



## GERAÇÃO DE CLIMAS DE ONDAS REPRESENTATIVOS: APLICAÇÃO À EVOLUÇÃO MORFODINÂMICA DA LAGOA DE ÓBIDOS

Nicolas Bruneau<sup>1</sup>, André B. Fortunato<sup>1</sup>, Guillaume Dodet<sup>1</sup> e Anabela Oliveira<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Hidráulica e Ambiente, LNEC, Avenida do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal.  
[nbruneau@lneec.pt](mailto:nbruneau@lneec.pt).

### 1. Introdução

A dinâmica costeira da costa Portuguesa é controlada pela agitação marítima. Espera-se por isso que modificações no clima de agitação marítima devidas às alterações climáticas afectem a morfologia costeira. No entanto, os efeitos das alterações climáticas na agitação na costa Portuguesa estão ainda mal quantificados. Num estudo recente, Andrade et al. (2007) previram, em frente da costa Portuguesa e para 2100: 1) um aumento marginal das alturas das ondas (cerca de 1% para  $H_{S95}$ ), 2) um aumento fraco do período de pico (0.003 s/ano em frente à lagoa de Óbidos) e 3) uma rotação da direcção das ondas (5/15° para Norte). No entanto, a forma como esta rotação irá ocorrer não foi determinada. Uma análise de simulações de *hindcast* da agitação para os últimos 57 anos chega a conclusões consistentes (Dodet et al., 2010), sugerindo assim a possibilidade de extrapolar o clima de agitação do passado recente. Este estudo visa assim 1) desenvolver uma metodologia baseada nos espectros de ondas simulados para a costa Portuguesa para determinar climas de agitação representativos de situações presentes e futuras e 2) aplicar estes climas no estudo da morfodinâmica de um sistema costeiro muito dinâmico, a Lagoa de Óbidos (descrito em detalhe em Oliveira et al. (2006) e Bertin et al. (2009)).

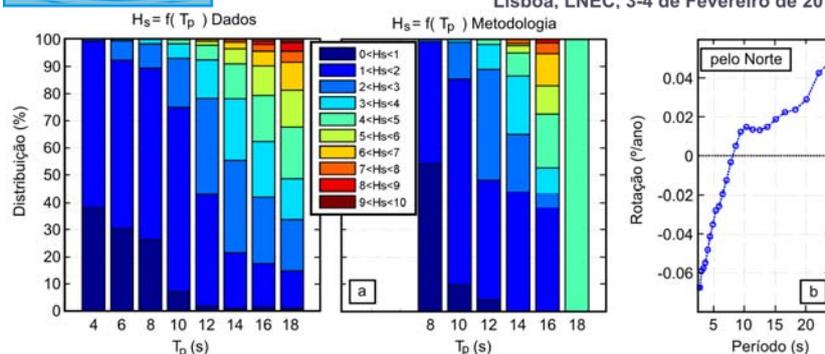
### 2. Geração de séries temporais sintéticas de agitação marítima: metodologia e validação

A metodologia desenvolvida tem por base as séries temporais de espectros de onda de 57 anos (1953-2009, com um intervalo de tempo de 6 horas) geradas pelo modelo de ondas espectral WAVEWATCH III (Tolman, 2009), calibrado e validado por Dodet et al. (2010). Com base nos estudos referidos acima, admite-se que a única tendência relevante de longo prazo é a rotação das ondas, mantendo-se os outros parâmetros estacionários a longo prazo. Esta tendência, assumida constante no tempo mas variável para cada frequência, é calculada por regressão e subtraída à série inicial.

A variabilidade anual é tida em conta calculando a média ( $\langle E \rangle$ ) e o desvio padrão ( $\sigma$ ) da energia das ondas que são calculados para cada instante do ano ( $t$ ), cada frequência ( $f$ ) e cada direcção ( $D$ ). Finalmente, um ano característico de espectros de energia é construído da maneira seguinte:  $E(f, D, t) = \langle E(f, D, t) \rangle + \sigma(f, D, t) \cdot VA(t)$ , onde valores aleatórios ( $VA$ ) são gerados com a distribuição de probabilidade de Weibull (1951). A tendência em rotação é aplicada sobre esta energia final, para cada ano escolhido (neste estudo, foram escolhidos os anos de 2010 e 2100).

Esta metodologia foi primeiro aplicada para gerar séries sintéticas de ondas em frente à Lagoa de Óbidos para 2010. Para validar a abordagem, compararam-se os parâmetros médios da série de 57 anos, filtrada da tendência de rotação, com os obtidos com as séries sintéticas. Os resultados de alguns parâmetros principais de ondas mostram: 1) uma excelente concordância nas altura significativas, 2) uma ligeira sobrestimação (subestimação) do período de pico (período médio) de 10 % (15 %), 3) uma boa previsão da direcção média das ondas, mas com uma menor variabilidade direccional (89% das ondas entre 290° e 320°, contra só 52% nos dados) e 4) um espalhamento direccional maior com o modelo (cerca de 7°).

A distribuição das alturas significativas das ondas em função do período de pico é ilustrada na Figura 1a. A metodologia desenvolvida prevê correctamente a percentagem crescente das alturas das ondas mais elevadas para períodos de pico crescentes, ainda que não reproduza com precisão as ondas com pequenos períodos de pico. Este resultado demonstra especialmente a boa distribuição de um grupo das ondas em função do período de pico: por exemplo, os dados e o modelo mostram ambos que as ondas com altura significativa acima de 5-6 m têm sempre um período de pico superior a 13 s.



**Fig. 1. a) Distribuição das alturas significativas das ondas em função do período do pico (à esquerda, dados e à direita, metodologia); b) tendências de rotação em função do período**

A Figura 1b ilustra a tendência de rotação para cada período. Estes resultados mostram que a tendência de rotação depende do período, com 1) uma rotação para Sul das altas frequências ( $T < 7s$ , durante o Verão) e 2) uma rotação para Norte da energia das baixas frequências (durante o Inverno). Contudo, as tendências previstas (cerca de  $1^\circ$  para Norte durante o Inverno) são bastante inferiores às estimadas noutros trabalhos, inclusive com a mesma série temporal (5-15° até 2100). A análise das rotações do clima das ondas ao longo do ano revela uma variabilidade sazonal importante. As séries temporais mostram também uma variabilidade interanual do clima (10-15 anos) significativa que é difícil de investigar e reproduzir com apenas 57 anos de dados.

### 3. Aplicação à lagoa de Óbidos (2010 / 2100)

O sistema de modelação MORSYS2D (Fortunato e Oliveira, 2004; Bertin et al., 2009) foi depois usado para investigar os impactos das alterações climáticas na evolução morfológica da lagoa de Óbidos em 2010 e 2100. Foi analisado o impacto das alterações nas ondas (direcções), no nível médio do mar e na sedimentação na parte interior da lagoa no comportamento morfológico da Lagoa de Óbidos, considerando diferentes cenários de alterações climáticas. Os primeiros resultados indicam um impacto fraco da rotação das ondas (rotação média na cerca de  $1^\circ$ ) mas um impacto mais relevante do nível médio.

### 4. Conclusões / Discussões

Esta comunicação apresenta uma nova estratégia para geração de climas de ondas para situações presentes e futuras, a qual apresenta parâmetros médios semelhantes aos dos dados. Apesar da utilização de uma série temporal de 57 anos para uma extrapolação de 90 anos ser discutível, outras formas alternativas de prever o clima de agitação no fim do século têm incertezas semelhantes. Esta abordagem permite ainda, pela primeira vez, analisar as tendências para cada frequência, mostrando assim comportamentos opostos entre baixas e altas frequências.

### 5. Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, programa operacional "Ciência, Tecnologia, Inovação" e FEDER, projecto G-Cast (GRID/GRI/81733/2006).

### 6. Referências Bibliográficas

- Andrade, C., Pires, H. O., Taborda, R. e Freitas, M.C. 2007. "Projecting future changes in wave climate and coastal response in Portugal by the end of the 21st century." *J. of Coastal Res.*, SI 50: 253-257.
- Bertin, X., Oliveira, A. e Fortunato, A.B. 2009. "Simulating morphodynamics with unstructured grids: description and validation of a modeling system for coastal applications", *Ocean Modelling*, 28/1-3: 75-87.
- Dodet G., Bertin, X. e Taborda, R. 2010. "Wave climate variability in the North-East Atlantic Ocean over the last six decades." *Ocean Modeling*, 31 (3-4), 120-131.
- Fortunato, A.B. e Oliveira, A. 2004. "A modeling system for tidally driven long-term morphodynamics." *J. Hydraulic Res.*, 42/4: 426-434.
- Oliveira, A., Fortunato, A. B. e Rego, J.R.L. 2006. "Effect of morphological changes on the hydrodynamics and flushing properties of the Óbidos lagoon (Portugal)." *Continental Shelf Res.*, 26 (8): 917-942.



## Morfodinâmica Estuarina e Costeira

Lisboa, LNEC, 3-4 de Fevereiro de 2011

- Tolman H. L. 2009. "User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14". NOAA/NWS/NCEP/MMAB Technical Note 276, 194 p.
- Weibull W. 1951. "A statistical distribution function of wide applicability." *J. of Applied Mechanics*, 18: 293-297.