

## Estudo de avaliação da inundação costeira devido à subida do nível do mar e a níveis extremos de maré

Carlos ANTUNES\*<sup>1</sup>, Carolina ROCHA<sup>2</sup> e Cristina CATITA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

<sup>2</sup> Instituto Dom Luiz, FCUL – Universidade de Lisboa

(cmantunes@fc.ul.pt; carolina.silrocha@gmail.com; cmcatita@fc.ul.pt)

**Palavras-chave:** Subida do nível do Mar, Inundação costeira, Sobrelevação meteorológica, Nível extremo de maré

**Resumo:** Uma das consequências das alterações climáticas que já se está a verificar e que irá intensificar-se no futuro com fortes consequências para as populações costeiras é a subida do nível do mar. Por imposição da Directiva Europeia das cheias, é necessário que todos os países europeus façam uma avaliação dos riscos de inundação costeira devido à subida do nível do mar e às consequentes inundações e galgamentos associados a eventos extremos e, que produzam a respectiva cartografia de risco. O trabalho apresentado resulta de um estudo de avaliação de inundação costeira do território continental nacional, com vista à elaboração de cartografia de risco de inundação costeira para cenários futuros de subida do nível do mar, como consequência das alterações climáticas. São apresentadas as metodologias de determinação dos níveis probabilísticos de inundação, condicionados à estimativa central de uma projecção de perigosidade intermédia de subida do nível médio do mar, quer para as zonas costeiras quer para as zonas de águas interiores e estuarinas.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Os autores escrevem, por opção pessoal, de acordo com a antiga ortografia.

## 1. Introdução

A subida do nível do mar (SNM) é uma das consequências do aquecimento global que se tem vindo a verificar desde o período pré-industrial, com um aumento da anomalia de temperatura média global na ordem de 1 °C. O valor atual de cerca de 20 cm de subida do nível médio do mar (NMM) desde os finais do século XIX, quer a nível global quer a nível regional, para Portugal Continental, está em linha com uma resposta lenta e progressiva de SNM. Por um lado, isto deve-se à expansão térmica dos oceanos, e por outro, embora em menor dimensão, ao aumento de massa oceânica resultante da fusão dos glaciares continentais e do degelo das calotes polares da Gronelândia e da Antártica. Contudo, os dados mais recentes, da missão de satélites GRACE e da rede de flutuadores ARGO, indicam que desde o início deste século a componente de aumento de massa supera já a da expansão térmica (Sweet *et al.*, 2017).

Devido à conhecida inércia dos oceanos, de resposta lenta e demorada, a SNM ir-se-á prolongar muito para lá do final do século XXI, dependendo a respectiva evolução da taxa da amplitude e extensão do aquecimento global do planeta, bem como, da resposta de amplificação de sistemas internos associados à física do clima. Mesmo que o aquecimento global terminasse no curto prazo, o oceano continuaria a subir devido à resposta lenta de aquecimento do oceano profundo e à dinâmica de degelo dos sistemas de glaciares, quer continentais quer da Gronelândia e da Antártica.

A elevada exposição da população mundial nas zonas costeiras, cerca de 10 a 12%, bem como, a elevada importância de um grande número de infraestruturas logísticas de apoio ao transporte marítimo, de infraestruturas de elevada importância económica, como seja, no sector de turismo, e de um elevado número de agregados habitacionais na costa e nas zonas ribeirinhas de águas interiores (estuários, deltas e rias), torna o tema de avaliação e estudo do impacto da SNM, no contexto das alterações climáticas, actual e de elevada importância com forte impacto socioeconómico num futuro não muito longínquo.

Através da DIRECTIVA 2007/60/CE, a União Europeia impõe aos estados membros a elaboração de estudos de avaliação da vulnerabilidade a cheias, ribeirinhas, urbanas e costeiras, e a elaboração de cartografia de risco das zonas identificadas como vulneráveis a essas ameaças face à evolução espectável das alterações climáticas.

No âmbito dos requisitos desta Directiva, os autores têm desenvolvido trabalho na elaboração de cartografia de inundação costeira que permita avaliar a perigosidade da subida do NMM em combinação com valores extremos de forçamento costeiro, resultantes da conjugação dos diferentes factores que causam situações de galgamento costeiro e inundação extrema. Esta avaliação da perigosidade de inundação em situação extrema para a costa de Portugal Continental é crucial para a elaboração das respectivas cartas de vulnerabilidade e de risco costeiro (Rocha, 2016; Costa, 2017; Rocha *et al.*, 2018).

O conhecimento de modelos de maré dos portos da costa portuguesa, bem como, o conhecimento do regime de sobrelevação meteorológica e a avaliação da SNM para horizontes temporais futuros, de 2050 e 2100, permitiu uma acoplação de modelos que através de uma modelação probabilística conduziu à elaboração de cartografia de perigosidade de inundação.

A realização do estudo de avaliação de perigosidade de inundação costeira ao longo da costa portuguesa continental possibilitou a avaliação da análise de vulnerabilidade física costeira (Rocha, 2016; Antunes *et al.*, 2017) e de casos de estudo de pormenor para águas interiores dos sistemas estuarinos da Ria de Aveiro, Estuário do Tejo (Costa, 2017) e parte da Ria Formosa. A elaboração destes estudos a nível académico, bem como, de estudos semelhantes e de maior pormenor através de contratos de prestação de serviços permitiu o desenvolvimento de metodologias e algoritmos que conduziram aos produtos finais de cartografia probabilística de inundação costeira extrema, de vulnerabilidade e de risco costeiro.

O trabalho aqui apresentado pretende expor genericamente a metodologia usada na elaboração da cartografia de inundação costeira em situação de forçamento extremo do nível máximo de maré e galgamento costeiro, bem como, apresentar uma parte dos resultados dos casos de estudo desenvolvidos.

## 2. Metodologia de determinação de cenários de inundação costeira

### 2.1 Cenários futuros de NMM

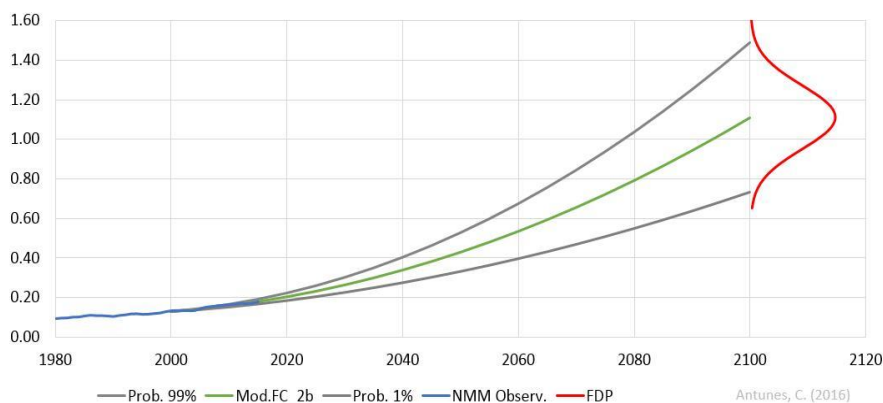
A taxa real de subida do NMM para a costa portuguesa tem sido estimada única e exclusivamente com dados do marégrafo de Cascais (Antunes, 2016), dado não existirem outros marégrafos com dados tão fiáveis, com registos contínuos ao longo do tempo e devidamente processados.

A partir da série de médias mensais dos registos do marégrafo de Cascais, a operar desde 1882, constata-se uma subida do NMM desde 1920 de forma consistente, embora apresentando diferentes taxas de subida ao longo desse período. A validação do estudo e análise de subida do NMM para Cascais é realizada por comparação com modelos de dados regionais e globais, obtidos a partir de dados de satélite ou da rede global de marégrafos, depois de se deduzirem a diferença das taxas de variação correspondentes ao efeito conjunto de movimentos verticais (tectónicos e isostáticos) e de dinâmica regional do oceano.

A avaliação da taxa de subida do NMM mais recente, de 4.1 mm/ano, é realizada por análise da série de médias diárias dos últimos 11 anos (Antunes, 2016). Os valores de taxa de subida do NMM estimados apresentam uma grande correlação com os valores da série do NMM global e da região Este do Atlântico Norte, medidos através do método de altimetria por satélite, da série dos satélites Topex/Poseidon mais Jason 1 e 2. Esta forte correlação deve-se à baixa taxa de velocidade vertical da região, devido aos efeitos combinados de soerguimento tectónico (*uplift*) e ajustamento isostático pós-glacial, na ordem dos +0.2 mm/ano, obtido por comparação com modelos globais e regionais de variação do NMM, bem como, devido à reduzida dinâmica regional do oceano.

Os modelos de subida do NMM obtidos globalmente, quer através de observação de altimetria por satélite, quer através da rede global de marégrafos, devem ser ajustados localmente de modo a considerar os seguintes fatores: a) variações de longo período da maré terrestre; b) variações do campo gravítico e de rotação da Terra; c) velocidades verticais da superfície terrestre devido a efeitos tectónicos, ao ajustamento isostático glacial, a cargas superficiais, a movimentos de subsidência e deslocamentos de compactação e de dinâmica sedimentar; d) variabilidade de oscilação do sistema oceano-atmosfera; e, e) outros fatores não-climáticos da dinâmica dos oceanos. Conhecendo estes efeitos é possível converter e correlacionar as séries de registo do NMM com as séries de variação do NMM global.

Com base nas taxas de subida do NMM da série de dados do marégrafo de Cascais, de 2.1 mm/ano entre 1992 e 2005 e de 4.1 mm/ano entre 2006 e 2016, pode-se deduzir um valor de aceleração e determinar um modelo polinomial de segunda ordem que projecta para o futuro próximo a subida do NMM (Antunes, 2016). A estimativa central deste modelo de NMM, designado de Mod.FC\_2, representa uma projeção de perigosidade intermédia, com valor de  $1.14 \pm 0.15$  m para 2100.



**Figura 1** – Modelo de projeção do NMM relativo, Mod.FC\_2 (modelo 2 da FCUL – Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa), baseado na análise dos dados do marégrafo de Cascais, de 1992 a 2016 (Antunes, 2016)

Este modelo de projeção de subida NMM obtido a partir de Cascais foi assumido e aplicado para toda a costa atlântica de Portugal Continental, na produção de cartografia probabilística de inundações costeiras e consequente avaliação da vulnerabilidade física costeira (Rocha, 2016; Costa, 2017; Antunes *et al.*, 2017; Rocha *et al.*, 2018).

## 2.2 Modelação de máximos de maré

A observação da maré mais longa em Portugal existe apenas para os marégrafos de Cascais e Lagos, da responsabilidade da atual Direção Geral do Território (antigos IGC – Instituto Geográfico Cadastral, IPCC – Instituto Português de Cartografia e Cadastro e IGP – Instituto Geográfico Português). Para o resto do país, com exceção do porto de Leixões, as marés foram

apenas observadas em marégrafos portuários do Instituto Hidrográfico (IH), por períodos curtos de alguns anos a duas dezenas de anos.

Todos os dados de maré, por convenção, são referidos ao referencial vertical usado em Hidrografia, o Zero Hidrográfico (ZH), definido em Portugal para cada área portuária em função da mais baixa das Baixa-mar observada. Para todos os portos maregráficos de Portugal Continental, com excepção de Cascais e Lisboa, o ZH é de 2.00 m relativo ao Datum Altimétrico de Cascais1938. Para Cascais e Lisboa o ZH é de 2.08 m. As alturas de maré devem ser deduzidas destes valores de ZH para se obter a designada elevação da maré, a qual corresponde à cota ou altitude ortométrica da maré relativa ao referencial vertical nacional (cartográfico).

Dado que os máximos de maré (MPAVE) variam periodicamente com intervalos de 4 a 5 anos (períodos quatri-nodais dependentes das variações da órbita da Lua), a maré de referência para este estudo corresponde a uma maré de amplitude máxima, coincidente com anos em que a Lua se encontra mais próxima da Terra (anos de "Lua Gigante" ou "Super Lua"), causando as "marés gigantes", "grandes marés" ou "super marés" (do inglês *king tides*). O ano de grandes marés escolhido foi o de 2010 para o estudo nacional e o de 2015 para os casos de estudo local e regional, por serem anos recentes e de marés equinociais máximas.

De modo a possibilitar um estudo rápido e abrangente foram escolhidos quatro portos maregráficos, de Leixões, Cascais, Sines e Lagos, para representar as marés das regiões Norte, Centro, Sul e Algarve. Devido à excessiva quantidade de dados do Modelo Digital de Terreno (MDT) da faixa costeira (da cobertura costeira de ortofotos de 2008 da IGP), esta divisão permitiu uma simplificação do modelo de dados viabilizando o estudo para toda a extensão da costa, com uma resolução espacial de 20 m.

### 2.3 Sobrelevações meteorológicas

A sobrelevação meteorológica (SM) corresponde à elevação adicional da maré de origem astronómica, como resultado de um forçamento meteorológico resultante do efeito da variação de pressão atmosférica (na proporção de -1 cm/hPa) sobreposto ao efeito persistente de tensão e atrito do vento à superfície do mar, dependendo este da sua direcção e intensidade. A SM é uma perturbação, negativa ou positiva, do nível de maré que pode variar de alguns centímetros a vários metros e pode durar de horas a alguns dias. Em Portugal, de acordo com uma actualização do estudo de Vieira *et al.* (2012), baseando-se na análise das séries de dados dos marégrafos, a SM máxima extrema ao longo da costa atlântica portuguesa tem valores de 50 a 70 cm, podendo atingir máximos entre 80 cm a 1 m para períodos de retorno longos (superiores a 100 anos).

Para avaliar e caracterizar a SM para as quatro regiões foram actualizadas as séries de máximos dos quatro marégrafos utilizados na modelação da maré e foi realizada a análise de máximos através da distribuição de *Gumble* simples (Figura 2). Com essa caracterização foram determinados os máximos de maré correspondente à probabilidade conjunta, de maré máxima e SM extrema, para os períodos de retorno (PR) de 50 e 100 anos.

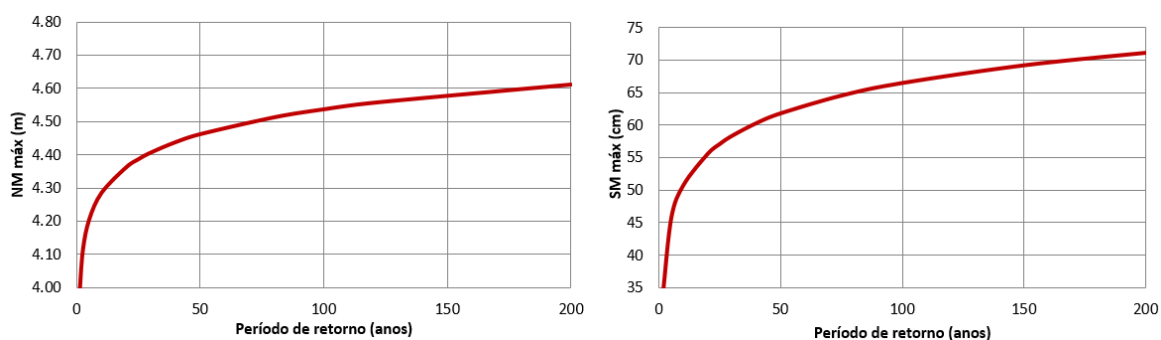


Figura 2 – Curvas de período de retorno para maré máxima observada (esquerda) e sobrelevação meteorológica (direita), do marégrafo de Cascais a partir da série de dados de 1959-2017

### 2.4 Forçamento da agitação marítima

Para além do forçamento da maré e da SM, os extremos do nível do mar são também influenciados pelo efeito de empilhamento (*setup*) resultante quer da agitação marítima costeira na zona de rebentação quer de ventos fortes, este em particular, nas águas



interiores das rias e estuários onde a agitação marítima não se faz sentir. Assim, para estimar valores extremos da superfície livre do mar junto à costa foi considerado o *setup* das ondas na faixa costeira e o *setup* do vento nas águas interiores.

O modelo de *setup* das ondas ( $S_o$ ) seguido foi o modelo apresentado em Antunes (2014), o qual inclui as componentes de *setup* estático ( $\bar{\eta}$ ) e *setup* dinâmico ( $\hat{\eta}$ ):

$$S_o = \bar{\eta} + \hat{\eta} \quad (1)$$

Em que a componente estática é dada por:

$$\bar{\eta} = 0.189H_s \quad (2)$$

sendo  $H_s$  a altura significativa da onda, e a componente dinâmica é definida a partir da combinação do desvio padrão da oscilação do *setup*,  $\sigma_1$ , e do desvio padrão do *runup* de incidência,  $\sigma_2$ :

$$\hat{\eta} = 2.0 \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \quad (3)$$

O efeito completo do forçamento costeiro da agitação marítima corresponde à sobreposição do *runup* de incidência (espraiamento ou espraio) após a arrebentação das ondas. Neste trabalho, devido à impossibilidade de se determinar o perfil de praia ao longo de toda a costa, optou-se apenas por considerar o *setup* sem a adição do efeito de *runup* de incidência.

### 3. Cartografia de Inundação Costeira

#### 3.1 Cenários de extremos do Nível do Mar

Os diferentes cenários de SNM para 2050 e 2100 com diferentes PR de eventos extremos foram calculados com base na informação dos marégrafos de Leixões, Cascais, Sines e Lagos. Assim, foi possível dividir e caracterizar o território em quatro zonas: Norte, Centro, Alentejo e Algarve, respectivamente. Com exceção dos dados do marégrafo de Cascais, os valores para Leixões, Sines e Lagos resultam de séries de dados mais curtas e incompletas com dados entre 1970 e 2010. Os registos de valores extremos de SM foram caracterizados, em termos de frequência e amplitude, através de uma análise de extremos seguindo a metodologia apresentada em Vieira *et al.* (2012). Com esta análise obtiveram-se curvas de PR para cada porto maregráfico.

Considerando os valores de projeção de SNM de Antunes (2016), foram ainda calculados os percentis de submersão de maré para os dois períodos dos cenários em estudo, 2050 e 2100, adicionando-se os valores respectivos de projeção do NMM. Sobre estas curvas de referência das frequências de submersão do nível de maré projetada, foi adicionada a SM para dois PR (50 e 100 anos), a partir das quais foram definidos níveis extremos de inundação com e sem *setup* (4).

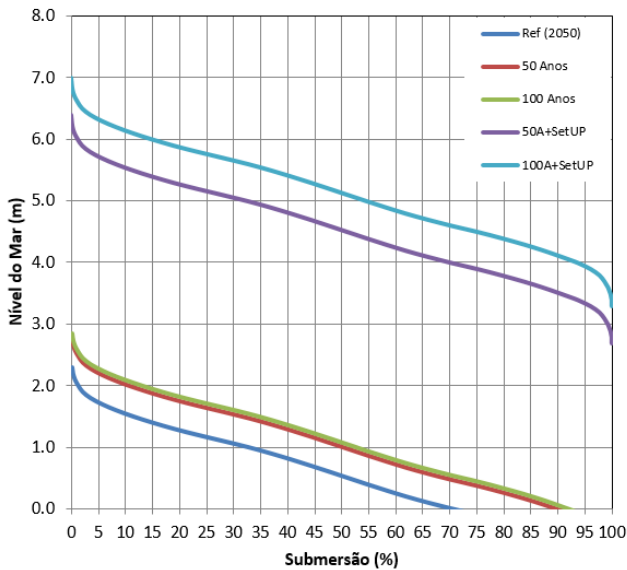
$$\text{Nível Extremo} = \text{Maré} + \text{SM} + \text{SNM} \quad (4)$$

A partir das curvas de percentil de submersão anual resultantes (Figuras 3 e 4) são extraídas as cotas para cada cenário de inundação de níveis extremos, correspondentes ao percentil de 0.25% (preia-mar de águas-vivas equinociais).

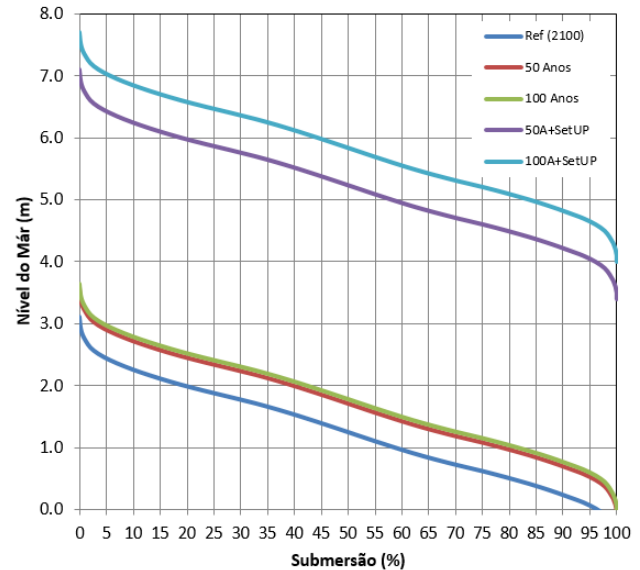
De modo a incorporar os cenários de SNM e a sua incerteza no índice de vulnerabilidade foi calculado, com recurso a um MDT de 20 m de resolução espacial, o nível de inundação em cada ponto, isto é, a altura de coluna de água da zona inundável. Foi definido um índice de perigosidade de inundação (IPI), que varia entre os valores 1 (baixo) a 5 (extremo), o qual é calculado considerando a incerteza dos modelos de frequência de submersão que resultam da estimativa do desvio padrão dos níveis de maré, da SM e da SNM (5).

$$\sigma_{\text{cenário}} = \sqrt{\sigma_{\text{maré}}^2 + \sigma_{\text{SM}}^2 + \sigma_{\text{SNM}}^2} \quad (5)$$

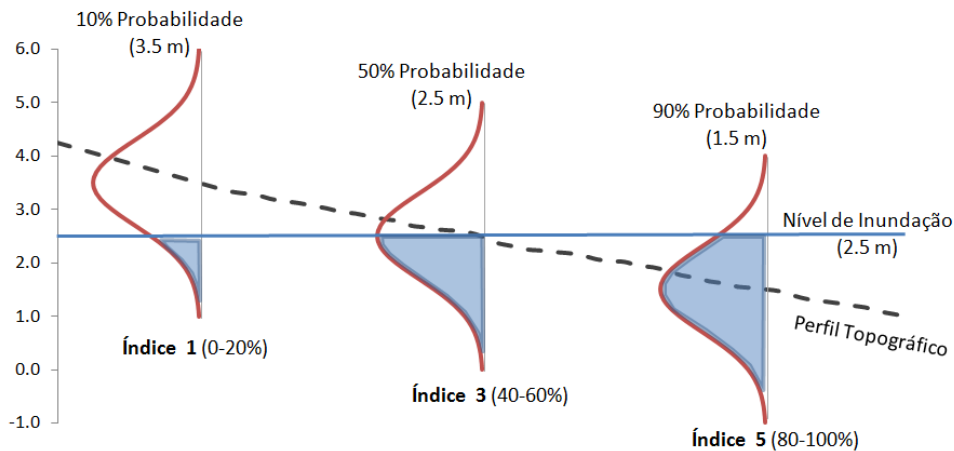
O valor de incerteza de cada cenário depende do ano de projeção, tendo-se obtido valores de desvio padrão para 2050 e 2100 de 12 cm e 40 cm, respectivamente. Com base nas incertezas estimadas por (5) é calculada a curva padrão de distribuição Normal (Figura 5), a partir da qual se determina a probabilidade de inundação para cada cota topográfica da faixa costeira. Dividindo o domínio de probabilidade em cinco níveis obtêm-se os IPI, de 1 (menor probabilidade, de 0.25 a 20%) a 5 (máxima probabilidade, de 80 a 99.75%), relativos ao forçamento costeiro de inundação (Quadro 1).



**Figura 3** – Curvas de percentil de submersão de elevação da maré de Cascais para o NMM de 2050, com efeitos adicionais extremos de SM de 50 e 100 anos de PR e *setup* de agitação



**Figura 4** – Curvas de percentil de submersão de elevação da maré de Cascais para o NMM de 2100, com efeitos adicionais extremos de SM de 50 e 100 anos de PR e *setup* de agitação



**Figura 5** – Método de determinação do Índice de Perigosidade de Inundação, com base no nível de probabilidade condicional estimado nas curvas de densidade de probabilidade de cada modelo de projecção

A Figura 5 mostra a distribuição de probabilidade condicional de inundação centrada no valor de cota de um perfil topográfico genérico, com a qual se determina o nível probabilístico de inundação para as diferentes cotas topográficas em torno do nível determinístico de inundação. Dado que a amplitude probabilística de inundação depende da incerteza dos parâmetros que a determinam, quanto mais precisos forem os dados e os modelos, menos área sobrelevada será classificada com perigosidade. De acordo com a metodologia desenvolvida e suportada pelo método representado na Figura 5, foram determinadas as cotas mínimas e máximas de cada intervalo de probabilidade correspondentes aos cinco níveis de perigosidade de inundação (Quadro 1). Esta classificação foi depois utilizada para a construção dos cenários de inundação, a partir dos quais foi posteriormente construído o modelo de vulnerabilidade física costeira (Rocha, 2016; Rocha *et al.*, 2018).

**Quadro 1** – Intervalos de cotas de inundação de cada nível de IPI e respectiva probabilidade de ocorrência para o cenário de subida do NMM, para 2050 e 2100

Probabilidade de Ocorrência		2050, PR100, M+SM+SNM				2100, PR100, M+SM+SNM			
		Norte e Centro Ref=2.8 m		Alentejo e Algarve Ref=2.7 m		Norte e Centro Ref=3.5 m		Alentejo e Algarve Ref=3.4 m	
		min	máx	min	máx	min	máx	min	máx
1 – Muito Baixo	0.25% a 20%	2.90	3.25	2.80	3.15	3.95	4.85	3.85	4.75
2 – Baixo	20% a 40%	2.80	2.90	2.70	2.80	3.60	3.95	3.50	3.85
3 – Moderado	40% a 60%	2.75	2.80	2.65	2.70	3.35	3.60	3.25	3.50
4 – Alto	60% a 80%	2.65	2.75	2.55	2.65	3.00	3.35	2.90	3.25
5 - Extremo	≥ 80%	0.00	2.65	0.00	2.55	0.00	3.00	0.00	2.90
<b>Incerteza do cenário</b>		<b>12 cm</b>				<b>40 cm</b>			

### 3.2 Cartografia Probabilística de Perigosidade de Inunda o

A Cartografia de Inunda o, tal como a de Vulnerabilidade Costeira,   produzida a partir da tecnologia de Sistemas de Informa o Geográfica (SIG) e apoiada no MDT costeiro de 2 m de resolu o com uma incerteza vertical estimada de 40 cm, disponibilizado pela DGT (Direc o Geral do Território). Dada a elevada dimensão dos dados associados ao MDT, foi necessário, não só dividir toda a faixa costeira continental em quatro zonas, Norte, Centro, Alentejo e Algarve, para serem processadas separadamente, como foi também necessário proceder a uma redu o da resolu o espacial para 20 m. S  assim se tornou possível, dada a limitada capacidade computacional, elaborar a cartografia probabilística de perigosidade de inunda o extrema costeira.



**Figura 6** – Carta probabilística de Inunda o Costeira de Aveiro para o cenário de 2050, com SM de 50 anos de PR e segundo a proje o de SNM dada pelo modelo Mod.FC\_2 de Antunes (2016)



**Figura 7** – Carta probabilística de Inunda o Costeira Extrema para o cenário de 2100, com SM de 100 anos de PR e segundo a proje o de SNM dada pelo modelo Mod.FC\_2 de Antunes (2016)

Para além dos cenários aqui apresentados, de 2050 e 2100, com apenas efeitos extremos de SM de 50 e 100 anos (Figuras 3 e 4), respectivamente, foi também produzida a cartografia de inunda o para um cenário de referência com o NMM de 2025;



bem como, cenários extremos com o efeito adicional de *setup* de agitação marítima, com os níveis extremos de inundação costeira.

#### 4. Conclusões

A elaboração da cartografia probabilística de inundação permitiu não só quantificar a área inundável para cada cenário considerado, como também, através da formulação e classificação do IPI combinado com mais seis parâmetros de susceptibilidade física, elaborar a cartografia de vulnerabilidade costeira (Rocha *et al.*, 2018). Considerando a projeção Mod.FC\_2 de SNM para 2050 com SM de 50 anos de PR, foi quantificada uma área total de 903 Km<sup>2</sup> da orla costeira potencialmente afectada com inundação extrema; sendo os distritos de Lisboa, Faro e Aveiro os mais afectados, respectivamente com 221, 182 e 172 Km<sup>2</sup> de área inundável. Já para 2100, esses valores sobem para 1146 Km<sup>2</sup> de área total e, respectivamente, 250, 211 e 219 Km<sup>2</sup>.

A metodologia desenvolvida possibilita a elaboração de cartografia probabilística de inundação costeira para qualquer projeção de NMM, qualquer acoplação de modelo de forçamento costeiro e qualquer resolução espacial de MDT, desde que sejam fornecidos ou estimados as respectivas incertezas dos parâmetros associados.

Após o estudo de avaliação de vulnerabilidade da costa continental portuguesa em toda a sua extensão com base na cartografia de perigosidade de inundação extrema aqui apresentada, foram também realizados estudos de avaliação de pormenor, com resoluções espaciais de 1 e 2 m, para as regiões de maior área de vulnerabilidade. Estas áreas correspondem a águas interiores, nomeadamente, o estuário do Tejo e as Rias de Aveiro e Formosa, onde a elevada exposição, de população e de infraestruturas, torna essas zonas em áreas de elevada vulnerabilidade.

Como é sabido e amplamente estudado, as zonas costeiras de praia apresentam elevado risco de erosão devido ao défice sedimentar e às alterações do regime de agitação marítima conjugadas com a subida do NMM, mas apesar da sua importância económica e estratégica, são zonas onde a perigosidade de SNM pouco contribui para a vulnerabilidade devido à baixa exposição da população e de infraestruturas, ao contrário do que se verifica para as águas interiores onde esta é muito mais elevada, com níveis consideráveis (Rocha *et al.*, 2018).

#### Referências Bibliográficas

- Antunes, C. (2014). Eventos Extremos e a variação do Nível do mar. Atas das 3.<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Instituto Hidrográfico, Lisboa 24-26 de Junho, Págs. 33-36.
- Antunes, C. (2016). Subida do Nível Médio do Mar em Cascais, revisão da taxa atual. Atas das 4.<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Instituto Hidrográfico, 2016. ISBN - 978-989-705-097-8.
- Antunes, C.; Rocha, C.; Catita, C. (2017). Cartografia de Inundação e Vulnerabilidade Costeira. Portal Smart Campus, FCUL, <http://smart.campus.ciencias.ulisboa.pt>, consultado em Julho de 2018.
- Costa, M. (2017). Desenvolvimento de uma metodologia de avaliação de risco costeiro face aos cenários de alterações climáticas: aplicação ao Estuário do Tejo e à Ria de Aveiro. Tese de Mestrado, FCUL, <http://hdl.handle.net/10451/31432>.
- Diretiva 2007/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Outubro de 2007. Jornal Oficial da União Europeia L 288, Págs. 27-34.
- Rocha, C.; Antunes, C.; Catita, C. (2018). Estudo da vulnerabilidade costeira à subida do nível médio do mar para Portugal Continental como consequência das alterações climáticas. Actas das 5.<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Instituto Hidrográfico, 2018. ISBN - 978-989-705-128-9.
- Rocha, C. (2016). Estudo e análise da vulnerabilidade costeira face a Cenários de subida do Nível Médio do mar e Eventos Extremos devido ao efeito das Alterações Climáticas. Tese de Mestrado, FCUL, <http://repositorio.ul.pt/handle/10451/26321>.
- Sweet, W.V.; Kopp, R.E.; Weaver, C.P.; Obeysekera, J.; Horton, R.M.; Thieler, E.R.; Zervas, C. (2017). Global and Regional Sea Level Rise Scenarios for the United States. NOAA Technical Report NOS CO-OPS 083, Silver Spring, Maryland, January 2017.
- Vieira, R.; Antunes, C.; Taborda, R. (2012). Caracterização da sobreelevação meteorológica em Cascais nos últimos 50 anos. Actas das 2as Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Instituto Hidrográfico, Lisboa 20-22 de Junho, Págs. 175-178.