



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



AVALIAÇÃO DO RISCO DE GALGAMENTO DE ESTRUTURAS PORTUÁRIAS: O CASO DO PORTO DE PONTA DELGADA (AÇORES, PORTUGAL)

Autores: D. Pereira , L. Lopes , M.T. Reis , C.J. Fortes e P. Poseiro

*3^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica
Lisboa, 24 a 26 de junho de 2014*

Objetivos

Utilização da metodologia de avaliação de risco de galgamento em estruturas portuárias, que tem sido desenvolvida no LNEC



Em cinco secções do Porto de Ponta Delgada no período de 2 anos (2011-2012)



Aprimorar um mecanismo de alerta capaz de indicar às autoridades competentes e às populações afetadas, situações em que o fenómeno de galgamento possa causar prejuízos e pôr em risco a segurança de bens e pessoas

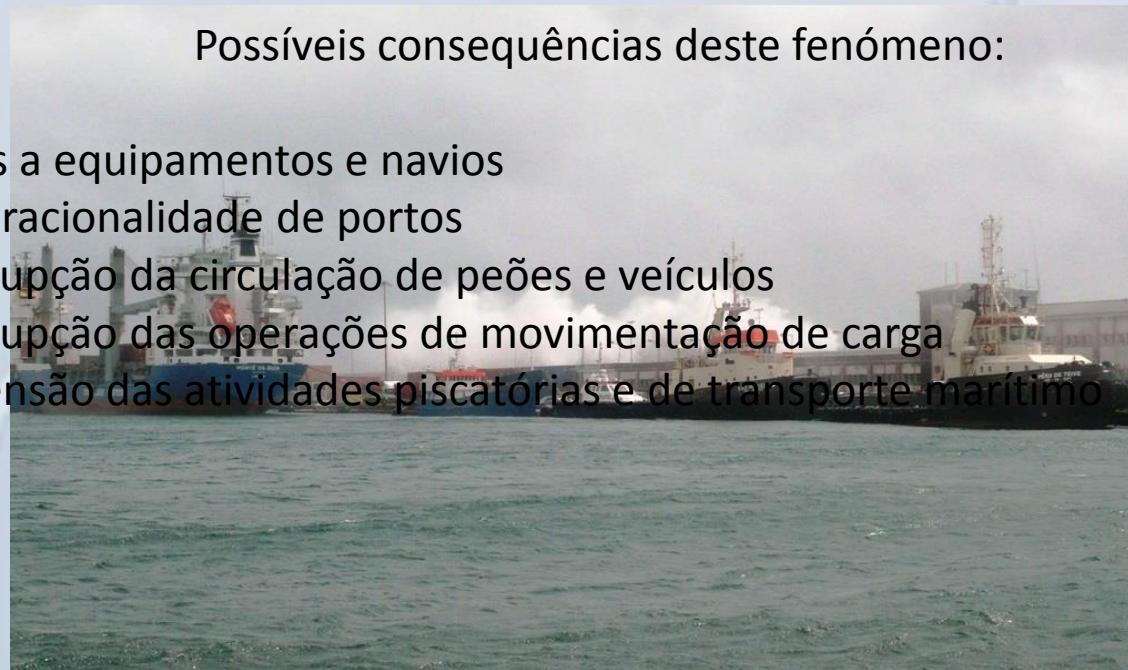
Fenómeno de galgamento



Caraterizado pela transposição do ponto mais alto da estrutura, o seu coroamento, por uma massa de água, devido à ação das ondas

Possíveis consequências deste fenómeno:

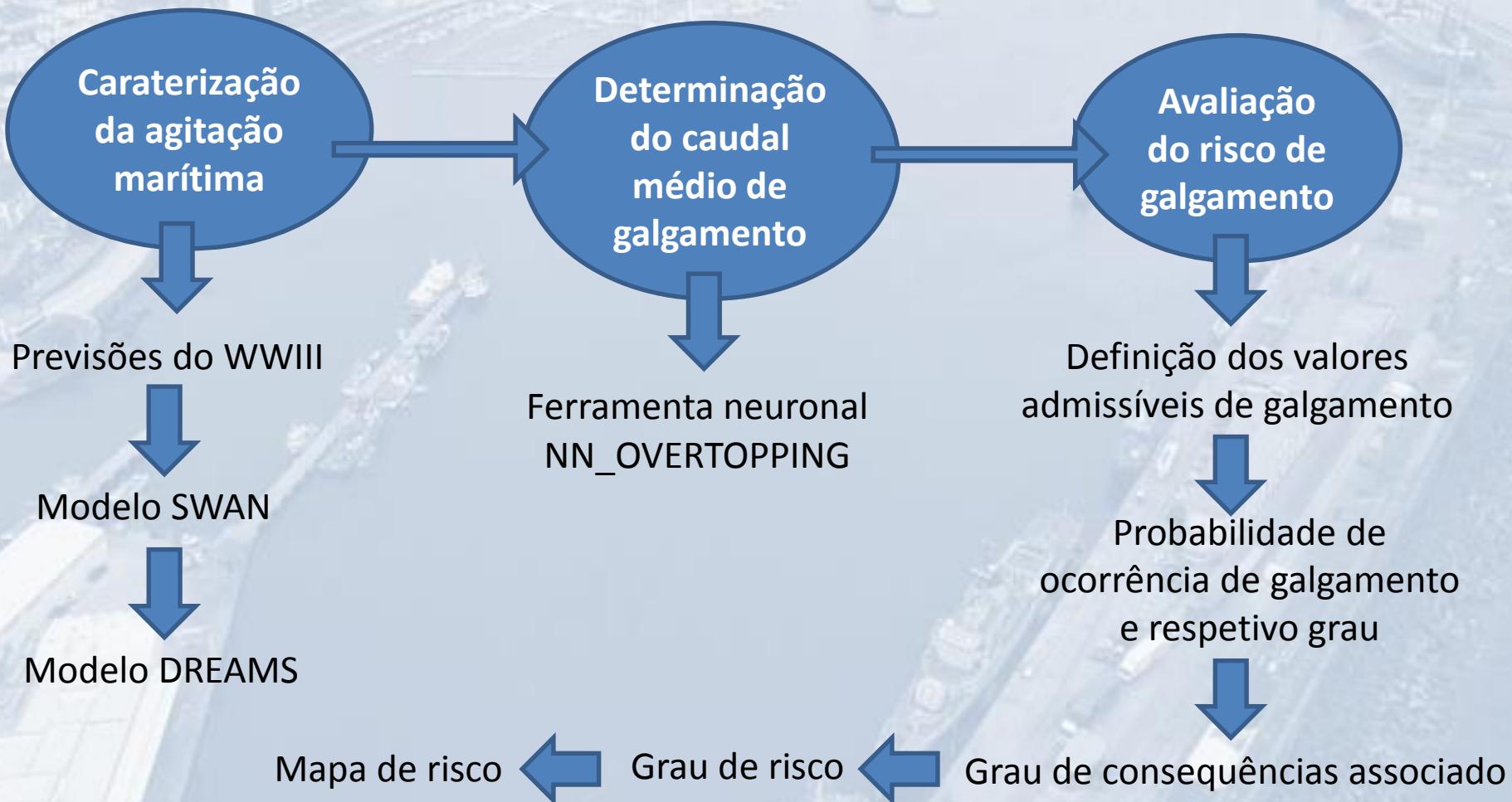
- danos a equipamentos e navios
- inoperacionalidade de portos
- interrupção da circulação de peões e veículos
- interrupção das operações de movimentação de carga
- suspensão das atividades pescatorias e de transporte marítimo



Fenómeno de galgamento no Porto de Ponta Delgada, Açores

Metodologia

Metodologia utilizada



Caso em estudo: Porto de Ponta Delgada



Figura ilustrativa das diferentes zonas no Porto de Ponta Delgada

Caraterização da agitação marítima

Modelo SWAN

Para implantação deste modelo no Porto de Ponta Delgada, foram seguidos os seguintes passos:

- Definição do domínio de cálculo e das malhas batimétricas e computacionais da zona a modelar
- Definir as variáveis de entrada: introdução dos dados referentes às condições de agitação ao largo dos Açores fornecidos pelo modelo WWIII e as marés

Modelo DREAMS

Na aplicação do modelo DREAMS, foram seguidos os seguintes passos:

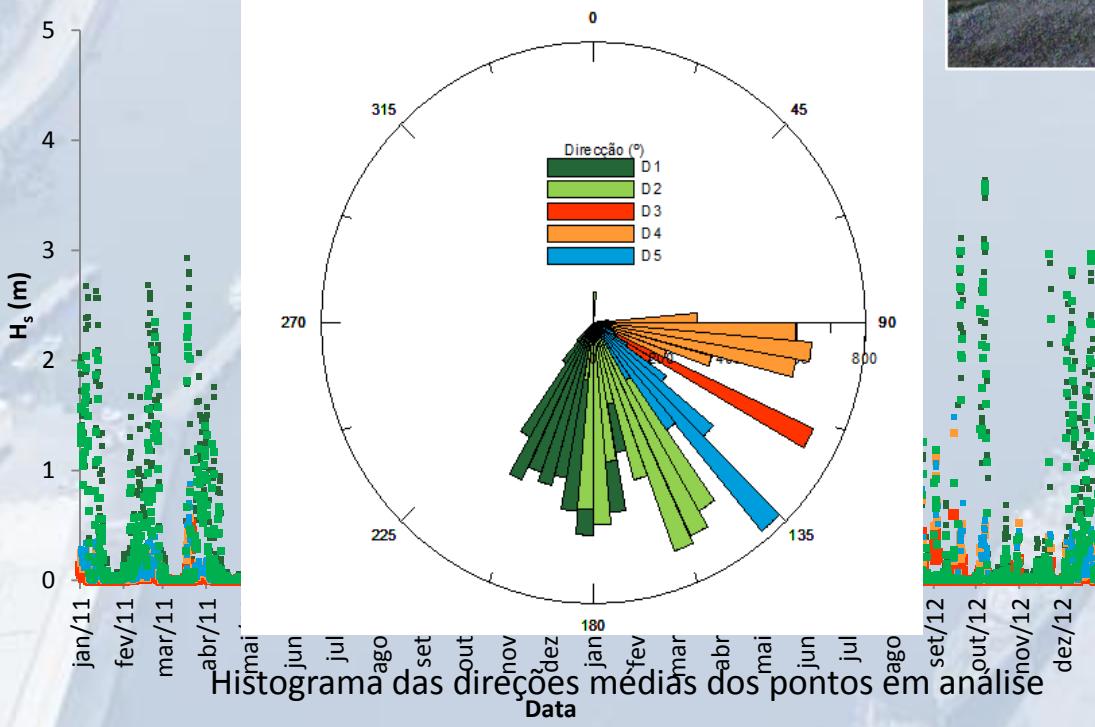
- Definição do domínio de cálculo e construção da malha de elementos finitos
- Definição das características das diferentes fronteiras
- Estabelecer as condições da agitação marítima à entrada do domínio

Caracterização da agitação marítima

Modelo DREAMS

Resultados

Altura significativa



Séries temporais da altura significativa dos pontos em análise



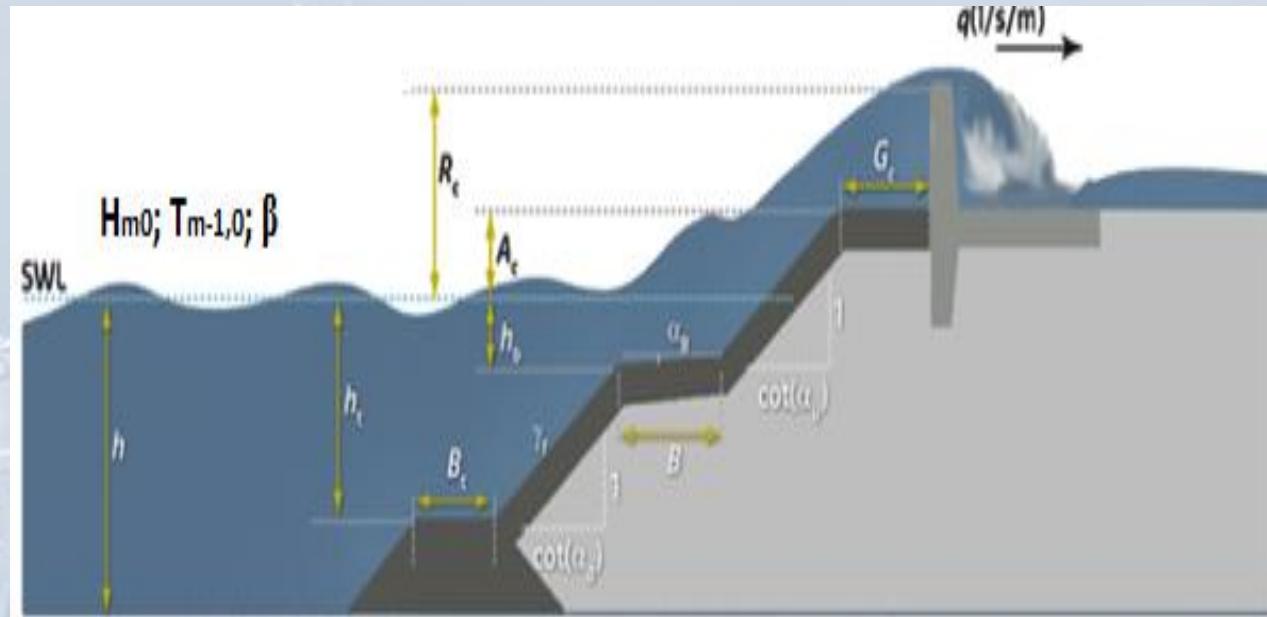
Caudal médio de galgamento

Ferramenta neuronal NN_OVERTOPPING

Ferramenta baseada em redes neurais artificiais

A aplicação desta ferramenta nos cinco locais de estudo teve em conta:

- Características da agitação da marítima resultantes do modelo DREAMS
- Introdução dos dados da geometria das estruturas, envolvendo 12 parâmetros

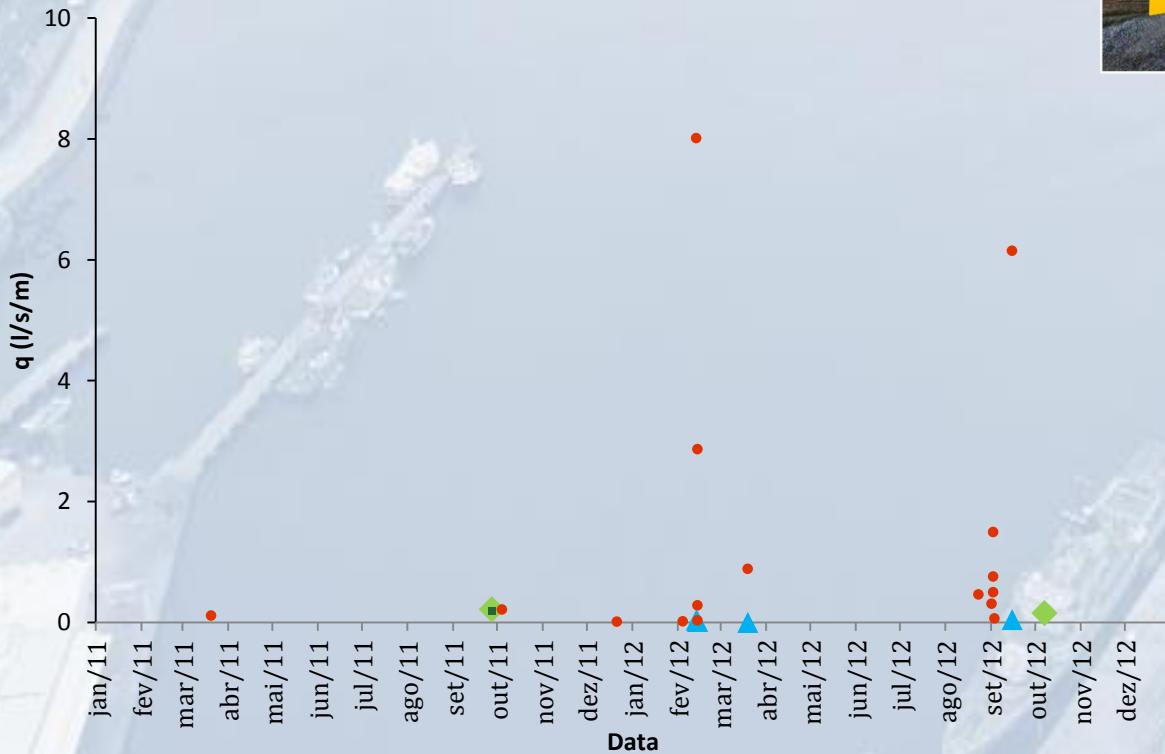


Parâmetros de entrada na ferramenta NN_OVERTOPPING

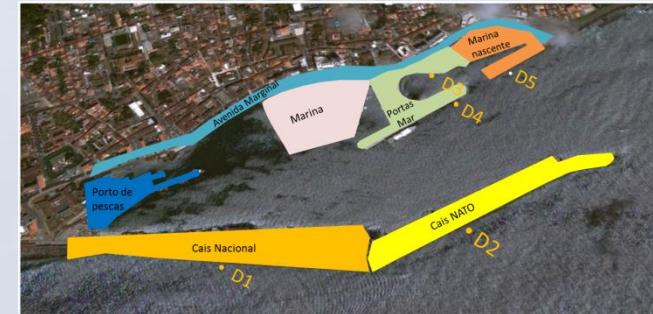
Caudal médio de galgamento

Ferramenta neuronal NN_OVERTOPPING

Resultados obtidos



Séries temporais do caudal médio de galgamento para as diversas secções



Avaliação de risco

Adoção de valores admissíveis para os pontos em análise

Valores admissíveis para o caudal médio de galgamento para estruturas marítimas
(adaptado de Pullen *et al.*, 2007)

Condições e tipo de danos		Caudal médio, q (l/s/m)
Estrutura 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 tiverem protegidos	0,1
Defesas frontais	Danos em zonas de circulação pavimentadas localizadas atras da defesa frontal	200
	Danos em zonas de circulação relvadas ou levemente protegidas	50

200 → D1 a D5

Avaliação de risco

Adoção de valores admissíveis para os pontos em análise

Valores admissíveis do caudal médio de galgamento 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. O galgamento gera escoamentos de pouca altura, sem jatos de água a cair, perigo reduzido de queda para o mar.	1 – 10	→ D1 e D2
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	→ D4 e D5
Pessoas totalmente desprevenidas, que não conseguem observar a agitação incidente, que podem facilmente ficar assustadas ou perturbadas, com vestuário inapropriado para se molharem ou que se desloquem numa zona estreita ou propícia a tropeções e quedas.	0,03	→ D3

⁽¹⁾ Estas condições não têm que ocorrer em simultâneo

Avaliação de risco

Adoção de valores admissíveis para os pontos em análise

Valores admissíveis do caudal médio de galgamento para navios e equipamentos na zona abrigada da 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	10 ⁽¹⁾
Danos em grandes barcos	1 ⁽²⁾
Danos em edifícios	0.4 ⁽¹⁾
Danos em equipamentos localizados a 5-10 m da estrutura	

⁽¹⁾ Limites relacionados com o galgamento obtido na estrutura marítima

⁽²⁾ Limites relacionados com o galgamento efetivo obtido no edifício.

Avaliação de risco

Adoção de valores admissíveis para os pontos em análise

Valores admissíveis do caudal médio de galgamento para circulação de veículos
(adaptado de Pullen *et al.*, 2007).

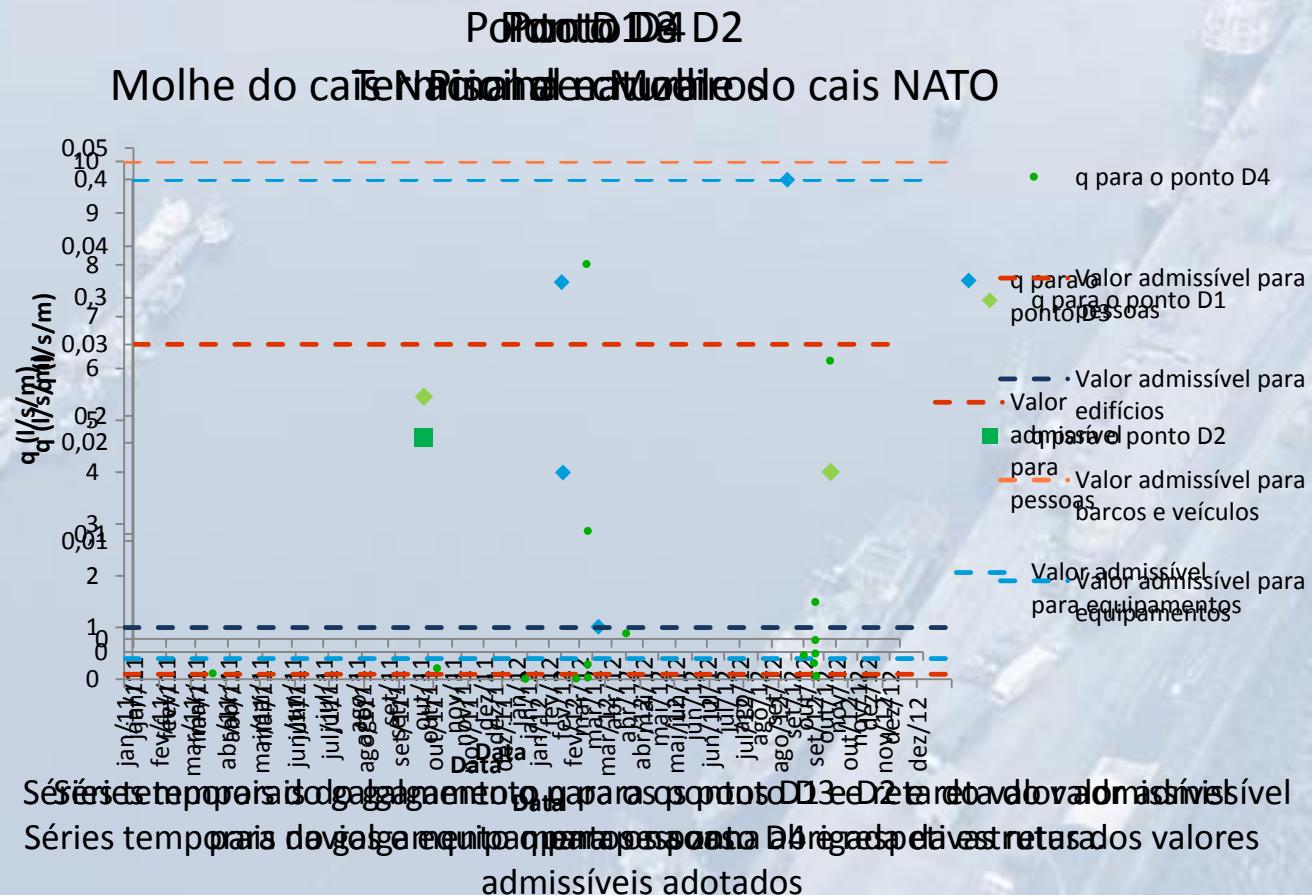
Condições e tipo de danos	Caudal médio, q (l/s/m)	
Circulação a baixa velocidade, galgamento gera escoamentos de pouca altura, sem jatos de água a cair na via, veículo não imerso.	$1 - 10^{(1)}$	 D1, D2, D4 e D5
Circulação a velocidade moderada ou alta, galgamento projetado com grande velocidade ou com jatos de água a cair na via que podem imergir o veículo.	$0,01 - 0,05^{(2)}$	

⁽¹⁾ Limites relacionados com o galgamento efetivo obtido na via de circulação.

⁽²⁾ Limites relacionados com o galgamento obtido na estrutura marítima, mas é assumido que a via de circulação se encontra atrás da estrutura.

Avaliação de risco

Galgamentos estimados nos diversos pontos e valores admissíveis mais próximos



Avaliação de risco

Grau de Probabilidade de galgamento

Probabilidade de ocorrência de galgamentos
não admissíveis e respetivo grau
(Neves *et al.*, 2012)

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

Quadro resumo das probabilidades nos cinco locais de estudo

Local	Probabilidade (%)					
	Estrutura marítima	Pessoas	Veículos	Edifícios	Equipamentos	Barcos
D1	0	0	0	0	0	0
D2	0	0	0	-	0	0
D3	0	0,0007	-	0	0	-
D4	0	0,0041	0	0,0014	0,0027	0
D5	0	0	0	-	0	0

Avaliação de risco

Grau de Consequência de galgamento

Descrição	Consequências (Guia de Orientação)							Grau
	Pessoas	Ambiente	Gestão Portuária	Património				
				Edifícios	Equipamentos	Estrutura marítima	Veículos	
Insignificantes	Possibilidade de ferimentos muito ligeiros	Impacto ambiental desprezável	Alterações ligeiras nas atividades portuárias	Danos exteriores quase inexistentes	Danos quase inexistentes	Danos na zona ativa da estrutura não necessitando reparação	Danos quase inexistentes	1
Reduzidas	Uma única lesão ligeira	Pequenos derrames (por exemplo de combustível)	Algumas alterações nas atividades portuárias; má publicidade para o porto a nível nacional	Danos interiores e exteriores insignificantes	Danos ligeiros que não implicam a paragem do equipamento; resolução de problemas quase iminente	Ocorrência de movimentos e quedas de blocos sem exposição de filtros; reparação imediata desnecessária	Danos significativos que não afetam a sua utilização	2
Séries	Múltiplas lesões ligeiras ou uma única lesão grave	Algumas áreas com acesso proibido devido a poluição causada por derrames	Operações de carga e descarga condicionada; 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	Danos exteriores sérios com consequências na sua utilização que levam a uma paragem temporária	5
Muito sérias	Muitas lesões graves ou uma perda de vida	Episódio 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	Danos exteriores sérios com consequências na sua utilização que levam a uma paragem prolongada	10
Catastróficas	Muitas perdas de vidas	Derrames generalizado; 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 em definitivo	25

Avaliação do risco

Grau de risco

$$\text{Grau de Risco} = \text{Grau de Probabilidade} \times \text{Grau de Consequências}$$

Avaliação da aceitabilidade do grau de risco obtido
(Neves *et al.*, 2012)

Grau de Risco		Descrição	Controlo do Risco (Guia de Orientação)
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 (e.g. eliminar a origem dos riscos, alterar a probabilidade de ocorrência e/ou as consequências, transferir o risco, etc.).	

Quadro resumo do grau de risco para as cinco secções em estudo

Local	Grau de Probabilidade	Grau de Consequências	Grau de Risco
D1	1	10	10
D2	1	10	10
D3	1	5	5
D4	1	5	5
D5	1	2	2

Avaliação do risco

Mapa de risco



Representação gráfica do grau de risco de galgamento para os dois pontos do molhe do cais comercial, para a piscina natural, para o terminal de cruzeiros e para a marina nascente

Conclusões

- Relativamente aos resultados do modelo DREAMS, observou-se que existe uma clara mudança das características da agitação marítima do exterior para a zona abrigada do porto
- Os caudais médios de galgamento estimados pela ferramenta neuronal NN_OVERTOPPING, no período em análise, indicaram a tendência das estruturas exteriores praticamente não sofrerem a ocorrência deste fenómeno e do mesmo ser mais sentido no interior do porto, pelo facto de aí as estruturas não estarem abrigadas a sudeste
- Um dos possíveis motivos desta discrepancia com informações reais poderá incidir em alguns aspetos dos modelos numéricos de propagação da agitação marítima, como os relacionados com os coeficientes de reflexão adotados

Conclusões

- Na avaliação de risco de galgamento, o risco da sua ocorrência foi apenas analisado para um espaço temporal de dois anos, que é claramente insuficiente
- Conclui-se que metodologia utilizada é indispensável para o planeamento de eventuais intervenções nos locais em estudo, podendo contribuir, desta forma, para o desenvolvimento de um sistema de alerta para os casos em que a agitação marítima possa colocar em risco bens, pessoas e o ambiente, bem como para a redução dos prejuízos que tais galgamentos possam causar

agradecimentos

- Fundação para a Ciência e Tecnologia - Projeto HIDRALERTA – Sistema de previsão e alerta de inundações em zonas costeiras e portuárias - referência PTDC/AAC-AMB/120702/2010
- Portos dos Açores (Eng. Francisco Silva , Eng. Lucília Luís, Eng. Conceição Rodrigues e Topógrafo-Geómetra Gonçalo Azevedo)



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



AVALIAÇÃO DO RISCO DE GALGAMENTO DE ESTRUTURAS PORTUÁRIAS: O CASO DO PORTO DE PONTA DELGADA (AÇORES, PORTUGAL)

OBRIGADO PELA VOSSA ATENÇÃO

*3^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica
Lisboa, 24 a 26 de junho de 2014*