INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DO NÍVEL MÉDIO DAS ÁGUAS DO MAR NO ESTUÁRIO DO RIO MONDEGO, PORTUGAL

INFLUENCE OF THE SEA LEVEL RISE ON THE RIVER MONDEGO ESTUARY, PORTUGAL

L. I. V. Santos
Estudante de doutoramento em Engenharia do Ambiente /// Universidade de Coimbra /// lara@student.dec.uc.pt

J. S. Antunes do Carmo
Professor associado com agregação /// Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra ///
3030-788 Coimbra, Portugal /// jsacarmo@dec.uc.pt

J. L. S. Pinho
Professor auxiliar /// Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho /// jpinho@civil.uminho.pt

RESUMO: O estuário do rio Mondego, localizado na costa ocidental da região centro de Portugal, apresenta inúmeros ecossistemas de elevada produtividade biológica, que se encontram fortemente dependentes do equilíbrio gerado entre a dinâmica do mar e o caudal fluvial. Como tal, é uma área particularmente sensível, muito vulnerável a eventuais efeitos negativos decorrentes de alterações climáticas. Tais efeitos, que são previstos em muitos estudos amplamente divulgados, conduzirão provavelmente a uma subida do nível médio das águas do mar e à ocorrência de situações de tempestades cada vez mais frequentes e intensas. Segundo vários estudos, até ao final do século 21, a subida do nível médio das águas do mar nunca deverá ser inferior a 50 centímetros, podendo ultrapassar um metro.
Este artigo apresenta os resultados de simulações hidrodinâmicas (2DH) de parte do estuário do rio Mondego tendo por base cenários climáticos, com o objectivo de caracterizar os fenómenos de inundação decorrentes da subida do nível médio da água do mar e ocorrência de cheias. Pretende-se desta forma contribuir para a reflexão sobre as medidas de adaptação necessárias e seleção de estratégias de gestão e planeamento deste sistema natural.

Palavras-chave: Alterações climáticas, tempestades, elevação do nível do mar, modelação numérica, estuário do rio Mondego.

ABSTRACT: The river Mondego estuary, located on the central west coast of Portugal, presents many ecosystems of high biological productivity, which are heavily dependent on the balance created between the dynamics of sea and the river flow. It is a particularly sensitive area, which will probably be affected by the negative effects of climate change. Such effects, which are provided in many widely publicized studies, will likely lead to a global sea level rise and increasingly frequent and intense storm situations. According to several well known studies, by the end of the 21st century, the global mean sea level rise should never be less than 0.50 m and may exceed one meter.
This paper presents results of hydrodynamic simulations (2DH) on the Mondego River estuary based on climate scenarios, with the aim of characterizing the flooding phenomena due to sea level rise and storm occurrences. This work intends to contribute for the study of adaptation measures and the selection of proper management and planning strategies within this natural water system.

Keywords: Climate change, storms, sea-level rise, numerical modeling, river Mondego estuary.

1. INTRODUÇÃO. OBJETIVO DO ESTUDO

Portugal possui uma extensa zona costeira de elevada diversidade geomorfológica dominada por praias e arribas, contendo muitas zonas húmidas como estuários e lagoas costeiras. Esta faixa de território encontra-se constantemente influenciada (direta ou indiretamente) pela ação do mar, tornando-se uma área bastante frágil e sensível, sendo a sua importância amplamente reconhecida, tanto em termos ambientais e económicos, como também no suporte de paisagens e ecossistemas altamente diversificados e específicos.

Os registos de marégrafos portugueses indicam um contínuo aumento do nível médio das águas do mar ao longo da nossa costa, nomeadamente em Lagos, com um aumento do nível médio das águas do mar de 1.5 ± 0.2 mm/ano num período de 82 anos, e em Cascais, com um aumento do nível médio das águas do mar de 1.3 ± 0.1 mm/ano num período de 118 anos (Santos *et al.*, 2001). Para o final do século XXI, os modelos climáticos globais preveem um aumento no nível global do mar entre 0.18 m e 0.59 m, com uma elevada variabilidade regional (Chust *et al.*, 2010). Contudo, para uma região do norte de Espanha, na Baía de Biscaia, foi projetada uma subida do nível do mar de 48.7 cm (Chust *et al.*, 2010) e para uma região a sudoeste de Inglaterra - Reino Unido, em Somerset, a subida do nível do mar considerada mais plausível é de 48 cm para o ano de 2100 (Purvis *et al.*, 2008); ambos os estudos consideraram os cenários e projeções do IPCC. Dada a proximidade geográfica de Portugal com estes países, e uma vez que se têm registado idênticos aumentos do nível do mar, é muito provável que na costa portuguesa se verifiquem semelhantes evoluções. Nesta conformidade, considera-se no presente trabalho uma subida do nível médio do mar de 0.50 m.

Em consequência, diferentes processos hidrológicos da zona costeira poderão muito provavelmente ser afetados, verificando-se o aumento do risco de inundação, a aceleração da erosão costeira, a deslocação das zonas húmidas e o aumento das inundações associadas às tempestades; estas, por sua vez, poderão atingir as populações locais e os ecossistemas naturais, bem como provocar o avanço da cunha salina para o interior do território. Foi neste contexto que a "Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas" considerou as zonas costeiras como um dos setores estratégicos onde deverão ser identificados os possíveis impactes e definidas as medidas de adaptação necessárias (ENAAC, 2010). Assim, surge a necessidade de se desenvolverem estudos especializados visando sensibilizar e divulgar junto dos cidadãos estimativas das consequências das alterações climáticas. Simultaneamente, é necessário o desenvolvimento de uma base científica credível, que possibilite a melhoria da capacidade de previsão através da utilização de ferramentas robustas, permitindo aumentar a capacidade de resposta (definição de prioridades e medidas de adaptação) e assim reduzir a vulnerabilidade das zonas costeiras. Este trabalho tem como principal objetivo a modelação hidrodinâmica de parte do estuário do rio Mondego, considerando diferentes cenários baseados nas potenciais consequências induzidas pelas alterações climáticas, de modo a obter um conjunto de resultados que possibilitem a previsão das áreas de inundação.

2. ÁREA DE ESTUDO

O estuário do rio Mondego localiza-se na zona costeira da região centro de Portugal (Figura 1), mais precisamente no concelho da Figueira da Foz, apresenta uma área de cerca de 1200 ha e reveste-se de um elevado interesse ecológico, devido entre outros fatores à sua elevada biodiversidade (Duarte *et al.*, 2008). Nos últimos 7.5 km do seu trajeto bifurca-se em dois braços (norte e sul) que voltam a confluir antes de atingir a foz, individualizando a ilha da Murraceira (Cunha *et al.*, 1995).

O braço norte possui profundidades mais elevadas (atingindo, no máximo, cotas de -8 m relativamente ao zero hidrográfico – ZH). Junto à foz, este canal é dominado pelo regime de marés e pela ondulação, sendo, deste modo, influenciado por processos marinhos (Cunha *et al.*, 1997). O seu leito possui areias médias bem calibradas, semelhantes às areias marinhas litorais (devido ao assoreamento marinho), sendo por vezes objeto de dragagens para manter as cotas necessárias à navegação e para melhorar a funcionalidade do porto da Figueira da Foz (Cunha & Dinis, 1998). O braço sul é menos extenso (cerca de 6.5 km) e é caracterizado por profundidades menores (a zona de bifurcação atinge cotas reduzidas, que dificultam localmente o escoamento, enquanto que, a zona de confluência apresenta cotas de -7 m ZH). O fundo deste canal possui areias médias e finas e lodos (Cunha *et al.*, 1997), e é influenciado principalmente

O texto deste artigo foi submetido para revisão e possível publicação em Março de 2012, tendo sido aceite pela Comissão de Editores Científicos Associados em Abril de 2012. Este artigo é parte integrante da ***Revista Recursos Hídricos***, Vol. 33, Nº 1, 5-15, Maio de 2012.
© APRH, ISSN 0870-1741 | DOI 10.5894/rh33n1-1

por processos de transporte marinhos, uma vez que, na secção de bifurcação a montante, a entrada de água fluvial neste braço é muito reduzida (apenas ocorrendo em situações de cheia).

Relativamente à ilha da Murraceira, esta foi identificada como uma zona húmida de importância internacional, segundo o inventário de 1987, embora não tenha sido classificada formalmente. Para além de constituir um ecossistema de elevada produtividade biológica, também funciona como importante área de alimentação, descanso, abrigo e reprodução de inúmeras espécies, como é o caso das aves migradoras (Cunha *et al.*, 1997). As atividades humanas exercidas neste local são de reduzido impacte ambiental (como a pesca tradicional e as salinas), sendo um setor muito próximo do seu "estado natural".

O clima de agitação marítima na área de estudo pode ser caracterizado considerando as condições médias globais, a variação sazonal e o regime de marés, bem como as particularidades dos temporais. Tendo por base registos da estação ondógrafa da Figueira da Foz (entre 1990 e 1996), é possível constatar que a agitação marítima apresenta registos com observações mais frequentes que ocorrem no setor NW para alturas significativas entre 1 m e 3 m e para períodos de pico de 7 s a 15 s (Costa *et al.*, 2001). Para o setor W é possível verificar ocorrências semelhantes (Quadros 1 e 2).

Ao longo do ano, as médias mensais sugerem uma determinada variação sazonal em todos estes parâmetros, os quais atingem valores mais elevados nos meses de inverno (Costa & Esteves, 2009). As médias de altura significativa superiores a 5 m ocorrem preferencialmente e com uma percentagem de 7% nos meses de inverno, enquanto valores inferiores a 3 m ocorrem, com uma percentagem superior a 60%, em todos os meses (Figura 2).

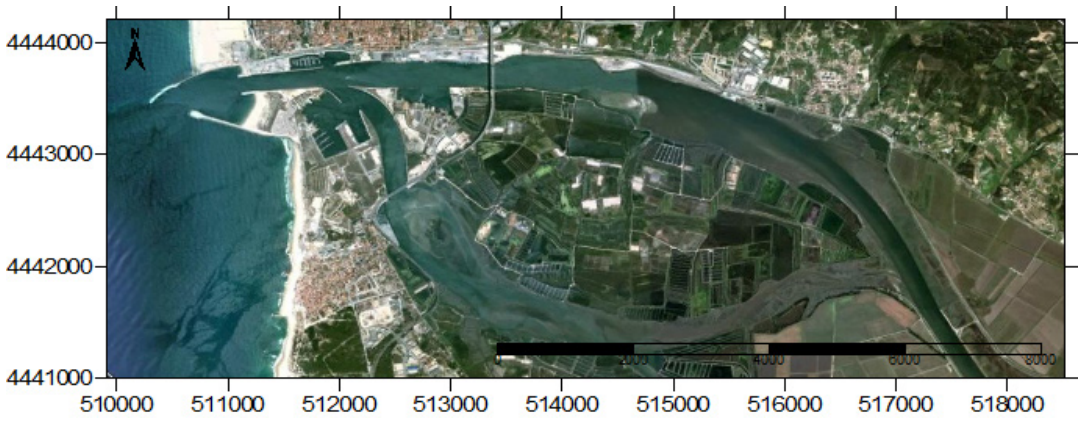


Figura 1 – Enquadramento geográfico do estuário do rio Mondego (adaptado de Google, março de 2012; sistema de coordenadas UTM do datum WGS84).

Quadro 1 – Distribuição conjunta da altura significativa e período médio para a direção NW, na Figueira da Foz (Costa *et al.*, 2001).

SETOR NW (71.3%)		PERÍODO MÉDIO (s)			
		3-7	7-11	11-15	>15
ALTURA SIGNIFICATIVA (m)	<1	0.5	5.6	2.4	
	1-3	1.0	25.9	38.3	2.6
	3-5		2.0	14.1	4.8
	>5			1.1	1.6

Quadro 2 – Distribuição conjunta da altura significativa e período médio para a direção W, na Figueira da Foz (Costa *et al.*, 2001).

SETOR W (18.8%)		PERÍODO MÉDIO (s)			
		3-7	7-11	11-15	>15
ALTURA SIGNIFICATIVA (m)	<1	1.5	6.1	3.9	0.4
	1-3	1.6	24.6	37.4	4.4
	3-5		4.1	10.6	2.5
	>5			1.2	1.8

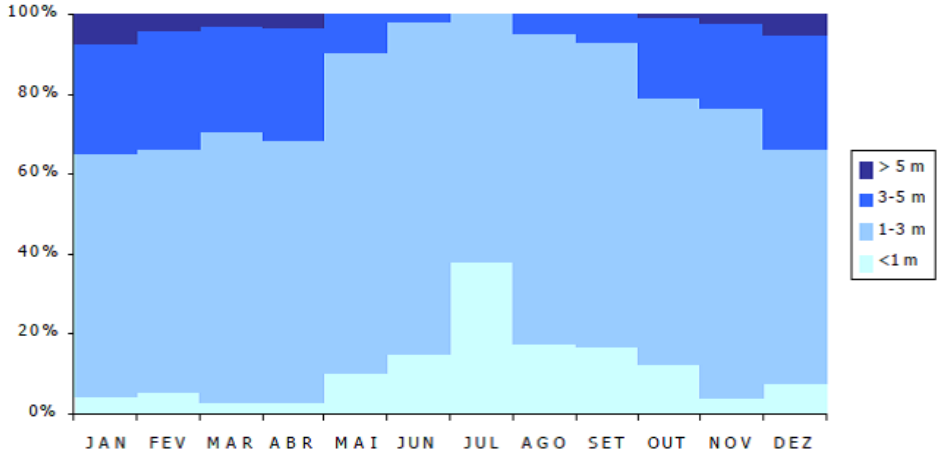
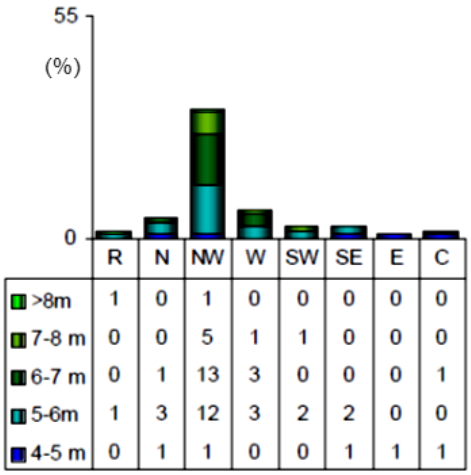


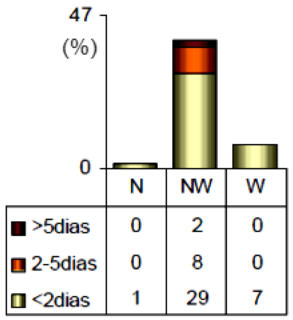
Figura 2 – Variação ao longo do ano da distribuição mensal da altura significativa das ondas na Figueira da Foz (Costa et al., 2001).

A costa ocidental portuguesa encontra-se frequentemente sujeita a uma intensificação do regime de agitação marítima (atuação de temporais) caraterizado por períodos de elevada energia que provocam danos em infraestruturas; as tempestades atingem regularmente as áreas mais interiores da zona costeira e são os principais agentes de erosão costeira (Esteves & al., 2010). Consideram-se situações de temporal quando se verificam alturas significativas superiores a 5 m na costa oeste e superiores a 3 m na costa sul (Costa & Esteves, 2009).



	R	N	NW	W	SW	SE	E	C
>8m	1	0	1	0	0	0	0	0
7-8 m	0	0	5	1	1	0	0	0
6-7 m	0	1	13	3	0	0	0	1
5-6m	1	3	12	3	2	2	0	0
4-5 m	0	1	1	0	0	1	1	1

Figura 3 – Ocorrência de temporais, por classes de direção e de altura máxima, na Figueira da Foz (Costa *et al.*, 2001).



	N	NW	W
>5dias	0	2	0
2-5dias	0	8	0
<2dias	1	29	7

Figura 4 – Ocorrência de temporais, por classes de direção e de duração, na Figueira da Foz (Costa *et al.*, 2001)

Segundo Costa *et al.* (2001), os temporais ocorridos no Verão podem durar, em média, cerca de 3.4 dias, enquanto no inverno podem durar aproximadamente 19.9 dias. Por sua vez, o setor NW retém a maior parte dos temporais observados, conseguindo atingir maioritariamente alturas máximas entre 5 m e 7 m (Figura 3). Também foram identificados temporais (designados por R) que não apresentam uma direção bem definida. Relativamente à duração dos temporais (Figura 4), são mais frequentes as durações inferiores a 2 dias com predominância no setor NW.

As marés, por sua vez, são semi-diurnas ao longo da costa portuguesa, tendo cada ciclo uma periodicidade de 12h e 25min (IH, 2010a). Com base na tabela de marés previstas para o Porto da Figueira da Foz durante o ano de 2010 (IH, 2010b), as marés apresentaram uma altura média de 2.00 m, verificando-se uma altura mínima de 0.93 m (baixa-mar) e a máxima de 3.13 m (preia-mar).

3. METODOLOGIA

Neste estudo foi utilizado o programa Delft3D (Deltares, 2011), que é um modelo numérico bastante aplicado na simulação de ambientes naturais, como zonas costeiras, rios, albufeiras e estuários. Este modelo permite aplicações bidimensionais no plano horizontal (2DH) e tridimensionais (3D). Trata-se de um modelo de elevada complexidade física e numérica devido ao grande número de processos físicos que permite simular e à diversidade de métodos e opções numéricas implementadas, sendo aplicável em: análises de fluxos de marés, correntes devidas ao vento, simulações do escoamento fluvial (fundamentalmente no plano horizontal) em rios, lagos e albufeiras profundas (fundamentalmente no plano vertical), na propagação de *tsunamis*, ressaltos hidráulicos e ondas de cheia, na morfodinâmica fluvial e costeira e no transporte de poluentes dissolvidos, bem como em análises da evolução da temperatura e de gradientes de salinidade (Deltares, 2011).

A modelação hidrodinâmica do sistema considerado iniciou-se com a geração de uma grelha que engloba toda a área de estudo, seguindo-se a introdução de elementos topográficos, batimetria (BAT, 2003) e cotas do terreno (CMFF, 1998), que foram devidamente interpolados para os pontos da grelha utilizada na discretização espacial do domínio (Figura 5). Os cenários simulados consideram como condições de fronteira apenas as características das ações marítimas (elevações de maré e tempestade), uma vez que a inclusão do escoamento fluvial atrasa a propagação dos efeitos da dinâmica marítima, não permitindo reproduzir os cenários mais desfavoráveis. Nesta conformidade, foi desprezada a ação do escoamento fluvial (regime permanente) na seção de montante.

Num primeiro cenário foi analisada a situação de escoamento correspondente a um regime de maré característico do local, com a introdução de uma série temporal com duração de dois dias, ocorrida em janeiro de 2004 (Figura 6). Para uma melhor compreensão e avaliação dos resultados obtidos, como por exemplo as variações da superfície livre da água, houve uma deslocação à ilha da Murraceira, tendo-se procedido a um registo fotográfico numa situação de maré cheia e a uma recolha de informações baseadas na experiência de residentes e utentes da ilha.

No segundo cenário foi considerada uma série temporal de elevação da superfície livre, ocorrida em dezembro de 1994, durante o qual se verificaram duas situações de tempestade com alturas de onda ligeiramente mais elevadas (Costa & Esteves, 2009). Esta série apresenta uma duração de 2 dias e uma altura máxima de 4.86 m relativamente ao nível médio do mar (NMM), a qual foi atingida no segundo dia (Figura 7).

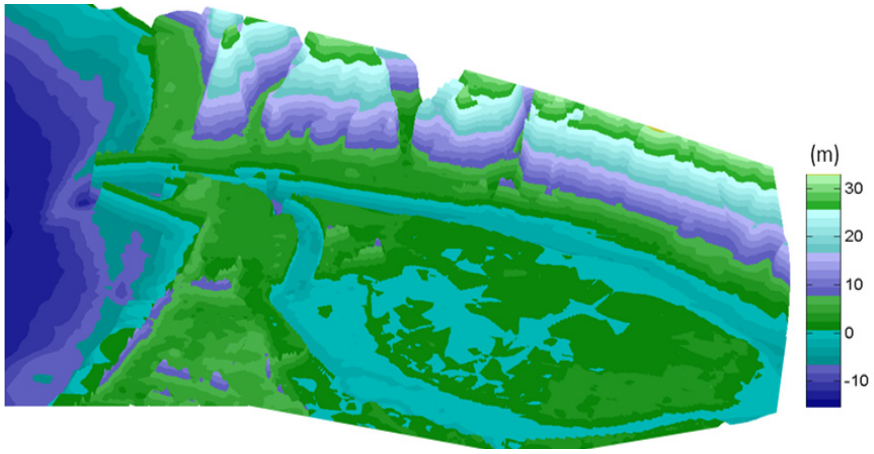


Figura 5 – Representação da topografia da área de estudo, após cuidada interpolação, com a respetiva escala de altimetrias (m) à direita.

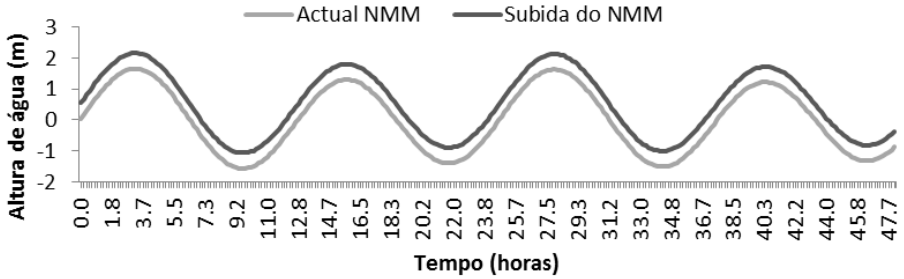


Figura 6 – Regime de maré observado em janeiro de 2004 (o nível de referência é o NMM).

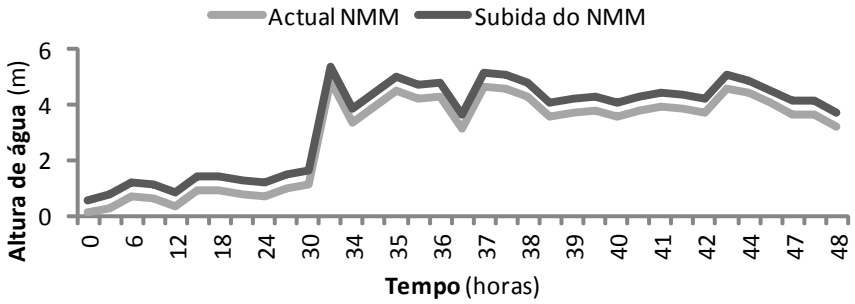


Figura 7 – Situação de tempestade ocorrida em dezembro de 1994 (o nível de referência é o NMM), segundo Costa & Esteves, 2009.

Finalmente, no terceiro e quarto cenários, foi considerada a subida do nível médio das águas do mar (um dos efeitos associados às alterações climáticas) de 0.5 m relativamente aos dois primeiros cenários atrás mencionados (Figuras 6 e 7). Os resultados obtidos com o programa Delft3D foram ainda comparados com os resultados obtidos com o modelo FLO-2D (Santos, 2011) aplicado à mesma área de estudo.

4. RESULTADOS

Com a informação obtida na ilha da Murraceira, no dia 25 de março de 2012 (dia em que ocorreu uma elevação do nível de maré semelhante à simulada no primeiro cenário), confirmou-se que grande parte da ilha se encontra submersa, variando a submersão entre os 10 cm e os 60 cm na generalidade da ilha, atingindo valores máximos de 1.60 m para os canais mais profundos. Na Figura 8 é possível observar o percurso realizado, e na Figura 9 o respetivo registo fotográfico efetuado no momento em que faltavam cerca de 30 min para atingir o nível de preia-mar de 3.28 m ZH (segundo o IH, 2012). Esta ilha é fortemente influenciada pela presença de água salgada, apresentando um equilíbrio muito específico. É fundamentalmente caracterizada pela existência de inúmeras salinas (algumas delas desativadas) e zonas de pântano, bem como por locais para práticas de aquacultura.

Em termos de modelação da propagação da maré no sistema, verificou-se que a mesma demora cerca de 15 minutos a atingir a embocadura do estuário e cerca de 1h e 10min a atingir a secção coincidente com a bifurcação de montante localizada no ponto BB na Figura 8. Nessa secção verificou-se que os vetores de velocidades invertem o seu sentido após 4h e 20min, coincidindo com o início da baixa-mar.

Na Figura 10 apresentam-se variações dos níveis de água ao longo do tempo para diferentes pontos do estuário: fronteira de jusante (ponto representativo), fronteira de montante (ponto representativo), Braço Norte - ponto BN, Braço Sul - ponto BS, e Ilha da Murraceira - ponto IM).

Figura 8 – Imagem aérea da ilha da Murraceira (sistema de coordenadas UTM do datum WGS84), sendo assinalados os pontos A a L a que se refere o registo fotográfico (Figura 9) e os pontos BN, BS e IM a que respeitam os níveis de água simulados apresentados na Figura 10.

Figura 9 – Fotografias obtidas nos diferentes pontos assinalados na Figura 8.

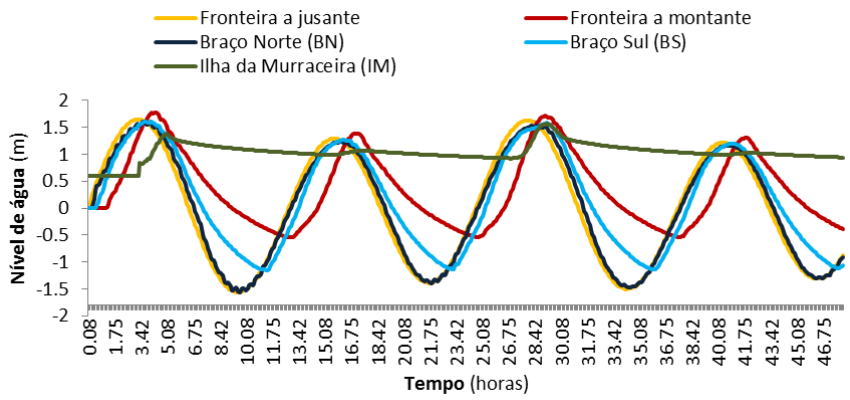


Figura 10 – Variação de níveis de água ao longo do tempo para diferentes pontos identificados na Figura 8 (nível de referência NMM).

De acordo com os resultados apresentados na Figura 10, no ponto IM, localizado na ilha da Murraceira, no período de baixa-mar a altura de água é de aproximadamente 0.95 m. Contudo, como a cota batimétrica deste local é reduzida (apenas de 0.60 m) estamos perante uma profundidade de água da ordem de 0.35 m (justificando as condições pantanosas desta zona do estuário e as utilizações que lhe são dadas como aquacultura e salinas). Ao analisar a variação do nível de água em toda ilha da Murraceira, tanto em baixa-mar como em preia-mar (Figura 11), é possível afirmar que os resultados da simulação efetuada se adequam à situação real, uma vez que as zonas de habitação e de armazéns não são inundadas e em alguns locais ocorrem alturas de água que atingem 1.30 m - 1.50 m (preia-mar), confirmando a informação recolhida no local (baseada no conhecimento e experiência dos residentes e utentes).

Posteriormente foi simulada uma situação de tempestade (Figura 7), obtendo-se profundidades de água entre os 3 m e os 4 m na ilha da Murraceira a partir das 12h e 50min do segundo dia de simulação (Figura 12). Neste cenário, obtiveram-se alturas de água nas zonas de habitação que variam entre os 2 m e os 3 m de altura, colocando deste modo em causa os bens e a segurança dos residentes.

Com a elevação do nível médio do mar de 0.50 m, também analisada, é possível salientar os seguintes aspetos principais:

- Perante o regime de maré representativo de condições médias (Figura 13), a área submersa na ilha da Murraceira torna-se ligeiramente superior, atingindo níveis de água de cerca de 1.10 m em baixa-mar, ou seja, uma profundidade da água de cerca de 0.50 m. Todavia, as habitações ainda não são inundadas.
- Na situação de tempestade (Figura 14) toda a ilha é inundada, verificando-se um cenário verdadeiramente catastrófico, com profundidades de água entre os 3.5 m e os 4.5 m, como seria de esperar.

Segundo os resultados apresentados em Santos (2011), utilizando o programa computacional FLO-2D para a mesma situação de tempestade, obtêm-se profundidades máximas de 2.4 m considerando o atual NMM e de 2.9 m considerando uma elevação do nível médio do mar de 0.5 m. No modelo construído com o programa Delft3D, no âmbito do presente estudo, foram obtidos valores semelhantes para ambos os casos. Contudo, a área analisada com o programa FLO-2D foi bastante reduzida e com uma malha de baixa resolução espacial (não conseguindo abranger a totalidade da ilha da Murraceira). Deste modo, para além do modelo Delf3D possibilitar uma análise a três dimensões (embora não realizada neste estudo), apresenta grandes vantagens relativamente à versão do FLO-2D utilizada (versão DEMO, com limitação do número de elementos da malha de cálculo a 999), permitindo a análise de uma área mais extensa e com maior detalhe. Em ambos os modelos é necessária uma criteriosa definição das condições de fronteira, de modo a evitar situações de reflexão irrealistas. Para amenizar este aspeto, com o Delft3D foi efetuado um prolongamento artificial da área de estudo e uma ligeira elevação do leito na fronteira aberta de montante, de modo a reduzir o efeito de "parede". Neste estudo, tais reflexões foram devidamente avaliadas ao longo do tempo recorrendo a análises dos campos vetoriais da velocidade, sendo possível afirmar que estas não tiveram grande relevância e não interferiram nos resultados apresentados.

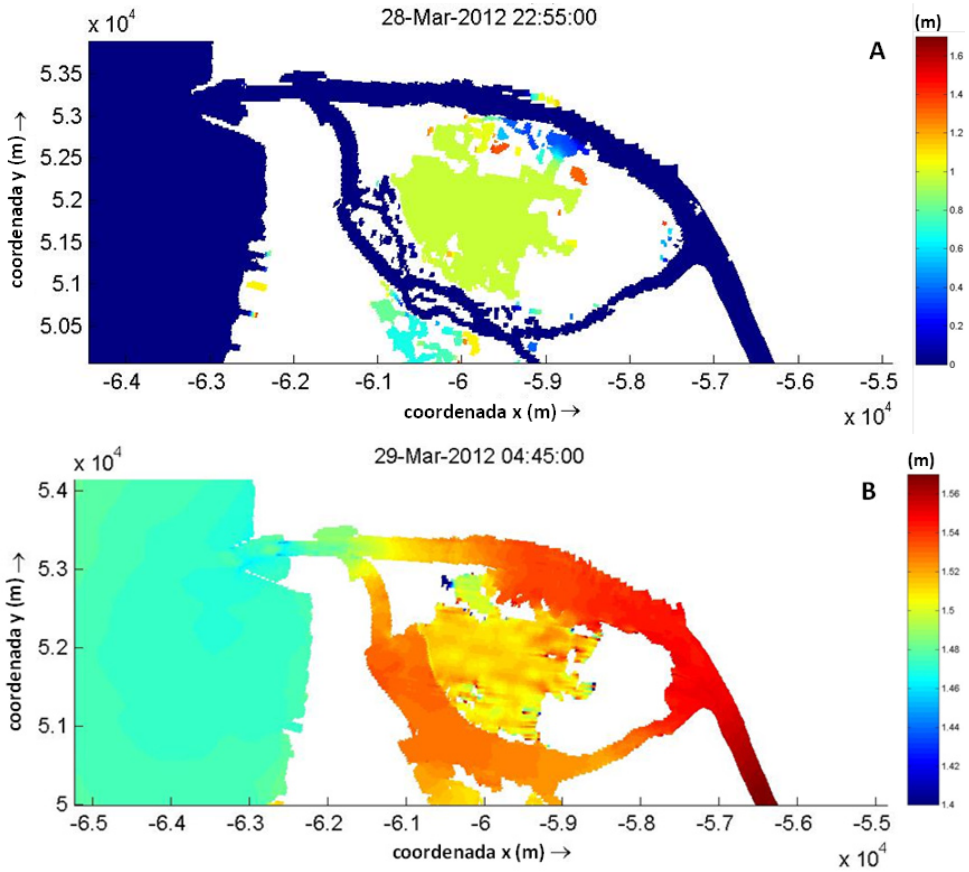


Figura 11 – Variação do nível de água para uma situação de baixa-mar (A) e de preia-mar (B), considerando o atual NMM. Escala de alturas de água (m) à direita e sistema de coordenadas Datum73.

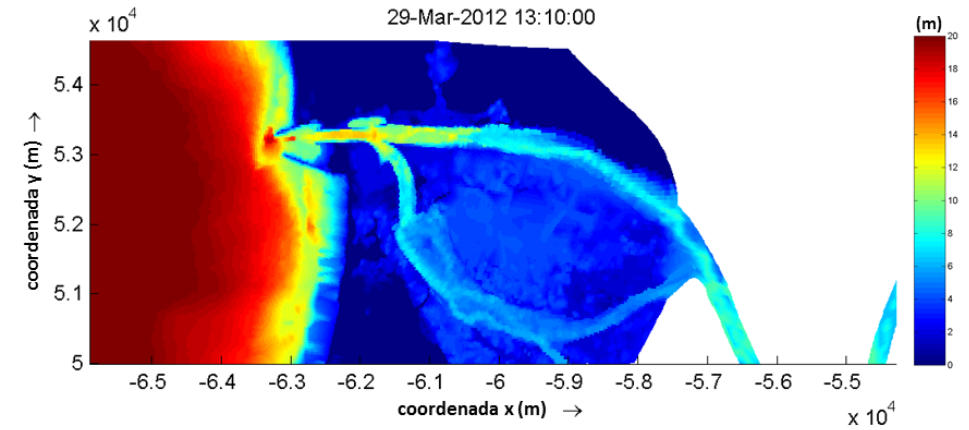


Figura 12 – Variação da profundidade da água no presente sistema resultante da ação de uma tempestade com o atual NMM. Escala de profundidades de água (m) à direita e sistema de coordenadas Datum73.

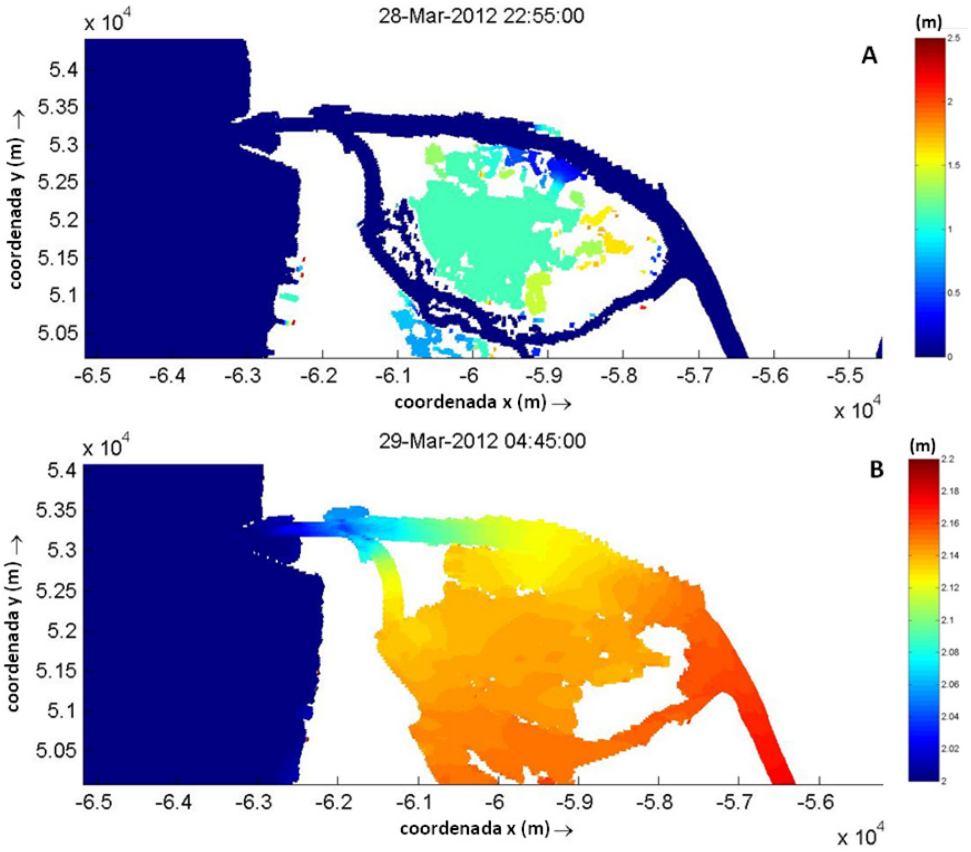


Figura 13 – Variação do nível de água para uma situação de baixa-mar (A) e de preia-mar (B), considerando uma subida de 0.5 m do atual NMM. Escala de alturas de água (m) à direita e sistema de coordenadas Datum73.

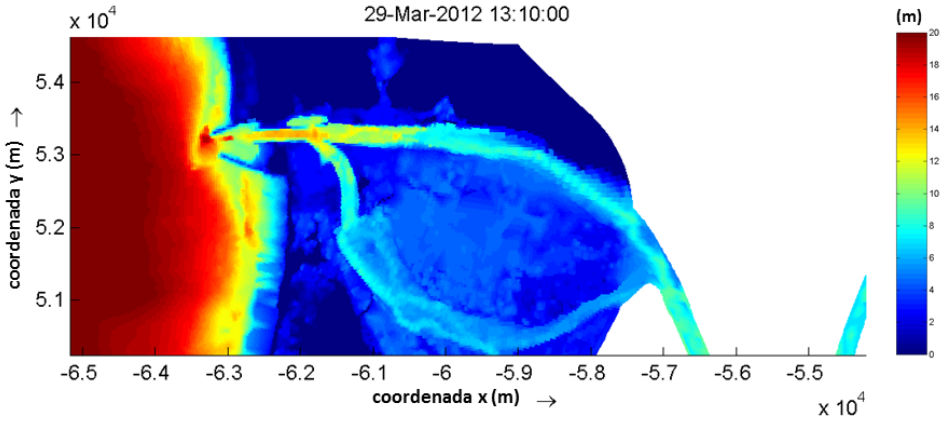


Figura 14 – Variação da profundidade da água no presente sistema resultante da ação de uma tempestade e uma subida de 0.5 m do atual NMM. Escala de profundidades de água (m) à direita e sistema de coordenadas Datum73.

CONCLUSÕES

Recorrendo ao programa Delft3D procedeu-se a um estudo de modelação hidrodinâmica do estuário do rio Mondego, permitindo analisar diferentes cenários hidrodinâmicos, quer em situação normal (apenas o efeito da maré) quer em situação de tempestade, considerando condições atuais do nível médio do mar (NMM) e uma elevação de 0.50 m num possível cenário decorrente de alterações climáticas globais.

A simulação de um cenário para o NMM atual adequa-se às características particulares da ilha da Murraceira, evidenciando a existência de zonas de pântano, de salinas e de locais de aquacultura, as quais são bastante influenciadas pelo regime de maré, atingindo profundidades máximas de 0.60 m em baixa-mar e de 1.50 m em condições de preia-mar. Nesta ilha também existem zonas de habitação e de armazéns que não são afetadas, como se verificou numericamente e se pôde comprovar num reconhecimento local. Com a elevação de 0.50 m do NMM verifica-se um aumento genérico da profundidade de água nas zonas mais baixas da ilha, bem como uma maior área de inundação, não sendo contudo afetadas as habitações que, neste cenário, permanecem intactas. A simulação referente à situação de tempestade (que apresenta uma altura máxima de 4.86 m) conduz a profundidades de água na ilha da Murraceira de cerca de 3 m – 4 m, sendo toda a ilha praticamente inundada, afetando deste modo as zonas de habitação. Com a uma elevação de 0.5 m do NMM, o cenário é ainda mais dramático, sobretudo em consequência do aumento da profundidade de água.

Com este trabalho foi possível avaliar as consequências de uma subida do nível médio do mar conjugada com a ocorrência de uma situação de tempestade, por forma a identificar fragilidades no estuário do rio Mondego e mapear as possíveis áreas de inundação.

A metodologia e o *software* Delft3D foram aqui aplicados a uma reduzida área da extensa zona costeira de Portugal. É nossa convicção que este mesmo procedimento deverá ser aplicado a outras áreas que poderão ser potencialmente afetadas em cenários climáticos idênticos aos considerados no presente estudo.

BIBLIOGRAFIA

BAT (2003) – Levantamentos batimétricos de 2003 cedidos por MARETEC - Marine & Environment Technology Center.

Chust, G., Caballero, A., Marcos, M., Liria, P., Hernández, C., Borja, Á. (2010) – Regional scenarios of sea level rise and impacts on Basque (Bay of Biscay) coastal habitats, throughout the 21st century. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 87, 113-124.

CMFF (1998) – Dados pessoais cedidos em 2010 pela Câmara Municipal da Figueira da Foz.

Costa, M., Silva, R. e Vitorino, J. (2001) – Contribuição para o Estudo do Clima de Agitação Marítima na Costa Portuguesa. Instituto Hidrográfico, Lisboa.

Costa, M. e Esteves, R. (2009) – Clima de Agitação Marítima na Costa Oeste de Portugal Continental. Instituto Hidrográfico, Marinha Portuguesa, Lisboa.

Cunha, P.P., Dinis, J., Silva, A.F. e André, J.N. (1995) – Evolução Estuarina condicionada por Intervenções Portuárias: modificações recentes no sector intermédio e distal do Estuário do Mondego. *Memórias e Notícias, n.º 120*, Publicação do Dep. Ciências da Terra e Mus. Mineral Geol., Universidade de Coimbra, Coimbra, 95-117.

Cunha, P.P., Freitas, H., Marques, J.C., Dinis, J. e Caetano, P. (1997) – A Protecção e Gestão de Águas Estuarinas – importância da ilha morraceira e do sub-sistema estuarino do porto (Estuário do Mondego, Portugal). *Colectânea de Ideias sobre a Zona Costeira de Portugal*, Associação Eurocast – Portugal, Porto, 473-488.

Cunha, P.P. e Dinis, J. (1998) – A erosão nas praias do Cabo Mondego à Figueira da Foz (Portugal centro - oeste) de 1995 a 1998. *Territorium 5.1998*, Coimbra, 31-50.

Deltares (2011) – User Manual Delft3D-FLOW. *Hydro-Morphodynamics*, Version: 3.15, Netherlands.

Duarte, A. A. L. S., Vieira, J. M. P., Neto, J. M. e Pardal, M. A. (2008) – Monitorização da Hidrodinâmica e da Qualidade de Água no Estuário do Rio Mondego. Universidade do Minho, *Número 33*, 65-74.

ENAAC (2010) – Resolução do Conselho de Ministros n.º 24/2010. *Diário da República, 1.ª série – N.º64*, Presidência do Conselho de Ministros, Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas, Lisboa.

Esteves, R., Silva, F.S., Pinto, J.P. e Costa, M. (2010) – Caracterização de eventos extremos de agitação marítima em Portugal Continental." *1as Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, Instituto Hidrográfico, Lisboa.

Google Earth (2012) - Imagens satélite da área de estudo.

IH (2010a) – Marés. Acedido em 20 de Outubro de 2010, em: http://www.hidrografico.pt/glossario-cientifico-mares.php.

IH (2010b) – Dados pessoais fornecidos em 2010 pelo Instituto Hidrográfico.

IH (2012) – Previsão de Marés, Portugal. Acedido em 24 de Março de 2012, em www.hidrografico.pt/previsao-mares.php.

Purvis, M. J., Bates, P. D., Hayes, C. M. (2008) – A probabilistic methodology to estimate future coastal flood risk due to sea level rise. *Coastal Engineering 55*. 1062-1073p.

Santos, L. I. V. (2011) – *Efeitos das Alterações Climáticas nas Zonas Costeiras*. 39-41p. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.