

7º Seminário Cheias e Inundações na Região Norte

23 de março de 2017 | Parque Biológico de Vila Nova de Gaia

TEMAS

Dados e
monitorização

Previsões

Efeitos das
alterações climáticas

Ocupação do solo

Drenagem urbana

Planeamento e
gestão do risco



METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA INUNDAÇÃO DE MARGENS ESTUARINAS: VALIDAÇÃO E APLICAÇÃO AO ESTUÁRIO DO MONDEGO

Alberto Azevedo, André B. Fortunato, Marta Rodrigues, Paula Freire e Anabela Oliveira*

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal

RESUMO

As inundações de margens estuarinas são causadas pela maré, o vento, a pressão atmosférica, a agitação marítima e o caudal fluvial. Esta combinação de agentes forçadores dificulta os estudos de inundação estuarina, no que se refere quer à simulação conjunta dos diferentes processos, quer à associação de um período de retorno a uma determinada área de inundação. Recentemente, desenvolveu-se uma metodologia simples que permite simultaneamente construir mapas das áreas inundáveis e associar-lhe um período de retorno. O presente artigo começa por descrever sucintamente esta metodologia. Valida depois os resultados da sua aplicação ao estuário do Tejo por comparação com a aplicação de uma abordagem alternativa mais sofisticada, na qual são simulados detalhadamente eventos reais. Esta comparação mostra que, apesar das simplificações, a abordagem descrita produz resultados realistas. Finalmente, ilustra a metodologia através da sua aplicação ao estuário do Mondego. Mostra-se que os diques existentes são suficientes para conter inundações de origem marítima na situação atual, o que poderá ser alterado pela subida do nível médio do mar. A ilha da Murraceira também está sujeita a inundação em cenários de subida do nível médio do mar.

Palavras Chave – inundação; estuário; modelação numérica; estuário do Mondego; estuário do Tejo.

* *Autor para correspondência. Corresponding author.*
E-mail: aazevedo@lnec.pt (Doutor A. Azevedo)

1 INTRODUÇÃO

As zonas costeiras estão sujeitas a inundações devido ao efeito combinado da maré, do vento, da pressão atmosférica e da agitação marítima (Chaumillon *et al.*, 2017). Estes agentes têm origens diversas, escalas espaciais e temporais distintas, e os seus efeitos podem interagir entre eles, complicando o fenómeno de inundação. Em estuários, os efeitos dos caudais fluviais podem também ser relevantes para os níveis extremos. Assim, a simulação numérica da inundação de margens estuarinas é complexa, exigindo normalmente modelos muito sofisticados para produzir estimativas precisas das áreas inundadas.

A complexidade dos processos envolvidos nestes fenómenos de inundação contrasta com a necessidade de estudos que dêem respostas rápidas às necessidades dos gestores da zona costeira. Neste contexto, Fortunato *et al.*, (2013) propôs uma metodologia expedita que permite desenvolver mapas de inundação para estuários utilizando modelos relativamente simples, i.e., modelos que resolvem a equação de águas pouco profundas, mas forçados apenas por níveis na fronteira marítima. Esta metodologia foi aplicada à Ria de Aveiro e os seus resultados comparados com mapas obtidos a partir de trabalho de campo. No entanto, a metodologia não foi comparada com a aplicação de modelos numéricos mais sofisticados. A presente comunicação contribui para a validação da metodologia, apresentando uma comparação dos níveis extremos obtidos com esta metodologia simplificada (Guerreiro *et al.*, 2015) com os que foram obtidos simulando tempestades reais de forma realista.

A aplicação da metodologia é depois ilustrada no estuário do Mondego. Descreve-se a aplicação e validação do modelo, e discutem-se os resultados obtidos.

2 METODOLOGIA

2.1 Descrição

A metodologia foi desenvolvida por Fortunato *et al.*, (2013) para a Ria de Aveiro e aplicada por Guerreiro *et al.*, (2015) ao estuário do Tejo. Resumem-se abaixo os principais passos.

Análise de dados de níveis. Os dados de níveis medidos num marégrafo costeiro são analisados através de análises harmónicas para cada ano de dados disponíveis. Na ausência de marégrafos na zona de estudo, é possível usar dados de modelos regionais de *hindcast*. Por exemplo, Fortunato *et al.*, (2016) mostra que estatísticas de níveis extremos determinadas com dados de campo e com resultados de modelo diferem de 5 a 10 cm na costa Portuguesa. Estas análises permitem separar o sinal de diferentes origens: nível médio anual, maré e resíduo. O resíduo é considerado o sinal de origem meteorológica.

Criação de séries anuais de níveis sintéticas de longa duração. São criadas centenas de milhares de séries anuais sintéticas de níveis, combinando a maré (reconstruída por síntese harmónica) e o sinal de origem meteorológica (sobre-elevações). Para tal, combinam-se marés e sobre-elevações para diferentes anos, e permitem-se defasagens temporais até 15 dias entre eles. Esta abordagem permite por exemplo, para 20 anos de dados, definir 273600 séries anuais distintas e com a mesma probabilidade de ocorrência.

Determinação dos níveis máximos atuais para vários períodos de retorno. As séries anuais construídas no passo anterior são analisadas para determinar um vasto conjunto de níveis máximos anuais no marégrafo. Este conjunto permite determinar os níveis máximos nesta estação para vários períodos de retorno. Simultaneamente, determinam-se as condições de níveis em que estes máximos ocorrem (i.e., séries temporais de poucos dias que precedem os níveis máximos para os vários períodos de retorno).

Inundação no estuário. A hidrodinâmica do estuário é simulada para cada uma das situações que originam os níveis extremos com os períodos de retorno analisados. As séries temporais no marégrafo determinadas nos passos anteriores são utilizadas para forçar um modelo hidrodinâmico na fronteira marítima. Os resultados das simulações permitem determinar os níveis máximos em cada ponto do domínio para cada período de retorno.

2.2 Validação no estuário do Tejo

A presente abordagem foi validada para o estuário do Tejo. Para tal, compararam-se os níveis máximos obtidos com a presente abordagem (descritos em Guerreiro *et al.*, 2015) com os níveis obtidos na simulação de duas das maiores tempestades do último século (Fortunato *et al.*, em revisão): o ciclone de 1941 e a tempestade Xynthia, em 2010. O evento de 1941 constitui um dos cinco eventos meteorológicos que maiores danos causou na Europa durante o século XX. Considera-se por isso um evento com um período de retorno médio, da ordem dos 100 anos. A tempestade Xynthia causou inundações marginais no estuário do Tejo (Freire *et al.*, 2016). No entanto, não foi um evento invulgar, tendo ocorrido outros com níveis mais elevados nas últimas décadas. Considera-se por isso um baixo período de retorno, da ordem dos 10 anos. Estes dois eventos foram simulados com o modelo SCHISM (Zhang *et al.*, 2016), incluindo os efeitos da maré, vento, pressão atmosférica, agitação marítima e caudal fluvial. As simulações feitas com a abordagem simplificada utilizaram o modelo SELFE (Zhang e Baptista, 2008), forçado apenas pelos níveis na fronteira marítima e um caudal constante na fronteira de montante.

Os resultados (Figura 1) mostram que a evolução dos níveis máximos ao longo do estuário é semelhante para as simulações sintéticas e para os eventos reais. O evento de 1941 conduz a níveis máximos semelhantes aos obtidos para o período de retorno de 20 anos na embocadura e de 100 anos na zona superior do estuário; o evento de 2010 conduz a níveis máximos inferiores aos obtidos para o período de retorno de 20 anos. Em ambos os casos, a metodologia simplificada produz resultados consistentes com os dos dois eventos analisados.

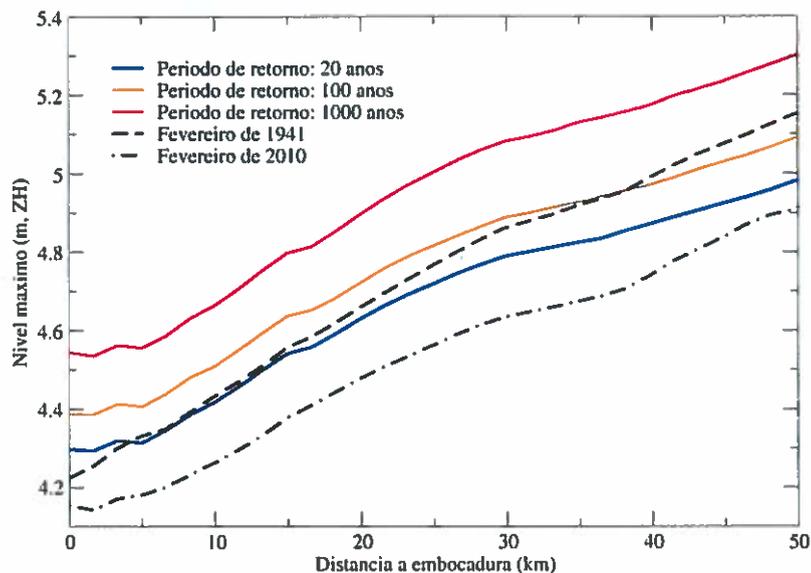


Figura 1. Validação da metodologia no estuário do Tejo: níveis máximos ao longo do eixo do estuário para dois períodos de retorno e dois eventos distintos.

3 APLICAÇÃO AO ESTUÁRIO DO MONDEGO

3.1 Aplicação e validação

Foram determinadas séries temporais de níveis sintéticas pelo método acima descrito usando dados do marégrafo mais próximo (Barra de Aveiro) e definidas séries para vários períodos de retorno.

Foi construída uma malha de elementos finitos com uma resolução entre 10 m e 1.5 km (Figura 2). Os coeficientes de atrito foram definidos com base em calibração (no leito) e na ocupação do solo (nas margens). O escoamento foi simulado com o modelo SELFE (Zhang e Baptista, 2008), depois de validado com dados de níveis de dois marégrafos (erros quadráticos médios inferiores a 8 cm). O modelo foi forçado com as séries sintéticas referidas, e consideraram-se diferentes cenários de subida do nível médio do mar.

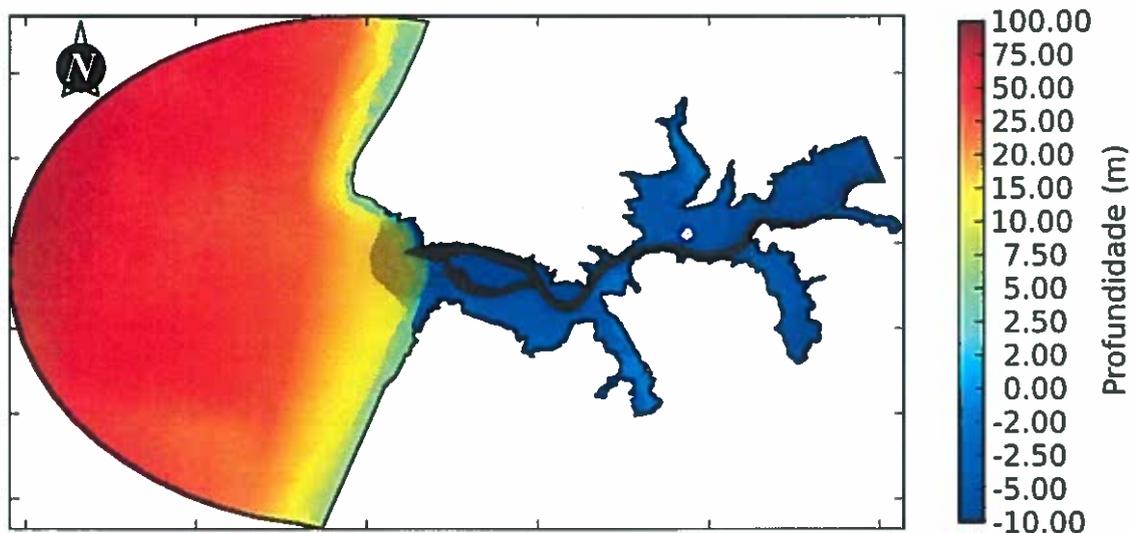


Figura 2. Malha de cálculo e batimetria utilizada no modelo (referida ao nível médio do mar).

3.2 Resultados

Foram desenvolvidos mapas de inundação para diferentes períodos de retorno e cenários de subida do nível médio do mar (NMM) (Figura 3). Na situação atual, a inundação devida à combinação de marés com sobre-elevações de origem meteorológica afeta principalmente os leitos de cheia, limitados pelos diques de defesa em toda a extensão do canal principal. Este padrão ocorre para os três períodos de retorno analisados (10, 50 e 100 anos), sendo a extensão da área inundável ligeiramente superior para o período de retorno de 100 anos. Entre os três períodos de retorno simulados os níveis máximos na embocadura variam entre os 4.02 m (ZH) para o período de retorno de 10 anos e os 4.23 m (ZH) para o período de retorno de 100 anos, o que se traduz num aumento da extensão da zona inundável do leito de cheia. Para as situações futuras em que se impôs uma subida do NMM de 1 m, houve um aumento significativo da área inundada, em particular na ilha da Murraceira, que separa os braços Norte e Sul do estuário do rio Mondego. Nestes casos a ilha fica submersa em toda a sua extensão para os períodos de retorno de 50 e 100 anos. Para o período de retorno de 10 anos existe ainda uma pequena porção de ilha que não é inundada. Nas situações de subida do NMM 0.23 m e 0.35 m, o efeito em termos de extensão da área inundável é mais reduzido, nunca saindo da área limitada pelos diques de defesa.

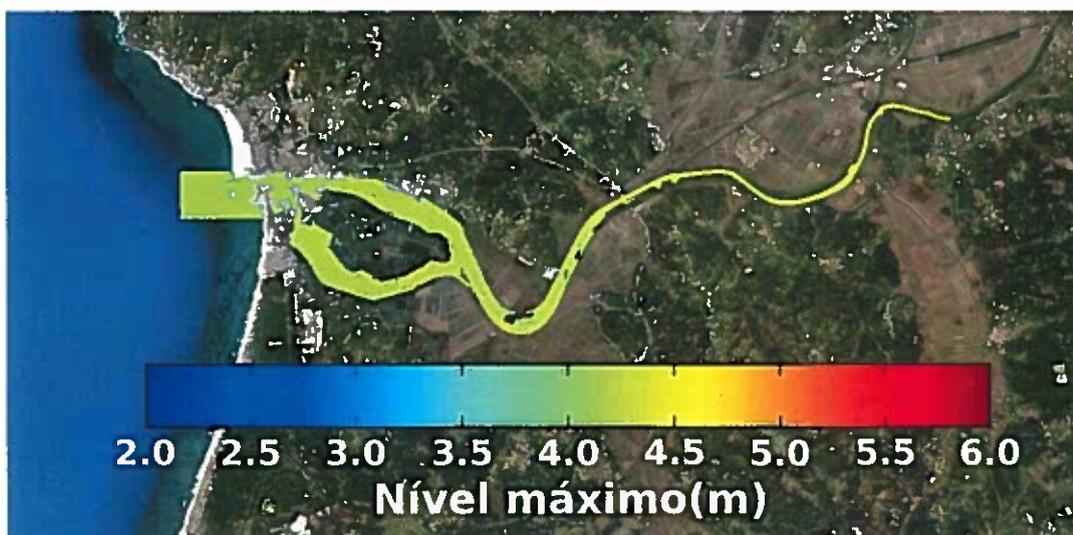


Figura 3. Exemplo de mapa de inundação: níveis máximos no estuário do Mondego para o nível médio do mar atual e um período de retorno de 50 anos (m, ZH).

4 CONCLUSÕES

A metodologia apresentada, apesar de simplificar os processos relevantes, produz resultados consistentes com os de um modelo mais sofisticado. Esta conclusão mostra que é possível determinar mapas de inundação realistas, para diferentes períodos de retorno e cenários de subida do nível médio do mar, com um esforço limitado. As simulações para o estuário do Mondego contribuíram para o conhecimento da inundação nas margens deste estuário.

REFERÊNCIAS

- Chaumillon, E. *et al.*, (2017). Storm-induced marine flooding: Lessons from a multidisciplinary approach, *Earth-Science Reviews*, 165 151-184.
- Fortunato, A.B. *et al.*, (2013). Generating inundation maps for a coastal lagoon: A case study in the Ria de Aveiro (Portugal), *Ocean Engineering* 64 (1) 60-71.
- Fortunato, A.B. *et al.*, (2016). Determination of extreme sea levels along the Iberian Atlantic coast, *Ocean Engineering* 111 (1) 471-482.
- Fortunato, A.B.; Freire, P.; Bertin, X.; Rodrigues, M.; Ferreira, J., Liberato, M.L.R. (em revisão). A numerical study of the February 15, 1941 storm in the Tagus estuary, *Continental Shelf Research*.
- Freire, P. *et al.*, (2016). A local-scale approach to estuarine flood risk management, *Natural Hazards* 84 (3) 1705-1739.
- Guerreiro, M. *et al.*, (2015). Evolution of the hydrodynamics of the Tagus estuary (Portugal) in the 21st century, *Revista de Gestão Costeira Integrada* 15 65-80.
- Zhang, Y.; Baptista, A.M. (2008). SELFE: A semi-implicit Eulerian-Lagrangian finite-element model for cross-scale ocean circulation. *Ocean Modeling*, 21(3-4) 71-96.
- Zhang, Y.J. *et al.*, (2016). Seamless cross-scale modeling with SCHISM, *Ocean Modelling*, 102 64-81.