



APLICAÇÃO DE UMA METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DO RISCO PARA A NAVEGAÇÃO E GALGAMENTOS NO PORTO DA PRAIA DA VITÓRIA

João Alfredo Santos^{1,2}, Maria Teresa Reis¹, Diogo R.C.B. Neves¹, Conceição J.E.M. Fortes¹, Sara Rodrigues¹, Eduardo Brito de Azevedo³, Maria Conceição Rodrigues⁴, Anabela Simões³, Javier Ramalleira¹, Paulo Raposeiro⁵

¹Departamento de Hidráulica e Ambiente, Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Av. Brasil 101, 1700-066 Lisboa. Email: jasantos@lnec.pt; treis@lnec.pt; dneves@lnec.pt;
jfortes@lnec.pt; srodrigues@lnec.pt; jramalleira@lnec.pt

²Área Departamental de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa
Rua Conselheiro Emídio Navarro 1, 1959-007 Lisboa. Email: jasantos@dec.isel.pt

³Departamento de Ciências Agrárias, Universidade dos Açores
Campus da Terra Chã, 9701-851 Angra do Heroísmo. Email: edubrito@uac.pt; anabela@uac.pt

⁴Administração dos Portos da Terceira e Graciosa, S.A.
Zona Portuária - Cabo da Praia, 9760-571 Praia da Vitória. E-mail: mcrodrigues@aptg.pt

⁵Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Universidade Nova de Lisboa
Campus de Caparica, 2829-516 Caparica. E-mail: praposeiro@fct.unl.pt

Resumo

Descrevem-se as metodologias, desenvolvidas no LNEC, para a avaliação do risco associado à navegação no interior dos portos e à ocorrência de galgamentos de estruturas portuárias.

A determinação da agitação marítima é efectuada, em ambos os riscos, recorrendo a uma metodologia de acoplamento de modelos numéricos de propagação de ondas, com base em dados de agitação marítima provenientes de bóias ou de modelos regionais de previsão da agitação. Para a navegação a avaliação do risco é feita com base na altura do movimento vertical de um navio induzido pela agitação incidente ao longo da sua trajectória no porto, enquanto o cálculo dos galgamentos é efectuado recorrendo a uma ferramenta baseada na análise de redes neuronais.

Estas novas metodologias foram aplicadas ao Porto da Praia da Vitória, localizado na costa Este da Ilha Terceira, Açores. Avaliou-se o risco para a navegação ao longo de duas trajectórias de entrada de um navio no porto e o risco associado ao galgamento da secção do molhe Sul do porto que protege directamente o cais 12.

1 Introdução

A agitação marítima pode condicionar diversas vertentes das actividades portuárias. Com efeito, valores excessivos dos parâmetros caracterizadores da agitação marítima levam, entre outros, à interrupção das operações de carga e descarga de navios, ou até a movimentos verticais excessivos de navios em manobra na entrada ou na saída do porto, e ao galgamento de obras de protecção portuária.

A preocupação com estes efeitos da agitação marítima resulta dos prejuízos que podem estar associados aos mesmos: inoperacionalidade do posto de acostagem, danos nos equipamentos ou edifícios protegidos pelas estruturas galgadas, encalhe ou naufrágio do navio em manobra, ou mesmo perda de vidas humanas.

A adopção de medidas mitigadoras desses efeitos deve resultar da estimação dos prejuízos associados aos mesmos, a qual só é razoável quando leva em conta o carácter aleatório das características dos estados de agitação marítima incidentes. Surge assim o interesse da análise de risco no planeamento de intervenções nas infra-estruturas portuárias, sendo aquela quantidade definida como o produto da probabilidade de ocorrência do acontecimento

considerado perigoso pelo prejuízo associado a esse acontecimento. Em rigor, trata-se do valor esperado da variável aleatória de Bernoulli que toma o valor zero quando não ocorre o acontecimento considerado prejudicial e o valor igual ao prejuízo quando aquele acontecimento ocorre. Como se verá ao longo da comunicação, informação fundamental para a avaliação da ocorrência de acontecimentos perigosos é a caracterização da agitação incidente na zona em estudo e a avaliação da resposta do sistema a essa agitação incidente.

Nesta comunicação descreve-se uma metodologia implementada no LNEC para avaliar os riscos associados a movimentos verticais durante a navegação na entrada de um porto, bem como os riscos inerentes à ocorrência de galgamentos e a sua aplicação ao Porto da Praia da Vitória, situado na costa Este da ilha Terceira do arquipélago dos Açores. Estuda-se a influência da velocidade de avanço do navio no risco para a navegação, bem como os galgamentos do trecho do molhe Sul que protege o cais 12 do Porto da Praia da Vitória.

Após este capítulo de introdução, apresentam-se os procedimentos e as ferramentas desenvolvidas no LNEC para a avaliação de risco e depois os fundamentos teóricos para avaliação, quer dos movimentos verticais de um navio em manobra, quer do caudal médio galgado por unidade de comprimento do coroamento de uma estrutura marítima. Em seguida, descreve-se a aplicação da metodologia de avaliação de risco associado aos movimentos verticais durante a entrada de um navio no Porto da Praia da Vitória e ao galgamento do trecho do molhe Sul que protege o cais 12 do mesmo porto. Termina a comunicação o capítulo das conclusões.

2 Avaliação do risco

Das diversas fases do ciclo de gestão de risco, o enfoque da metodologia apresentada nesta comunicação é a avaliação do risco. Como mencionado na introdução, entende-se risco como o produto da probabilidade de ocorrência de um acontecimento considerado perigoso pelos custos inerentes a essa ocorrência.

A definição do acontecimento perigoso envolve o estabelecimento de um limiar para uma variável observável relevante para o fenómeno estudado (esforços nos elementos do sistema de amarração, caudal médio galgado por metro de desenvolvimento do coroamento da estrutura ou altura dos movimentos verticais do navio). Neste caso em que a agitação marítima é a causa principal da existência de acontecimentos perigosos, é necessário definir também a função de transferência entre as características da agitação incidente num ponto ou zona de interesse e a variável observável já referida.

Do exposto verifica-se a necessidade de uma caracterização tão exacta quanto possível da agitação marítima incidente nos pontos de interesse. Assim, para além da metodologia de avaliação de risco implementada no LNEC, descreve-se neste capítulo a ferramenta informática onde tal metodologia foi introduzida: o sistema GUIOMAR. Esta ferramenta trata também da modelação numérica da propagação da agitação marítima desde o largo até ao interior de uma bacia abrigada.

2.1 Metodologia

A metodologia de avaliação do risco associado aos movimentos verticais de um navio ou à ocorrência de galgamentos de uma estrutura marítima, que se encontra em desenvolvimento no LNEC, consiste em três passos fundamentais (Figura 1):

- Definição do regime de agitação marítima incidente nos pontos de interesse recorrendo a dados obtidos in situ e/ou a resultados de modelos numéricos de propagação de ondas. Aqueles pontos serão os baricentros das regiões em que se dividiu a zona passível de ser ocupada pelo navio nas suas viagens de entrada ou de saída do porto ou pontos junto à estrutura de protecção do porto;

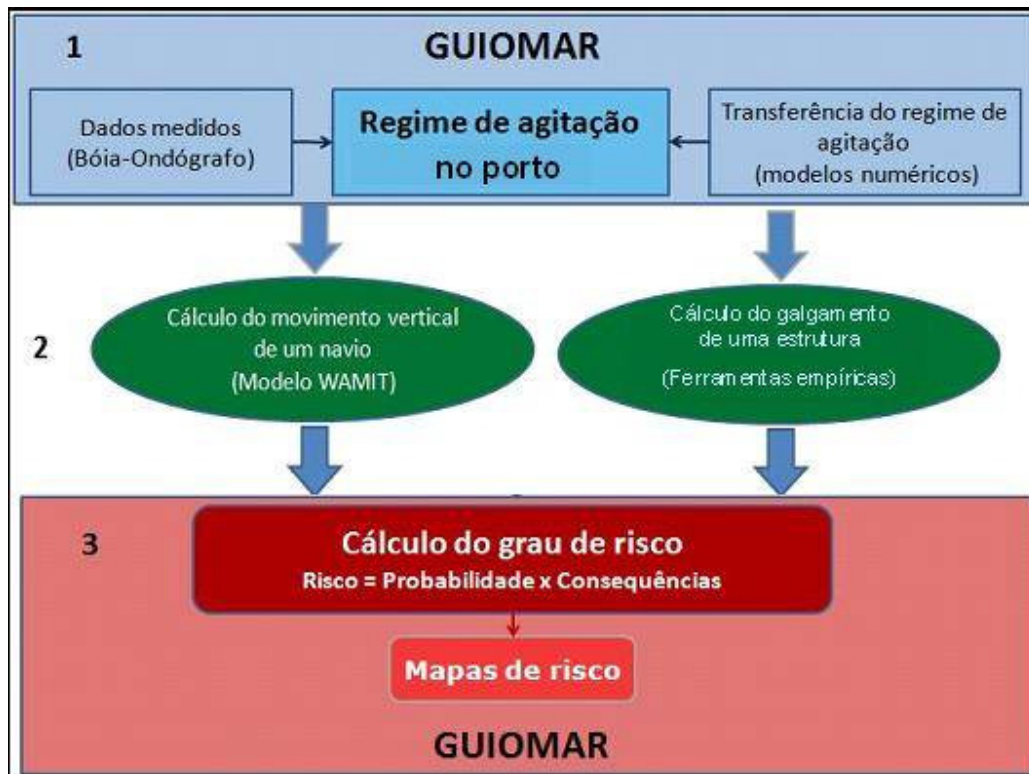


Figura 1 – Metodologia de avaliação do risco.

- Cálculo da resposta à agitação incidente dos sistemas em estudo. No caso presente serão os movimentos verticais do navio ou os galgamentos ocorridos na estrutura marítima;
- Cálculo do grau de risco associado aos fenómenos em estudo resultante da ultrapassagem dos limiares predefinidos para cada uma das variáveis observadas relevantes.

O sistema GUIOMAR é utilizado no estabelecimento do regime de agitação marítima nos pontos de interesse sendo a resposta dos sistemas à agitação marítima neles incidente determinada a partir de um modelo numérico para a interação de um corpo flutuante com ondas (o modelo WAMIT, para os movimentos verticais do navio) ou de ferramentas empíricas (NN_OVERTOPPING2) para o cálculo do caudal médio galgado por unidade de comprimento do coroamento da estrutura marítima.

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

- (i) Definição, para cada ponto de interesse, do limiar respectivo da variável definidora da ocorrência de um acontecimento prejudicial. Tal definição deve levar em conta as características da zona onde o navio se desloca e a carga do navio ou as características da estrutura galgada e da zona por ela protegida;
- (ii) Estabelecimento de tabela com os graus das probabilidades de ocorrência dos acontecimentos prejudiciais e sua aplicação a cada um dos pontos de interesse para classificação dos correspondentes graus de probabilidade;

- (iii) Estabelecimento de uma tabela de graus de consequências associadas à ocorrência de acontecimentos perigosos e sua aplicação a cada um dos pontos de interesse para determinação dos correspondentes graus de consequências;
- (iv) Para cada ponto de interesse, multiplicação dos valores do grau de probabilidade de ocorrência pelo grau de consequências do mesmo ponto para obter o grau de risco associado à ocorrência do acontecimento perigoso nesse ponto. Com estes valores de risco, são construídos mapas de risco.

Após a definição dos pontos de interesse, muitos deles representativos de sub-zonas onde se pretende avaliar o risco associado à ocorrência de acontecimentos perigosos, a maior dificuldade surge na definição das tabelas atrás referidas. Estas tabelas têm a vantagem de tornar mais compacta a transmissão dos resultados da avaliação de risco aos utilizadores desses resultados, facilitando a comparação de soluções alternativas para um mesmo problema. Além disso, na falta de informação mais detalhada, a tabela com o grau das consequências permite uma estimação preliminar dos custos associados às consequências da ocorrência de um acontecimento perigoso. Embora fosse aconselhável a utilização de tabelas diferentes para cada acontecimento perigoso - uma tabela para os graus de probabilidade de ocorrência de movimentos verticais excessivos do navio e outra para os graus de probabilidade de ocorrência de galgamentos não admissíveis, por exemplo - na análise apresentada nesta comunicação utiliza-se apenas uma tabela para os graus de probabilidade e outra para os graus de consequências para os dois acontecimentos perigosos estudados.

O cálculo da probabilidade de ocorrência de um acontecimento perigoso é feito considerando que os valores disponíveis da variável observável (resposta do sistema à agitação marítima nele incidente) constituem uma amostra significativa da população. Assim, basta determinar o quociente entre o número de valores da variável observável que ultrapassam o limiar de definição do acontecimento perigoso e o número total de valores na mesma amostra para obter a probabilidade de ocorrência do acontecimento perigoso. De acordo com o valor dessa probabilidade de ocorrência atribui-se o grau respectivo. No Quadro 1 apresentam-se os graus adoptados neste trabalho para a probabilidade de ocorrência de movimentos verticais do navio ou de galgamentos não admissíveis.

Quadro 1 – Grau de probabilidade de ocorrência de acontecimento perigoso

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

No Quadro 2 apresentam-se os graus de consequências adoptados neste trabalho. Como referido anteriormente, estes graus implicam uma descrição qualitativa das consequências dos acontecimentos perigosos.

A metodologia de avaliação de risco foi 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.

2.2 O sistema GUIOMAR

O sistema GUIOMAR (ZÓZIMO et al., 2008; NEVES et al., 2010a) 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 2).

Quadro 2 – 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 actividades portuárias	Danos exteriores quase inexistentes	Danos quase inexistentes	Dano na zona activa da estrutura não necessitando reparação	1
Reduzidas	Uma única lesão ligeira	Pequenos derrames (por exemplo de combustível)	Algumas alterações nas actividades 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 inactividade temporária do equipamento para reparação	Ocorrência de movimentos e quedas de blocos com exposição de filtros; superestrutura afectada 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 afectada	Danos graves; inactividade prolongada do equipamento	Filtros afectados; 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 afectada; colapso iminente	Perda do equipamento (reparação impossível)	Colapso da estrutura	25

¹ Por "Equipamentos" entende-se o equipamento de cais, os contentores armazenados no cais e os navios.

- Um sistema de informação geográfica, e neste caso, o software comercial de SIG ArcGISTM;
- Um conjunto de seis módulos correspondentes a diferentes modelos de propagação e deformação da agitação marítima com diferentes domínios de aplicação;

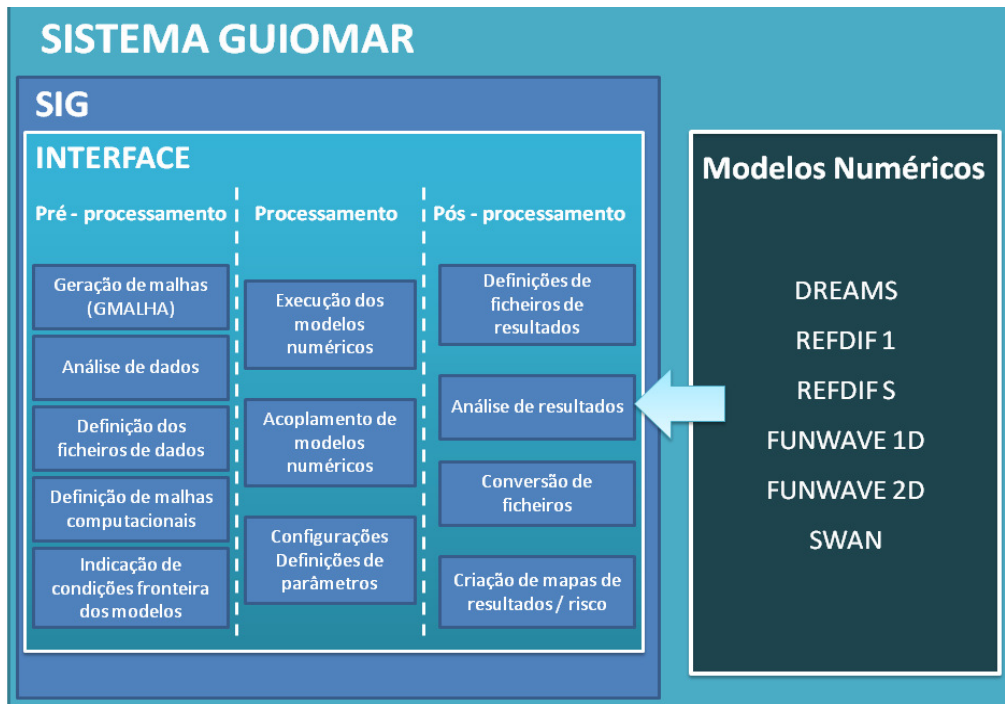


Figura 2 – Esquema do sistema GUIOMAR.

- 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.

Presentemente, o sistema GUIOMAR alberga seis módulos/modelos (Figura 2): 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).

A natureza modular do sistema permite ao programador efectuar de forma fácil 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 desejar 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 que tem por objectivo produzir automaticamente mapas de risco de acordo com a metodologia apresentada na secção anterior. A Figura 3 representa a barra de ferramentas do sistema GUIOMAR através da qual é possível aceder à área de produção de mapas de risco.

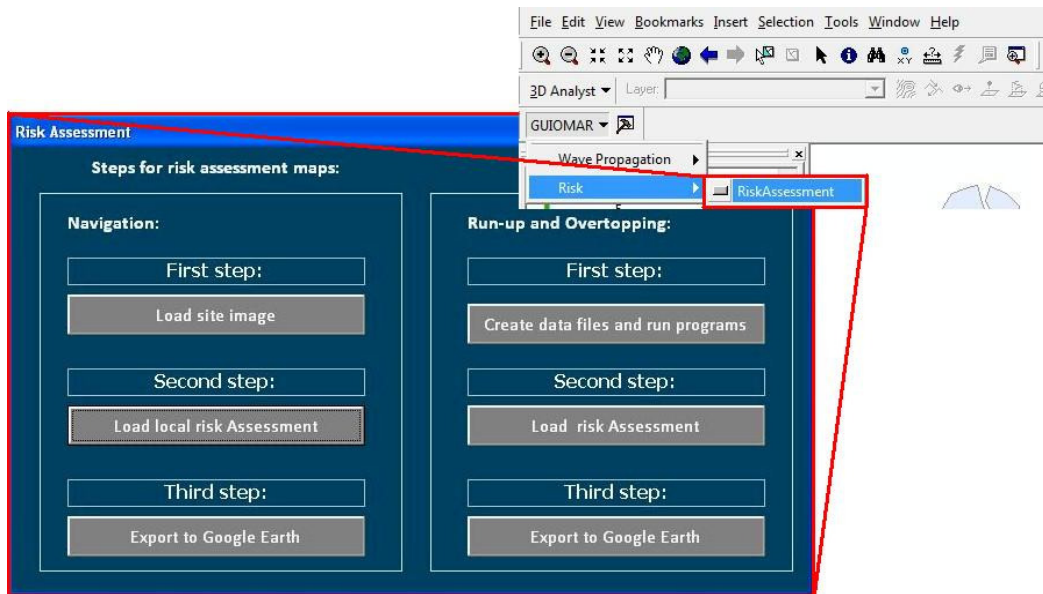


Figura 3 - Barra de ferramentas GUIOMAR com opção para avaliação de risco e interface GUIOMAR para a criação dos mapas de risco.

3 Resposta dos sistemas

A determinação da função que relaciona as características da agitação marítima incidente no navio e a altura do movimento vertical de um ponto no mesmo navio é fundamental para a obtenção da série temporal daquelas alturas e o posterior cálculo da probabilidade de ocorrência de movimentos verticais do mesmo ponto com alturas excessivas (o acontecimento perigoso na manobra de um navio no porto). A mesma afirmação é aplicável ao caudal médio por metro linear do coroamento de uma estrutura marítima na análise do risco de galgamento.

Embora o objectivo seja o mesmo, como se verá neste capítulo, as abordagens para a determinação das funções de transferência de cada um dos fenómenos são diferentes. Enquanto a interacção de um corpo flutuante com as ondas pode ser estudado utilizando a linearidade e outros resultados clássicos da mecânica e da hidrodinâmica o mesmo não se passa com a avaliação do caudal médio galgado sobre o coroamento de uma estrutura. Neste caso, até agora, tal resposta é obtida directa ou indirectamente a partir de resultados de ensaios em modelo físico reduzido, nos quais se observa o caudal galgado.

3.1 Movimentos verticais de navios em manobra

As equações do movimento do navio estabelecem o equilíbrio dinâmico entre as forças de inércia associadas à massa do navio e as forças externas que actuam no navio (resultantes das interacções entre o casco e o fluido, designadas por forças hidrodinâmicas).

O navio é considerado um corpo rígido e que oscila em seis graus de liberdade. De acordo com a Figura 4, os movimentos oscilatórios consistem em três translações segundo cada um dos eixos de coordenadas (avanço - “surge”, abatimento - “sway”, arfagem - “heave”), e três rotações em torno dos mesmos eixos (balanço - “roll”, cabeceio - “pitch”, guinada - “yaw”).

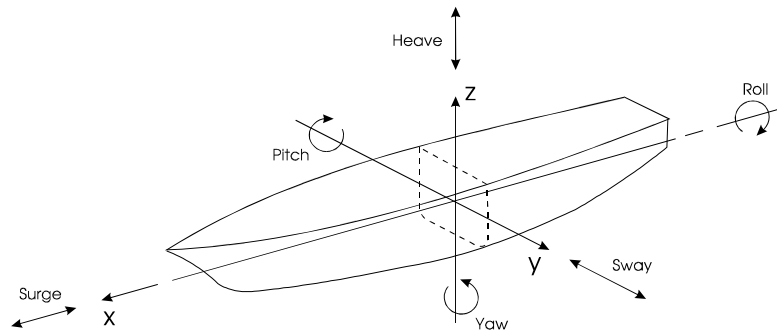


Figura 4 – Movimentos do navio segundo cada um dos seis graus de liberdade.

O modelo WAMIT (NEWMAN e SCLAVOUNOS, 1988), desenvolvido no Massachusetts Institute of Technology, é utilizado para determinar a resposta do navio em termos das amplitudes dos movimentos segundo cada um dos seis graus de liberdade do mesmo para uma gama de períodos de onda, profundidades e ângulos entre o eixo longitudinal do navio e o vector número de onda expectável na zona em estudo. Trata-se de um modelo numérico em que se assume a linearidade da interacção entre o corpo flutuante e as ondas nele incidentes.

Esta linearidade permite a determinação do espectro da resposta do movimento vertical de qualquer ponto seleccionado no casco do navio, $S_R(\omega)$, a partir do espectro da agitação marítima incidente no navio, $S(\omega)$, e da função de resposta em frequência em termos da amplitude da oscilação desse ponto do navio, $H(\omega)$

$$S_R(\omega) = |H(\omega)|^2 S(\omega) \quad (1)$$

A função de resposta em frequência, $H(\omega)$, é a amplitude da solução das equações para o movimento estacionário do navio livre sujeito a ondas monocromáticas de frequência ω . Se o navio tem velocidade de avanço não nula, U , na função de resposta em frequência da equação anterior, a frequência da onda incidente no navio, ω , deve ser substituída pela frequência de encontro, ω_e

$$\omega_e = \omega - \frac{\omega^2 U}{g} \cos \beta \quad (2)$$

em que β é o ângulo entre o eixo longitudinal do navio e o vector número de onda da onda incidente.

Admitindo que o espectro da agitação incidente no navio é de banda estreita, então o espectro da resposta do navio também será de banda estreita e as alturas das ondas individuais na série temporal do estado de agitação incidente e do movimento vertical do navio em resposta a esse estado de agitação seguem uma distribuição de Rayleigh. Nesse caso, a altura significativa do movimento vertical (a média do terço mais alto das alturas das ondas individuais) pode calcular-se por:

$$H_s = 1.42 \sqrt{8m_0} \approx 4 \sqrt{m_0} \quad (3)$$

designando m_0 o momento de ordem zero do espectro da resposta do navio:

$$m_0 = \int_0^{\infty} S_R(\omega) d\omega \quad (4)$$

3.2 Galgamento de estruturas marítimas

Actualmente, as ferramentas mais utilizadas para determinar o galgamento de uma estrutura marítima continuam a ser as fórmulas 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., 2011). Qualquer uma das ferramentas acima mencionada é empírica, pois todas se baseiam 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, o uso de modelos numéricos para a caracterização de galgamentos tem vindo a tornar-se cada vez mais atractivo. Tal deve-se à melhoria dos meios de cálculo e ao desenvolvimento de modelos numéricos cada vez mais potentes. 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., 2010b).

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 uma ferramenta baseada na análise de redes neuronais, NN_OVERTOPPING2. Esta ferramenta foi desenvolvida no âmbito do Programa Europeu CLASH (COEVELD 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.

Esta ferramenta utiliza 15 parâmetros de entrada que incluem informação sobre a agitação marítima e a geometria da estrutura (Figura 5), o que lhe confere uma maior flexibilidade que as fórmulas empíricas/semi-empíricas.

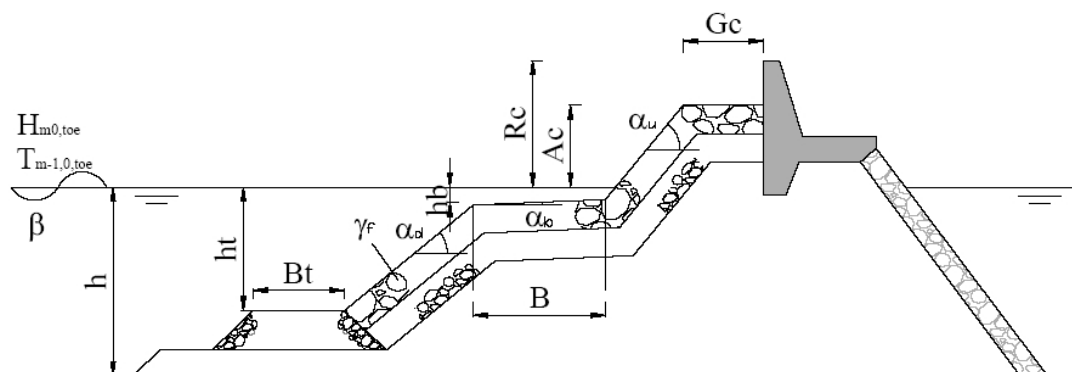


Figura 5 - Parâmetros de entrada da ferramenta NN_OVERTOPPING2 (COEVELD et al., 2005).

No que se refere às características da agitação marítima, importa esclarecer que $H_{m0,toe}$ e $T_{m-1,0,toe}$ são, respectivamente, a altura significativa espectral e o período médio espectral obtidos no pé do talude da estrutura, enquanto β designa o ângulo entre a direcção de propagação da agitação e a normal à estrutura, na mesma zona.

As restantes variáveis da mesma figura designam quantidades relacionadas com a geometria do perfil da estrutura cujo significado é claro. A única excepção será a variável γ_f que designa um parâmetro representativo da rugosidade e da permeabilidade da estrutura (Quadro 3).

Quadro 3 - Parâmetro indicativo da permeabilidade e rugosidade da estrutura (Coeveld et al., 2005)

Tipo de manto resistente	γ_f
Superfície lisa e impermeável	1.0
Enrocamento	0.5
Cubos (2 camadas; colocação desarrumada)	0.5
Cubos (1 camada; colocação desarrumada)	0.52
Cubos Antifer	0.5
Accropodes	0.49
Tetrápodes	0.4
Dolos	0.43

4 O Porto da Praia da Vitória

O Porto da Praia da Vitória localiza-se na costa Este da ilha Terceira, uma das nove ilhas do arquipélago dos Açores (Portugal), Figura 6. Trata-se de um pequeno porto protegido por dois molhes, os molhes Norte e Sul, que definem uma baía aproximadamente rectangular com cerca de 1 km x 2 km.



Figura 6 – O Porto da Praia da Vitória.

Na vizinhança do porto está fundeada uma bóia ondógrafo direccional, que permite a caracterização da agitação marítima ao largo do porto. Na entrada do porto está prevista a instalação de um perfilador de velocidade por efeito acústico e no interior do porto a instalação de dois marégrafos. A existência deste conjunto de instrumentos torna este porto muito interessante para a avaliação do desempenho de modelos numéricos de propagação de ondas.

4.1 Agitação marítima incidente nos pontos de interesse

Para a definição do regime de agitação no interior do Porto 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), TOLMAN (1999), coincidente com o canto superior direito da Figura 7 a). Estas previsões são efectuadas com a implementação daquele modelo realizada no âmbito dos projectos CLIMAAT e MacSIMAR (AZEVEDO e GONÇALO, 2005). Neste trabalho, o conjunto de dados utilizados perfaz um total de 14572 valores horários correspondentes a dois anos de previsão com algumas falhas pelo meio, desde o dia 1 de Janeiro de 2009 até 1 de Janeiro de 2011.

Os resultados das previsões do modelo WWIII ao largo foram transferidos para o interior do porto com recurso a dois modelos de propagação e deformação da agitação marítima: o modelo SWAN e o modelo DREAMS, Figura 7 a). Assim, obtiveram-se primeiramente os valores da agitação marítima no ponto P1 (exterior ao porto) com o modelo SWAN e, posteriormente, com o modelo DREAMS, os correspondentes valores nos pontos P2 a P6 no interior do porto e no ponto P7 situado em frente ao trecho do molhe Sul que protege o cais 12 do porto, Figura 7 b). Note-se que os pontos P1 a P6 correspondem a duas trajectórias de entrada no porto previamente seleccionadas: uma trajectória em direcção ao molhe Sul e outra em direcção ao molhe Norte.

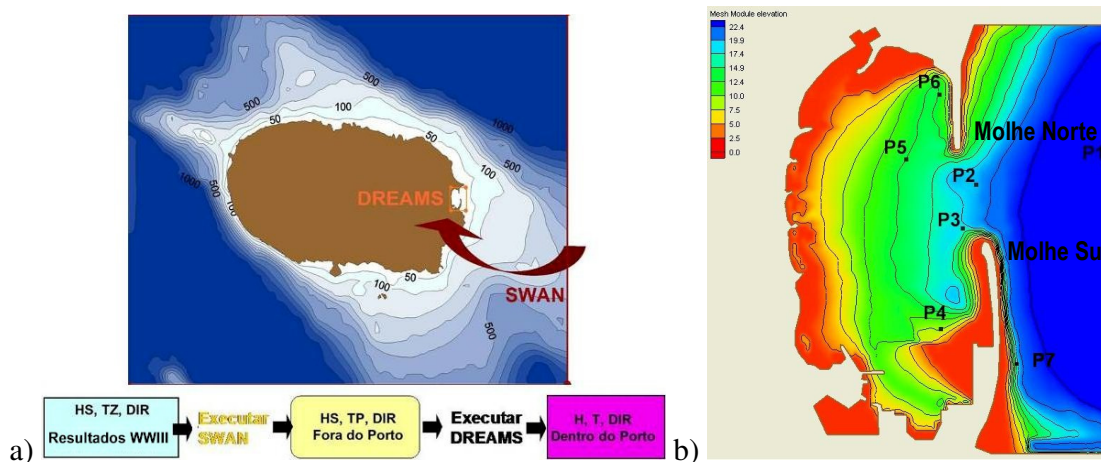


Figura 7 - a) Metodologia para a transferência do regime de agitação marítima do largo (resultados do WWIII) para o interior do Porto da Praia da Vitória; b) Batimetria com a localização dos pontos P1 a P7.

Os pontos P1 a P6 foram seleccionados para o estudo dos movimentos verticais do navio porque eles estão no baricentro das áreas correspondentes aos trechos em que se dividiu a área varrida pelo navio na viagem de entrada no porto quando o destino da viagem é a zona sul da baía (viagem A) ou a zona norte da mesma (viagem B). Porque, como se viu anteriormente, a profundidade da zona onde o navio se desloca, assim como o ângulo entre o eixo longitudinal do navio e o vector número de onda da onda incidente no navio, são parâmetros condicionantes da resposta do navio, apresentam-se no Quadro 4 as cotas do fundo dos pontos P1 a P6, assim como os rumos do navio nos mesmos pontos. Importa referir que o rumo do navio no ponto P2 varia com a viagem realizada pelo navio.

Quadro 4 – Cotas do fundo e rumos do navio nos baricentros dos trechos das áreas varridas pelo navio nas duas viagens de entrada estudadas

Pontos		P1	P2	P3	P4	P5	P6
Cota do fundo (m ZH)		-36.50	-18.22	-16.43	-7.49	-11.11	-10.62
Rumo do navio (°)	Viagem A	270	255	225	180	-	-
	Viagem B	270	270	-	-	315	0

Apenas para ilustrar os resultados obtidos com este procedimento, apresentam-se na Figura 8 e na Figura 9 as séries temporais das alturas significativas da agitação marítima prevista nos pontos P1 e P4. Importa referir que, embora não representadas, também foram determinadas as séries temporais da direcção média da mesma agitação marítima, dada a sua importância, quer para a avaliação dos movimentos verticais do navio, quer para o cálculo dos volumes de água galgados. O nível de maré considerado em todos os cálculos foi de +1.4m (ZH), que resulta da coincidência do nível médio de +1.0m (ZH) com uma sobrelevação meteorológica de 0.4 m.

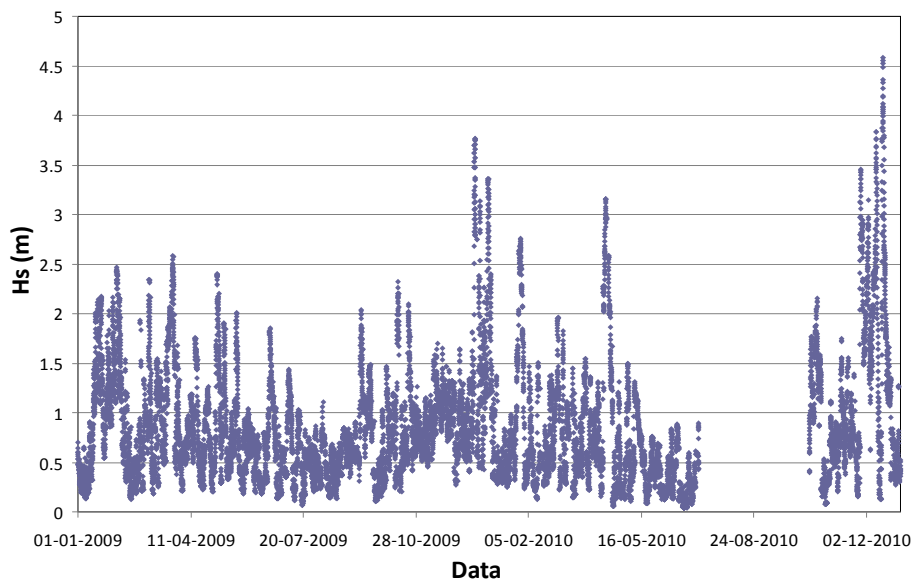


Figura 8 - Altura significativa da agitação marítima prevista para o ponto P1.

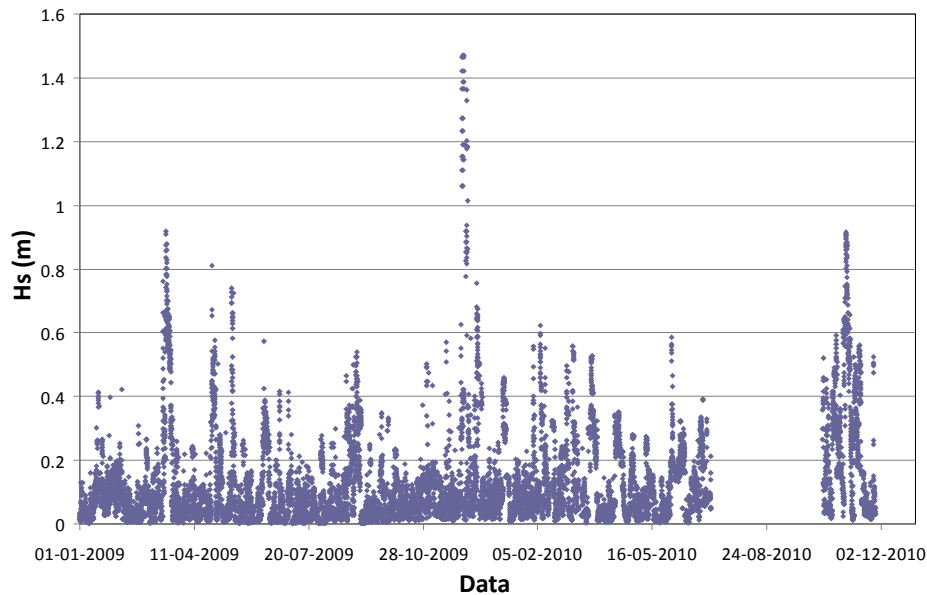


Figura 9 - Altura significativa da agitação marítima prevista para o ponto P4.

4.2 Avaliação dos movimentos do navio

Utilizou-se o modelo numérico WAMIT para determinar a amplitude dos movimentos segundo os seis graus de liberdade do centro de gravidade do “N/M Fernão Gomes”, um navio com um comprimento de 114 m, uma boca de 19 m e um calado de 7 m, para um conjunto de 40 frequências igualmente distribuídas entre 0.025 rad/s e 1.0 rad/s (períodos entre 251.3 s e 6.28 s). Consideraram-se ângulos entre o eixo longitudinal do navio e o número de onda da onda incidente no navio entre 0° e 360° espaçados de 10° e nove valores distintos para a relação calado/profundidade entre 1.1 e 60. A superfície molhada do casco foi discretizada com 421 painéis, Figura 10.

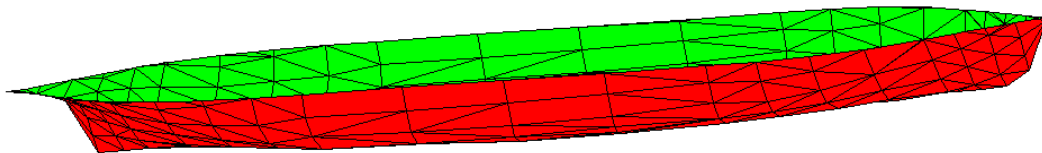


Figura 10 - Painelização da superfície molhada do casco do navio “N/M Fernão Gomes”.

Depois de determinadas as amplitudes dos movimentos do centro de gravidade do navio, determinou-se a amplitude do movimento vertical de um ponto do navio cujas coordenadas no referencial do navio eram (45.5, 5.4, 0.0). Na Figura 11 apresenta-se um gráfico que ilustra a influência da relação calado/profundidade na amplitude daquele movimento vertical quando o ângulo entre o número de onda da onda incidente e o eixo longitudinal do navio é 30°. A figura mostra que a diminuição da profundidade implica um aumento do período onde ocorre o máximo da resposta, verificando-se também um ligeiro aumento do valor dessa amplitude máxima.

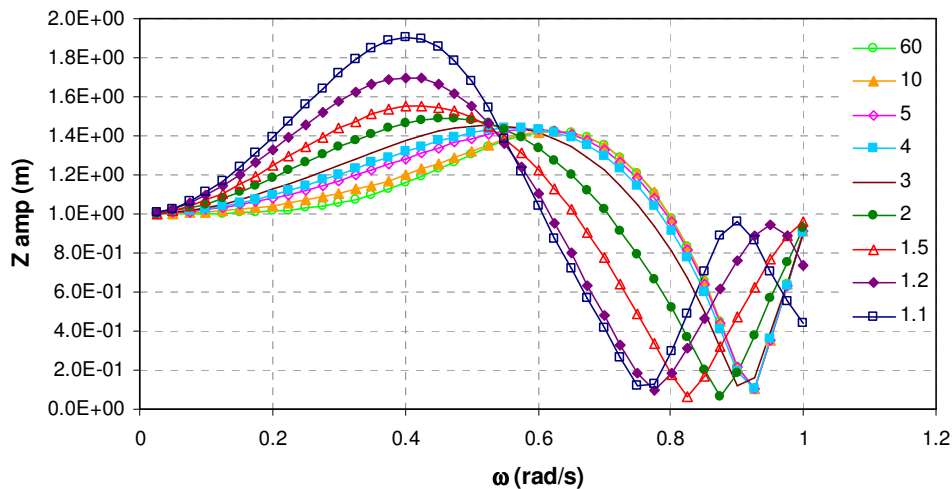


Figura 11 – Influência na amplitude do movimento vertical do ponto (45.5, 5.4, 0.0) do “N/M Fernão Gomes” da profundidade da zona onde o navio está, para um ângulo de 30° entre o eixo longitudinal do navio e o vector número de onda da onda incidente no navio.

Com a função de resposta do navio e os valores da altura significativa e do rumo médio da agitação incidente num dado instante num dos pontos P1 a P6, determina-se o espectro da agitação marítima incidente nesse ponto (assume-se um estado de agitação unidireccional caracterizado por um espectro JONSWAP) e daí o espectro da resposta do navio e a altura significativa dos movimentos verticais do ponto (45.5, 5.4, 0.0) do navio. Repetindo o procedimento para todos os pontos das séries temporais da altura significativa e do rumo médio da agitação incidente num ponto, obtém-se a série das alturas significativas dos movimentos verticais do ponto (45.5, 5.4, 0.0) do navio.

Nesta fase, em que se pretende avaliar a influência da velocidade de avanço do navio nos resultados, determinaram-se as séries temporais das alturas significativas dos movimentos verticais do navio em cada um dos pontos da trajectória do navio para velocidades de avanço do navio iguais a 0.0 ms^{-1} , 1.0 ms^{-1} , 2.0 ms^{-1} e 3.0 ms^{-1} . Na Figura 12 apresentam-se essas séries temporais quando o navio está no ponto P4. A figura mostra, como seria expectável, que os instantes em que foram previstas maiores alturas significativas da agitação incidente no navio são aqueles em que ocorre a maior altura significativa do movimento vertical do navio. Para ver melhor a influência da velocidade de avanço na resposta, apresenta-se na Figura 13 um detalhe da série temporal anterior, entre os dias 28-11-2010 e 18-12-2010. A figura mostra que, na maior parte dos casos, à medida que aumenta a velocidade de avanço do navio, aumenta a altura significativa do ponto seleccionado no mesmo.

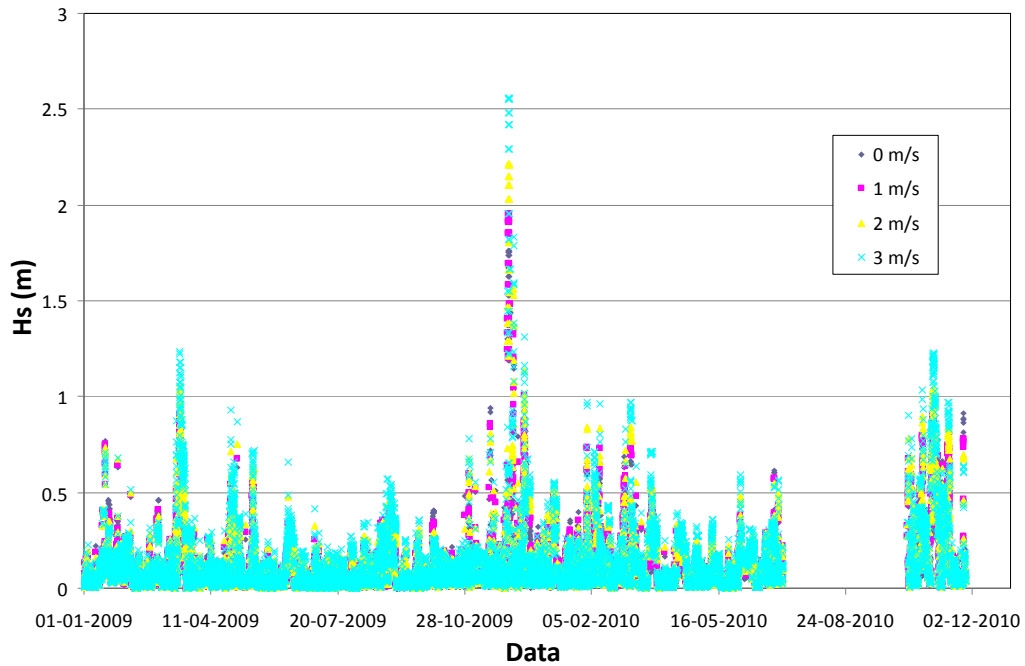


Figura 12 – Séries temporais da altura significativa do movimento vertical do ponto (45.5, 5.4, 0.0) do “N/M Fernão Gomes” no ponto P4 para diversos valores da velocidade de avanço do navio.

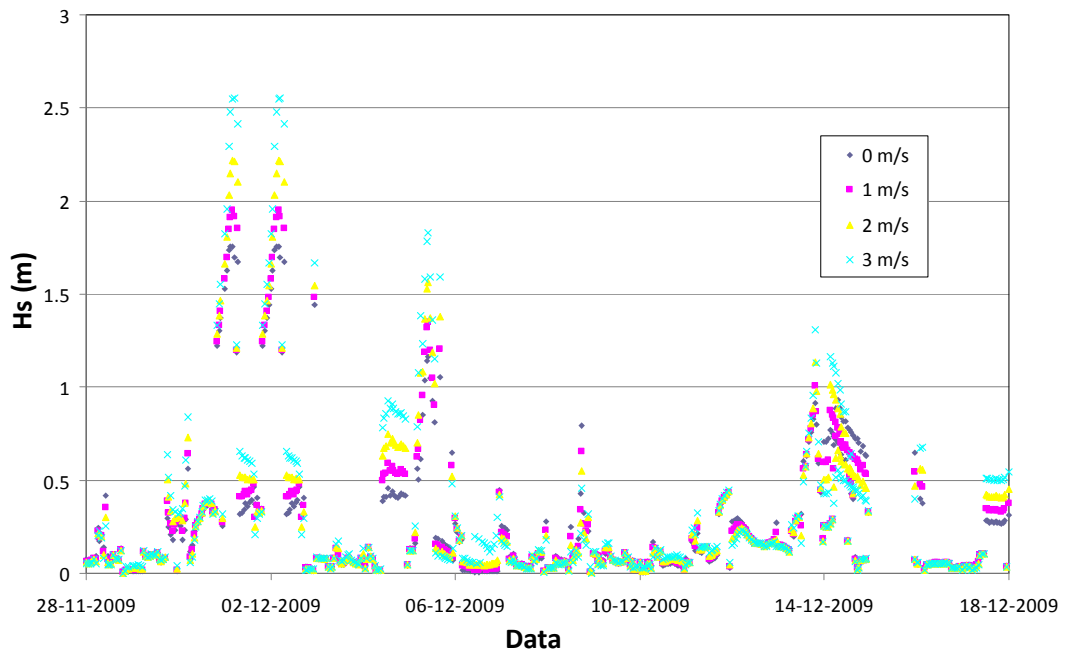


Figura 13 - Detalhe das séries temporais da altura significativa do movimento vertical do ponto (45.5, 5.4, 0.0) do “N/M Fernão Gomes” no ponto P4 para diversos valores da velocidade de avanço do navio.

4.3 Avaliação dos galgamentos

O trecho seleccionado para testar o procedimento de avaliação do risco associado aos galgamentos foi o do molhe Sul do Porto da Praia da Vitória frente ao cais 12 do mesmo porto (Figura 14). Um esquema do perfil desse trecho do molhe (Perfil 1) é apresentado na Figura 15.



Figura 14 – Vista aérea do Porto da Praia da Vitória com o molhe Sul e o cais 12 em primeiro plano.

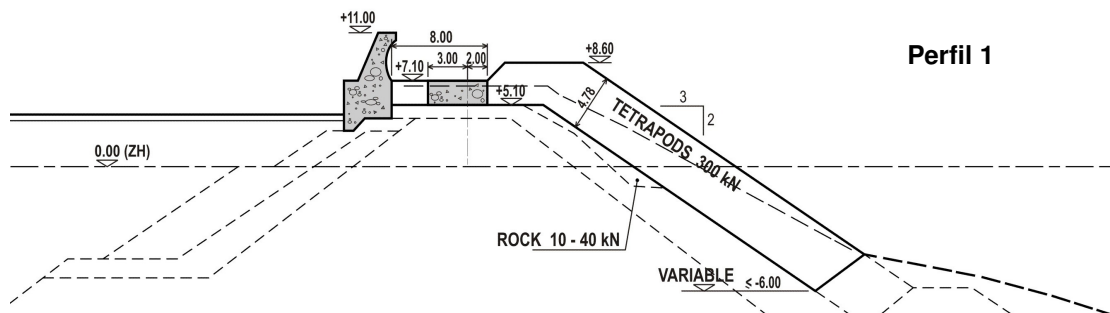


Figura 15 – Perfil do molhe Sul junto ao cais 12 do Porto da Praia da Vitória.

As variáveis relevantes desta secção para utilização da ferramenta NN_OVERTOPPING2 são:

- $h = h_t = 19.4m$
- $B_t = 0.0m$
- $\cot \alpha_d = 4.3$
- $h_b = 10.15m$
- $B = 0.0m$
- $\tan \alpha_B = 0$
- $\cot \alpha_u = 1.5$
- $A_c = 7.2m$

- $R_c = 9.6m$
- $\gamma_f = 0.35$, resultante da consideração do manto de tetrápodes ($\gamma_f=0.4$, Quadro 3) e da presença do deflector de ondas (COVELD et al., 2005).

Uma vez que o coroamento do trecho considerado para a avaliação do galgamento não tem a mesma configuração em toda a sua extensão, o caudal médio galgado por metro linear do coroamento da estrutura para cada estado de agitação incidente na mesma foi obtido da média dos valores fornecidos pela NN_OVERTOPPING2 considerando dois valores distintos da grandeza G_c : 8m e 16m. A resposta deste perfil à agitação nele incidente, expressa em termos de caudal médio galgado por metro linear de coroamento da estrutura, foi calculada para o nível de maré de +1.4m (ZH) que, tal como referido anteriormente, resulta da coincidência do nível médio de +1.0m (ZH) e de uma sobrelevação meteorológica de 0.4 m.

Na Figura 16 apresenta-se a série temporal deste caudal obtido com a agitação incidente prevista para o ponto P7. Para tornar mais evidente que não é apenas a altura significativa a característica da agitação marítima incidente na estrutura marítima relevante para a determinação do caudal q , apresenta-se na Figura 17, para um intervalo de tempo mais curto, a série temporal daquela altura significativa, assim como a correspondente série temporal do caudal fornecido pela aplicação da ferramenta NN_OVERTOPPING2 e a do produto q^* :

$$q^* = gH_s T_{m-1,0}^{-1} \quad (5)$$

que é uma quantidade comumente utilizada na adimensionalização de caudais médios por metro linear de coroamento da estrutura galgada. Naquele produto g é a aceleração da gravidade, $H_s = H_{m0}$ e $T_{m-1,0}$ são a altura significativa e o período médio espectrais do estado de agitação no pé da estrutura, respectivamente.

A figura mostra que embora o produto da equação (5), devidamente escalado, possa aproximar-se razoavelmente dos maiores caudais previstos pela NN_OVERTOPPING2 (tomados aqui como os valores de referência) há mais variáveis relevantes na determinação daquele caudal.

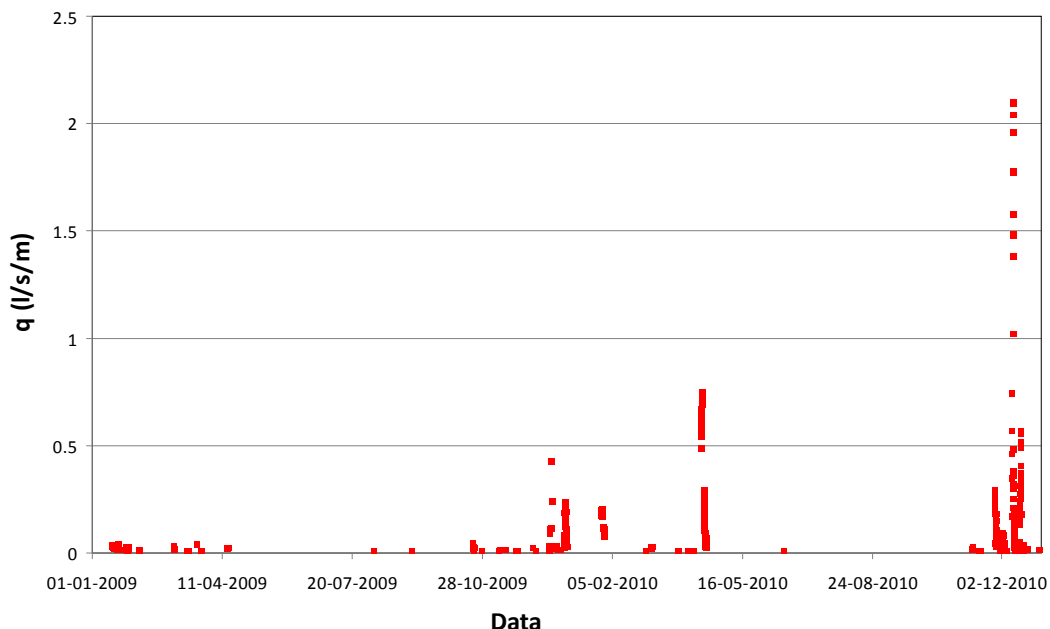


Figura 16 – Série temporal dos caudais médios por metro linear do coroamento do trecho do molhe Sul em frente ao cais 12 fornecidos pela ferramenta NN_OVERTOPPING2.

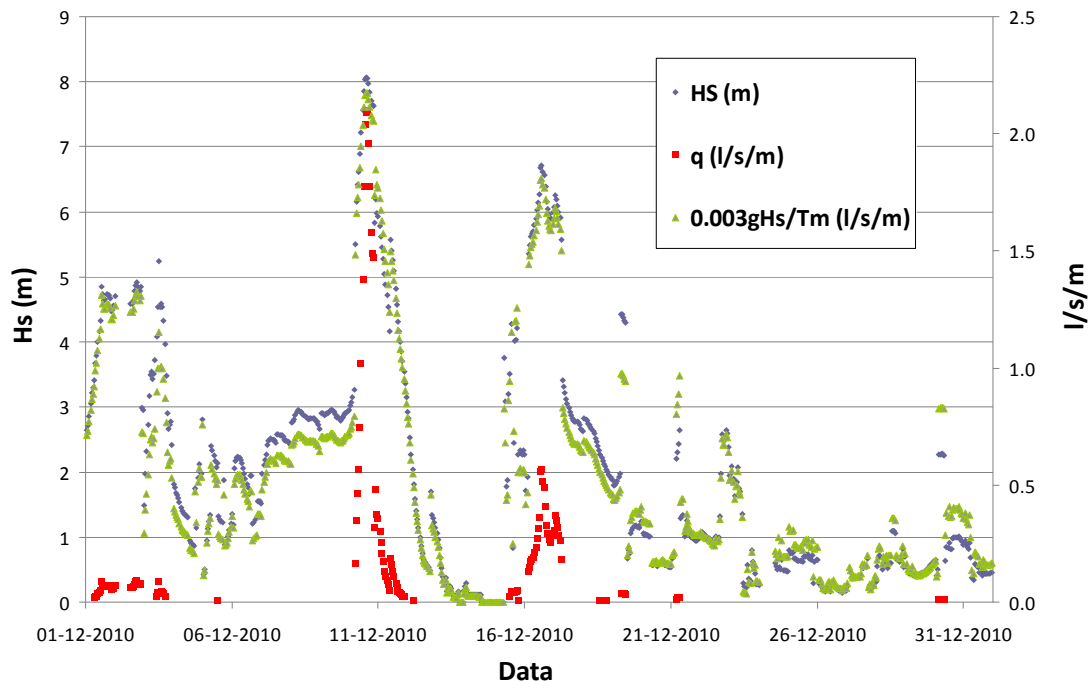


Figura 17 – Séries temporais dos caudais médios por metro linear do coroamento do trecho do molhe Sul em frente ao cais 12 e da altura significativa da agitação incidente no mesmo trecho.

4.4 Avaliação do risco

Concluída a determinação das séries temporais da resposta de cada um dos sistemas à agitação marítima nele incidente, pode iniciar-se o procedimento de avaliação do risco. Enquanto no ponto anterior se aplicou apenas uma metodologia para fornecer a variável relevante (altura do movimento vertical de um ponto do navio ou caudal médio galgado) para a avaliação da ocorrência de situação perigosa a partir daquela agitação, nesta fase, é necessário levar em conta as características da zona onde se pretende estimar tal ocorrência pois, mantendo-se o fenómeno observado, aquilo que é perigoso para uma dada zona pode não o ser para outra.

A determinação da probabilidade de ocorrência dos acontecimentos prejudiciais é feita com uma abordagem frequencista: toma-se como representativa de todo o universo a amostra obtida da variável determinante da situação perigosa e estabelece-se como probabilidade de ocorrência dessa situação o quociente entre o número de vezes na amostra em que foi ultrapassado o limiar definidor de situação perigosa e o número total de variáveis na amostra.

Um ponto sensível neste exercício é a fixação do limiar definidor de situação perigosa. Como se verá enquanto para o risco de movimentos verticais excessivos do navio se arbitrou esse limite, para o risco de galgamento procurou utilizar-se as directivas existentes e que levam em conta as diversas utilizações da zona galgada.

Como já referido anteriormente, um dos problemas da aplicação desta metodologia da avaliação de risco é a falta de informação acerca dos prejuízos associados à ocorrência do acontecimento perigoso. Neste trabalho, para o risco de movimentos verticais do navio escolheu-se um grau de consequências do Quadro 2 apenas para ilustrar o funcionamento do procedimento. Para o risco de ocorrência de galgamentos, a colaboração da Administração dos Portos da Terceira e Graciosa, S.A. (APTG) permitiu definir um grau de consequências baseado na realidade do porto.

4.4.1 Risco de movimentos verticais do navio

Neste caso, a variável definidora de situação perigosa foi a altura significativa do movimento vertical do ponto (55.0, 5.4, 0.0) do navio e o limite arbitrado para esta variável foi 0.5m em todos os pontos da trajectória do navio onde aquela variável foi avaliada. O Quadro 5 mostra a evolução com a velocidade de avanço do navio dos valores do grau da probabilidade de ocorrência da situação perigosa agora definida na viagem A, isto é a viagem que termina no interior do porto, na zona sul da baía. O Quadro 6 é semelhante ao anterior para a viagem que termina na zona norte da baía, viagem B. O grau da probabilidade de ocorrência foi estabelecido de acordo com os limites enunciados no Quadro 1. Como seria de esperar, face a um limite igual para todos os pontos, é no exterior do porto que o grau da probabilidade de ocorrência é maior, diminuindo, em qualquer das viagens, à medida que o navio entra no porto. A única excepção verifica-se no ponto P6 da viagem B e tal deve-se à modelação do contorno da bacia portuária considerado na proximidade desse ponto que levou à existência de reflexões importantes nessa zona. Embora se tenha visto atrás que o aumento da velocidade de avanço do navio implica um aumento da altura significativa do movimento vertical do ponto seleccionado do navio, tal aumento não implica uma mudança na classificação do grau de probabilidade de ocorrência.

Quadro 5 – Evolução com a velocidade de avanço do navio do grau de probabilidade de ocorrência de movimentos excessivos do navio na viagem A

Ponto do trajecto	Velocidade de avanço do navio (ms ⁻¹)			
	0.0	1.0	2.0	3.0
P1	5	5	5	5
P2	4	4	4	4
P3	4	4	4	4
P4	2	2	2	2

Quadro 6 – Evolução com a velocidade de avanço do navio do grau de probabilidade de ocorrência de movimentos excessivos do navio na viagem B

Ponto do trajecto	Velocidade de avanço do navio (ms ⁻¹)			
	0.0	1.0	2.0	3.0
P1	5	5	5	5
P2	4	4	4	4
P5	2	2	2	2
P6	4	4	4	4

Assumindo o grau 2 para as consequências dos movimentos excessivos no exterior do porto e o grau 3 para o interior do porto, obtém-se o Quadro 7 com os graus de risco nas viagens A e B.

Quadro 7 – Grau de risco associado a movimentos excessivos do navio nas duas viagens

Viagem A		Viagem B	
P1	10	P1	10
P2	8	P2	8
P3	12	P5	6
P4	6	P6	12

4.4.2 Risco de galgamentos

O galgamento da estrutura que protege o cais 12 pode ter consequências quer para a própria estrutura galgada, quer para pessoas ou veículos que se deslocam na proximidade desse cais ou até para os navios atracados nesse cais. Outra consequência não desprezável dos galgamentos será nos contentores arrumados no terrapleno junto ao cais.

É claro que o estabelecimento do valor crítico do caudal médio galgado depende das consequências do 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. Do Quadro 8 ao Quadro 11 apresentam-se 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 8 - 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)
Estruturas de Defesa com Talude no Tardoz	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
Defesas Frontais	Danos em zonas de circulação pavimentadas localizadas atrás da defesa frontal	200
	Danos em zonas de circulação relvadas ou levemente protegidas	50

Quadro 9 - 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 ⁽¹⁾	0.1

(1) Estas condições não têm que se verificar todas em simultâneo.

Quadro 10 - 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 ⁽¹⁾
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 ⁽²⁾

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

(2) 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 11 - 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 ⁽¹⁾
Danos em edifícios	1 ⁽²⁾
Danos em equipamento localizado a 5-10 m da estrutura	0.4 ⁽¹⁾

(1) Estes limites estão relacionados com o galgamento obtido na estrutura marítima.

(2) 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 desloquem 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_{efectivo} , é dado por $q_{\text{efectivo}}=q/x$.

Atendendo ao exposto, obtém-se como valores limites do caudal médio por metro linear do coroamento da estrutura os indicados seguidamente; indicam-se também, entre parêntesis, as probabilidades de ocorrência de valores iguais ou superiores a esses limites:

- estrutura - classificando esta como uma defesa frontal e considerando o valor mais baixo de caudal: 200 l/s/m (0.0%)
- veículos - considerou-se que a circulação é feita a baixa velocidade: 10 l/s/m (0.0%)
- equipamento (contentores a 5-10m da estrutura galgada): 0.4 l/s/m (0.8%)
- pessoas - assumiu-se que os utilizadores do terraplano junto ao cais 12 não ficam facilmente perturbados ou assustados e, além disso, deslocam-se numa zona larga: 0.1 l/s/m (3.7%)

Tendo em conta a regra referida acima para o caudal médio efectivo, não faz sentido estabelecer um valor limite do caudal médio de galgamento a partir do qual podem ocorrer danos nos navios atracados no cais 12 porque estes estão muito distantes da estrutura galgada (cerca de 130m).

Uma vez que a ocorrência de um galgamento pode ter consequências em mais do que uma vertente, cada qual com o seu valor crítico do caudal médio galgado, faz sentido que se procure o caudal crítico que maximize o risco. Em cada uma das vertentes, quando o caudal crítico é ultrapassado tal implica a atribuição do grau de consequências associado a essa vertente.

Neste caso, a ocorrência de um caudal médio galgado superior a 0.4 l/s/m tem um grau de probabilidade de ocorrência de 1 (Quadro 1, acontecimento improvável) e a ocorrência de um caudal médio galgado superior a 0.1 l/s/m tem um grau de probabilidade de ocorrência de 2 (Quadro 1, acontecimento raro).

Segundo troca de impressões com a APTG, quer num caso, quer noutro, o grau de consequências será quanto muito de 2 (Quadro 2), já que pode haver essencialmente necessidade de algumas alterações nas actividades portuárias por uma questão de segurança de pessoas e bens (e.g., deslocação de contentores para pontos do cais não afectados pelo galgamento, interdição temporária da circulação de pessoas, veículos e equipamento na zona

afectada pelo galgamento). Não é necessário interromper as actividades portuárias, pois a dimensão do cais em termos de largura permite continuar as cargas e descargas dos navios. Os galgamentos não ultrapassam nunca, mesmo na pior das hipóteses, um quinto da largura do cais, e apenas naquela área, permitindo as actividades normais em toda a área remanescente do terrapleno portuário.

Assim, neste caso, o caudal crítico que maximiza o risco é 0.1 l/s/m, ao qual está associado um grau 4 de risco, isto é um risco que se pode tolerar caso se seleccione um conjunto de medidas para o seu controlo (Figura 18).

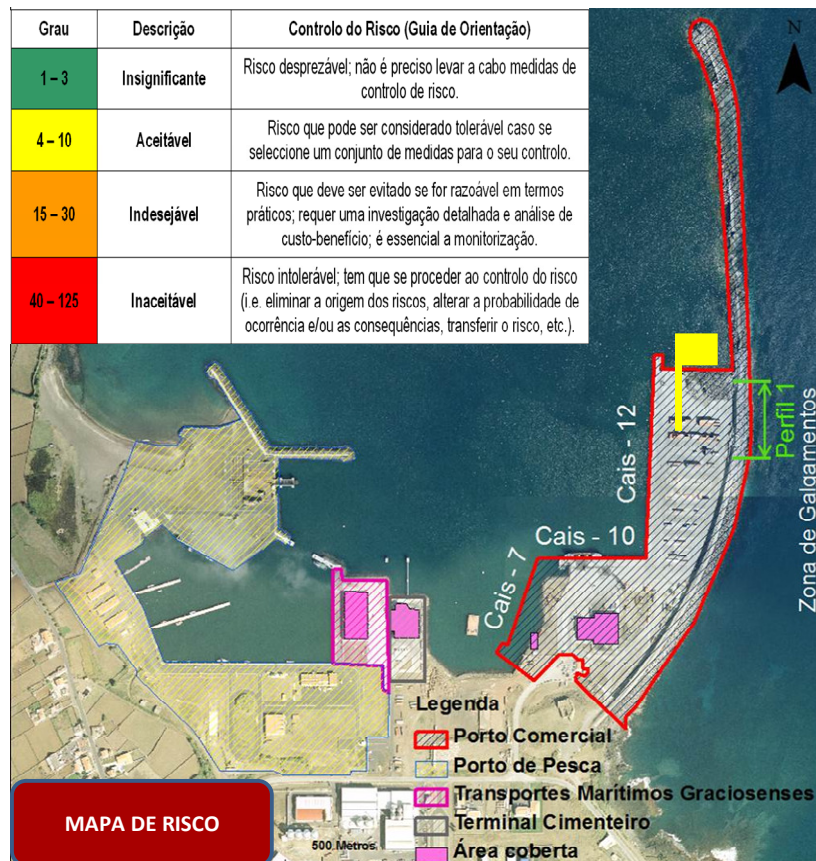


Figura 18 – Mapa de risco de ocorrência de galgamentos no cais 12 do molhe Sul do Porto da Praia da Vitória.

5 Conclusões

Ilustrou-se nesta comunicação o funcionamento dos procedimentos implementados no sistema GUIOMAR para a avaliação do risco associado a movimentos excessivos de navios durante a manobra de entrada no porto e a galgamentos de estruturas portuárias.

Tais procedimentos consistem essencialmente na constituição de uma amostra representativa da variável a observar partindo de séries temporais da agitação marítima incidente nos sistemas em estudo e da resposta dos sistemas a essas solicitações. Obtida a função de distribuição da variável a observar, determina-se a probabilidade de ocorrência de um acontecimento considerado prejudicial definido pela ultrapassagem de um limiar dessa variável. Conhecido o prejuízo associado àquela ocorrência, que se assume dependente apenas do limiar estabelecido, determina-se o risco do produto da probabilidade de ocorrência por este prejuízo.

No sistema GUIOMAR, em vez do risco, determina-se o grau de risco igual ao produto de um grau de probabilidade de ocorrência por um grau de prejuízo.

Desta avaliação do risco, cujo objectivo principal é contribuir para o planeamento de intervenções na zona em estudo, pode resultar a indicação da necessidade de implementação de sistemas de alerta para os fenómenos considerados – quando o valor do risco, ou do grau de risco, é muito elevado. Uma vez que estes fenómenos são uma consequência directa da agitação marítima, os procedimentos utilizados para previsão da resposta dos sistemas na avaliação do risco, serão certamente uma componente fundamental dos sistemas de alerta.

Agradecimentos

O trabalho apresentado nesta comunicação foi desenvolvido no âmbito dos projectos PTDC/AMB/67450/2006, PTDC/ECM/67411/2006 e PTDC/ECM/73145/2006 que são financiados pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia com fundos da República Portuguesa e da União Europeia.

Referências

- 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. Proc. 4as JPECP, Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro.
- 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 Geophysical Research*, 104, C4, pp. 7649-7666.
- Coeveld, E.M.; Van Gent, M.R.A.; Pozueta, B. (2005). *Manual Neural Network: NN_OVERTOPPING 2*. CLASH WP8 – Report.
- Dalrymple, R.A.; Kirby, J.T. (1991). *REF/DIF 1. Version 2.3 Documentation Manual. Combined Refraction/Diffraction Model*. CACR Report n.º 91-2, University of Delaware, Janeiro.
- Fortes, C.J.E.M. (2002). *Transformações não lineares de ondas em zonas portuárias. Análise pelo método dos elementos finitos*. Tese de doutoramento, Engenharia Mecânica, IST.
- Kirby, J.T.; Ozkahn, H.T. (1994). *REF/DIF S Version 1.1 Documentation and Users Manual*. CACR Report n.º 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.; Rodrigues, S.; Reis, M.T.; Fortes, C.J.; Santos, J.A. (2010a). 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 da Gestão Costeira Integrada*, Vol. 10, N. 4, pp. 483-504.
- Neves, M.G.; Reis, M.T.; Didier, E. (2010b). Comparisons of wave overtopping at coastal structures calculated with AMAZON, COBRAS-UC and SPHYSICS. *Proc. V European Conference on Computational Fluid Dynamics ECCOMAS CFD 2010*, J.C.F. Pereira, A. Sequeira & J.M.C. Pereira (Eds), Lisbon, Portugal, 14-17 June. ISBN: 978-989-96778-1-4
- Newman, J.N.; Sclavounos, P.D. (1988). The computation of wave loads on large offshore structures. Proc. Boss 88, Norway, pp. 1-19.
- 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*,



EA Environment Agency, UK, ENW Expertise Netwerk Waterkeren, NL and KFKI Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen, DE, August.

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*, Vol. 24(2B), pp. 250-262. ISSN: 0749-0208.

Reis, M.T.; Neves, M.G.; Lopes, M.R.; Hu, K.; Silva, L.G. (2011). Rehabilitation of Sines West Breakwater: wave overtopping study. *Maritime Engineering Journal*, Proc. ICE, Vol. 164(MA1), pp. 15-32. ISSN: 1741-7597.

Tolman, H.L. (1999). *User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.18.*, NOAA / NWS / NCEP / OMB technical note 166, 110 pp.

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. Proc. Mediterranean Days of Coastal and Port Engineering, Palermo, 7 a 9 de Outubro (CD-Rom).