

O projecto BRISA – Interação entre a rebentação das ondas e o transporte de areias

Conceição J. Fortes¹, Paulo A. Silva², Óscar Ferreira³

(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@lneec.pt

(2) CESAM & Departamento de Física da Universidade de Aveiro, Campus Universitário de Santiago,
3810-193, Aveiro, psilva@ua.pt

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

Resumo: Nesta comunicação descreve-se o projecto BRISA (Interação entre a rebentação das ondas e o transporte de areias) que tem por objectivo contribuir para a compreensão e modelação numérica dos fenómenos de rebentação das ondas e do transporte de sedimentos em zonas costeiras. Para este efeito, o projecto envolve a modelação numérica, a modelação experimental e a recolha de dados de campo quer no que se relaciona com a hidrodinâmica da rebentação das ondas quer no transporte de sedimentos.

Palavras-chave: Rebentação, Transporte de sedimentos, Modelação física e numérica, Campanhas de campo

1. INTRODUÇÃO

A caracterização da zona de rebentação é essencial em estudos de hidrodinâmica costeira e de transporte de sedimentos. A localização e a extensão da rebentação são dois dos principais parâmetros a estabelecer porque determinam o balanço sedimentar e a estabilidade das estruturas costeiras. Nesse sentido, o projecto BRISA tem por objectivo contribuir para a compreensão e modelação numérica dos fenómenos de rebentação das ondas e do transporte de sedimentos em zonas costeiras tendo por base o uso de dados de campo e a validação de modelos de previsão (Figura 1).



Figura 1 – Organigrama representativo dos objectivos e da interacção entre obtenção de dados e modelação no decurso do Projecto BRISA.

No âmbito da hidrodinâmica da rebentação, os objectivos são: a) análise da rebentação em perfis de fundo complexos, como é o caso de perfis do tipo barra-fossa, através de um estudo experimental com obtenção de dados antes, durante e após a rebentação; b) desenvolvimento de um novo modelo numérico de rebentação e sua utilização em modelos de propagação de ondas, efectuando a sua validação.

No âmbito do transporte de sedimentos, o objectivo é a análise dos efeitos da não-linearidade das ondas no fluxo de sedimentos e na morfodinâmica bem como o melhoramento de modelos de transporte de sedimentos.

O projecto engloba, ainda, a recolha de dados *in situ*, mais concretamente, nas praias de Faro e da Costa da Caparica. As campanhas de campo fornecem um conjunto de dados essenciais ao conhecimento da dinâmica da rebentação e ao transporte de sedimentos associado através de medições simultâneas de velocidades das correntes, de pressão, do transporte sedimentar e da batimetria/topografia em diferentes zonas das praias. O projecto está estruturado em diferentes tarefas, sendo as principais: a) Ensaios experimentais em canal; b) Modelação numérica da rebentação e do transporte de sedimentos; c) Medições em campo.

Nesta comunicação descrevem-se as metodologias e actividades desenvolvidas nas diferentes tarefas do projecto BRISA, referindo-se alguns dos resultados até agora alcançados.

2. ENSAIOS EXPERIMENTAIS

A hidrodinâmica na zona após a rebentação é um aspecto pouco estudado, principalmente para perfis de fundo complexos, tais como o perfil barra-fossa, em que existe uma primeira rebentação e, posteriormente, uma reformação da onda.

De forma a contribuir para o conhecimento da hidrodinâmica na zona após a rebentação, têm vindo a ser realizados um conjunto de ensaios em canal, para diferentes perfis de fundo e diferentes condições de agitação incidente (Figura 2).

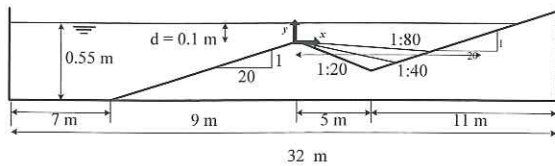


Figura 2 - Perfil do fundo do canal de ensaios experimentais.

O objectivo destes ensaios é a medição da elevação da superfície livre e de velocidades desde a ocorrência da rebentação até ao seu final. Assim, sobre um fundo constituído por três rampas de inclinação de 1:20, 1:40 e 1:80 foram ensaiados 4 períodos de onda regular ($T=1.1, 1.5, 2.0$ e 2.5 s) com 4 diferentes alturas ($H=8, 10, 15$ e 20 cm).

Para cada ensaio, determinam-se as localizações de início e fim da rebentação e efectua-se a medição ao longo do canal das elevações da superfície livre e das velocidades, incluindo a medição do perfil de velocidades na vertical. Estes valores permitem o cálculo da celeridade da onda, dos valores da altura de onda e da velocidade orbital. A título de exemplo, apresentam-se na Figura 3 os valores da altura da onda obtidos para um declive de 1:20 e para $T=1.5$ s e $H=8, 10, 15$ e 20 cm.

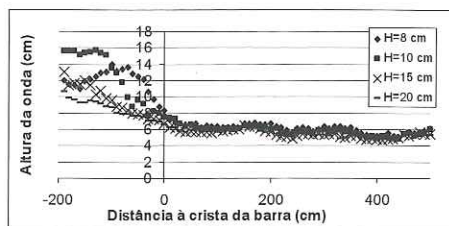


Figura 3 - Variação da altura de onda ($T=1.5$ s, $H=8, 10, 15$ e 20 cm).

Para além de constituírem um conjunto excelente de resultados experimentais para a validação de modelos numéricos, estes ensaios têm por objectivo final o cálculo de um índice de rebentação introduzido por Utku (1999) baseado no conceito do Relative Trough Froude Number (RTFN) que se relaciona com o conceito do ressalto hidráulico móvel. Este índice poderá diminuir o empirismo associado aos modelos de rebentação existentes e é dado por:

$$\text{RTFN} = C_{\text{crista}} - u_{\text{cava}} / C_{\text{crista}} \quad (1)$$

em que C_{crista} é a celeridade na crista e u_{cava} a velocidade na cava.

A partir dos dados experimentais obtidos foi já possível estabelecer os valores do índice de rebentação no início, durante e fim da rebentação, cujo exemplo se apresenta na Figura 4. À data, está em desenvolvimento o modelo de rebentação de ondas baseado neste índice o qual será incluído num modelo de propagação de ondas de resolução de fase.

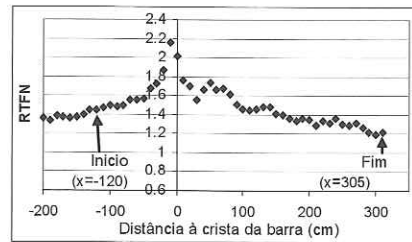


Figura 4 - Evolução de RTFN durante a rebentação ($T=2.0$ s, $H=8$ cm, declive 1:40).

3. MODELAÇÃO NUMÉRICA

A componente de modelação numérica pode ser dividida em duas partes:

Rebentação das ondas

- Calibração e validação dos modelos de propagação de ondas com medições obtidas no canal de ondas e em campo;
- Melhoramento dos modelos de propagação de ondas na simulação da rebentação, incluindo o desenvolvimento de um modelo de rebentação e a sua inclusão em modelos de propagação de resolução de fase ou de média em fase.

Transporte de sedimentos

- Análise dos efeitos da não-linearidade das ondas no fluxo de sedimentos e na morfodinâmica;
- Melhoramento/desenvolvimento de modelos de transporte de sedimentos, através da análise dos efeitos da assimetria da onda no transporte transversal de sedimentos (cross-shore).

3.1 Rebentação das ondas

Usualmente os modelos numéricos de propagação de ondas incluindo a rebentação, efectua-se a simulação da rebentação, recorrendo a parâmetros que têm que ser ajustados sem qualquer base teórica ou experimental para as diferentes condições de agitação incidente e de batimetria.

O trabalho desenvolvido nesta componente consistiu essencialmente na utilização de dados obtidos nos ensaios experimentais em canal (Secção 2) para efectuar uma análise de sensibilidade à variação desses parâmetros em cada um dos modelos numéricos testados e avaliar as potencialidades e limitações desses modelos. Utilizaram-se os modelos FUNWAVE (Kennedy et al. 2000), COULWAVE (Lynett e Liu, 2004), ambos baseados em equações do tipo Boussinesq e COBRAS-UC (Lara et al., 2006), baseado na equação de Navier-Stokes (RANS). Em seguida, descreve-se apenas para o modelo COULWAVE o trabalho desenvolvido e a sua comparação com o modelo COBRAS-UC. Note-se que o modelo COBRAS-UC apresenta grandes vantagens face ao modelo COULWAVE nos estudos do escoamento sobre fundo de profundidade variável ou de interacção ondas-estrutura. Mas, como se trata de um modelo unidimensional, enquanto o COULWAVE é

bidimensional em planta, aliado ao elevado tempo de cálculo e esforço computacional a que está associado quando comparado com o modelo COULWAVE, restringe a sua aplicação genérica.

Para o modelo COULWAVE, analisaram-se os parâmetros directamente relacionados com a formulação da rebentação e efectuou-se um teste de sensibilidade à variação destes de modo a avaliar a sua influência nos resultados numéricos. A análise de sensibilidade foi efectuada aos parâmetros $\zeta_t^{(I)}$ e $\zeta_t^{(F)}$, T^b e δ que estão relacionados com o início, fim e duração da rebentação e o factor de amplificação, respectivamente. Assim, para a configuração de fundo da Figura 2, efectuaram-se cálculos numéricos com o modelo COULWAVE, para condições de onda incidentes correspondentes a $T=1.5$ s, 2.0 s e 2.5 s com $H=8$ cm e 15 cm.

A título de exemplo, apresentam-se na Figura 5 os valores experimentais e os resultados numéricos de altura de onda, obtidos para a gama de valores de $\zeta_t^{(I)}$ indicados. Verificou-se que o modelo é sensível aos parâmetros $\zeta_t^{(I)}$, $\zeta_t^{(F)}$ e T^b e que deles depende a correcta previsão dos valores de altura significativa. O valor de δ não afecta os resultados numéricos.

A análise comparativa entre os resultados do COULWAVE e do COBRAS-UC em termos da componente horizontal u da velocidade orbital, como é apresentado na

Figura 6, confirma que ambos os modelos simulam adequadamente a maioria das transformações das características das ondas ao longo da sua propagação. Porém, o modelo COBRAS-UC reproduz mais adequadamente as características da série temporal de u .

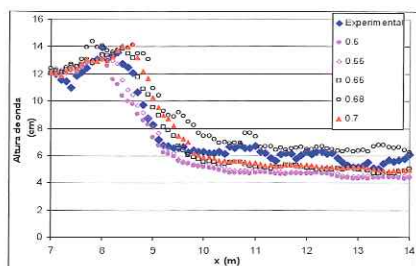


Figura 5 – Variação de $\zeta_t^{(I)}$. Altura de onda para onda incidente de $T=1.5$ s, $H=8$ cm. Declive 1:20.

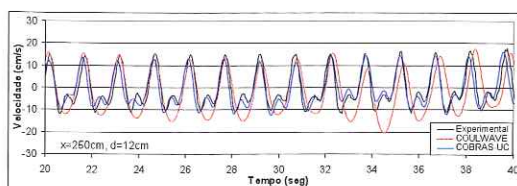


Figura 6 – Componente horizontal u da velocidade orbital para $x=250$ cm e à profundidade de 12 cm. Resultados numéricos e experimentais.

3.2 Características da ondulação e transporte de sedimentos

As assimetrias da velocidade orbital da onda antes e na zona de rebentação desempenham um papel preponderante no transporte de sedimentos transversal (cross-shore). Esta relação não é ainda bem conhecida e o conjunto de dados experimentais disponível para o seu estudo é escasso.

O trabalho desenvolvido consistiu em avaliar a distribuição espacial de diferentes momentos estatísticos da velocidade e da aceleração do escoamento relacionados com a assimetria da velocidade para perfis de praia do tipo barra-fossa (Abreu et al., 2007), desenvolver uma formulação empírica que aproxima com bom grau de precisão as características não lineares da velocidade orbital da onda junto ao fundo (como exemplo, na Figura 7 comparam-se os valores da velocidade observados e simulados num ponto do perfil de praia de Duck, Abreu et al., 2010) e estudar com base num conjunto de dados experimentais obtidos no projecto TRANSKEW a importância da assimetria da onda no transporte sedimentar (Silva et al., *submetido*).

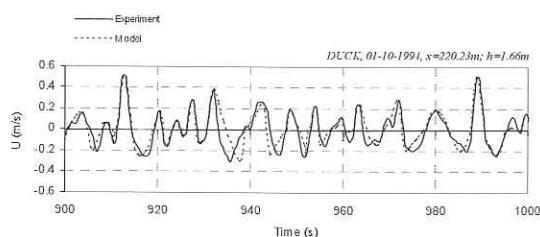


Figura 7 – Série temporal da velocidade orbital observada e simulada (Abreu et al., 2010).

As metodologias desenvolvidas estão a ser aplicadas ao conjunto de dados de campo obtidos nas campanhas do projecto (Faro e Costa da Caparica).

4. CAMPANHAS DE CAMPO

O objectivo das campanhas de campo é a recolha de dados *in situ* com vista ao conhecimento da dinâmica da rebentação e do transporte de sedimentos na praia. Mais concretamente, pretende-se:

- Determinar a agitação marítima local, através da medição da elevação da superfície livre em diversos pontos, ao longo do perfil de praia na zona de rebentação;
- Medir as variações morfológicas (transversais e longitudinais) e estimar o transporte sedimentar transversal;
- Caracterizar o campo de correntes litorais;
- Fazer o cruzamento de dados de correntes com dados do transporte de sedimentos (com armadilhas de sedimentos) e variações morfológicas (com levantamentos topográficos e com um sistema de sensores de pressão), de forma a caracterizar o

transporte de sedimentos.

Neste âmbito, foram efectuadas duas campanhas: uma na Praia de Faro, Faro, entre 25 e 26 de Março de 2009 e outra na praia da Saúde, Costa da Caparica, entre 12 e 15 de Maio de 2010, envolvendo diversa instrumentação, tal como transdutores de pressão, correntómetros electromagnéticos (ECM), Acoustic Doppler Velocimeter (ADV), Optical Backscatters (OBS), armadilhas de sedimentos e 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 (Praia de Faro; Figura 8) ou 1 (Praia da Saúde) perfis de praia localizados na zona de rebentação. Efectuou-se também a medição da elevação da superfície livre ao largo, na batimétrica dos 11 m, bem como a recolha de sedimentos em todos os locais com equipamento, ao longo dos perfis.

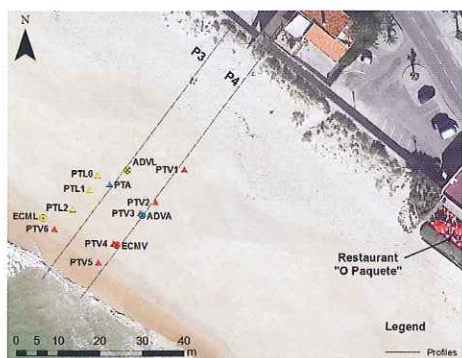


Figura 8 – Localização da instrumentação utilizada ao longo de dois perfis na praia de Faro.

Os levantamentos morfológicos foram efectuados recorrendo a um sistema RTK-DGPS e a uma eco-sonda. As variações da topografia na praia foram também estimadas através de uma técnica inovadora que recorre às fibras ópticas acopladas a sensores de pressão instalados no subsolo (Ferreira, 2009).

A análise de todos os dados está neste momento a ser efectuada, incluindo a sua incorporação na validação dos modelos atrás descritos.

5. CONCLUSÃO

O projecto BRISA envolve uma componente experimental de recolha de dados de hidrodinâmica da rebentação das ondas e de transporte de sedimentos num canal de ondas e em duas praias e uma componente de modelação numérica.

Neste artigo apresentaram-se os principais objectivos, tarefas e trabalho desenvolvido até ao momento no âmbito do projecto BRISA.

Dos resultados obtidos salienta-se: a) o vasto conjunto de dados adquiridos através de ensaios em modelo físico em canal e nas duas campanhas de

campo; b) a avaliação do desempenho de modelos numéricos e sua calibração, utilizando dados experimentais, bem como a determinação do RTFN que servirá de base ao novo modelo de rebentação; c) o desenvolvimento inovador de sensores de pressão em fibra óptica para medição da variação da batimetria/topografia da praia; d) a contribuição para o conhecimento dos mecanismos que determinam o transporte de areias em ondas assimétricas.

O trabalho futuro passa pelo desenvolvimento do novo modelo de rebentação com base no conceito RTFN, implementação no modelo COULWAVE e validação com os dados de campo e em canal, assim como aplicar e desenvolver formulações para o cálculo do transporte sedimentar ao conjunto de dados de campo obtidos e avaliar o seu desempenho mediante a comparação com os levantamentos topográficos e batimétricos.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos elementos que colaboram no projecto. Agradecem ainda o financiamento da FCT através do projecto PTDC/ECM/73145/2006.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, T., Sancho, F., Silva, P. (2007). Parametrização de assimetrias da velocidade e da aceleração de ondas em praias com barra, PIANC07 - 5as JPECP, CD-ROM.
- Abreu, T., Silva, P.A., Sancho, F., Temperville, A. (2010). Analytical approximate wave form for asymmetric waves. *Coastal Eng.*, 57, 656-667.
- Ferreira, L. (2009). Monitorization of bed level changes using optical fiber sensors, Tese de Mestrado em Eng. Física da Universidade de Aveiro
- 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.
- Lara, J.L., Garcia, N. and Losada, I.J. (2006). RANS modelling applied to random wave interaction with submerged porous structures. *Coastal Engineering*, 53, pp. 395-417.
- 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.
- Silva, P.A., Abreu, T., Van der A, D., Sancho, F., Ruessink, G.B., Van der Werf, J., Ribberink, J.S. Sediment transport in non-linear skewed oscillatory flows: the Transkew experiments, *J. Hydraulic Research* (submetido).
- Utku, M. (1999). The Relative Trough Froude Number: A New Wave Breaking Criteria', Ph.D. Dissertation, Dept. Civil and Environmental