



V SEMINÁRIO E WORKSHOP EM ENGENHARIA OCEÂNICA

Rio Grande, 07 a 09 de Novembro de 2012

Avaliação comparativa do risco de galgamentos na Praia da Vitória, Terceira, Açores

Tânia Rocha^{1,3}, Conceição Fortes¹, Maria Teresa Reis¹, João Alfredo Santos², Diogo Neves¹, Luís Portela¹, Francisco Taveira Pinto³

¹ Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101, 1750-044 Lisboa, Portugal

e-mail: tania_rocha85@hotmail.com, jfortes@lnec.pt, treis@lnec.pt, dneves@lnec.pt, lportela@lnec.pt

² Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Rua Conselheiro Emídio Navarro 1, 1959-007, Lisboa, Portugal

e-mail: jasantos@dec.isel.pt

³ Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Rua Doutor Roberto Frias 4200-465, Porto

e-mail: fpinto@fe.up.pt

RESUMO

Neste trabalho, descreve-se a aplicação ao porto da Praia da Vitória, na ilha Terceira, Açores, Portugal, da metodologia de avaliação do risco de galgamentos em estruturas marítimas em desenvolvimento no LNEC. 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 galgamentos.

Esta metodologia é constituída por três etapas: a caracterização da agitação marítima, a determinação dos galgamentos sobre as estruturas e a avaliação do risco de galgamentos.

A caracterização da agitação é feita com recurso a modelos numéricos de propagação de ondas. Utilizando os resultados do modelo de previsão de larga escala WAVEWATCH III como dados de entrada para os modelos regionais de propagação de ondas, modelos SWAN e DREAMS, é caracterizada a agitação marítima na zona do porto da Praia da Vitória, para o período de 2009 a 2010, tendo em conta a variação do nível de maré nesse período. Mais concretamente, define-se o regime de agitação incidente para duas estruturas selecionadas no âmbito deste estudo: o quebramar sul do porto e a defesa frontal da baía. O cálculo dos galgamentos é efetuado com o modelo neuronal NN_OVERTOPPING2 que, através da introdução dos parâmetros característicos da agitação incidente (altura significativa da onda, período e direção de agitação) e das características geométricas de cada estrutura, permite obter o caudal médio galgado por metro linear de estrutura. A avaliação do risco baseia-se no produto do grau de probabilidade de ocorrência de galgamentos superiores a um dado limiar pré-estabelecido pelo grau de consequências que advém desse limiar ser ultrapassado. Após a definição dos limiares associados a cada estrutura, baseados nas tabelas de Pullen et al. (2007), determina-se a frequência de ocorrência de valores de caudais médios galgados superiores a esses limites e define-se o tipo de consequências que a excedência desses valores de caudal médio crítico acarreta. Com estes valores, associam-se graus de probabilidade de ocorrência de galgamentos e de consequências, cujo produto permite obter o grau de risco associado a cada estrutura.

Os resultados assim obtidos nas estruturas selecionadas, quer em termos de alturas de onda significativas, de caudal médio galgado ou 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 (Z.H.).

Palavras-chave: Galgamentos, Avaliação de risco, Modelo SWAN, Modelo DREAMS, Modelo NN_OVERTOPPING2, Nível de maré, Porto da Praia da Vitória.

1. INTRODUÇÃO

Em Portugal, devido à severidade e aleatoriedade do clima de agitação marítima e à extensão e diversidade da costa, são frequentes as situações de emergência provocadas pelo estado do mar, tornando clara a necessidade de prever situações de risco em zonas portuárias e costeiras e de realizar mapas de risco, para apoio ao planeamento e à gestão de intervenções 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 aos galgamentos de estruturas marítimas pois as consequências associadas aos mesmos podem ser graves, nomeadamente a inoperacionalidade de postos de acostagem, inundações em edifícios e equipamentos, ou mesmo danos mais graves que possam pôr em causa vidas humanas.

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

- Definição do regime de agitação marítima incidente nas estruturas portuárias recorrendo a dados obtidos *in situ* e/ou a resultados de modelos numéricos de propagação de ondas;
- Cálculo da resposta da estrutura em termos de caudal médio galgado por unidade de comprimento do coroamento da estrutura;
- Cálculo do grau de risco associado aos galgamentos acima de um determinado caudal médio pré-definido para cada estrutura.

Para validação desta metodologia foi escolhido o porto da Praia da Vitória, localizado na ilha Terceira, Açores, Portugal. Na proximidade deste porto está instalada uma boia-ondógrafo, o que permitiu testar o desempenho dos modelos numéricos na metodologia desenvolvida pelo LNEC, por comparação com os dados reais medidos na boia. 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 que esta é fácil e eficaz e que os valores fornecidos pela mesma, para o grau de risco associado a determinadas estruturas, está 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 realista e um dos aspetos a ter em atenção é a variação do nível de maré nos cálculos de propagação de ondas em zonas portuárias e costeiras.

Nesse sentido, e uma vez que em qualquer dos trabalhos anteriores, por simplificação, não foi considerada a variação do nível de maré no período em análise, pretendeu-se avaliar no presente trabalho a influência dessa variação quer na caracterização da agitação marítima, quer principalmente nos valores de graus de risco de galgamentos associados.

Com este objetivo, é aplicada a metodologia de avaliação do grau de risco de galgamentos a duas estruturas marítimas do porto da Praia da Vitória (o quebramar sul e a defesa frontal) considerando na caracterização da agitação marítima a variação do nível de maré. O período de estudo corresponde aos anos de 2009 e 2010. Os resultados obtidos são comparados com resultados anteriores em que o nível de maré foi considerado constante e igual a +1.4 m (Z.H.). Este valor resultou de se considerar o nível médio igual a +1.0 m (Z.H.) ao qual se somou a sobrelevação de 0.4 m.

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.

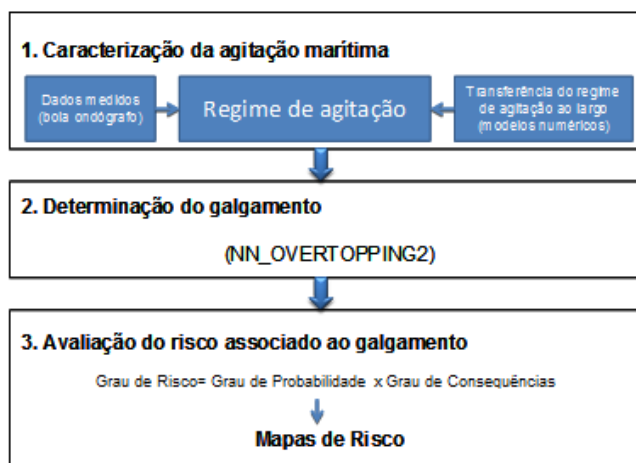


Figura 1 – Metodologia para a avaliação do risco associado a galgamentos de estruturas marítimas.

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 boias-ondógrafo, por exemplo) ou ser definido com recurso a modelos numéricos de propagação de ondas. Como a primeira hipótese não é frequente, é usual a utilização de modelos numéricos que efetuam a transferência do 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 utilizou-se o modelo SWAN, Booij *et al.* (1999), e o modelo DREAMS, Fortes (1993), aplicados a resultados do modelo de previsão da agitação marítima à escala regional WAVEWATCH III, Tolman (1999).

2.2 Etapa 2 - Galgamentos em estruturas marítimas

A avaliação dos galgamentos pode ser efetuada com recurso a modelos físicos, modelos numéricos, fórmulas empíricas ou modelos neuronais. No presente trabalho, 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 processa os resultados produzidos por 700 redes neuronais fornecendo o valor médio do caudal galgado por unidade de comprimento do coroamento da estrutura, q , bem como outros valores característicos desta grandeza obtidos a partir da amostra gerada por aquele conjunto de redes neuronais. 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 escalar o tamanho do material do núcleo da estrutura de acordo com as suas dimensões e não com as velocidades no núcleo) e de modelo (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 (Figura 2), o que lhes confere uma flexibilidade maior do que a das fórmulas empíricas.

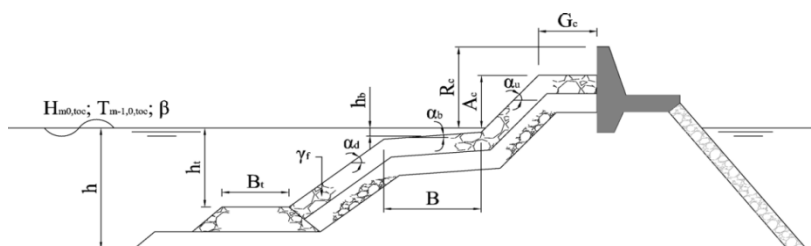


Figura 2 – Parâmetros de entrada da ferramenta NN_OVERTOPPING2.

Para descrever a agitação marítima incidente na estrutura são considerados três parâmetros: a altura de onda significativa espectral na base da estrutura (H_{m0}), o período médio de onda espectral na base da estrutura ($T_{m-1,0}$) e a direção de incidência da onda (β). Para descrever a forma geométrica da estrutura são considerados 12 parâmetros (Figura 2): a profundidade da água em frente à estrutura (h), a profundidade da água na banqueta do pé do talude da estrutura (h_i), a largura da banqueta do pé do talude (B_i), a rugosidade/permeabilidade do manto (γ_f), o declive da estrutura abaixo da berma ($\cot \alpha_d$), o declive da estrutura acima da berma ($\cot \alpha_u$), a largura da berma (B), a profundidade da água na berma (h_b), o declive da berma ($\tan \alpha_b$), o bordo livre da parte impermeável do coroamento da estrutura (R_c), o bordo livre do manto permeável da estrutura (A_c) e a largura do coroamento da estrutura (G_c).

2.3 Etapa 3 – Avaliação do risco

A avaliação do risco de uma dada zona de estudo é baseada na combinação entre os valores de probabilidades de ocorrência de galgamentos superiores a um determinado limiar de caudal médio galgado e os valores de consequências relativos à superação desse limiar. Por simplificação, atribui-se à probabilidade de ocorrência uma escala de graus de probabilidade em vez da probabilidade da ocorrência do acontecimento perigoso e um grau de consequências em vez do prejuízo associado a este acontecimento:

$$\text{Grau de Risco} = \text{Grau de Probabilidade} \times \text{Grau de Consequências} \quad (1)$$

Para definir esses graus, a Tabela 1, a Tabela 2 e a Tabela 3 são usadas 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.

Tabela 1 – Avaliação da aceitabilidade do grau de risco obtido.

Grau de Risco	Descrição	Controlo do Risco (Guia de Orientação)
1 – 3	Insignificante	Risco desprezável; não é preciso executar 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 (e.g. eliminar a origem dos riscos, alterar a probabilidade de ocorrência e/ou as consequências, transferir o risco, etc.).

Tabela 2 - Graus de 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

Tabela 3 – Grau de consequências associadas à ocorrência de acontecimento perigoso.

Descrição	Consequências (Guia de Orientação)						Grau
	Pessoas	Ambiente	Gestão portuária	Património			
				Edifícios	Equipamentos ¹	Estrutura marítima	
Insignificantes	Possibilidade 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	1
Reduzidas	Uma única lesão ligeira	Pequenos derrames (por exemplo de combustível)	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 de problemas quase imediata	Ocorrência de movimentos e quedas de blocos sem exposição de filtros; reparação imediata desnecessária	2
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; superestrutura afetada mas sem movimentos significativos	5
Muito sérias	Muitas lesões graves ou uma perda de vida	Episódios de poluição dentro e fora do porto com possibilidade de consequências irreparáveis para o ambiente	Impossibilidade de 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 superestrutura	10
Catastróficas	Muitas perdas de vidas	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	25

¹ Por “Equipamentos” entende-se o equipamento de cais, os contentores armazenados nos cais e os navios.

O processo de avaliação qualitativa do risco de galgamentos de uma estrutura marítima é efetuado da seguinte forma:

- Divisão do local de estudo em subzonas, atendendo ao perfil transversal da estrutura e ao tipo de utilização da zona protegida pela estrutura e conseqüente variabilidade do caudal médio admissível de galgamento;
- Cálculo da probabilidade de ocorrência de galgamentos não admissíveis, com base na resposta da estrutura à agitação incidente e nos limites admissíveis para cada tipo de estrutura. A classificação dessa probabilidade é efetuada tendo em conta os graus definidos na Tabela 2;
- Definição do grau de conseqüências, baseado na Tabela 3;
- Obtenção do grau de risco para cada subzona através do produto do grau da probabilidade de ocorrência e do grau de conseqüências de ocorrência de galgamentos não admissíveis.

3. CASO DE ESTUDO

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, os chamados quebramar norte e quebramar 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 que enraízam na defesa frontal.

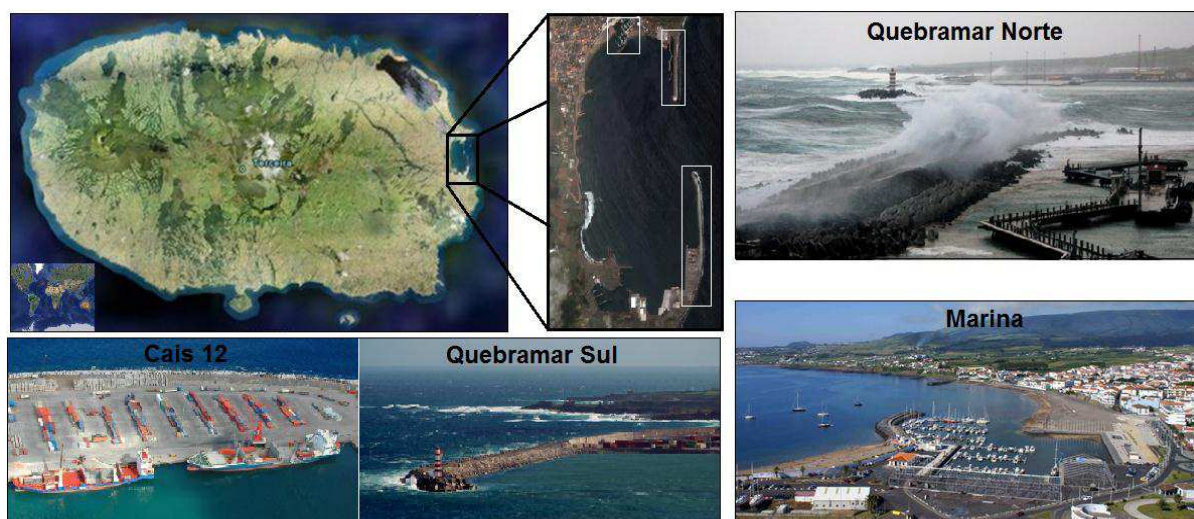


Figura 3 – Porto da Praia da Vitória.

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 quebramar sul em frente aos cais 12 e a zona dos esporões da defesa frontal aderente da baía cujos perfis são indicados na Figura 4.

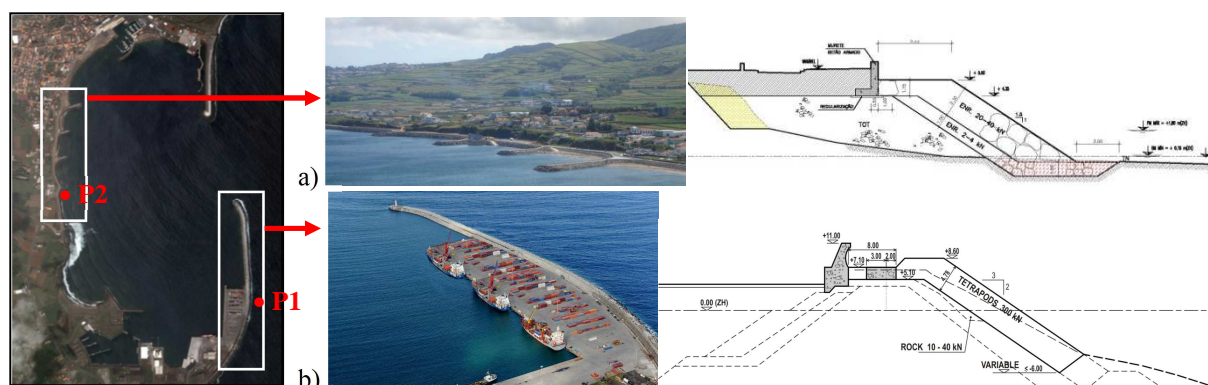


Figura 4 – Vista aérea do porto da Praia da Vitória; a) Defesa frontal e perfil tipo; b) Cais 12 e perfil tipo.

Nas próximas secções aplica-se a metodologia de avaliação do risco de galgamentos (secção 2.3) começando por se efetuar a caracterização da agitação marítima junto às estruturas estudadas, com base em

resultados de modelos de propagação de ondas e considerando a variação do nível de maré. Depois, efetua-se o cálculo dos galgamentos em cada estrutura considerada (quebramar sul e defesa frontal) para logo de seguida, se proceder à avaliação do risco associado a galgamentos que excedam um limiar pré-estabelecido de caudal médio galgado.

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 Vitoria, baseadas nas tabelas das marés de portos portugueses para o ano de 1968. Para se efetuar a validação dos dados com as previsões de preia-mar e baixa-mar disponibilizadas pelo Instituto Hidrográfico foi necessário corrigi-los para a hora legal adotada. Nos Açores a hora legal coincide com o tempo universal coordenado (UTC) reduzido de sessenta minutos no período abrangido pela 1h UTC do último domingo de Outubro até à 1h UTC do último domingo de Março seguinte (horário de inverno) e coincide com o tempo universal coordenado no restante período (horário de Verão). 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 (Z.H.). Note-se que que não estão a ser tidos em consideração eventuais efeitos meteorológicos (pressão atmosférica, vento).

Na Figura 5 apresentam-se as séries temporais das alturas de onda significativas da agitação marítima previstas nos pontos P1 - cais 12 do quebramar sul, cujo fundo está à cota +19.05 m (Z.H.) e P2 - defesa frontal com fundo à cota + 2.45 m (Z.H.), considerando ou não a variação do nível de maré. Na Tabela 4 apresentam-se os valores de $H_{s_{max}}$ e $H_{s_{med}}$ obtidos nessas condições.

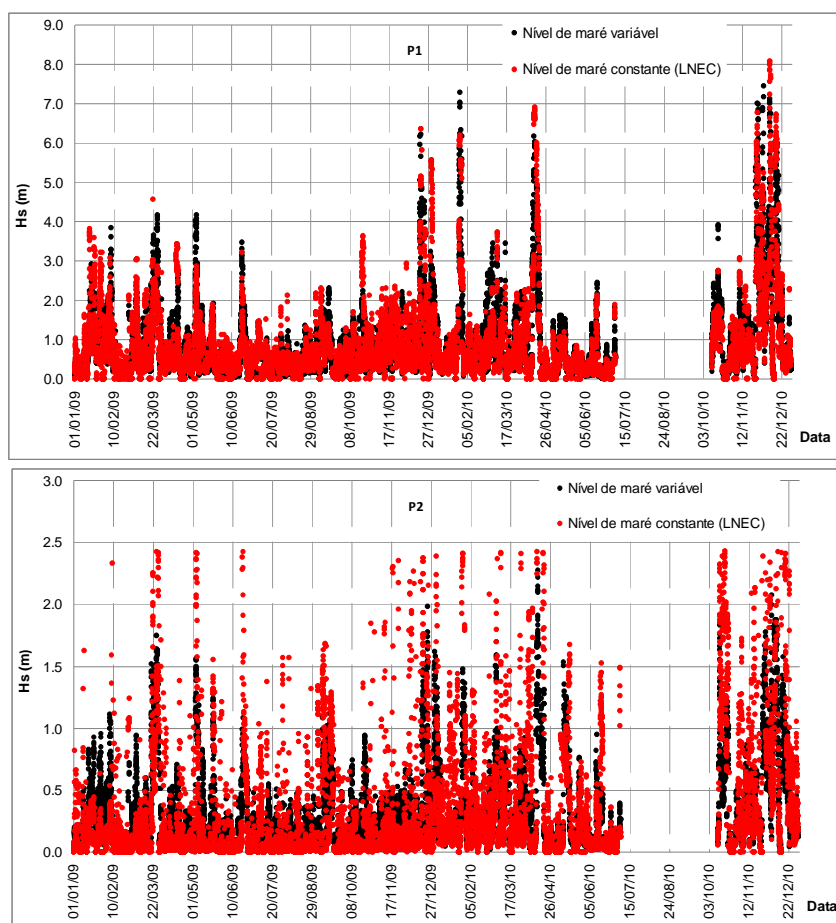


Figura 5 – Séries temporais das alturas de onda significativas nos pontos P1 e P2, considerando ou não a variação do nível de maré.

Tabela 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)
Quebramar Sul (P1)	8.06	0.79	7.44	0.86
Defesa Frontal (P2)	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 no ponto P2 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 duas 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 diminuem.

3.3 Avaliação dos galgamentos

No cálculo dos galgamentos nos dois locais (P1 - cais 12 do quebramar sul e P2 - defesa frontal) com a ferramenta NN_OVERTOPPING2, as variáveis relevantes são as referidas na Tabela 5.

Na Figura 6 apresentam-se as séries temporais do caudal médio obtido com a agitação incidente prevista e na Tabela 6 comparam-se os valores correspondentes de percentagem de caudal médio galgado, de q_{max} e q_{med} , para os pontos P1 e P2, para as situações considerando ou não o nível de maré variável.

Tabela 5 – Características das estruturas marítimas nos pontos P1 e P2.

Local	h_t (m)	B_t (m)	γ_f (-)	Cot α_d (-)	Cot α_u (-)	R_c (m)	B (m)	h_b (m)	Tan α_b (-)	A_c (m)	G_c (m)	h (m)
Quebramar Sul (P1)	19.05	0.00	0.35	4.30	1.50	9.95	0.00	9.80	0.00	7.55	8.00	19.05
	19.05	0.00	0.35	4.30	1.50	9.95	0.00	9.80	0.00	7.55	16.00	19.05
Defesa Frontal (P2)	2.45	0.00	0.50	1.50	1.50	5.90	0.00	0.00	0.00	4.45	5.25	2.45

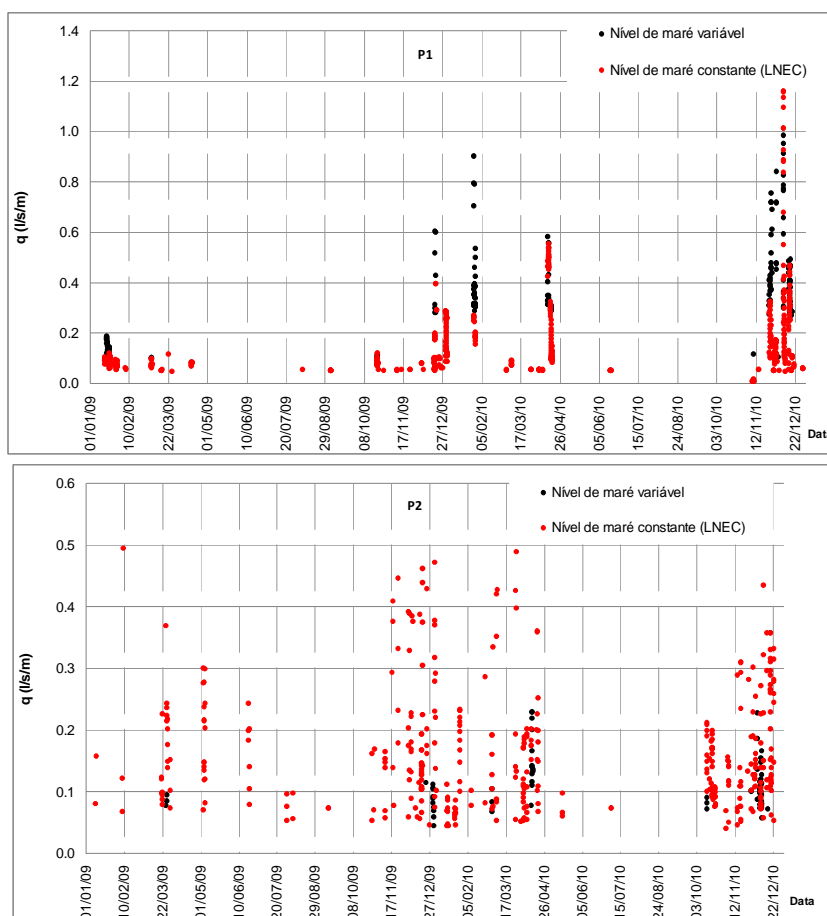


Figura 6 – Séries temporais dos caudais médios galgados em P1 e P2 considerando ou não a variação do nível de maré.

Tabela 6 – Comparação dos valores de percentagem de ocorrência de galgamentos nos pontos P1 e P2, q_{\max} e q_{med} , considerando ou não a variação do nível de maré.

Local	Galgamento (%)		q_{\max} (l/s/m)		q_{med} (l/s/m)	
	NM variável	NM Const.	NM variável	NM Const.	NM variável	NM Const.
	Quebramar Sul (P1)	1.30	3.91	0.98	1.16	0.38
Defesa Frontal (P2)	0.57	2.98	0.23	0.49	0.11	0.16

Da análise da Figura 6, constata-se que:

- Para ambas as estruturas, existem diferenças, quer no número de ocorrências de galgamentos, quer nos valores de caudal médio médio e máximo;
- 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 galgado;
- Na defesa frontal (P2), 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 uma maior número de ondas com altura superior a 2 m e são estas ondas que vão provocar galgamento.

3.3 Avaliação do risco de galgamento

Para a avaliação do risco de galgamento nas duas estruturas deve-se: a) avaliar a natureza das atividades desenvolvidas na zona abrigada pela estrutura e qual o impacto do galgamento na segurança de pessoas e 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.

O galgamento do trecho do quebramar sul que protege o cais 12 e a defesa frontal pode ter consequências quer para a estrutura galgada, quer para pessoas ou veículos que se deslocam nas proximidades. No caso do cais 12, pode também haver consequências para as operações portuárias e segurança dos navios atracados. Outra consequência que não é desprezável é a segurança dos contentores arrumados no cais. Dos quadros de Pullen *et al.* (2007) obtêm-se recomendações relativas aos valores limites do caudal médio por metro linear do coroamento da estrutura. Para a definição desses valores, considerou-se que:

- As diferentes estruturas têm uma geometria, do lado do tardo, que pode ser enquadrada no caso de defesa frontal - 200 l/s/m;
- A circulação nas diferentes zonas é feita a baixa velocidade - 10 l/s/m;
- 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.

Como seria de esperar, o valor de caudal médio galgado mais restrito está associado aos perigos relativos às pessoas.

Perante estes valores adotados para as diversas categorias de consequências, obtêm-se as probabilidades de ocorrência para os dois locais de estudo. Estas opções relativas aos limites de caudal médio admissível dão origem à ocorrência de galgamentos de risco apenas para os contentores presentes no cais 12 e para as pessoas que se encontram tanto no terraplano do cais 12, como as que circulam na marginal. Com estas percentagens, classificam-se os locais de estudo em graus de probabilidade de ocorrência de galgamentos perigosos recorrendo à Tabela 7.

Tabela 7 – Tabela da probabilidade de ocorrência de galgamentos nos pontos P1 e P2 para as 4 categorias de consequências (Pullen *et al.*, 2007), considerando ou não a variação do nível de maré.

Local	Estrutura		Equipamento		Pessoas		Veículos	
	NM variável (%)	NM const. (%)	NM variável (%)	NM const. (%)	NM variável (%)	NM const. (%)	NM variável (%)	NM const. (%)
	Quebramar Sul (P1)	0	0	0.47	0.8	1.29	3.7	0
Defesa Frontal (P2)	0	0	-	-	0.30	2.88	0	0

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 quebramar 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. No caso da estrutura de defesa frontal que protege a marginal e 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 veículos e pessoas que pretendam aceder 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, Tabela 8.

Tabela 8 – Grau de risco de galgamentos, considerando ou não a variação do nível de maré.

Local		Grau de probabilidade	Grau de consequências	Grau de risco	Descrição	Controlo do risco
Quebramar Sul (P1)	NM variável	2	2	4	Risco reduzido	Algumas medidas de controlo
	NM const.	2	2	4	Risco reduzido	Algumas medidas de controlo
Defesa Frontal (P2)	NM variável	1	2	2	Risco insignificante	Ausência de medidas de controlo
	NM const.	2	2	4	Risco reduzido	Algumas medidas de controlo

A Tabela 8 mostra que, apesar das duas estruturas apresentarem 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 destas duas estruturas, 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 duas estruturas marítimas existentes no porto e na baía da Praia da Vitória, ilha Terceira, Açores, nomeadamente o trecho do quebramar sul que protege o cais 12 e a defesa frontal que protege toda a via circundante desta 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 (Z.H.).

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 provocam diferenças em relação ao número de ocorrências de galgamentos e ao caudal médio galgado. Para o caso de estudo, o risco associado ao caudal médio galgado para as duas estruturas encontra-se igual ou abaixo do 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.

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 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, à 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 também aos projetos CLIMAAT e MacSIMAR (FEDER-INTERREG_IIIB, Mac/2.3/A3, 03/Mac/2.3/A5; FEDER-MAC-Mac/1/A089) a utilização dos dados de agitação marítima.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Booij, N., Ris, R.C. e Holthuijsen, L.H., 1999. A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation. *J. Geographical 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.C.B., Santos, J.A., Reis, M.T., Fortes, C.J.E.M., Rodrigues, S., Simões, A. e Azevedo E.B., 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*. (no prelo: <http://www.aprh.pt/rgci/rgci322.html>).
- Pullen, T., Allsop, N.W.H., Bruce, T., Kortenhaus, A., Schuttrumpf, H. e Van der Meer, J.W., 2007. *EurOtop: Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual*. Environment Agency, UK, Exper. Network Waterkeren, NL, Kuratorium fur Forschung im Kusteningenieurwesen, DE August.
- Reis, M.T., Fortes, C.J.E.M., Neves, D.R.C.B., Rodrigues, S., 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. VI Congresso Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras, Zonas Costeiras 2011, Boa Vista, Cabo Verde, 4 a 8 de Abril.
- 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.
- 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. 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..