

Análise numérica e in-situ da evolução das ondas na praia de Faro

Conceição J. Fortes¹, Theo Moura¹, Óscar Ferreira³, Rui Capitão¹

(1) Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas, Departamento de Hidráulica e Ambiente, LNEC
Av. do Brasil, 101, 1700 066 Lisboa, Tel. +351 21 844 3912, Fax. 351 21 844 3019
E mail: jfortes@lnec.pt, tmoura@lnec.pt, rcapitao@lnec.pt

(2) CIMA, Universidade do Algarve, Edifício 7, Campus de Gambelas, 8005-139, Faro, offerreir@ualg.pt

Resumo: Nesta comunicação, é efectuada uma análise comparativa entre medições in situ e resultados numéricos da aplicação do modelo não linear COULWAVE para as condições de agitação verificadas na Praia de Faro durante os dias 26 a 28 de Março de 2009. O objectivo é avaliar o desempenho do modelo na simulação da hidrodinâmica da rebentação em condições reais. Este trabalho insere-se no âmbito do projecto BRISA.

Palavras-chave: Rebentação, Modelação numérica, Campanhas de campo, COULWAVE

1. INTRODUÇÃO

A zona costeira é uma região de dinâmica complexa, produto da interacção de diversas forças como vento, correntes de maré, ondas de gravidade, entre outras. As ondas geradas pelo vento são consideradas como a variável forçadora dominante em regiões costeiras de águas pouco profundas, sendo a principal responsável pelo transporte de sedimentos na zona de rebentação. Com o objectivo de melhor compreender os efeitos das ondas no transporte de sedimentos, está em curso o projecto BRISA (Interacção entre a rebentação das ondas e o transporte de areias), o qual inclui a realização de ensaios experimentais, modelação numérica e a realização de campanhas de recolha de dados de campo.

Neste trabalho, analisam-se duas dessas componentes do projecto, i.e., as medições efectuadas na Praia do Faro e os resultados obtidos por modelação numérica. O objectivo é analisar a hidrodinâmica desta zona. Foi escolhido o modelo numérico COULWAVE (Lynett e Liu, 2004), que simula a propagação de ondas fortemente não-lineares e dispersivas, em zonas de profundidade variável. Baseia-se nas equações do tipo Boussinesq, que são deduzidas a partir da integração em profundidade das equações de continuidade e movimento, utilizando o conceito de camadas múltiplas (*multi-layer*).

Utilizando o modelo COULWAVE, efectuou-se um conjunto de simulações com base em dados medidos na Praia do Faro entre os dias 25 e 28 de Março de 2009, utilizando diferentes tipos de equipamentos de medição (sondas resistivas e sensores de pressão) na zona da rebentação. As condições de contorno foram geradas com base em séries temporais de elevação medidas a uma profundidade aproximada de 11.7 m (abaixo do nível médio do mar). Os resultados

numéricos são comparados com séries de elevação medidas por sensores de pressão posicionados próximo da linha de costa. São apresentadas análises no domínio do tempo e estatísticas de conjunto, que têm como objectivo validar as simulações.

Esta abordagem permite avaliar o desempenho do modelo para simular as condições específicas do local, mas também permite, de uma maneira geral, contribuir para ter maior confiança na sua utilização em escalas temporais e espaciais maiores, necessárias numa perspectiva de gestão operacional. Nesta comunicação descrevem-se sucintamente a campanha de campo e a análise efectuada aos dados obtidos pelos sensores de pressão. Seguem-se as descrições do modelo COULWAVE e da sua aplicação às condições da campanha, assim como a avaliação do desempenho deste modelo.

2. CAMPANHA DE CAMPO

2.1 Descrição

A campanha de campo considerada neste trabalho decorreu na Praia de Faro, Península do Ancão, localizada no sistema de ilhas da Ria Formosa, na costa Sul de Portugal Continental (Figura 1).

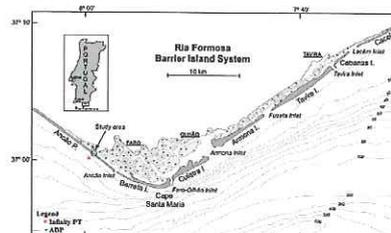


Figura 1 – Localização da zona em estudo e do sensor Infinity PT (mapa de Matias et al. 2009).

Esta campanha decorreu nos dias 25 a 28 de Março de 2009, envolvendo diversos instrumentos de aquisição, tais como transdutores de pressão (PT), correntómetros electromagnéticos (ECM), *Acoustic Doppler Velocimeter* (ADV), armadilhas de

sedimentos (ST) e instrumentos de posicionamento geográfico (DGPS).

Os dados obtidos consistem em medições simultâneas de elevação da superfície livre, velocidades de corrente, variações de pressão e concentração de sedimentos em transporte na coluna de água, para diferentes pontos ao longo de 2 perfis de praia localizados na zona de rebentação (Figura 2). Efectuou-se, também, a medição da elevação da superfície livre a maiores profundidades, bem como a recolha de sedimentos em todos os locais com equipamento, ao longo dos perfis.

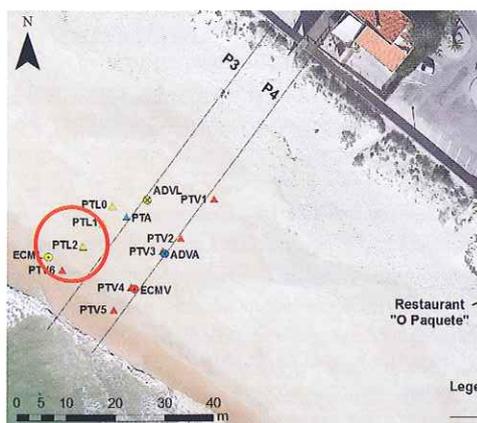


Figura 2 – Localização da instrumentação utilizada ao longo de dois perfis na praia de Faro. No interior do círculo vermelho, mostram-se os sensores PTL1 e PTL2.

No presente trabalho, apenas se consideraram os dados provenientes dos sensores de pressão a 9 m abaixo do ZH, (designado por Infinity PT), a 3.116 m acima do ZH e a 2.2 m acima do ZH – designados por PTL1 (correspondente a um Leveltroll 500) e PTL2 (correspondente a um sensor de pressão Honeywell de laboratório), respectivamente.

2.1 Análise dos dados obtidos

Com os dados obtidos no sensor de pressão Infinity PT, foram determinados (Voudoskas et al. 2009) os seguintes parâmetros da onda: altura significativa (HS) e período significativo (TS) (Figura 3). Apenas se apresenta os valores dos dias 26 a 28 de Março.

Os valores de HS obtidos no Infinity PT, variam entre 0.2 e 0.6 m, correspondentes a ondas de baixa energia, com direcções provenientes de SE (até 28 de Março) e de SW (durante 28 de Março). Os valores do período significativo TS mostram um padrão bastante regular (da ordem de 6 s) nos dias 26 a 27 de Março, até às 12:00, mudando a partir daí para valores mais elevados (cerca de 8 s), condições estas correspondentes a SW (dia 28).

Nos sensores de pressão PTL1 e PTL2, os valores de HS e TS são apresentados na Figura 4 (dados extraídos de Capitão e Fortes, 2009).

Em termos de altura de onda, os sensores PTL1 e PTL2 tem um comportamento semelhante, isto é, verifica-se que a altura de onda pode atingir valores de 0.45 m, em situação de praia-mar. Porém,

existem períodos de tempo (situações de baixa-mar) em que ou não há coluna de água, ou esta é insuficiente para o cálculo da altura de onda.

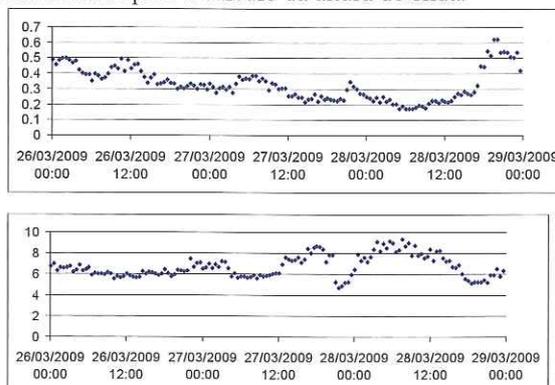


Figura 3 – Valores de HS e TS (s) no Infinity PT.

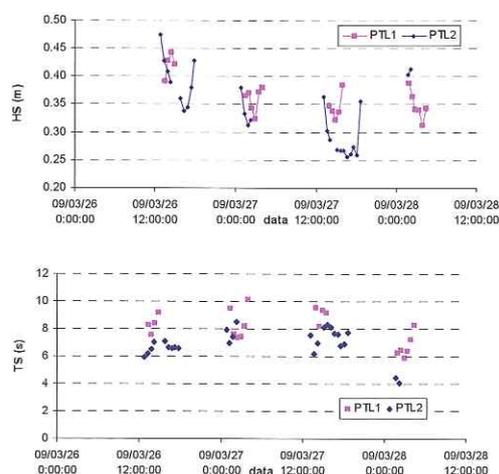


Figura 4 - Parâmetros da onda: HS (m) e TS (s) nos sensores de onda PTL1 e PTL2.

Relativamente aos períodos, o sensor PTL2 apresenta períodos entre 6 s e 8 s na maioria dos casos enquanto o sensor PTL1 tem valores entre 6 s e 10 s. Note-se que o sensor PTL1 se encontra em profundidades menores do que o PTL2 e, por isso, nem todas as ondas que chegam a PTL2 conseguem chegar a PTL1. Relativamente aos valores observados na posição do sensor Infinity PT, os valores na zona destes sensores são ligeiramente superiores.

3. MODELAÇÃO NUMÉRICA

3.1 O modelo COULWAVE

O modelo numérico COULWAVE, desenvolvido por Lynett e Liu (2004), resolve as equações não-lineares de Boussinesq deduzidas por aqueles autores utilizando o conceito de multi-camada, i.e., é adoptado um perfil de velocidades para cada camada em que é dividida a coluna de água. A precisão do modelo assim desenvolvido depende do número de camadas que se considera, permitindo a sua

utilização em águas muito profundas. Na simulação da hidrodinâmica da zona de rebentação, a dissipação de energia devido à rebentação é tratada através da inclusão de termos de viscosidade turbulenta nas equações de conservação da quantidade de movimento (Kennedy et al. 2000).

3.2 Condições de cálculo

Para este caso, o domínio computacional usado pelo modelo COULWAVE é bidimensional, de comprimento 846 m e de largura 120 m. A discretização da batimetria foi fornecida com um espaçamento de 2 m (Figura 5). O próprio modelo gera uma malha de diferenças finitas com base num número mínimo de pontos dado pelo utilizador que, neste caso, foi de 40. O número de Courant admitido foi igual a 0.4. A função fonte (geração de ondas) foi colocada na posição $x = 0$ m. Consideraram-se duas fronteiras de absorção nos extremos do domínio, com 1.25 vezes o comprimento de onda. Em todas as simulações, considerou-se apenas uma camada, as equações totalmente não-lineares e atrito de fundo (coeficiente de atrito= 1.0×10^{-2}). Nos restantes parâmetros do modelo, consideraram-se os valores sugeridos pelo manual (Lynett e Liu, 2004).

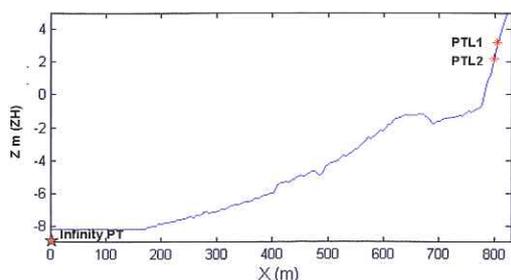


Figura 5 – Domínio de cálculo do modelo COULWAVE. Indicação dos sensores de pressão Infinity PT, PTL1 e PTL2

As condições de onda incidentes corresponderam a ondas regulares com as características dos valores medidos no sensor Infinity PT durante três dias de medição (26 a 28 de Março), Figura 3. Nestes cálculos a direcção da onda foi considerada perpendicular ao domínio computacional. Embora isto constitua uma considerável simplificação, tal foi efectuado pois não se possuem as direcções de onda na posição do sensor Infinity PT.

O tempo total simulado foi de 600 s. Os resultados numéricos foram obtidos em todos os nós da malha de cálculo e, em particular, nas posições das sondas de pressão PTL1 e PTL2.

3.3 Resultados

A Figura 6 apresenta a evolução da altura das ondas desde a posição do Infinity até à dos sensores de pressão, para uma onda incidente verificada no dia 26 de Março às 15:30, com as seguintes características: $H=0.39$ m, $T=6.2$ s.

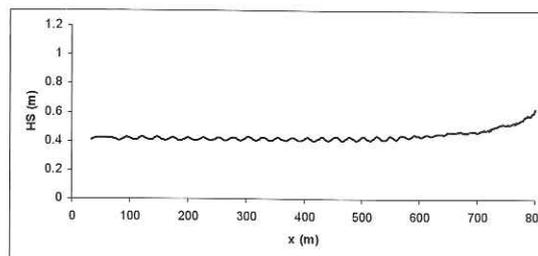


Figura 6 – Evolução da altura de onda ao longo do perfil de fundo, para a onda incidente de $H=0.39$ m e $T=6.2$ s (26 Março, 15:30).

A partir da observação da figura, é evidente o aumento da altura das ondas, devido ao empolamento à medida que a onda se aproxima da praia (menores profundidades), especialmente após $x=600$ m. Nota-se contudo a ocorrência de reflexão, cuja causa pode estar relacionada quer com o facto de se ter imposto agitação regular quer com a inclinação significativa do perfil de fundo, especialmente na face da praia ($\sim 1/6$). Assim, estes resultados devem ser vistos com alguma reserva. Na Figura 7 e na Figura 8 apresentam-se os resultados numéricos (em termos de alturas de onda) e as medições nos sensores de pressão correspondentes, para os pontos PTL1 e PTL2.

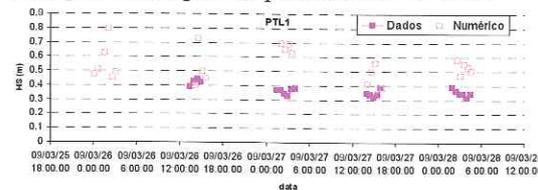


Figura 7 – Comparações entre medições e valores numéricos de HS na posição PTL1.

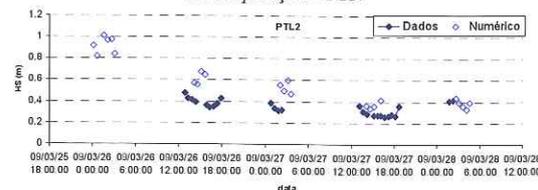


Figura 8 – Comparações entre medições e valores numéricos de HS na posição PTL2.

A Tabela 1 apresenta os valores dos parâmetros estatísticos calculados entre os valores numéricos e medidos nos dois sensores, PTL2 e PTL1. Os parâmetros considerados foram o desvio (BIAS), o erro médio quadrático (RMSE) e o índice de concordância (IC) dado por:

$$IC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - x_i|^2}{\sum_{i=1}^n (|y_i - \bar{x}| + |x_i - \bar{x}|)^2} \tag{1}$$

onde x_i são os valores experimentais (referência), y_i são os valores dos modelos numéricos, \bar{x} é a média do valor experimental e n é o número de pontos. O índice de concordância IC varia de zero a um, que corresponde a uma maior concordância dos

valores numéricos com os experimentais.

Tabela 1 – Valores de BIAS, RMSE e índice de Wilmott (IC) para os sensores PTL2 e PTL1.

Sondas	BIAS	RMSE	IC
PTL1	0.120	0.214	0.588
PTL2	0.146	0.155	0.627

Para ambas as posições dos sensores:

- o Em geral, os valores numéricos apresentam comportamento semelhante aos obtidos das medições, para o período analisado (desde que haja coluna de água suficiente no sensor para permitir o cálculo dos parâmetros de onda). Verifica-se também que os valores medidos são inferiores aos obtidos pelos modelos numéricos.
- o A concordância entre resultados numéricos e experimentais é melhor para o caso do sensor PTL2 do que para o sensor PTL1. Com efeito, o índice de concordância é de 59% no caso de PTL2 e de 63% no caso do PTL1. Além disso, a média das diferenças entre os valores numéricos e experimentais é de aproximadamente 0.12 (PTL1) e de 0.168 (PTL2). Com efeito, no caso do PTL1 a altura da onda é controlada pela altura da coluna de água, pelo que é normal que a concordância não seja tão boa.

As diferenças observadas entre valores numéricos e medidos, sendo estes consistentemente inferiores, podem estar relacionadas com o facto de se ter imposto uma direcção das ondas normal à batimetria (que agrava as condições de agitação nos sensores junto à linha de costa) e que não corresponde à direcção das ondas na bóia de Faro. Há que ter em atenção também as limitações quer do próprio modelo numérico quer dos equipamentos de medição, conforme dito na secção 2. Relativamente às limitações do COULWAVE, note-se que a aplicação do modelo em inclinações de fundo da ordem 1/6 é muito exigente para o modelo pois as equações base são integradas no pressuposto de fundos de inclinação suave. Para além disso, fenómenos como a rebentação são incluídos no modelo através da adição de um termo de viscosidade turbulenta à equação original, que depende de um conjunto de parâmetros relacionados com o início, fim e duração da rebentação. Estes parâmetros têm de ser calibrados para cada caso de estudo e condição de agitação, sendo assim uma limitação do modelo numérico. Ora, no presente trabalho, os parâmetros da rebentação foram mantidos constantes quaisquer que fossem as condições de agitação incidente, dada a grande variabilidade dessas condições nos três dias de medição.

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho, descreveu-se a aplicação do modelo COULWAVE às condições de agitação observadas pelo sensor de pressão Infinity PT durante o período de 26 a 28 de Março de 2009.

A comparação de resultados numéricos com medições efectuadas com sensores de pressão localizados na zona de rebentação mostrou que o modelo simula razoavelmente a evolução da onda desde a posição do Infinity PT até praia. Existem diferenças, no entanto, principalmente nas zonas menos profundas, que estão relacionadas com as condições de agitação impostas (agitação regular, direcção normal às batimétricas, parâmetros de rebentação adequados) e com limitações do modelo. Como trabalho futuro, a imposição de condições de agitação mais próximas da realidade bem como uma análise de sensibilidade aos parâmetros de rebentação intrínsecos do modelo permitirá melhorar os resultados numéricos. Além disso, a comparação de resultados numéricos (alturas de onda e velocidades) com outras medições efectuadas por equipamentos na praia, permitirão confirmar o desempenho do modelo.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos elementos que colaboraram na campanha de campo e à FCT pelo financiamento obtido através de projecto BRISA - PTDC/ECM/73145/2006.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fortes, C.J.E.M.; Capitão, R. (2009). Relatório da Campanha BRISA I à praia de Faro. 26 a 28 de Março de 2009. Relatório BRISA 1/2009. Maio.
- Kennedy, A.B., Q. Chen, J.T. Kirby, and Dalrymple, R.A. (2000). Boussinesq Modeling of Wave Transformation, Breaking and Runup I: 1D. J. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, Vol. 126, No. 1, pp. 39-47.
- Lynett, P., Liu PL-F. (2004). Modelling wave generation, evolution and interaction with Depth-Integrated, Dispersive Wave equations. COULWAVE Code Manual. Cornell Univ. Long Inter. Wave Modelling Package.
- Matias, A., Vila-Concejo, A., Ferreira, Ó., Morris, B., Dias, J.A. (2009). Sediment dynamics of barriers with frequent overwash. J. Coast. Res. 25(3)768-780.
- Voudoskas, M., Almeida, L.P. (2009). MICORE-Intensive Campaign Report. Internal Ciacomar Report 06/09.