

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO RISCO DE INUNDAÇÃO/GALGAMENTO NA PRAIA DE SÃO JOÃO DA CAPARICA

P. Neves¹, P. Poseiro², C.J.E.M. Fortes², M.T. Reis², R. Capitão², J.S. Antunes do Carmo¹,
P. Raposeiro³, J.C. Ferreira³

¹Universidade de Coimbra, FCTUC
E-mail: patxineves@gmail.com, jsacarmo@dec.uc.pt

²Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas, Departamento de Hidráulica e Ambiente, LNEC
E-mail: pposeiro@lnec.pt, jfortes@lnec.pt, treis@lnec.pt, rcapitao@lnec.pt

³Universidade Nova de Lisboa, FCT-UNL
E-mail: praposeiro@fct.unl.pt, jcrf@fct.unl.pt

RESUMO

Os riscos associados à inundação e galgamento de estruturas de defesa costeira são uma constante preocupação na costa portuguesa, sendo que situações de emergência provocadas pelo mar são frequentes, pondo em causa a segurança de pessoas, bens e o próprio património natural. Para tal, é importante desenvolver uma metodologia que permita avaliar os riscos associados a inundações e galgamentos na zona costeira, evitando assim a sua degradação e perdas irreversíveis.

Nesse sentido, tem sido desenvolvida no LNEC uma metodologia de avaliação de risco associado à ação de ondas em zonas costeiras e portuárias. Esta metodologia foi aplicada à praia de São João da Caparica, na Costa da Caparica, especificamente em dois perfis da praia: um sem estrutura de proteção aderente e outro com uma estrutura deste tipo. A metodologia mostrou ser de fácil aplicação e forneceu informação muito útil para o planeamento e para a gestão integrada e sustentada das zonas costeiras. No entanto, constatou-se que aquela é fortemente dependente dos dados de base a fornecer, tais como a agitação marítima, as características morfológicas da praia e as especificidades ambientais, económicas e sociais da zona em estudo.

Este trabalho está inserido no projeto HIDRALERTA, que pretende desenvolver um sistema de previsão, alerta e avaliação do risco associado a inundações e galgamentos em zonas costeiras e portuárias, em particular, para a zona da Costa da Caparica.

1. INTRODUÇÃO

A zona costeira de Portugal Continental está sujeita a uma série de riscos naturais que resultam de vários tipos de perigosidades, como por exemplo, a erosão costeira, a inundação de margens, o galgamento do sistema dunar, etc.. Tem também vindo a concentrar não só uma grande maioria da população portuguesa, mas também um grande número de infraestruturas e de atividades económicas. Desta forma, a zona costeira assume uma grande importância estratégica em termos ambientais, económicos, sociais, culturais e recreativos para o país, o que justifica a importância de estudar os riscos provocados pela ação das ondas na costa, em particular os associados à inundação e galgamento de estruturas de defesa costeira.

Para além disso, as situações de emergência causadas pelo mar são frequentes e colocam em perigo a segurança de pessoas e bens. Assim, torna-se importante dotar as entidades competentes de um sistema de alerta que, com a devida antecedência, avise sobre a ocorrência de situações de emergência e que permita a adoção de medidas para evitar perdas

de vidas e minimizar prejuízos económicos e ambientais.

Neste contexto, está em curso um projeto de investigação, denominado HIDRALERTA, que consiste no desenvolvimento de um sistema de previsão e alerta de inundações em zonas costeiras, tendo como ideia-base a utilização de previsões da agitação marítima (a 72 horas) para calcular os efeitos da ação das ondas na costa, nomeadamente em termos de inundações e galgamentos. Com estes resultados, é possível avaliar em tempo real as situações de emergência e proceder à emissão de alertas às entidades competentes sempre que a segurança das pessoas, dos seus bens ou de atividades portuárias e costeiras seja posta em causa.

Por outro lado, o sistema permitirá também a análise de longas séries temporais de dados de agitação marítima e dos seus efeitos numa dada zona costeira ou portuária. Desta forma, é possível proceder à avaliação do risco nessa zona e elaborar mapas de risco, constituindo-se assim uma ferramenta útil para o planeamento e gestão integrada e sustentada das zonas costeiras e portuárias. Os dois casos de estudo do projeto são a zona da praia de São João da Caparica, na Costa da Caparica, e o porto da Praia da Vitória, na ilha Terceira, nos Açores.

A presente comunicação é uma contribuição para o projeto em causa, i.e., tem como objetivo apresentar e aplicar a metodologia de avaliação do risco de inundação e galgamento na praia de São João da Caparica, seguindo os trabalhos de Neves *et al.* (2009), Santos *et al.* (2010), Reis *et al.* (2011), Neves *et al.* (2012), Rocha (2012), Silva *et al.* (2012) e Raposeiro *et al.* (2013). Note-se que a maioria destes trabalhos se refere a aplicações da metodologia em zonas portuárias, como os portos da Praia da Vitória e de Ponta Delgada.

Assim, para a praia de São João da Caparica, partindo dos dados medidos na boia-ondógrafo que está posicionada a oeste do Bugio, na entrada do canal da barra, e para o período de 2007 a 2012, foi efetuada a caracterização do regime de agitação marítima nesse local. A aplicação de fórmulas empíricas para a determinação do espraçamento (*run-up*)/galgamento ao longo de dois perfis diferentes da praia (sem e com estrutura de proteção aderente) permite o cálculo das cotas de inundação e o cálculo do caudal médio galgado na zona protegida pela estrutura, considerando o regime de agitação marítima definido pela boia.

Por fim, para a avaliação do risco de inundação é utilizada a seguinte metodologia: 1) determina-se o grau de probabilidade da ocorrência de valores de *run-up*/galgamento que excedam os limites pré-estabelecidos; 2) qualificam-se (através de uma escala, em graus) as consequências da ocorrência de inundações/galgamentos; 3) calcula-se o grau de risco através do produto dos graus atribuídos à probabilidade e às consequências de ocorrência de inundação/galgamento; 4) obtêm-se os mapas de risco.

Na secção 2, descreve-se a metodologia de avaliação do risco, incluindo as formulações empíricas utilizadas no estudo do *run-up*/galgamento em dois perfis de praia (sem e com estrutura de proteção aderente) e a avaliação do grau de risco baseado no produto entre o grau de probabilidade de ocorrência de um certo evento perigoso e o grau de consequências da ocorrência desse evento. Na secção 3, apresenta-se a aplicação da metodologia à praia de São João da Caparica. A secção 4 termina a comunicação com as principais conclusões do trabalho.

2. METODOLOGIA

A metodologia implementada no sistema HIDRALERTA para avaliar o risco de inundação e galgamento de zonas costeiras segue os seguintes passos: I – Caracterização das condições de agitação marítima; II – Determinação do espraçamento (*run-up*) e do galgamento com cálculo das respetivas cotas de inundação e do caudal médio galgado; III – Avaliação do risco. Estes passos são em seguida apresentados detalhadamente.

2.1. Caracterização das Condições de Agitação Marítima

O regime de agitação marítima em zonas costeiras e portuárias pode ser obtido por medições *in situ* (como por exemplo, através de boias-ondógrafo) ou através de modelos numéricos adequados. A utilização de um ou mais modelos numéricos para a propagação das ondas depende das características da região de estudo (por exemplo, do tamanho do domínio computacional) e dos fenómenos físicos envolvidos (ou mais relevantes) na propagação das ondas.

No presente trabalho, utilizaram-se os dados da boia-ondógrafo da Administração do Porto de Lisboa (APL), localizada em zona próxima da praia de São João da Caparica, para a caracterização do regime de agitação marítima ao largo da praia. Este regime de agitação foi também calculado com base em resultados numéricos de modelos de propagação de ondas, sendo apresentado em Neves (2013).

2.2. Determinação do Espriamento e do Galgamento

Espriamento

Para o cálculo do espriamento (*run-up*) e das respetivas cotas máximas de inundação, têm sido propostas, na literatura, várias fórmulas, todas elas de carácter empírico, que dependem, na sua maioria, das condições de agitação marítima em águas profundas e do declive da face da praia. A Tabela 1 apresenta as fórmulas que são utilizadas neste trabalho. Com exceção da formulação de Hunt (1959), obtida com base em ensaios em modelo físico, as restantes formulações foram desenvolvidas com base em dados de campo (praias naturais). Nesta tabela, $R_{2\%}$ é o *run-up* excedido por 2% de todos os *run-up*, $R_{\text{máx}}$ é o *run-up* máximo e $R_{1/3}$ é o *run-up* significativo (média do terço mais alto dos *run-up*).

As fórmulas apresentadas na Tabela 1 têm em conta, na sua maioria, o número de Iribarren (eq. 1), ξ_0 , que, por sua vez, tem em conta o declive do perfil de praia, $\tan \beta$, a altura significativa da onda ao largo, H_0 , e o comprimento de onda ao largo, L_0 :

$$\xi_0 = \tan \beta / (H_0 / L_0)^{0.5} \quad (1)$$

em que L_0 pode ser obtido através da eq. (2):

$$L_0 = g * T^2 / (2 * \pi) \quad (2)$$

Nalgumas expressões, L_0 , dado pela eq. (2), é obtido com base no período de pico da onda, T_P (L_{0p}), e noutras, com base no período significativo da onda, T_s (L_{0s}).

Apenas na eq. (6), de Holman (1986), a altura de onda significativa é a altura incidente na praia, H_i , e não ao largo. H_{rms} nas eqs. (8) e (9) representa a raiz quadrada da média das alturas de onda ao largo.

Uma vez que o *run-up* é uma variável estatística, para efeitos de galgamento do cordão dunar utiliza-se comumente a estimativa do *run-up* com probabilidade de excedência de 1% ($R_{1\%}$), ou seja, correspondente ao nível que é excedido somente por 1% da série de ondas associadas a determinada altura significativa de onda, assumindo uma distribuição de Rayleigh para os espriamentos individuais (Sancho *et al.*, 2011).

Tabela 1 - Fórmulas para o cálculo do *run-up*.

Autores	Run-up	
Hunt (1959)	$R_{2\%} = \tan\beta * (H_0 * L_{0s})^{0.5}$	(3)
	$R_{2\%} = 3 * H_0$	(4)
Holman (1986)	$R_{2\%} = H_0 * (0.83 * \xi_{0p} + 0.20)$	(5)
	$R_{2\%} = H_i * (0.78 * \xi_s + 0.20)$	(6)
Nielsen & Hanslow (1991)	$R_{2\%} = L_{RU}(-\ln(0.02))^{0.5}$	(7)
	$L_{RU} = 0.6 * \tan\beta * (H_{orms} L_{0s})^{0.5} \quad \tan\beta \geq 0.1$	(8)
	$L_{RU} = 0.05 * (H_{orms} * L_{0s})^{0.5} \quad \tan\beta < 0.1$	(9)
Stockdon <i>et al.</i> (2006)	$R_{2\%} = 0.043 * (H_0 L_{0p})^{0.5} \quad \xi_{0p} < 0.3$	(10)
	$R_{2\%} = 1.1 * (0.35 * \tan\beta * (H_0 L_{0p})^{0.5} + [(H_0 L_{0p} (0.563 * (\tan\beta)^{0.5} + 0.004)]^{0.5}] / 2) \quad \xi_{0p} > 0.3$	(11)
Teixeira (2009)	$R_{m\acute{a}x} = 0.80 * H_0 + 0.62$ (mais antiga)	(12)
	$R_{m\acute{a}x} = 1.08 * H_0 * \xi_{0m\acute{a}x}$ (mais recente)	(13)
Ruggiero <i>et al.</i> (2001)	$R_{2\%} = 0.27 * (\tan\beta * H_0 L_{0p})^{0.5} \quad \xi_{0p} \geq 0.5$	(14)
	$R_{2\%} = 0.5 * H_0 - 0.22 \quad \xi_{0p} < 0.5$	(15)
Guza & Thornton (1982)	$R_{1/3} = 0.71 * H_0 + 0.035$	(16)

Uma vez calculados os valores do *run-up* numa dada zona costeira, é necessário calcular as cotas de inundação, C.I. (referidas ao ZH). Assumindo que o cáculo das mesmas resulta apenas da soma das contribuições da maré astron mica, M.A. (referente igualmente ao ZH), com a sobreleva o meteorológica, S.M., e com o *run-up*, $R_{1\%}$, os valores das cotas C.I. serão dados pela eq. (17):

$$C.I. = M.A. + S.M. + R_{1\%} \quad (17)$$

Dado que a inunda o de uma zona costeira é um fen meno complexo, a eq. (17) representa uma forma simplificada do cáculo da cota máxima de inunda o, assumindo que $R_{1\%}$ é uma boa estimativa de $R_{m\acute{a}x}$. Assim, para uma dada condi o de agita o marítima e um dado perfil da praia, é determinado o correspondente valor de *run-up*, segundo as fórmulas apresentadas na Tabela 1 e a correspondente cota máxima de inunda o recorrendo à eq. (17).

Galgamento

São várias as metodologias utilizadas para o cáculo do galgamento de uma estrutura: fórmulas empíricas, redes neuronais, modelos físicos ou modelos numéricos. Em qualquer delas, uma das grandezas pela qual os galgamentos são expressos é o caudal, sendo geralmente apresetado sob a forma de caudal médio galgado por unidade de comprimento de estrutura, q ($m^3/s/m$).

No presente trabalho seguiu-se a metodologia de Mase *et al.* (2013), que utiliza fórmulas empíricas (baseadas em ensaios em modelo físico) que relacionam o *run-up* e o galgamento de estruturas localizadas junto ou acima da linha de costa. Na Tabela 2 estão representadas as formula es empíricas propostas por Mase *et al.* (2013) para o cáculo do *run-up* e posterior cáculo do caudal médio galgado. Estas formula es utilizam, em geral, as características das ondas em águas profundas (H_0 , L_0) e as características da estrutura (a distância entre o nível

médio da água e a cota de coroamento, R_c) como parâmetros de entrada. Nesta tabela, $R_{1/10}$ é o *run-up* correspondente à média do décimo mais alto dos *run-up*, $R_{\max(37\%,100)}$ é o *run-up* máximo não excedido em 37% dos casos em ensaios com 100 ondas e $R_{\max(99\%,100)}$ é o *run-up* máximo não excedido em 99% dos casos em ensaios com 100 ondas.

Estas fórmulas foram deduzidas inicialmente para estruturas cujo declive era uniforme, o que não se passa na maioria das estruturas reais. Assim, para ultrapassar essa limitação, a metodologia adota um conceito de declive imaginário no cálculo do *run-up*/galgamento. Saville (1958) propôs pela primeira vez uma definição de declive imaginário: uma linha que une dois pontos, um no pé do talude onde se dá a rebentação das ondas, à profundidade h_b , e o outro no limite do *run-up* da onda. Com base no trabalho de Mase *et al.* (2013), aplica-se o declive imaginário, tendo em consideração a configuração da secção transversal do perfil da praia em frente à estrutura, e do perfil da própria estrutura, como apresentado na Figura 1.

Tabela 2 - Fórmulas empíricas para o cálculo de *run-up*/galgamento (Mase *et al.*, 2013).

Run-up	$R_{2\%} = H_0 * (2.99 - 2.73 * \exp(-0.57 * (\tan\beta / \sqrt{H_0/L_0})))$	(18)
	$R_{1/10} = H_0 * (2.72 - 2.56 * \exp(-0.58 * (\tan\beta / \sqrt{H_0/L_0})))$	(19)
	$R_{1/3} = H_0 * (2.17 - 2.18 * \exp(-0.70 * (\tan\beta / \sqrt{H_0/L_0})))$	(20)
Galgamento	$q = \sqrt{gH_0^3} * [0.018 * (R_{\max}/H_0)^{3/2} * \{1 - (R_c/H_0)/(R_{\max}/H_0)\}^{3.200}]$	(21)
	$q = \sqrt{gH_0^3} * [0.018 * (R_{\max}/H_0)^{3/2} * \{1 - (R_c/H_0)/(R_{\max}/H_0)\}^{6.240}]$	(22)

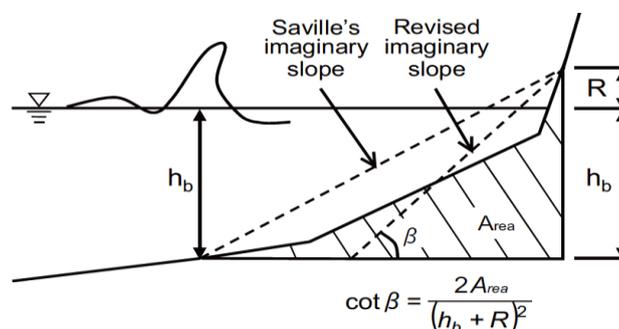


Figura 1 - Esquema exemplificativo do declive imaginário $\cot \beta$ tendo em consideração a configuração da secção transversal do perfil da praia em frente à estrutura e do perfil da própria estrutura (Mase *et al.*, 2013).

O declive imaginário, $\cot \beta$, é obtido através da eq. (23):

$$\frac{1}{\tan\beta} \approx \cot\beta = \frac{2 * A_{rea}}{(h_b + R)^2} \quad (23)$$

sendo que h_b é a profundidade no local de início da rebentação e R é o *run-up* calculado por cada uma das fórmulas apresentadas na Tabela 2. Trata-se de um processo iterativo. A implementação destas fórmulas e os cálculos do *run-up* e do galgamento foram realizados recorrendo a programação em linguagem FORTRANTM (Fortes *et al.*, 2013a), 2013b) e 2013c).

2.3. Avaliação do Risco

Uma metodologia que permita avaliar e gerir os riscos associados a inundações nas zonas costeiras e a galgamentos de estruturas de defesa costeira é uma mais-valia para a gestão integrada e sustentada destas zonas, evitando a degradação ambiental e perdas irreversíveis dos seus recursos.

A avaliação do risco de inundação e galgamento é baseada na combinação entre os valores de probabilidade de ocorrência de um dado evento perigoso (por exemplo, inundação/galgamento pela ação das ondas) e os valores de consequências dessa ocorrência perigosa. Para simplificar a determinação do grau de risco, considera-se uma escala de grau de probabilidade, associada à probabilidade de ocorrência de um acontecimento perigoso, e uma escala de grau de consequências, associada aos prejuízos desse acontecimento, conforme a eq. (24):

$$\text{Grau de Risco} = \text{Grau de probabilidade} \times \text{Grau de consequências} \quad (24)$$

Grau de Probabilidade de Ocorrência

A Tabela 3 apresenta os graus de probabilidade de ocorrência de inundação/galgamento acima de um determinado limiar. Os limiares são definidos com base nas diretivas existentes (Pullen *et al.*, 2007), que levam em conta a natureza das atividades desenvolvidas na zona abrigada pela estrutura, o perfil da estrutura galgada e a necessidade de garantir a segurança de pessoas e infraestruturas localizadas nessa zona.

Tabela 3 – Graus de probabilidade de ocorrência de inundação/galgamento que excede os limiares pré-estabelecidos.

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

Na Tabela 4, na Tabela 5 e na Tabela 6, estão representados os valores admissíveis do caudal médio de galgamento numa estrutura de defesa costeira.

Tabela 4 - Valores do caudal médio de galgamento admissível 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 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

Tabela 5 - Valores do caudal médio de galgamento admissível 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
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.	0.1
Pessoas totalmente desprevenidas, que não conseguem observar a agitação incidente, que podem facilmente ficar assustadas ou perturbadas, com vestuário inadequado para se molharem ou que se deslocam numa zona estreita ou propícia a tropeções e quedas.	0.03

Tabela 6 - Valores de caudal médio galgado admissível para as diversas alternativas existentes em zonas abrigadas 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 equipamentos localizados a 5 – 10 m da estrutura	0.4 ⁽¹⁾

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

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

Grau de Consequências

Na Tabela 7 está representada uma descrição preliminar dos graus das consequências da ocorrência de um evento com valores da cota máxima de inundação e/ou valores de caudal médio de galgamento que, de forma geral, excedem limites pré-estabelecidos (Raposeiro & Ferreira, 2011). Esta tabela considera o meio recetor perante a ocorrência da inundação/galgamento, tendo como objetivos a identificação de valores naturais, culturais, antrópicos e socioeconómicos. Os critérios considerados têm em conta o reconhecimento dos *habitats* com valor ecológico, a ocupação do solo, a densidade de construção e a localização das edificações em relação à proximidade do elemento potencialmente “agressor”, a permanência nas habitações e outros valores absolutamente únicos cuja perda seria irreparável

Grau de Risco

No âmbito da metodologia apresentada para a obtenção do grau de risco de inundação/galgamento, realiza-se uma avaliação qualitativa que resulta do produto dos graus atribuídos à probabilidade de ocorrência de um evento adverso (Tabela 3) e às consequências da ocorrência desse evento (Tabela 7). Posteriormente recorre-se a uma matriz de cruzamento entre os dois graus, representada na Tabela 8, seguindo-se a Tabela 9, que representa uma descrição de avaliação da aceitabilidade do grau de risco obtido na tabela anterior.

Tabela 7 - Graus de consequências da ocorrência de inundação/galgamento que excede os limiares pré-estabelecidos.

Descrição	Consequências (Guia de Orientação)	Grau
Insignificantes	Locais com características geotécnicas relativamente estáveis; praias de areia natural, locais ocupados por <i>habitats</i> de reduzido valor ecológico; caminhos locais ou valas de drenagem	1
Reduzidas	Locais com solos de características geotécnicas fracas ou possuindo alguma vegetação do tipo arbustivo ou outro que lhe confira alguma estabilidade; áreas ocupadas por <i>habitats</i> em condições fitossanitárias débeis.	2
Sérias	Locais com infraestruturas de proteção costeira; locais com estruturas para atividades económicas relevantes; locais com características geotécnicas muito fracas, pouco estáveis e de reduzida resistência à desagregação; áreas ocupadas por <i>habitats</i> com algum interesse ecológico.	5
Muito Sérias	Locais com ocupação humana permanente (zonas urbanas planeadas); locais com estruturas para atividades económicas muito relevantes e permanentes; locais com características geotécnicas muitíssimo fracas, muito instáveis e de muito reduzida resistência à desagregação, sem vegetação estabilizadora; locais com elementos naturais de grande valor cuja perda seria difícil de compensar.	10
Catastróficas	Locais com ocupação humana permanente; locais absolutamente únicos e de enorme valor, e cuja perda seria irreparável; sistemas praia - duna.	25

Tabela 8 - Graus de Risco: matriz de cruzamento do grau atribuído à Probabilidade de Ocorrência de um evento adverso e do grau atribuído às Consequências da ocorrência desse evento.

GRAU DE RISCO		Consequências				
		1	2	5	10	25
Probabilidade de Ocorrência	1	1	2	5	10	25
	2	2	4	10	20	50
	3	3	6	15	30	75
	4	4	8	20	40	100
	5	5	10	25	50	125

Tabela 9 - Avaliação da aceitabilidade do grau de risco obtido.

Grau	Descrição	Controlo de 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 seleccione um conjunto de medidas para o seu controlo, possíveis danos materiais de pequena dimensão.
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.).

3. CASO DE ESTUDO

3.1. Caracterização do Local

A praia de São João da Caparica localiza-se no extremo norte da Costa da Caparica, município de Almada (Figura 2). Trata-se de uma praia relativamente extensa, representando uma área balnear de grande importância para as cidades de Lisboa e Almada. Constitui ainda um ponto de lazer para moradores e turistas durante todo o ano.

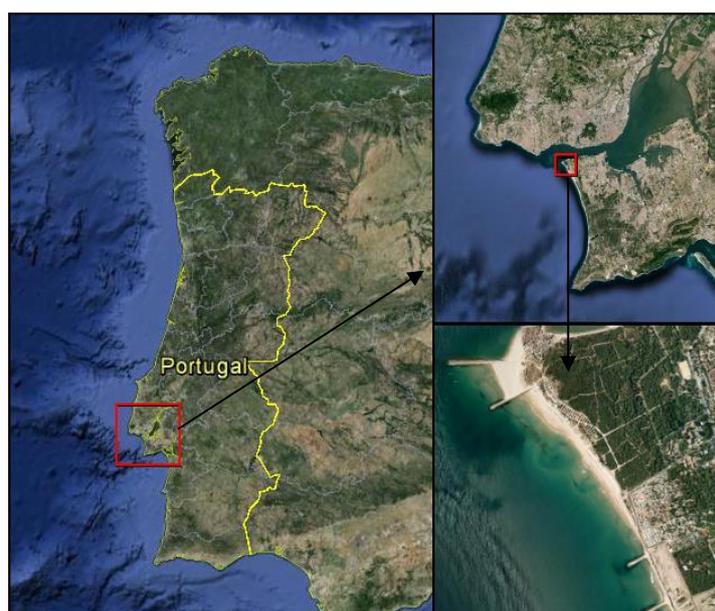


Figura 2 - Localização do caso de estudo (Google Earth[®], 3 de junho de 2013).

A praia de São João da Caparica tem um comprimento de 1380 m e está confinada entre dois esporões. O esporão norte tem um comprimento de 350 m e o esporão sul tem um comprimento de 150 m. A praia é de origem sedimentar arenosa e é caracterizada por um sistema dunar pequeno e frágil, com uma série de construções de madeira (bares e restaurantes) localizados na duna frontal (Figura 3a).

Junto ao esporão sul encontra-se ainda uma estrutura longitudinal aderente constituída por uma camada de enrocamento e com um núcleo constituído por areia e pedras de pequenas dimensões (Figura 3b).



Figura 3 – Vistas da praia de São João da Caparica: a) sem a estrutura; b) com a estrutura aderente.

A ocorrência de graves situações de inundação é conhecida nesta zona e coloca em risco bens e pessoas, como se mostra nas imagens da Figura 4, que ilustram os galgamentos que ocorreram em 21 de março de 2007 que atingiram o parque de campismo localizado atrás da estrutura aderente.



Figura 4 – Episódios de avanço do mar.

Nas secções seguintes descreve-se a aplicação da metodologia de avaliação do risco à praia de São João da Caparica, em especial em dois perfis da praia, um sem estrutura aderente e outro com estrutura aderente (Figura 3).

3.2. Caracterização da Agitação Marítima

A caracterização da agitação marítima ao largo da praia de São João da Caparica é efetuada com base nos dados da boia-ondógrafo da Administração do Porto de Lisboa (APL), que se encontra estacionada à entrada da barra de acesso ao estuário do Tejo (Figura 5).



Figura 5 – Localizações da boia-ondógrafo da APL e da praia de São João da Caparica.

A boia-ondógrafo, do tipo “*Triaxys directional wave buoy*” localiza-se a uma latitude de $38^{\circ} 37' 25''$ N, a uma longitude de $9^{\circ} 23' 09''$ W (WGS84) e a uma profundidade batimétrica de -30 m (ZH). Nesta boia existem dados desde 30.12.2005 até 16.11.2012 (~7 anos), mas com períodos extensos de falhas. Desde 25.10.2012 até 19.01.2013 (~3 meses) os dados estão disponíveis na internet, com registos de 10 em 10 minutos. Neste trabalho são particularmente relevantes os parâmetros HS (altura significativa), TZ (período médio), TP (período de pico) e Dir (direção de pico).

Na Tabela 10 são apresentadas estatísticas descritivas das séries de HS, TZ, TP e Dir, obtidas no local da boia. É de salientar o máximo valor observado de HS, de 6.19 m, e o elevado período máximo de pico, TP, de 28.6 s.

Tabela 10 - Estatísticas gerais dos dados existentes (de 30.dez.2005 a 16.nov.2012).

Estatísticas	HS (m)	TZ (s)	TP (s)	Dir (°)
Média	1.22	5.73	10.57	280.22
Mediana	1.01	5.4	10.5	283.93
Moda	0.88	4.7	11.8	276.10
Desvio padrão	0.70	1.67	2.93	26.37
Variância	0.49	2.80	8.61	695.34
Curtose	4.93	1.29	0.17	32.67
Assimetria	1.97	0.99	0.11	-4.37
Gama	5.92	13.2	26.7	359.61
Mínimo	0.27	2.3	1.9	0.11
Máximo	6.19	15.5	28.6	359.72
Soma	36270	36270	36270	36270

Nas três figuras seguintes (Figura 6, Figura 7 e Figura 8) apresentam-se as séries temporais de HS, Hmax, TZ, TP e Dir para o mesmo período. É de salientar o grande número de falhas de medição e a extensão destas.

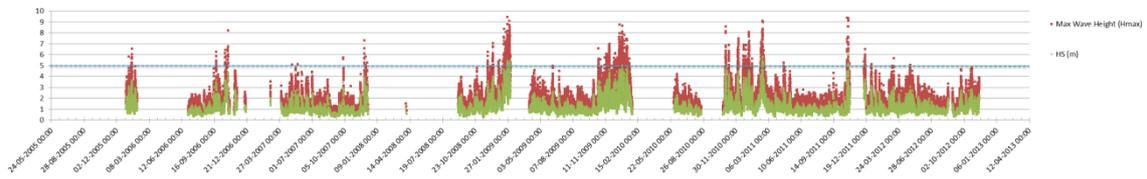


Figura 6 – Séries temporais de alturas de onda (HS e Hmax), de 30.dez.2005 a 16.nov.2012.

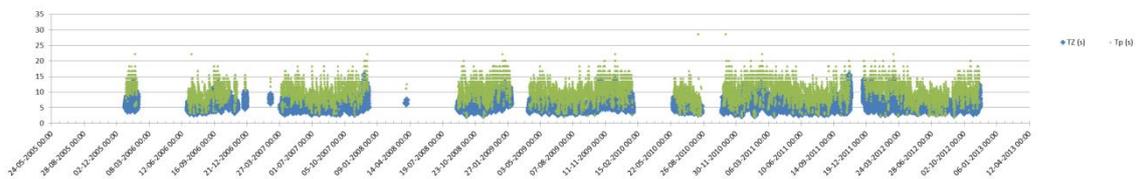


Figura 7 – Séries temporais de períodos de onda (TZ e TP), de 30.dez.2005 a 16.nov.2012.

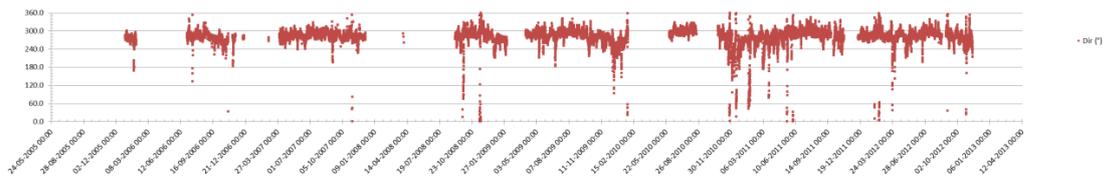


Figura 8 – Séries temporais de direções de onda (Dir), de 30.dez.2005 a 16.nov.2012.

Na Figura 9 e na Figura 10 mostram-se os histogramas HS-TP, e TP-Dir para o mesmo período. Apresenta-se na Figura 11 a relação TP-TZ, que revela uma fraca correlação ente TP e TZ.

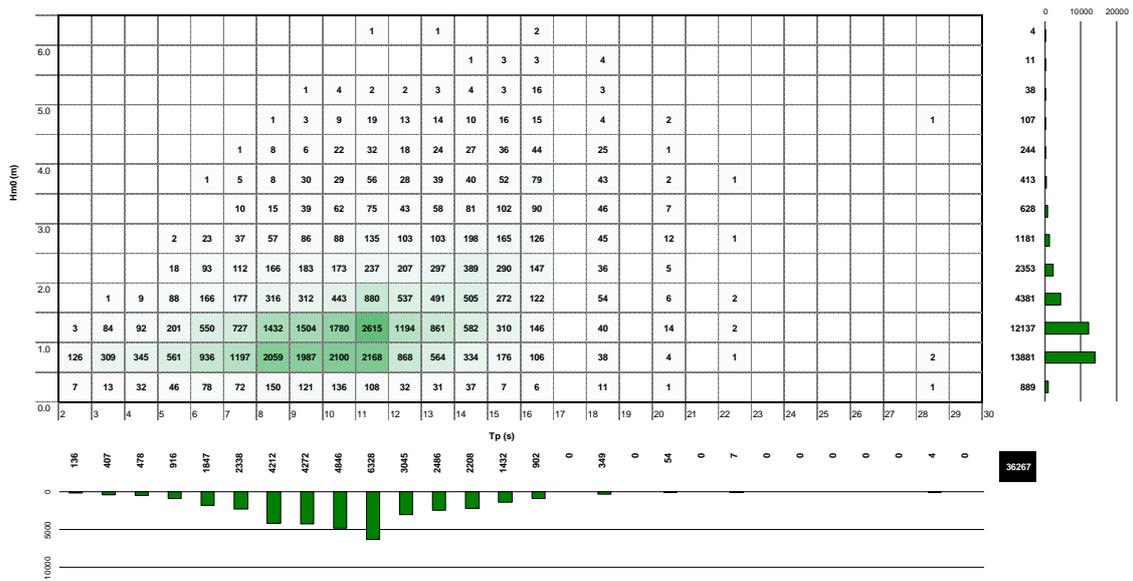


Figura 9 – Histograma HS-TP.

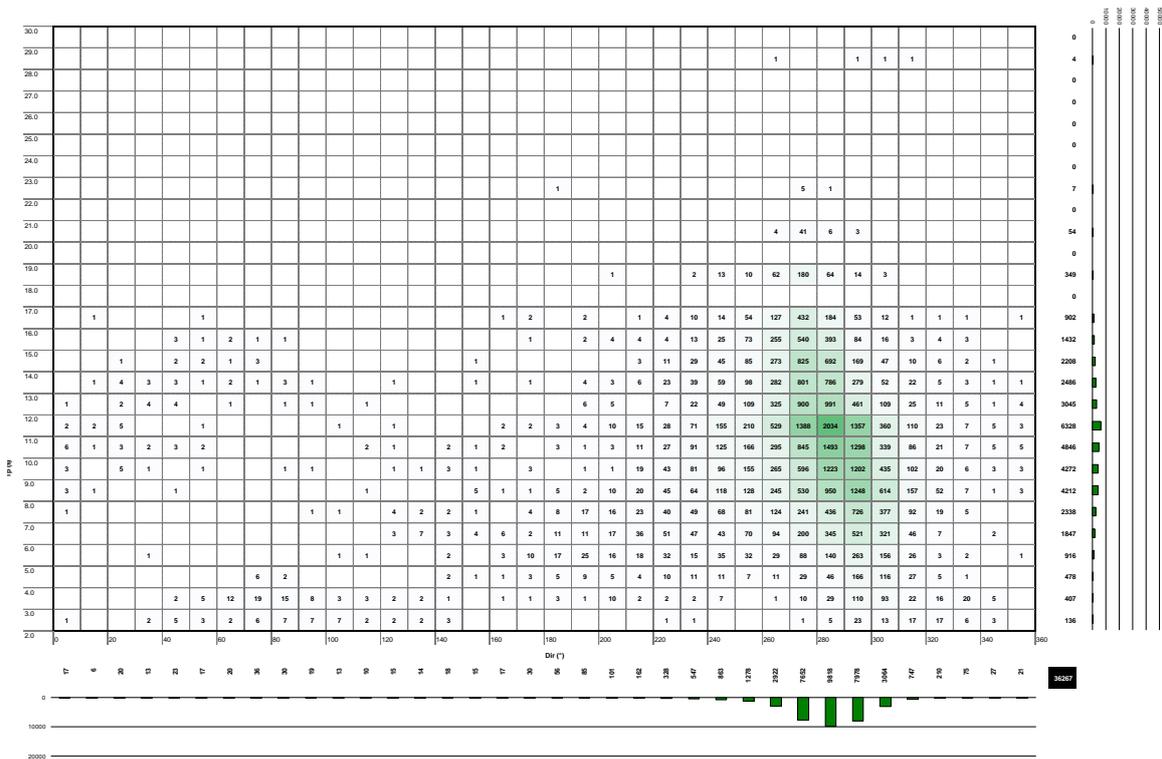


Figura 10 – Histograma TP-Dir.

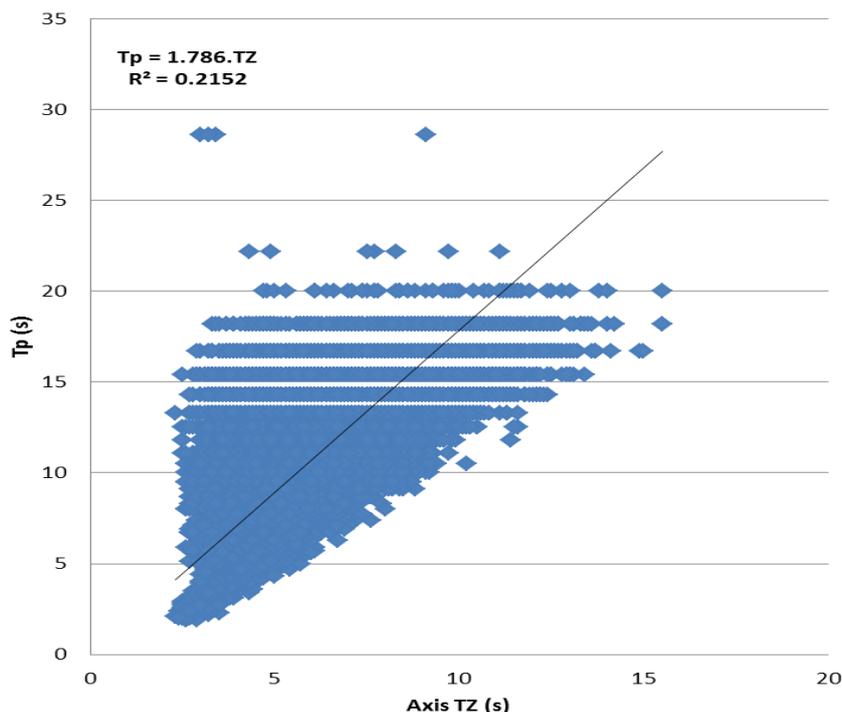


Figura 11 – Relação entre TP e TZ.

Das figuras anteriores verifica-se que o regime observado no local da boia é caracterizado por:

- alturas de onda HS entre 0.27 m e 6.19 m, sendo a média de 1.22 m e a gama mais frequente entre 0.5 m e 1.5 m;
- períodos médios de onda, TZ, de 2.3 s a 15.5 s, sendo a média igual a 5.7 s e a gama com maior frequência entre 5 s e 7 s;
- direções de onda entre 0° e 360°, ocorrendo, porém, maioritariamente numa gama razoavelmente extensa, entre 240° e 320°. Neste ponto há ainda uma gama entre 0° e 100° que, apesar de registar poucas ocorrências, apresenta elevados períodos de pico;
- para os dados considerados, não parece existir qualquer relação entre TZ e TP.

3.3. Estudo do *run-up*/galgamento

3.3.1. Metodologia

Para a zona de praia de São João da Caparica e, mais concretamente, para o perfil de praia sem estrutura aderente, o *run-up* foi estimado através da aplicação das fórmulas apresentadas na Tabela 1.

Assim, para cada condição de agitação marítima (altura, período e direção de onda) do regime de agitação marítima ao largo (i.e., na boia-ondógrafo), em conjunto com as características do perfil da praia, são aplicadas as fórmulas mencionadas anteriormente e obtêm-se as estimativas dos valores de *run-up*, por exemplo, o *run-up* excedido apenas por 1% de todos os *run-up*, $R_{1\%}$, considerado neste trabalho como uma boa estimativa de $R_{máx}$.

Para o cálculo da cota máxima de inundação, dada pela eq. (17), foram consideradas as medições do marégrafo de Cascais (que já incluem a componente da maré astronómica e a sobrelevação meteorológica) e os valores de $R_{1\%}$. Esta cota máxima de inundação servirá posteriormente para a análise do risco de inundação.

Na zona de praia em que existe uma estrutura aderente de defesa costeira, foi estimado o caudal médio de galgamento mediante aplicação das fórmulas empíricas de Mase *et al.* (2013), obtidas com base em ensaios em modelo físico. De igual forma, foram considerados na aplicação destas fórmulas o regime de agitação marítima na boia-ondógrafo e as características do perfil de praia e da estrutura aderente.

O valor do ângulo do perfil de praia introduzido nos cálculos de *run-up* e de galgamento foi de 3.6°. Note-se que as características deste perfil de praia foram consideradas constantes ao longo de todo o período de estudo (5 anos), o que é, sem dúvida, uma grande simplificação, uma vez que até se verificam alterações significativas do perfil de praia de São João da Caparica entre verão e inverno. No entanto, esta simplificação foi considerada neste trabalho só para exemplificação da aplicação da metodologia de avaliação do risco.

3.3.2. Resultados para o perfil de praia sem estrutura aderente

Na Figura 12 e na Figura 13 são apresentados alguns dos resultados obtidos para as cotas máximas de inundação, C.I. Os restantes resultados podem ser consultados em Neves (2013).

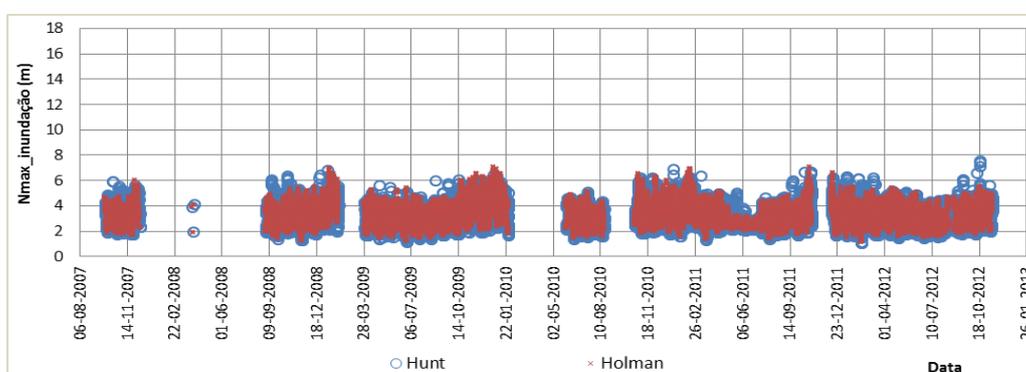


Figura 12 - Séries temporais da cota máxima de inundação utilizando as metodologias de Hunt (1959) e Holman (1986) para o cálculo do *run-up*.

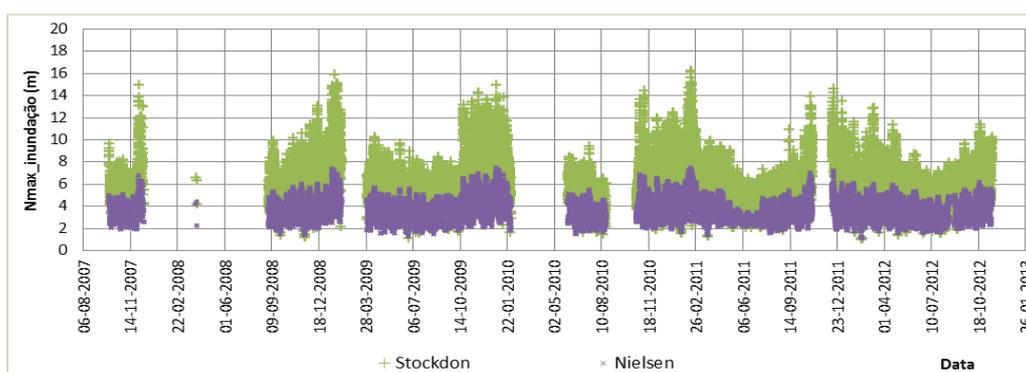


Figura 13 - Séries temporais da cota máxima de inundação utilizando as metodologias de Stockdon *et al.* (2006) e Nielsen & Hanslow (1991) para o cálculo do *run-up*.

Na Tabela 11 é possível comparar os resultados das diferentes metodologias com base nos valores mínimos, máximos e médios das cotas máximas de inundação.

Tabela 11 - Valores mínimos, máximos e médios (m) das cotas máximas de inundação calculados com diferentes metodologias utilizando os dados medidos pela boia-ondógrafo.

Autores	Mínimo	Máximo	Média
Hunt (1959)	0.986	7.543	3.221
Holman (1986)	1.121	7.073	3.342
Nielsen & Hanslow (1991)	1.048	7.359	3.512
Stockdon <i>et al.</i> (2006)	0.935	16.107	6.003
Teixeira (2009)	1.836	8.972	3.857
	0.995	6.527	3.235
Ruggiero <i>et al.</i> (2001)	0.957	6.787	3.307
Guza & Thornton (1982)	1.366	10.133	3.642

Com base na análise das figuras e da tabela anteriores, verifica-se que os resultados das cotas máximas de inundação são, em geral, bastante próximos, apresentando entre eles diferenças pouco significativas, exceto os obtidos pela metodologia de Stockdon *et al.* (2006). Com base nesta constatação, optou-se por não se considerar esta formulação no passo seguinte do presente trabalho, que é a avaliação do risco.

Na Figura 14 encontram-se representados os valores da média das cotas máximas de inundação de todos os autores, exceto Stockdon *et al.* (2006), ao longo do período de estudo. Da análise da Figura 14, verifica-se que os valores médios da cota máxima de inundação variam entre 1.05 m e 7.03 m. A média obtida é de 3.35 m.

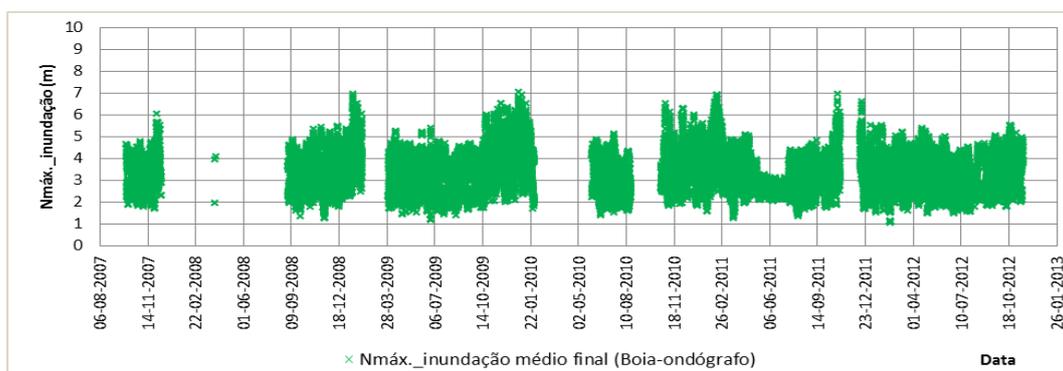


Figura 14 - Série temporal da média da cota máxima de inundação obtida pelos diferentes autores (exceto Stockdon *et al.*, 2006)

3.3.3. Resultados para o perfil de praia com estrutura aderente

Com a aplicação da metodologia de Mase *et al.* (2013) obtiveram-se os resultados relativamente a cada $R_{máx}$ da estrutura aderente e o respetivo caudal médio galgado. Na Figura 15 apresentam-se os resultados para $R_{máx(37\%,100)}$ e $R_{máx(99\%,100)}$ obtidos com base nas características da agitação marítima medidas na boia-ondógrafo. Na Figura 16 apresentam-se as séries temporais dos caudais médios galgados por metro linear de estrutura correspondentes a $R_{máx(37\%,100)}$ e a $R_{máx(99\%,100)}$.

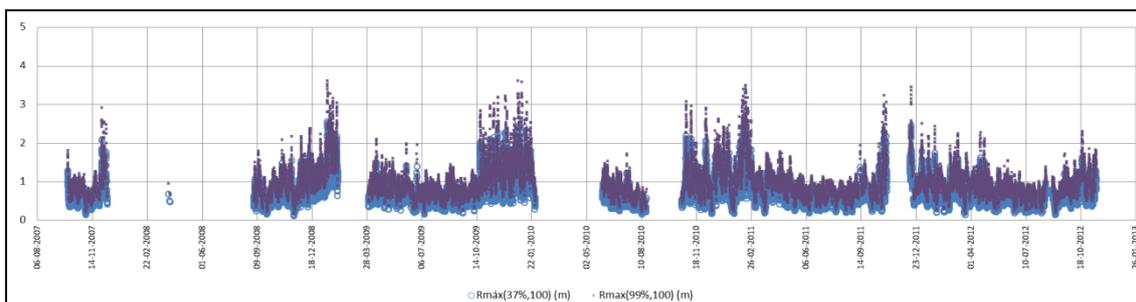


Figura 15 - Séries temporais dos valores de $R_{máx}(37\%,100)$ e $R_{máx}(99\%,100)$.

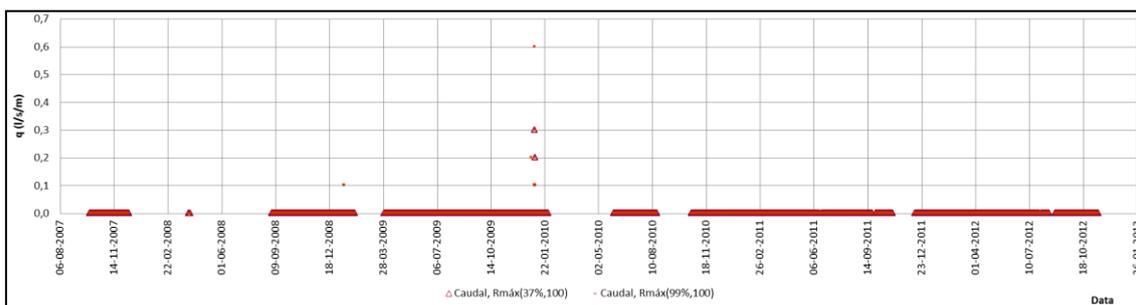


Figura 16 - Séries temporais dos caudais médios galgados por metro linear da estrutura correspondentes a $R_{máx}(37\%,100)$ e a $R_{máx}(99\%,100)$.

A Tabela 12 apresenta os valores de caudal médio galgado por metro linear da estrutura em termos de valores mínimos, máximos e médios. Relativamente aos caudais médios galgados, apresentados na Figura 16 e na Tabela 12, verificam-se valores bastante baixos para o período de 2007 a 2012.

Tabela 12 - Valores do caudal médio galgado por metro linear da estrutura: mínimos, máximos e médios.

Caudal médio galgado por metro linear de estrutura (l/s/m)					
Mínimo		Máximo		Média	
$R_{máx}(37\%,100)$	$R_{máx}(99\%,100)$	$R_{máx}(37\%,100)$	$R_{máx}(99\%,100)$	$R_{máx}(37\%,100)$	$R_{máx}(99\%,100)$
0.00E+00	0.00E+00	3.00E-01	6.00E-01	1.70E-05	7.82E-05

3.4. Avaliação do risco de inundação/galgamento

Para a avaliação do risco de inundação na praia em estudo, é necessário:

- Definir a cota máxima de inundação da praia;
- Determinar a probabilidade de ocorrência de inundação com base na definição da cota máxima de inundação mencionada no ponto acima e classificar essa probabilidade atendendo aos graus definidos na tabela de probabilidades de ocorrência, Tabela 3;
- Analisar as consequências de ocorrência de inundação e definir o grau de consequências, Tabela 7;
- Multiplicar o valor do grau de probabilidade de ocorrência pelo valor do grau de consequências para obter o grau de risco de ocorrência de inundações não admissíveis nessa zona da praia, Tabela 8.

Para a avaliação do risco de galgamento na estrutura aderente do local de estudo, haverá que:

- Definir os limites admissíveis para o caudal médio galgado por unidade de comprimento do coroamento, considerando o perfil transversal da estrutura e a utilização da zona protegida pela estrutura;
- Determinar a probabilidade de ocorrência de galgamentos não admissíveis, com base na resposta da estrutura à agitação incidente e nos limites mencionados no ponto acima, e classificar essa probabilidade atendendo aos graus definidos na tabela de probabilidades de ocorrência, Tabela 3;
- Analisar as consequências de ocorrência de galgamentos e definir o grau de consequências, Tabela 7;
- Multiplicar o valor do grau de probabilidade de ocorrência pelo valor do grau de consequências para obter o grau de risco de ocorrência de galgamentos não admissíveis, Tabela 8.

Seja num caso ou no outro, primeiramente haverá que estabelecer os valores da cota máxima da praia e os valores-limite do caudal médio galgado por metro linear da estrutura referidos anteriormente.

Para esse efeito, considera-se que para a zona de praia sem estrutura aderente, o perfil representativo desta contém uma cota máxima de 5.1 m (ZH), ou seja, acima desta cota ocorre galgamento do cordão dunar e inundação da zona protegida.

No caso da zona de praia com estrutura aderente são impostos os seguintes limites, de acordo com o tipo de estrutura em causa e a natureza das atividades e das infraestruturas existentes:

- A estrutura de defesa costeira apresenta uma geometria que se enquadra numa estrutura de defesa com talude no tardo, sem danos no coroamento e no tardo caso estes se encontrem bem protegidos (50-200 l/s/m), Tabela 4;
- Relativamente às pessoas, devido ao parque de campismo localizado imediatamente atrás da estrutura, a zona em estudo enquadra-se na condição de que as pessoas estão totalmente desprevenidas, que não conseguem observar a agitação incidente, que podem facilmente ficar assustadas ou perturbadas, com vestuário inadequado para se molharem (0.03 l/s/m), Tabela 5;
- Danos nos edifícios (infraestruturas do parque, receções e balneários) dentro do parque de campismo localizado atrás da estrutura de defesa costeira (1 l/s/m), Tabela 6;
- Danos em equipamentos localizados a 5-10 m da estrutura (0.4 l/s/m), Tabela 6.

Perante os valores limites adotados para a cota máxima de inundação e para o caudal médio galgado por metro linear de estrutura, obtêm-se para a praia sem e com estrutura de proteção aderente as probabilidades de ocorrência de valores que excedam os limites pré-estabelecidos.

No caso da praia sem estrutura de proteção aderente, para a cota máxima admitida de 5.1 m (ZH) a probabilidade de ocorrência de acontecimentos com risco de inundação é de 3%. Pela consulta da tabela de probabilidades (Tabela 3) este valor encontra-se num intervalo de 1-10%, ou seja, assumem um grau de probabilidade de ocorrência de 2, correspondente a um acontecimento raro.

No caso da praia com estrutura de proteção aderente, a Tabela 13 apresenta as probabilidades de ocorrência de galgamentos.

Tabela 13 - Probabilidade de ocorrência (em %) de eventos de galgamento.

	Estrutura	Pessoas	Edifícios	Equipamentos
$R_{m\acute{a}x(37\%,100)}$	0.00	0.01	0.00	0.00
$R_{m\acute{a}x(99\%,100)}$	0.00	0.05	0.00	0.00

Na Tabela 13 verifica-se que os valores da probabilidade de ocorrência com base no $R_{\max(37\%,100)}$ e no $R_{\max(99\%,100)}$ são próximos e praticamente nulos, sendo que todas as categorias estudadas se encontram dentro do intervalo 0-1%, correspondente ao grau 1, referente a um acontecimento improvável.

Definido o grau associado à probabilidade de ocorrência, segue-se a determinação do grau de consequências associadas a essas ocorrências. Para a definição do grau de consequências adotou-se a Tabela 7. No presente trabalho, o grau de consequências considerado adequado ao local de estudo é o grau 10, uma vez que se trata de um local com ocupação humana permanente, com estruturas para atividades económicas muito relevantes e permanentes (bares, restaurantes e parque de campismo), como se pode verificar na Figura 17, e ainda por se tratar de um local pouco estável devido ao desaparecimento da restinga (Cova do Vapor-Bugio) e do conseqüente emagrecimento da praia, que possui um cordão dunar pequeno e frágil. Posto isto, as consequências da ocorrência de eventos extremos no local de estudo consideram-se muito sérias.



Figura 17 - Representação das atividades económicas na praia de São João da Caparica, Costa da Caparica, Almada (Google, Julho 2013).

Com a caracterização do grau de probabilidade de ocorrências na praia e na estrutura e do grau de consequências dessas ocorrências, obtém-se o grau de risco através do produto dos dois graus mencionados anteriormente. Desta forma, na Tabela 14 apresentam-se os resultados do grau de risco associado ao local de estudo.

Tabela 14 - Grau de risco para as zonas em estudo

Graus	Praia sem estrutura aderente	Praia com estrutura aderente			
		Estrutura	Pessoas	Edifícios	Equipamentos
Grau de probabilidade de ocorrência	2	1	1	1	1
Grau de consequências	10	10	10	10	10
Grau de risco	20	10	10	10	10
Aceitabilidade	Indesejável	Reduzido	Reduzido	Reduzido	Reduzido

A Tabela 14 mostra que a zona da praia sem estrutura de proteção aderente apresenta um grau de risco indesejável, pelo que deve ser tomado um conjunto de medidas para que o mesmo seja minorado, caso seja razoável do ponto de vista pratico, i.e., deve ser efetuada uma investigação detalhada, incluindo análises de custo-benefício de modo a analisar a

viabilidade de medidas mitigadoras. É, de qualquer modo, fundamental proceder à monitorização da zona em estudo. No que diz respeito à zona de praia com estrutura de proteção aderente, o risco é reduzido, pelo que o mesmo é considerado tolerável desde que se selecione um conjunto de medidas para o seu controlo.

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como principal objetivo a apresentação e aplicação da metodologia de avaliação do risco associado à ocorrência de inundação/galgamento na praia de São João da Caparica, Costa da Caparica, Almada. Atendendo às características da praia, estudaram-se duas situações: a zona da praia sem e com uma estrutura de defesa costeira aderente.

Assim, foi caracterizado o regime de agitação marítima com base nos dados medidos *in situ* por uma boia-ondógrafo posicionada a oeste do Bugio. O período de dados escolhido foi de 2007 a 2012. Com base nesse regime de agitação marítima, procedeu-se ao cálculo do *run-up*/galgamento na praia (sem e com estrutura de proteção aderente) através da aplicação de diferentes fórmulas empíricas, desenvolvidas para praias com diferentes características. O nível máximo de inundação na praia foi calculado considerando o valor de *run-up* com probabilidade de excedência de 1% ($R_{1\%}$) somado ao nível de maré medido no marégrafo de Cascais.

Na zona da praia sem a estrutura de proteção aderente, apesar de terem sido utilizadas diferentes fórmulas empíricas, verificou-se que as diferenças nos valores de nível máximo de inundação não eram relevantes. Para o período considerado, os valores médios da cota máxima de inundação variam entre 1.05 m e 7.03 m, sendo a média de 3.35 m. Na zona da praia com a estrutura de proteção aderente, os resultados obtidos indicam que os valores dos caudais médios galgados são pequenos (inferiores a 0.6 l/s/m). A partir dos valores admitidos como limites para o nível máximo de inundação e do caudal médio de galgamento, estimou-se a probabilidade de ocorrência de inundação e galgamento no período de estudo para cada zona da praia, atribuiu-se um grau e multiplicou-se pelo grau associado às consequências da ultrapassagem dos valores limites estipulados. O resultado é o grau de risco.

O risco foi avaliado como indesejável para a zona da praia sem a estrutura de proteção aderente, pelo que é essencial a monitorização e a tomada de medidas necessárias para o mesmo ser minorado, caso tal seja razoável em termos práticos. Por conseguinte, será necessária uma investigação detalhada e uma análise de custo-benefício para avaliar a viabilidade dessas medidas mitigadoras do risco. No caso da zona da praia com estrutura de proteção aderente, o risco é reduzido, o que leva a admitir que este é tolerável caso se adotem as medidas mais adequadas para o seu controlo.

É importante salientar que o trabalho aqui apresentado teve como principal objetivo ilustrar a aplicação da metodologia de avaliação de risco de inundação/galgamento na praia de São João da Caparica e não estabelecer o risco associado a esta praia. Por isso, as anteriores conclusões devem ser vistas com bastantes reservas, dadas as hipóteses consideradas neste trabalho: a) o período temporal analisado foi muito curto, de apenas 5 anos; b) o conjunto de dados de agitação marítima com que se efetuou o regime de agitação marítima caracteriza-se por um número significativo de falhas de medição, sendo estas por vezes bastante extensas (dias e mesmo meses sem dados); c) o cálculo do *run-up*/galgamento baseia-se na utilização de dois perfis de praia que não traduzem a variabilidade espacial e temporal (anual, sazonal, ou mesmo mensal) da praia em questão, bem como no uso de fórmulas empíricas deduzidas para praias com diferentes características da praia em estudo; d) o perfil da estrutura de proteção aderente foi considerado inalterado e em boas condições ao longo do período analisado, o que recentes avaliações feitas ao mesmo mostram que tal não se tem verificado e que em certos locais se encontra seriamente danificado; e) não se teve em conta a variabilidade da direção da onda no cálculo do *run-up*/galgamento; f) a avaliação do grau de consequências foi efetuado de forma global, sem haver um estudo detalhado das consequências em termos ambientais, económicos e sociais que caracterizam a praia em estudo.

Como desenvolvimentos futuros sugere-se, ao nível da caracterização da agitação incidente, a aplicação de modelos numéricos com vista à obtenção de dados de agitação marítima para períodos mais longos e sem ocorrência de falhas, para depois determinar o *run-up* e o galgamento e por fim produzir mapas de risco de inundação. Esses modelos devem ter em conta quer a variabilidade espacial e temporal das características da praia, e da sua estrutura aderente (inclinação, material, etc.), quer a variação da direção de onda incidente ao longo da praia. Relativamente à avaliação de risco, sugere-se uma abordagem mais detalhada na descrição das consequências, ou seja, para o local que foi objeto de estudo, deve realizar-se um estudo intensivo de forma a se obter informação mais pormenorizada.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) o financiamento concedido através do projeto HIDRALERTA – Sistema de previsão e alerta de inundações em zonas costeiras e portuárias - referência PTDC/AAC-AMB/120702/2010.

Referências Bibliográficas

- Fortes, C.J.E.M., Reis, M.T. & Neves, P. (2013a). Programa Calcula_Runup_NovasEquações_condiçõeslargo_1.f. Programa de cálculo do run-up e do nível máximo de inundação utilizando várias formulações empíricas. Relatório 01/2013 – HIDRALERTA, LNEC.
- Fortes, C.J.E.M., Reis, M.T. & Neves, P. (2013b). Calcula_Runup_Holman_condicoescosta.f . Programa de cálculo do runup e do nível máximo de inundação utilizando várias formulações empíricas. Relatório 02/2013 – HIDRALERTA, LNEC.
- Fortes, C.J.E.M., Reis, M.T. & Neves, P. (2013c). Calcula_Runup_galgamento_Mase.f . Programa de cálculo do runup e do nível máximo de inundação utilizando várias formulações empírica. Relatório 03/2013 – HIDRALERTA, LNEC.
- Guza, R.T. & Thornton, E.B. (1982). Swash oscillations on a natural beach. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 87 (C1), pp. 483-491.
- Holman, R.A. (1986). Extreme value statistics for wave run-up on a natural beach. In *Coastal Engineering*, Vol. 9, pp. 527-544.
- Hunt, I. A. (1959). Design of seawalls and breakwaters. *Journal of Waterways and Harbours Division*, 85, pp. 123-152.
- Mase, H., Tamada, T., Yasuda, T., Hedges, T.S. & Reis, M.T. (2013). Wave runup and overtopping at seawalls built on land an in very shallow water. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 139(5), pp. 346-357.
- Neves, P. (2013). Avaliação do risco de inundação da zona da Costa da Caparica. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente), Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 120 pp.
- Neves, D.R., Zózimo, A.C., Pinheiro, L.V. & Fortes, C.J.E.M. (2009). GUIOMAR: Geo(graphical) User Interface for cOastal and MARine Modeling. Wave regime at Sines. *Journal of Coastal Research*, SI 56, pp. 1542-1546.
- Neves, D.R., Santos, J.A., Reis, M.T., Fortes, C.J.E.M., Simões, A., Azevedo, E.B. & Rodrigues, M.C. (2012). Metodologia de avaliação do risco associado ao galgamento de estruturas marítimas. Aplicação ao porto e à baía da Praia da Vitória, Açores, Portugal. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 12(3), pp. 291-312.
- Nielsen, P. & Hanslow, D.J. (1991). Wave runup distributions on natural beaches. *Journal of Coastal Research*, Vol. 7, No. 4, pp. 1139-1152.
- Pullen, T., Allsop, N.W., Bruce, T., Kortenhaus, A., Schüttrumpf, H. & Van der Meer, J. (2007). *EurOtop. Wave overtopping of sea defences and related structures: Assessment Manual*.

- Raposeiro, P.D. & Ferreira, J.C. (2011). Evaluation of coastal flood risk areas and adaption strategies for a sustainable planning. *Journal of Coastal Research*, SI 64, pp. 1896-1900.
- Raposeiro, P.D., Fortes, C.J.E.M., Capitão, R., Reis, M.T., Ferreira, J.C., Pereira, M.T. & Guerreiro, J. (2013). Preliminary phases of the Hidralerta System: Assessment of the flood levels at São João da Caparica beach, Portugal. *Journal of Coastal Research*, No. 65, pp. 808-813.
- Reis, M.T., Fortes, C.J.E.M., Santos, J.A., Neves, D. & Vieira, A.S. (2011). Previsão dos galgamentos na baía da Praia da Vitória para avaliação de risco e alerta. VI Congresso Sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, 4 a 8 de abril, Ilha da Boa Vista, Cabo Verde.
- Rocha, T. (2012). Avaliação do Galgamento de Estruturas Portuárias: Aplicação ao Porto da Praia da Vitória, Açores. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 100 pp.
- Ruggiero, P., Komar, P.D., McDougal, W.G., Marra, J.J. & Beach, R.A. (2001). Wave runup, extreme water levels and the erosion of properties backing beaches. *Journal of Coastal Research*, 17, 407-419.
- Sancho, F., Oliveira, F.S.B. & Freire, P. (2011). Níveis máximos do espraiamento no litoral da Ria Formosa. 7as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Porto, 6 e 7 de Outubro, pp. 12.
- Santos, J.A., Rodrigues, S., Pinheiro, L.P., Fortes, C.J.E.M., Simões, A., & Azevedo, E.B. (2010). Influência do vento local na transferência da agitação marítima para o porto de Praia da Vitória. 10º Congresso da Água - Marcas d'Água, APRH, 22 a 24 de março, Alvor, Algarve.
- Saville, J.T. (1958). Run-up on composite slopes. Proc. 6th Int. Conf. Coastal Eng. Gainesville, Florida, ASCE, pp. 691-699.
- Silva, D.M.F., Fortes, C.J.E.M., Reis, T.M., Antunes do Carmo, J.S., Simões, A. & Rodrigues, C. (2012). Avaliação do galgamento de estruturas portuárias: Porto de Ponta Delgada. *Revista Recursos Hídricos*, 33(2), 37-51, doi:10.5894/rh33n2-3.
- Stockdon, H.F., Holman, R.A., Howd, P.A. & Sallenger Jr., A.H. (2006). Empirical parameterization of setup, swash, and runup. *Coastal Engineering*, 53(7), 573-588.
- Teixeira, S.B. (2009). Demarcação do leito e da margem das águas do mar no litoral sul do Algarve. Administração da Região Hidrográfica do Algarve, Faro, pp. 207.