7 a 9 de Novembro, Rio Grande, Brasil (CD-Rom).
- Santos, J.A., Reis, M.T., Neves, D.R.C.B., Fortes, C.J.E.M., Rodrigues, S., Azevedo, E.B., Rodrigues, M.C., Simões, A., Ramalheira, J. e Raposeiro, P. (2011). *Aplicação de uma metodologia para avaliação do risco para a navegação e galgamentos no Porto da Praia da Vitória*. Proc. 7ª Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, AIPCN/PIANC, Porto, 6 e 7 de Outubro.
- Simões, A., Tomé, R., Reis, F. e Azevedo, E. (2009). *Avaliação da Qualidade das Previsões de Agitação Marítima no Arquipélago dos Açores*. Projetos CLIMAAT e CLIMAAT II, INTERREG IIIB – Açores, Madeira e Canárias, MAC/2.3/A3 – 03/MAC/2.3/A5.
- Tolman, H. (1999). *User Manual and System Documentation of WAVEWATCH-III*. version 1.18, NOA/NWS/NCEP/OMB Technical Note 166, 110pp, Washington, E.U.A..