

Avaliação do transporte sedimentar na praia da Praia de Faro a partir da medição de velocidades orbitais

L. Ferreira (1), P. A. Silva (1), T. Abreu (2), F. Sancho (3) e Ó. Ferreira (4)

- (1) CESAM & Dep. Física – Universidade de Aveiro, Campus de Santiago, 3810-193 Aveiro, luis.ferreira@ua.pt; psilva@ua.pt
- (2) Dep. de Eng. Civil – ESTGV – Instituto Politécnico de Viseu, Campus de Repeses, 3504-510 Viseu, tabreu@dcivil.estv.ipv.pt
- (3) Laboratório Nacional de Engenharia Civil – DHA, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, fsancho@lnec.pt
- (4) CIMA, Universidade do Algarve, Edifício 7, Campus de Gambelas, 8005-139, Faro, offerreir@ualg.pt

Resumo: No âmbito do projecto BRISA (Interação entre a Rebentação das Ondas e o Transporte de Sedimentos) decorreu uma campanha na Praia de Faro onde foram efectuadas medições da elevação da superfície livre e da velocidade orbital junto ao fundo na zona de espraiamento da onda. Nesta comunicação são apresentados os resultados do processamento desses dados, apresentando-se estimativas dos momentos estatísticos (valor médio, variância e assimetria) que permitem caracterizar o tipo de escoamento oscilatório existente nesse local. Os resultados obtidos são utilizados posteriormente para avaliar o transporte de sedimentos, recorrendo a formulações práticas empregues em modelos de engenharia. Finalmente, confrontam-se as variações topográficas estimadas com as observadas.

Palavras chave: ADV, velocidade orbital, transporte sedimentar, Praia de Faro

1. INTRODUÇÃO

O escoamento na zona de espraio da onda numa praia é caracterizado por duas fases distintas: uma de espraio (swash) e outra de ressaca (backwash). O transporte de areias nessa zona é intenso e portanto a sua quantificação para o balanço sedimentar deverá ser tida em conta. Recentemente, têm sido propostos na literatura modelos para estimar a taxa de transporte na zona de espraio da onda com base em formulações já conhecidas. Masselink e Russel (2006) mostraram que a formulação de Bailard (1981) não descreve correctamente as taxas de transporte observadas. A existência de outros processos, que não quantificados nesta formulação, como, por exemplo, os resultantes da aceleração do escoamento e os associados a processos de infiltração/exfiltração (Masselink e Russel, 2006), poderá estar na origem da intensificação da tensão de atrito junto ao fundo, τ , e da mobilização dos sedimentos na fase de espraio. Com base num conjunto de medições directas de τ , Barnes et al. (2009) mostraram que os valores de τ durante o espraio eram superiores aos obtidos durante a ressaca e reproduziram satisfatoriamente as taxas de transporte com a formulação de Bailard mas considerando diferentes valores para o coeficiente de atrito nas fases de espraio e de ressaca. Por outro lado, Austin et al. (2009) mostraram que a inclusão de efeitos de aceleração na formulação clássica de Meyer-Peter-Müller (1948) conduz a estimativas razoáveis das taxas de transporte.

No presente trabalho é analisado um conjunto de dados de velocidade medidos com um ADV na zona de espraio da onda. Estes dados foram obtidos durante a 1^a campanha do projecto BRISA que

decorreu na praia da Praia de Faro entre 25 e 28 de Março de 2009. Com base nestes dados, caracteriza-se o escoamento, calculam-se as taxas de transporte de areia e compara-se esta estimativa com valores obtidos a partir de levantamentos topográficos no local.

2. MEDIÇÕES DA VELOCIDADE ORBITAL

2.1 ADV e processamento dos dados

As medições da velocidade orbital na zona de espraio, durante a campanha de campo, foram efectuadas com um ADV (*Acoustic Doppler Velocimeter*) Sontek 10MHz. Este instrumento mede as três componentes da velocidade da corrente num volume de controlo que dista cerca de 11cm do transmissor. Os dados foram recolhidos com uma taxa de amostragem de 20 Hz e a velocidade máxima definida foi de 2.5 m/s. A Figura 1 ilustra o ADV, a estrutura e o local onde foi instalado na Praia de Faro.



Fig. 1. ADV, PT (transdutor de pressão) e estrutura de instalação na Praia de Faro

Durante a campanha foram obtidos quatro conjuntos de dados de velocidade medidos com o ADV. Estes dados referem-se sempre a condições de preia-mar e cada conjunto tem uma duração média de 2h45min. Neste trabalho apenas são apresentados e analisados os dados correspondentes à segunda preia-mar, entre as 1h05 e as 4h00 do dia 27 de Março. A agitação marítima medida ao largo, a 11m de profundidade, caracteriza-se, em média, por uma altura significativa de 0.35m e um período médio de 6s. Durante as medições, a distância entre o volume de controlo do ADV e a superfície de areia variou entre 8.5 (valor inicial) e 7.5 cm (valor final).

Na Figura 2 representa-se, a título de exemplo, um registo típico dos valores das componentes horizontais da velocidade orbital medidas para um pequeno intervalo de tempo: U_x refere-se à componente transversal sendo positiva para a costa, e U_y a componente longitudinal. Como o ADV estava instalado na zona de espraio da onda, encontrava-se, alternadamente e por pequenos períodos de tempo, dentro e fora de água. Os valores das velocidades denotam essa periodicidade: quando o volume de controlo do ADV estava fora de água observam-se muitas oscilações nas velocidades medidas; pelo contrário, quando o volume de controlo está imerso, as medições efectuam-se correctamente (os valores correspondentes da velocidade estão indicados a vermelho na Figura 2).

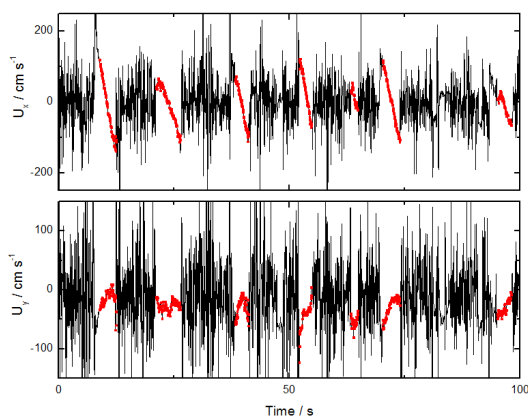


Fig. 2. Exemplo dos valores de U_x e U_y medidos

Desta forma, o conjunto de dados de velocidades medidas é constituído por uma série de pulsos, correspondendo cada um a uma onda. A identificação de cada pulso foi efectuada impondo um valor limite para os valores da razão entre o sinal e o ruído ($\text{SNR} > 30\%$) e da correlação ($> 70\%$), de acordo com o fabricante, e mediante uma análise detalhada das velocidades. Neste processo de identificação das ondas foram igualmente utilizados os registos de um transdutor de pressão que se encontrava instalado na estrutura do ADV (ver Figura 1).

Para cada onda individual identificada foram calculados os valores extremos da componente U_x da velocidade correspondentes às fases de espraio,

U_s , e de ressaca, U_b , os instantes associados a esses extremos, o período da onda (T) e o instante correspondente ao zero descendente, t_0 (ver Figura 3). Com base nestes dados, avaliaram-se os intervalos de tempo t_1 e t_2 , que correspondem, respectivamente, a valores positivos e negativos da velocidade (espraio e ressaca), bem como momentos estatísticos de U_x , nomeadamente a skewness, U_{sk} , e a curtose, U_{ku} :

$$U_{sk} = \frac{\langle U_x^3 \rangle}{\langle U_x^2 \rangle^{1.5}}$$

$$U_{ku} = \frac{\langle U_x^4 \rangle}{\langle U_x^2 \rangle^2}$$

onde $\langle \rangle$ representa uma média no ciclo da onda.

Estes parâmetros possibilitam a quantificação de algumas das características não lineares da componente transversal da velocidade na zona de espraio da onda e são contemplados em alguns modelos práticos de transporte sedimentar.

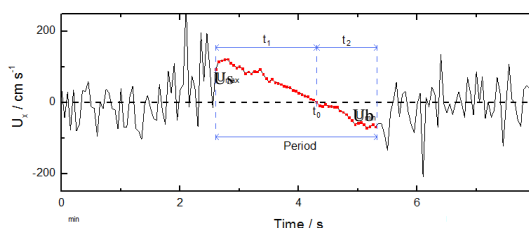


Fig. 3. Definição de parâmetros

O conjunto total das ondas identificadas foi, posteriormente, dividido em 17 subconjuntos de 10min e, para cada um deles, calcularam-se os valores médios e os desvios padrão dos parâmetros mencionados anteriormente

2.2 Resultados

Na Figura 4 apresentam-se os valores da elevação da coluna de água, h , e os valores de U_x correspondentes para um intervalo de 50s do registo.

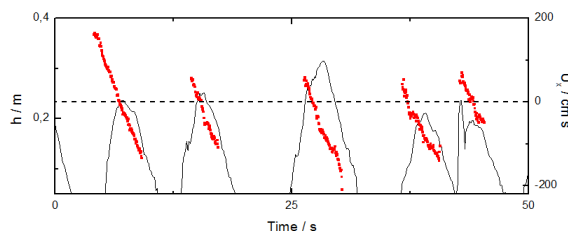


Fig. 4. Valores da profundidade h (a negro) e de U_x (a vermelho; negativo é dirigido para o largo).

A componente U_x apresenta valores positivos no início de cada pulso e valores negativos no seu final, correspondendo, respectivamente, às fases de espraio e de ressaca. Observa-se que a componente U_x tem valores máximos em módulo que atingem 2m/s e

que os seus valores extremos positivos e negativos ocorrem, respectivamente, no início do espraio e no final da ressaca. A inversão do escoamento observa-se aquando dos valores máximos da altura da coluna de água. Quanto à componente longitudinal U_y , esta apresentou um valor médio de 0.15 m/s para oeste, decorrente da direcção dominante da ondulação. A Figura 5 representa as médias de 10min dos diferentes parâmetros calculados para todo o registo do ADV correspondente ao ciclo de preia-mar em questão.

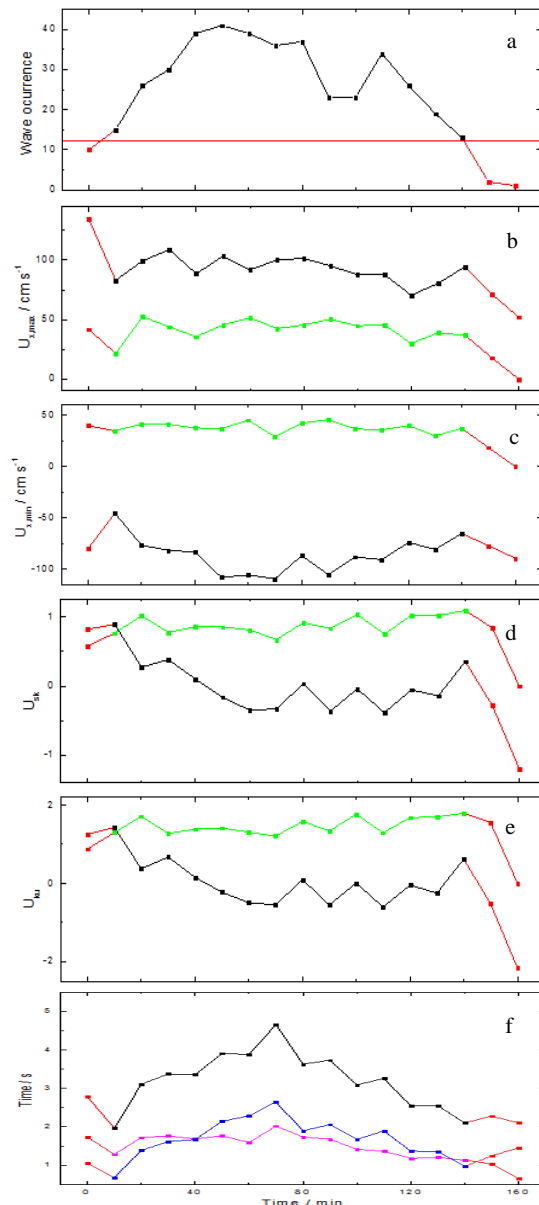


Fig. 5. Número de ondas (a) e valores médios de U_s (b), U_b (c), U_{sk} (d), U_{ku} (e), do período da onda - a negro- e duração dos intervalos $t1$ -a rosa- e $t2$ - a azul (f) em intervalos de 10min. As linhas a verde representam os valores do desvio padrão.

O painel superior da Figura 5 representa o número de ondas, N , identificadas em cada um dos intervalos de tempo. Os valores de N são superiores na zona central do registo ($N=40$), correspondendo à máxima preia-mar (a profundidade máxima atingida no local foi de 0.3m), e diminuem no início e fim da preia-mar. Para estas fases da maré (linhas e pontos assinalados a vermelho), os valores médios calculados têm pouco significado.

Os valores médios de U_s e U_b variam respectivamente entre 0.75 e 1.00 m/s e 0.50 e 1.10 m/s. Os valores de U_{sk} são predominantemente negativos, mas próximos de 0 entre os 40 e 130min. No início e no fim da preia-mar, verificam-se, naquele local, valores positivos, indicando que é sobretudo para estas fases que se observa uma assimetria (vertical) da velocidade do escoamento transversal. O valor médio do período da onda aproxima-se de 3.4 s, apresentando uma variação ao longo do registo com maiores valores nos instantes correspondentes à altura máxima da praia mar. Verifica-se também que o período $t1$ correspondente às velocidades positivas (espraio) tem, em média, uma duração menor do que o tempo $t2$ correspondente à ressaca (sobretudo entre 40min e 130min). Aponta-se que os valores de U_s e $t1$ são aproximadamente constantes durante este evento de preia-mar, mas, em contrapartida, U_b e $t2$ apresentam uma maior variabilidade, com valores menores no início e no fim do ciclo da preia-mar.

3. AVALIAÇÃO DO TRANSPORTE SEDIMENTAR

Na Figura 6 apresentam-se os dados dos levantamentos topográficos efectuados com um sistema RTK DGPS para o perfil de praia onde estava localizado o ADV e nas imediações deste. As duas linhas representadas na Figura 6 referem-se aos levantamentos efectuados antes e após a preia-mar em estudo.

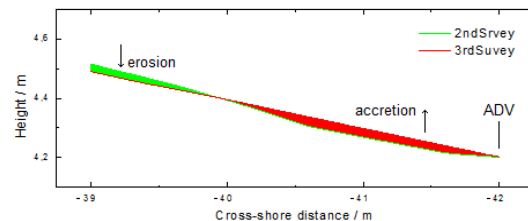


Fig. 6. Dados dos levantamentos topográficos nas imediações do ADV.

As variações do perfil de praia são muito pequenas, observando-se acreção entre $x=-42$ m (local do ADV) e $x=-40$ m e posterior erosão para valores de x inferiores. Assumindo que as variações da topografia observadas entre $x=-39$ e $x=-42$ m devem-se ao escoamento na zona de espraio da onda, estimou-se que a taxa de transporte volumétrica de areia no local do ADV durante o período total de medição

indicado na Secção 1 é de $+0.03\text{m}^2$ por metro de largura da praia.

As taxas de transporte de areia instantâneas na direcção transversal da praia foram também estimadas com base nas medições da componente U_x do ADV através da formulação de Bailard (1981):

$$q = q_b + q_s - \rho C_f \frac{\varepsilon_b}{\tan \phi} \left[|u|^2 u - \frac{\tan \beta}{\tan \phi} |u|^3 \right] + \rho C_f \frac{\varepsilon_s}{w_s} \left[|u|^2 u - \frac{\varepsilon_s \tan \beta}{w_s} |u|^3 \right]$$

Nesta expressão os índices 'b' e 's' referem-se, respectivamente, ao transporte por arrastamento e em suspensão, ρ é a massa volúmica da água, C_f representa o coeficiente de atrito, w_s é a velocidade de queda das partículas de areia ($w_s=0.05 \text{ m s}^{-1}$), ε é um factor de eficiência ($\varepsilon_b=0.135$; $\varepsilon_s=0.015$), $\tan \phi=0.63$, e $\tan \beta$ é o declive do fundo ($=0.10$ para o local do ADV). De acordo com Barnes et al. (2009), na zona de espraio da onda o valor do coeficiente de atrito correspondente ao espraio é superior ao correspondente à ressaca. Desta forma, reproduz-se indirectamente o aumento da tensão de atrito junto ao fundo no espraio associado a diferentes processos (aceleração do escoamento, efeitos de infiltração e exfiltração e ressalto hidráulico). Neste trabalho consideraram-se os valores de C_f de 0.015 para o espraio e de 0.009 para a ressaca (Barnes et al., 2009). A Figura 7 mostra, como exemplo, os valores da taxa de transporte de areia calculados para uma onda identificada no registo.

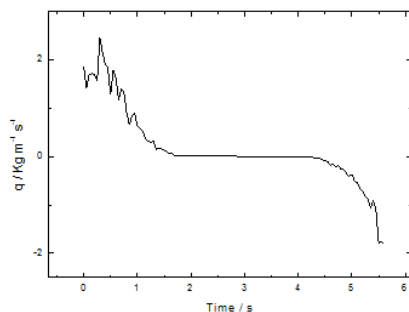


Fig. 7. Taxa de transporte de areia calculada pela formulação de Bailard para uma onda do registo (positivo indica transporte para terra).

Mediante a integração das taxas de transporte calculadas para todas as ondas identificadas no registo foi calculada a taxa de transporte volumétrica média na direcção transversal à praia no local onde estava localizado o ADV, tendo-se obtido o valor de $+0.05\text{m}^2$ por metro de largura da praia. Este valor corresponderá a uma acreção de cerca de 4.5 cm de areia em 3m de extensão desde o local do ADV para terra.

4. CONCLUSÕES

As características do escoamento na zona de espraio da onda na praia da Praia de Faro foram estabelecidas com base num conjunto de medições de velocidade obtidas com um ADV. Verificou-se que a assimetria da componente da velocidade transversal à praia, quantificada em termos da skewness da velocidade, apresenta valores positivos apenas no início e fim da praia-mar naquele local.

Os levantamentos topográficos efectuados mostraram, de acordo com a fraca ondulação que se fez sentir, pequenas variações da topografia. Com base nestes dados estimou-se uma pequena taxa de transporte positiva (para terra) no local do ADV.

Os valores das taxas de transporte de areia na direcção transversal da praia foram também calculados com base nos dados do ADV através da formulação de Bailard e considerando diferentes coeficientes de atrito para as fases de espraio e de ressaca. A comparação dos valores obtidos com as taxas de transporte volumétrico estimadas a partir dos levantamentos topográficos mostra que a metodologia adoptada conduz a resultados satisfatórios. Contudo, dado que as variações da topografia da praia foram muito pequenas, os erros associados aos levantamentos topográficos, da ordem de alguns cm podem influenciar os resultados obtidos.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado no âmbito do projecto "BRISA - BReaking waves Interaction with SAnd transport" - PTDC/ECM/67411/2006, financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT). O terceiro autor tem apoio da FCT através de uma bolsa de doutoramento - SFRH/BD/41827/2007.

REFERÊNCIAS

- Austin, M. et al. (2009). Onshore sediment transport on a sandy beach under varied wave conditions: flow velocity skewness, wave asymmetry or bed ventilation? *Marine Geology*, 259, 86-101 .
- Bailard, J.A. (1981). An energetic total load sediment transport model for a plane sloping beach. *Journal of Geophysical Research*, 86, C11, 10938-54.
- Barnes, M.P. et al. (2009). Direct bed shear stress measurements in bore-driven swash. *Coastal Engineering*, 56, 853-867.
- Masselink, G. e Russel, P. (2006). Flow velocities, sediment transport and morphological change in the swash zone of two contrasting beaches. *Marine Geology*, 227, 227-240.
- Meyer-Peter, E. e Müller, R. (1948). Formulas for bed-load transport. *Proc. 2nd Congress of the Int. Ass. Hydraulic Structures Research*, Stockholm.