

UM MODELO PARA ESTIMAR AS CONDIÇÕES NA ZONA DE REBENTAÇÃO

Eugen Rusu, Raquel Silva e Carlos Ventura Soares

MARINHA, INSTITUTO HIDROGRÁFICO, Rua das Trinas 49, 1249-093 Lisboa, Portugal.
E-mail: oceanografia@hidrografico.pt

Resumo

Neste trabalho apresenta-se um modelo que permite estimar as características de rebentação a partir dos resultados fornecidos pelo modelo espectral de alta resolução SWAN (Simulating WAVes Nearshore, Holthuijsen et al, 2001). O processo de rebentação no SWAN considera a versão espectral de Eldeberky e Battjes, alargada para inclusão das direcções, estando associado ao processo de rebentação um aumento significativo da dissipação. A linha de rebentação foi estimada em pontos da grelha computacional considerando o mesmo quociente de rebentação da simulação do SWAN (habitualmente 0,73). Depois da identificação desta linha foram calculadas as principais características da rebentação: distância entre os pontos da linha de rebentação e os da linha de costa; as variações da altura significativa da onda e da profundidade ao longo da linha de rebentação; o número de frentes de onda ao longo da costa; e a determinação do tipo de rebentação, por recurso ao número de Iribarren, que combina o declive da praia com a declividade da onda. Foi também implementado um modelo linear para estimar a deriva litoral baseado na equação de Longuet-Higgins (CERC 1984). A metodologia desenvolvida foi já utilizada no apoio a exercícios militares da Marinha Portuguesa junto a costa. Implementou-se também um modelo mais complexo baseado na integração da equação de conservação da quantidade de movimento, o modelo quasi-3D SHORECIRC (Svendsen et al, 2002). Neste caso a metodologia aplicada inicia-se uma simulação com o modelo SWAN que vai fornecer as condições iniciais ao 'wave driver', o modelo REFDF1 (Kirby et al, 1994), executando-se de seguida a corrida do modelo SHORECIRC.

1. INTRODUÇÃO

Os processos associados ao fenómeno da rebentação por efeito de fundo revestem-se de particular interesse em aplicações de engenharia costeira, uma vez que afectam as estruturas costeiras implementadas pelo Homem, bem como a morfologia das praias. Uma grande parte da energia das ondas é dissipada perto da costa, determinando a composição e a geometria das praias, e exercendo grande influência sobre as estruturas aí existentes. Recentemente foi feito um esforço significativo no desenvolvimento de modelos numéricos capazes de simular os fenómenos associados ao processo de rebentação. Estes são muito importantes em transporte de sedimentos junto à praia e, conseqüentemente, são um factor decisivo no controlo da morfologia da costa. A finalidade do presente trabalho é o desenvolvimento duma metodologia para a avaliação dos parâmetros de rebentação e das correntes da deriva litoral. Utilização, por um lado de métodos baseados em abordagens empíricas, que podem cobrir áreas extensas ao longo da costa. Por outro, são efectuadas simulações de alta resolução, usando o modelo SHORECIRC, para avaliação da circulação costeira.

2. O MODELO LINEAR

O processo de rebentação no SWAN considera a versão espectral de ELDEBERKY e BATTJES (1996), alargada para inclusão das direcções. A taxa média de dissipação de energia por unidade horizontal de área devida à rebentação é expressa por:

$$\text{Diss} = -(1/4)\alpha_{BJ}Q_b(\bar{\sigma}/2\pi)H_m^2, \quad (1)$$

onde α_{BJ} é o coeficiente de Battjes and Janssen, Q_b é a fracção de ondas que rebentam BATTJES e JANSSEN (1978), H_m é a altura máxima que existe a uma dada profundidade e $\bar{\sigma}$ é a frequência média. O processo de rebentação está associado a um aumento significativo da dissipação. Consequentemente, para a estimação da linha de rebentação são utilizadas as seguintes relações:

$$\text{Diss}_{(i)} - \text{Diss}_{(i-1)} \approx 0 \quad \text{e} \quad (\text{Diss}_{(i+1)} - \text{Diss}_i) / \text{Diss}_i > \varepsilon_{\text{diss}}. \quad (2)$$

onde $\varepsilon_{\text{diss}}$ é um coeficiente que depende da inclinação da praia, e i o ponto da grelha computacional segundo x . A linha de rebentação é estimada em pontos da grelha computacional, pelo que uma maior resolução desta grelha permite maior precisão na obtenção da sua localização.

A variação do número de frentes de onda ao longo da costa foi estimada a partir da expressão:

$$\sum_{i=1}^{Nf(j)} C(j, i) T_S(j, i) \approx S_W(j) \quad (3)$$

com j o índice do número do ponto da linha de rebentação; Nf o número da frente; C a celeridade obtida pela relação dada por THORNTON e GUZA (1983):

$$C(j) \approx 1.15\sqrt{gh_b(j)}, \quad (4)$$

onde h_b é a profundidade na rebentação; T_S o período da onda na zona de rebentação; S_W a largura da zona de rebentação. A rebentação da onda classifica-se em progressiva, em voluta, em colapso e em intumescência, dependendo da forma desta. A determinação do tipo de rebentação faz-se normalmente por recurso ao número de Iribarren, que combina o declive da praia Sp , com a declividade da onda:

$$\xi_{\infty}(j) = Sp(j) / (H_{s_{\infty}}(j) / W_{l_{\infty}}(j))^{1/2}. \quad (5)$$

$H_{s_{\infty}}$ e $W_{l_{\infty}}$ são a altura significativa de onda e o comprimento de onda ao largo, respectivamente. O tipo de rebentação é atribuído com base neste parâmetro: $\xi_{\infty} \leq 0.4$ - progressiva; $0.4 < \xi_{\infty} \leq 2.4$ - em voluta; $2.4 < \xi_{\infty} \leq 2.6$ - em voluta/em colapso; $2.6 < \xi_{\infty} \leq 3.1$ - em colapso/em intumescência; and $\xi_{\infty} > 3.1$ - em intumescência, KOMAR (1998).

Habitualmente para as simulações do SWAN adopta-se um esquema em que é feita uma corrida do tipo 'nest', onde as condições de fronteira são geradas por uma corrida anterior do mesmo modelo sobre uma área mais vasta. As condições de rebentação são estimadas sobre a área de alta resolução. Na figura 1 apresentam-se os resultados duma corrida do modelo SWAN, junto a ilha de Porto Santo realizada no âmbito do apoio ao exercício de NATO 'Unified Odyssey 2002'. Na figura 2 apresenta-se as condições de rebentação para esta mesma situação (2002/01/29 – 12h). Apresenta-se as principais características da rebentação: distância de qualquer ponto da linha de rebentação à linha costa, as variações da altura significativa da onda e da profundidade ao longo da linha de rebentação, bem como a localização da linha de rebentação e as direcções das ondas ao longo desta linha. Representam-se também o tipo de rebentação, a variação do quociente de rebentação (a razão entre a altura significativa e a profundidade) segundo a linha de rebentação e o número de frentes. Na figura 3 ilustra-se um outro exemplo para uma simulação SWAN na área de Lisboa (2003/03/27, 48h forecast) e nas figuras 4 e 5 as respectivas condições de rebentação para as duas áreas de alta resolução (a área Pinheiro da Cruz e uma área localizada norte de cabo Sines). As correntes de deriva litoral foram estimadas a partir da equação de Longuet-Higgins, CERC (1984):

$$v_l = 20.7S(gH_b)^{1/2} \sin \alpha_b, \quad (6)$$

onde S é o declive da praia, α_b a direcção das ondas na rebentação e H_b a altura média das ondas na rebentação.

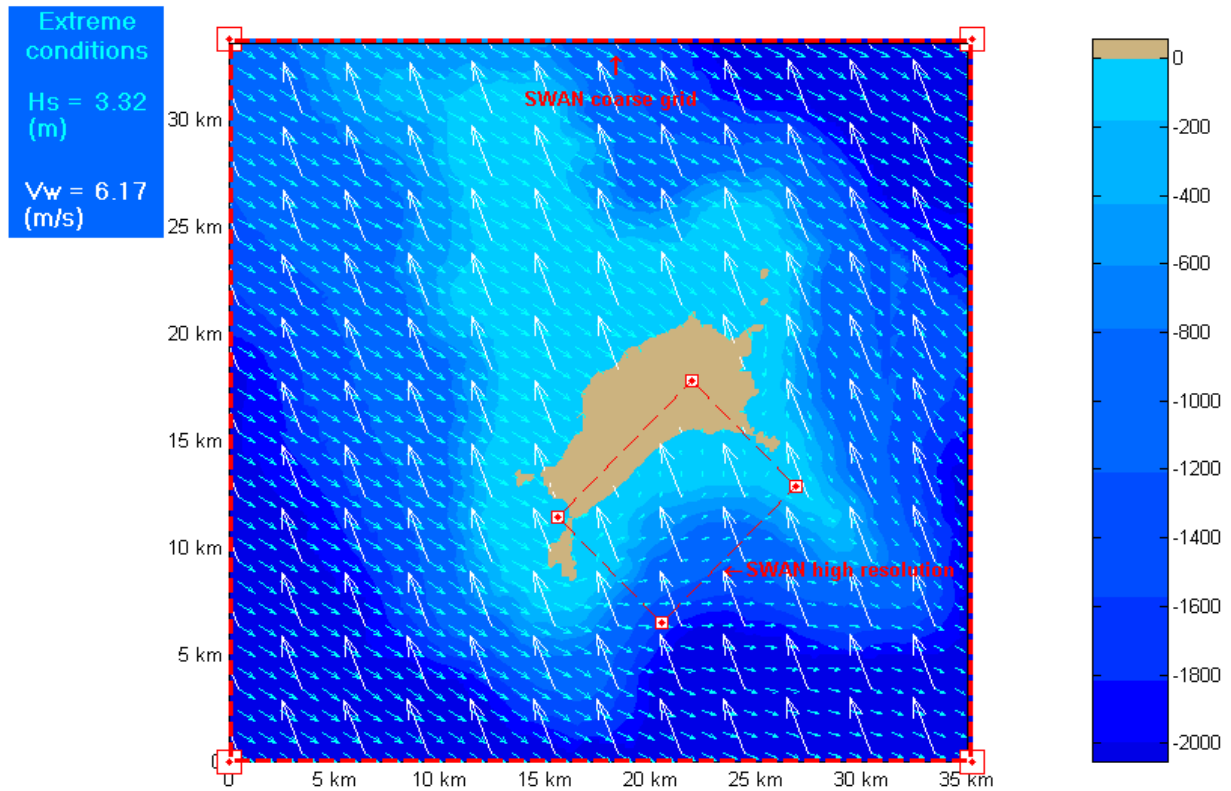


Figura 1
 Simulação do modelo SWAN na área de Porto Santo (2002/01/29 – 12h)

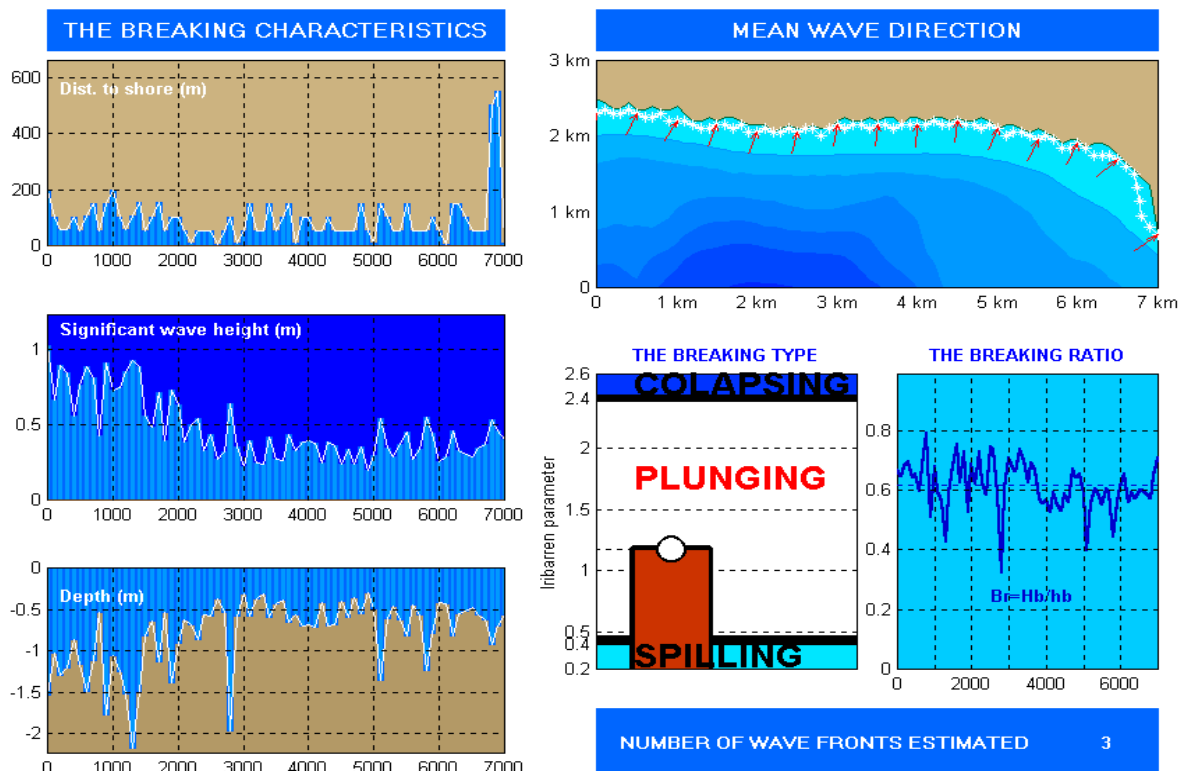


Figura 2
 Condições de rebentação em Porto Santo (2002/01/29 – 12h)

Extreme conditions

$H_s = 2.73$ (m)

$V_w = 5.92$ (m/s)

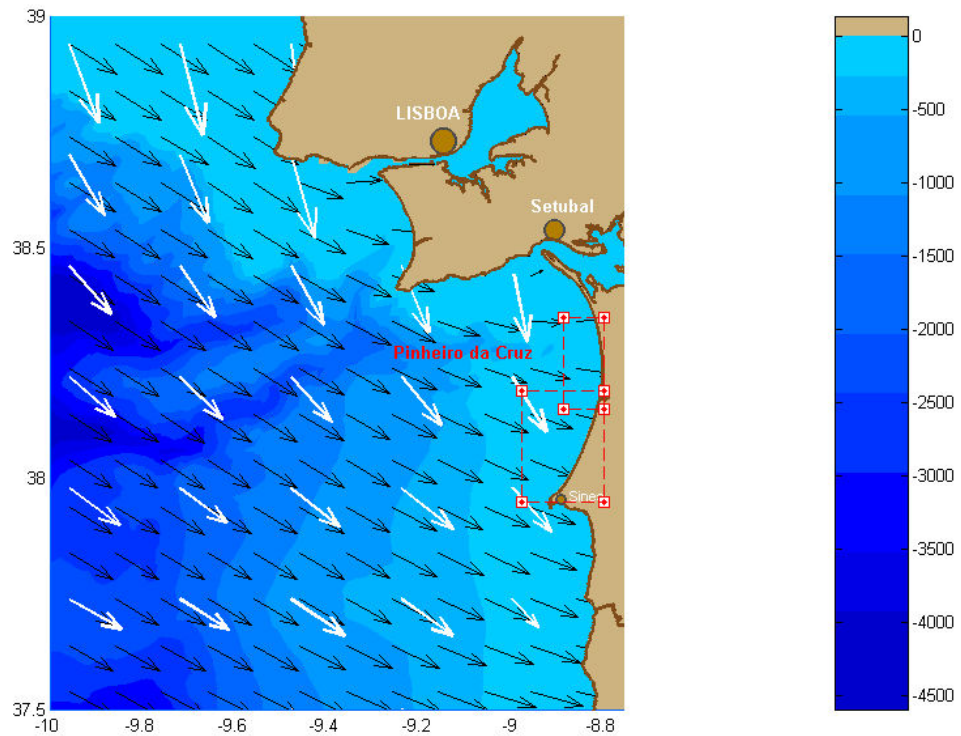


Figura 3
Simulação do modelo SWAN na área de Lisboa (2003/03/27, 48h forecast)

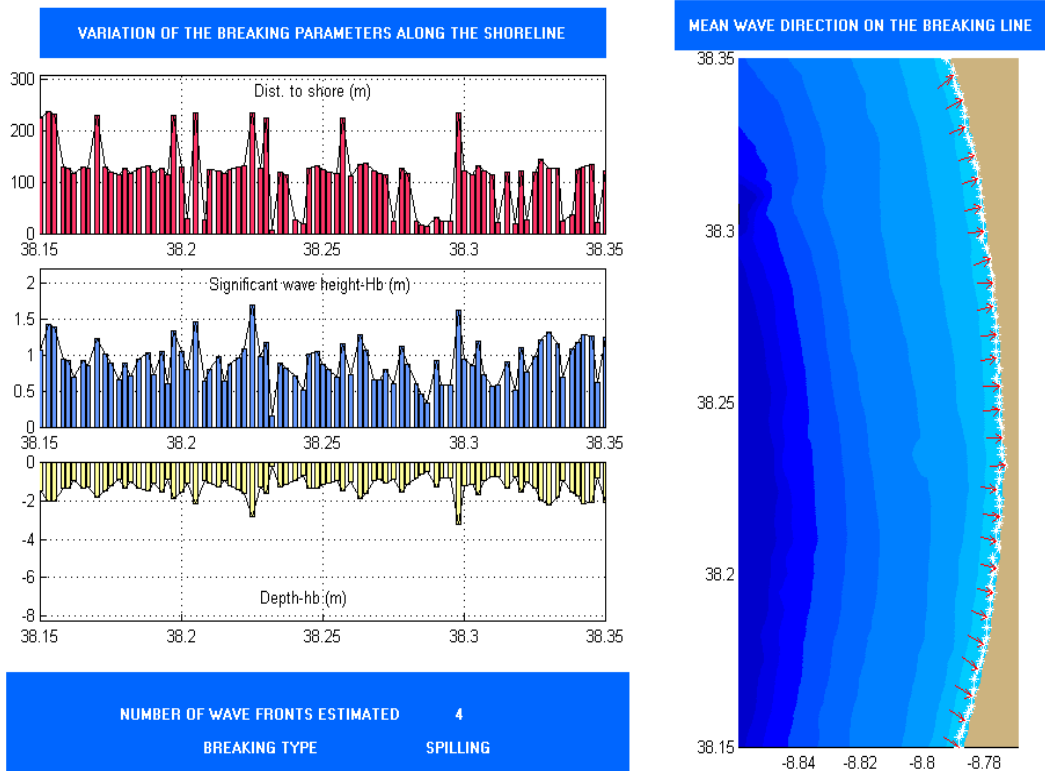


Figura 4
Condições de rebentação na área de Pinheiro da Cruz (2003/03/27, 48h forecast)

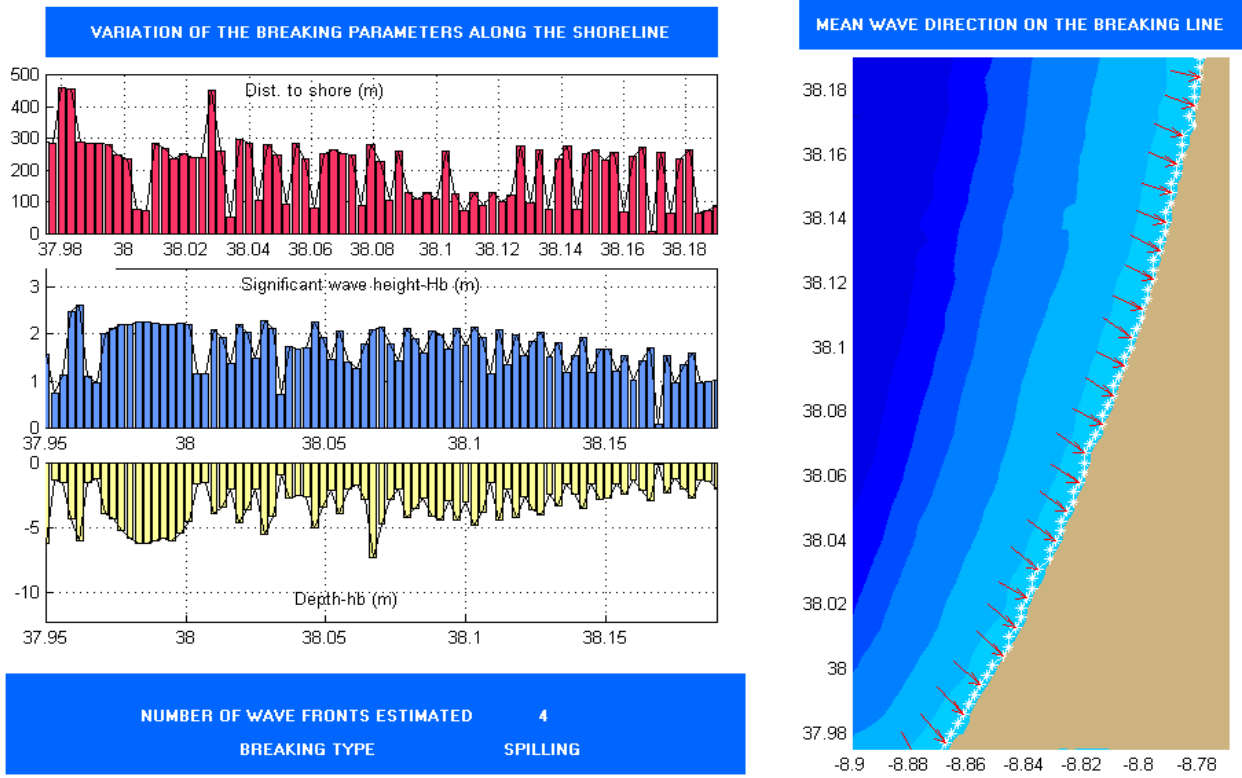


Figura 5
Condições de rebentação a norte do cabo de Sines (2003/03/27, 48h forecast)

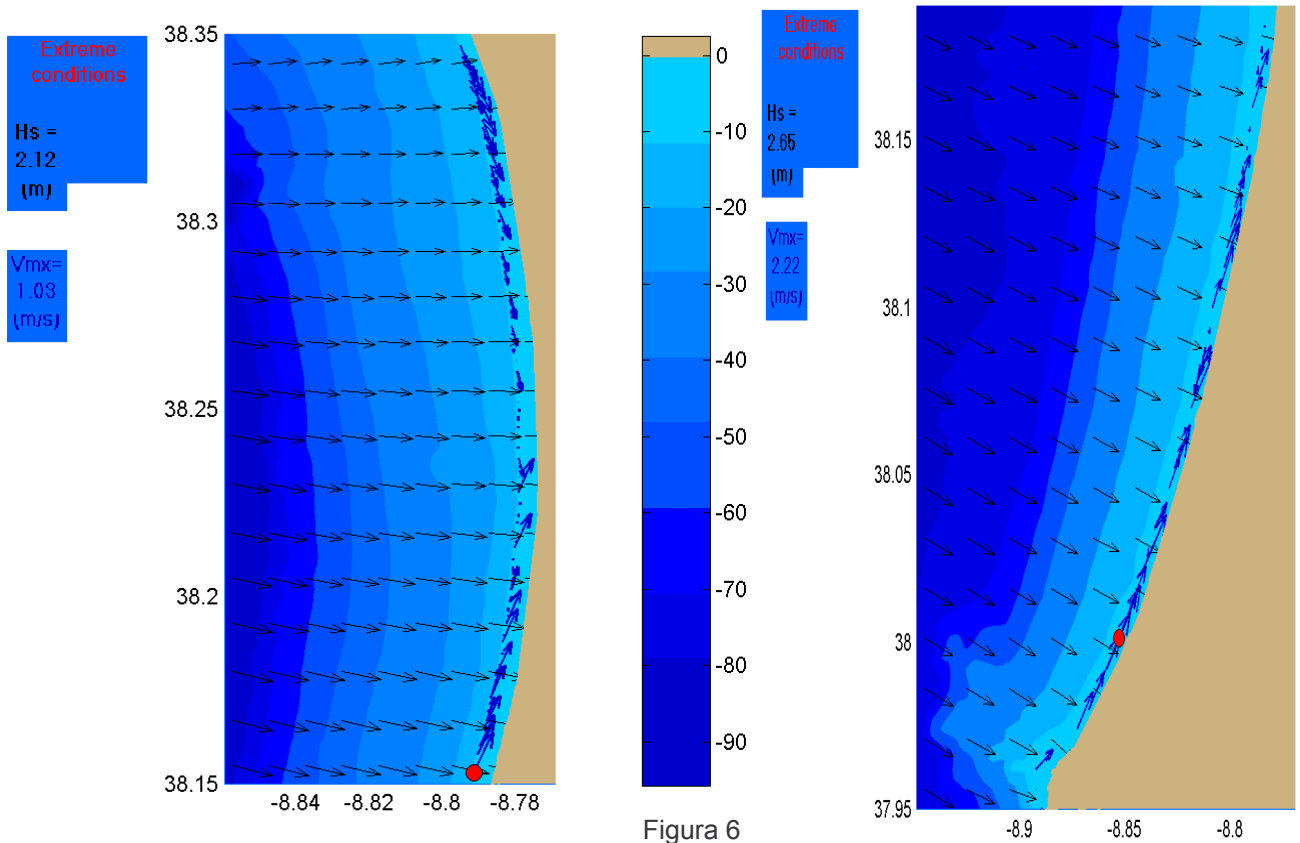


Figura 6
Deriva litoral na área de Pinheiro da Cruz e a norte do cabo de Sines (2003/03/27, 48h forecast)

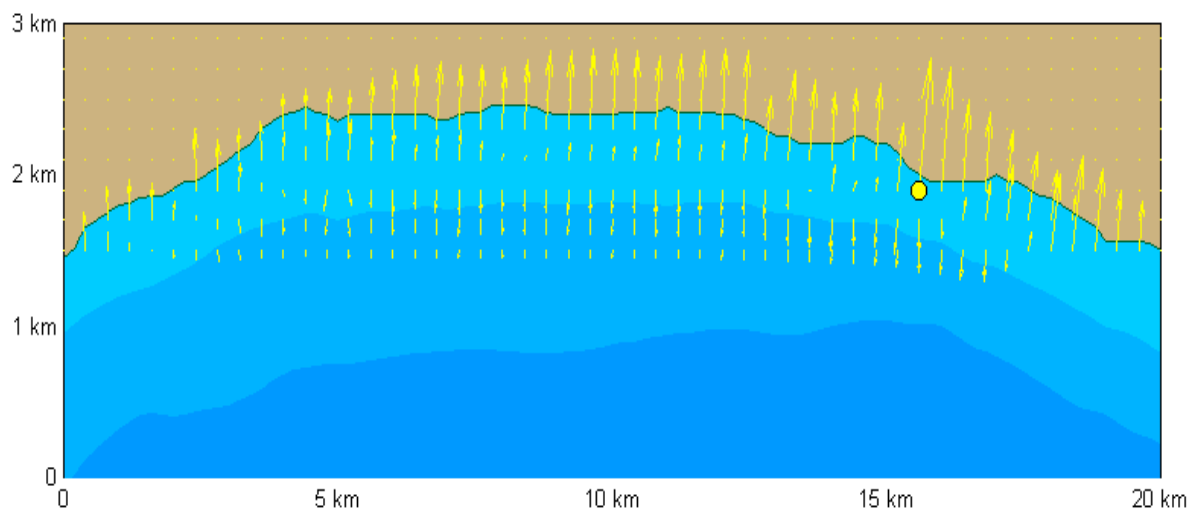


Figura 7
Forças induzidas pelas ondas na área de Pinheiro da Cruz (2003/03/27, 48h forecast)

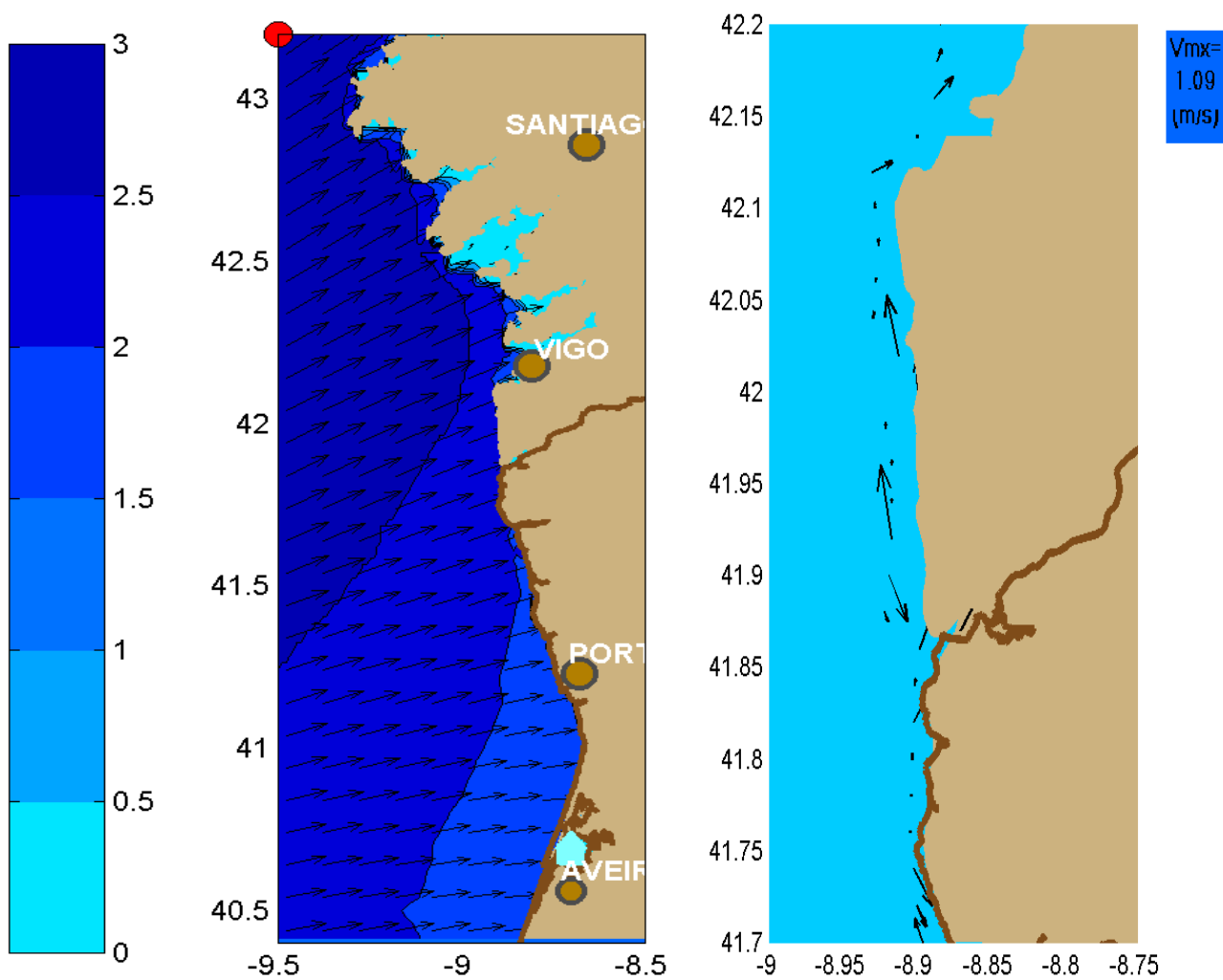


Figura 8
Campos das ondas e deriva litoral na área de Vigo no caso do acidente do petroleiro Prestige (2002/12/21, 24h forecast)

As correntes da deriva litoral estimadas para as áreas já indicadas são ilustradas na figura 6. Para o mesmo caso as forças induzidas pelas ondas são apresentadas na figura 7. Na figura 8 são dados os campos das ondas e a deriva litoral na região em frente a Vigo no caso do acidente do petroleiro Prestige (2002/12/21, 24h forecast).

3. O MODELO SHORECIRC

Recentemente iniciou-se no Instituto Hidrográfico a implementação do modelo de circulação de alta resolução SHORECIRC. Este é um modelo quasi-3D baseado na integração da equação de conservação da quantidade de movimento e consiste em duas partes: um modelo de agitação marítima chamado 'the short wave driver' e um modelo para a previsão das correntes da deriva litoral, incluindo a influência da variação vertical das correntes (o fenómeno chamado 'lateral mixing').

No SHORECIRC, a velocidade instantânea do fluido total é dividida em três componentes:

$$u_{\alpha} = u'_{\alpha} + u_{w\alpha} + V_{\alpha} \quad (7)$$

onde u'_{α} é a componente de velocidade turbulenta, $u_{w\alpha}$ é a componente devida à onda, e V_{α} é a velocidade da corrente que em geral varia ao longo da profundidade. As subscrições α, β denotam as direcções num sistema de coordenadas cartesianas horizontal. A profundidade local da água foi determinada através de:

$$h = h_0 + \bar{\zeta}, \quad (8)$$

assim, $\bar{\zeta}$ representa a elevação da superfície média e h_0 é a profundidade de repouso. Q_{α} representa o fluxo de volume definido por:

$$Q_{\alpha} = \int_{-h_0}^{\zeta} u_{\alpha} dz \quad (9)$$

As equações do movimento são resolvidas tipicamente num domínio rectangular da região litoral. Os três tipos de condições de fronteira devem ser especificadas: fronteira 'offshore', fronteiras 'cross-shore' e fronteiras costeiras.

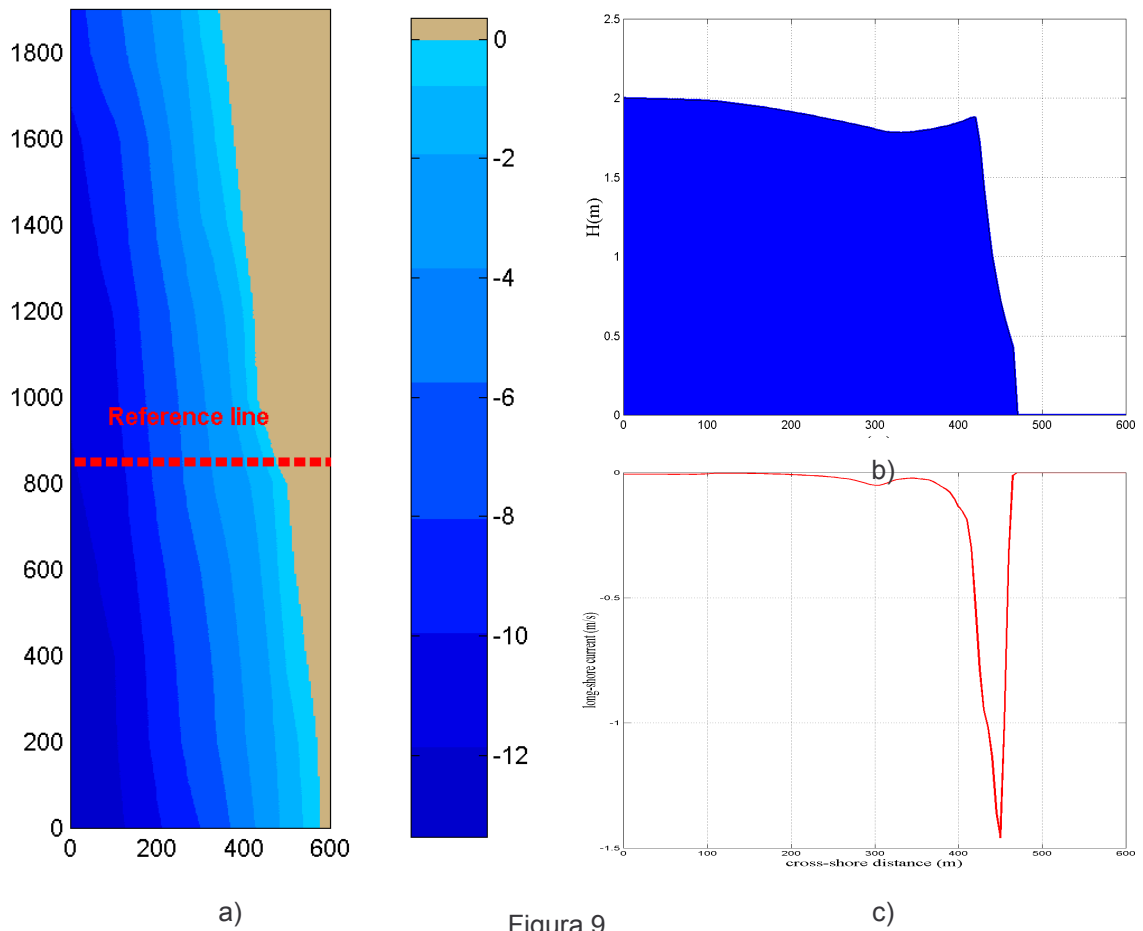
Nas computações assume-se que as ondas incidem através das fronteiras 'offshore' e 'cross-shore'.

Foram efectuadas simulações com o modelo SHORECIRC numa área localizada a norte de Pinheiro da Cruz, considerando uma linha de referência no centro do domínio, figura 9a. A variação da altura significativa ao longo desta linha, resultante da simulação do modelo REF/DIF1 está ilustrada na figura 9b. Na figura 9c representa-se a variação da velocidade da corrente longitudinal ao longo da mesma linha, resultado da simulação do modelo SHORECIRC. As condições iniciais (à fronteira do largo do domínio considerado) para este caso são: $H_s=2m$, $Dir=-22.5^{\circ}$, $T_m=6s$.

O passo de tempo é controlado no modelo SHORECIRC pelo número de Courant (Cr). Este parâmetro é definido como:

$$Cr = \sqrt{gh_m} \Delta t / \Delta x \quad (10)$$

onde h_m é a profundidade máxima do domínio computacional. Para o domínio considerado foi utilizado um número de Courant 0.1, ao qual corresponde um passo de tempo de 0.039s para uma resolução espacial de 5m segundo x. O modo de iniciar a corrida do modelo pode ser 'cold start' (o campo inicial de velocidades é zero) ou 'hot start' (os dados para os três primeiros passos de tempo são gerados por uma corrida anterior do modelo). Na figura 10a ilustram-se os resultados duma corrida de tipo 'cold', na qual é necessário um número relativamente grande de passos de tempo (neste caso 8001) para se atingir uma situação de regime. Na figura 10b apresentam-se os resultados duma corrida de tipo 'hot', encontrando-se a mesma situação de regime após 4001 passos de tempo. A estrutura espacial das correntes ao longo da linha de referência pode ser vista na figura 11.



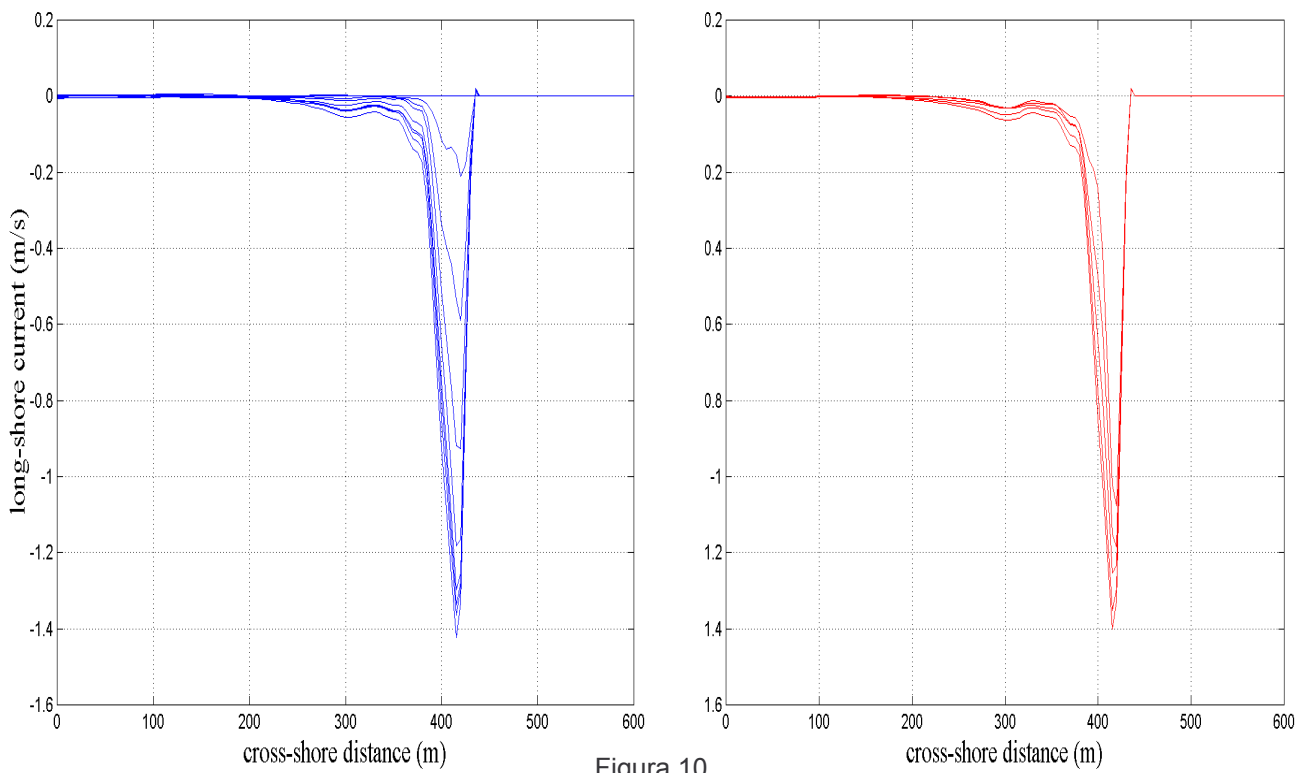
a)

Figura 9

c)

Simulações com o modelo REF/DIF1-SHORECIRC

a) Área a norte de Pinheiro da Cruz e linha de referência; b) Variação de H_s (input: $H_s=2m$, $Dir=-22.5^\circ$, $T_m=6s$; c) Variação da velocidade da deriva litoral ao longo da linha de referência.



a)

Figura 10

b)

Resultados da simulação inicializada em: a) Cold start; b) Hot start

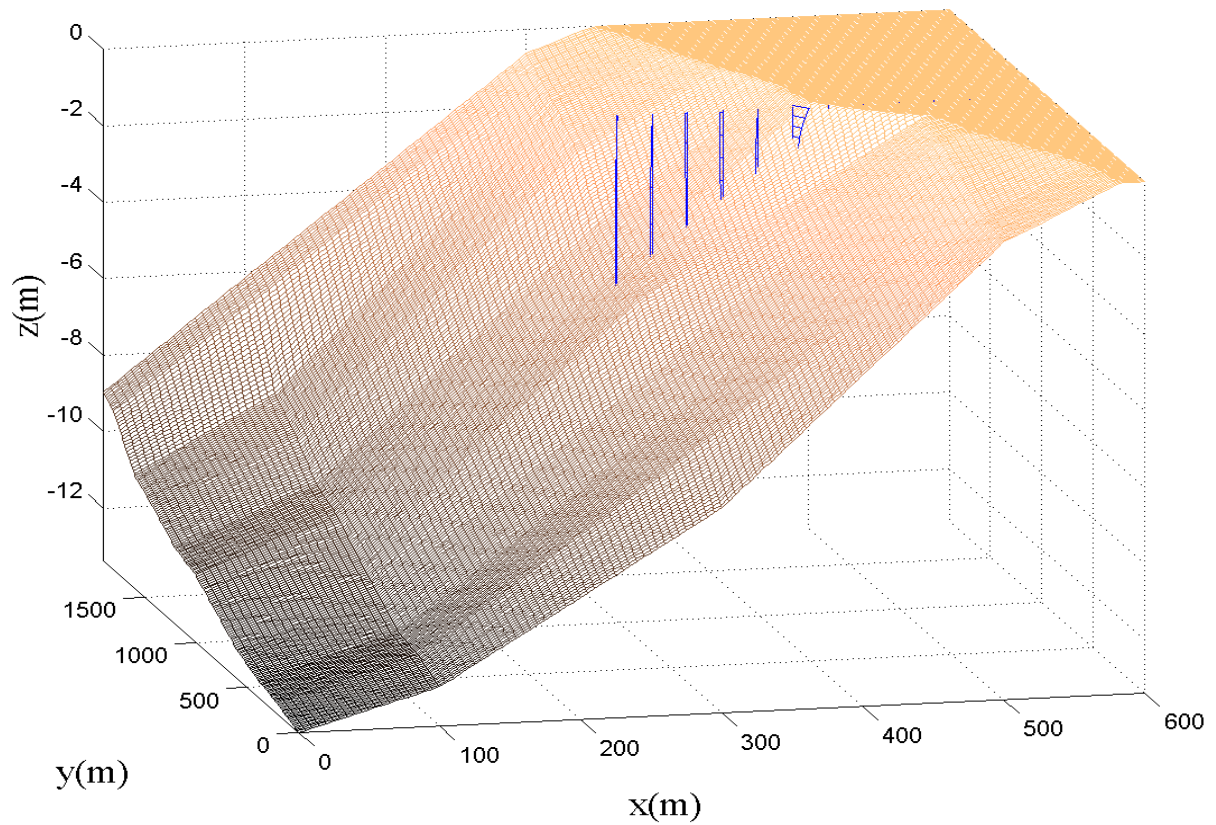


Figura 11
A estrutura vertical das correntes

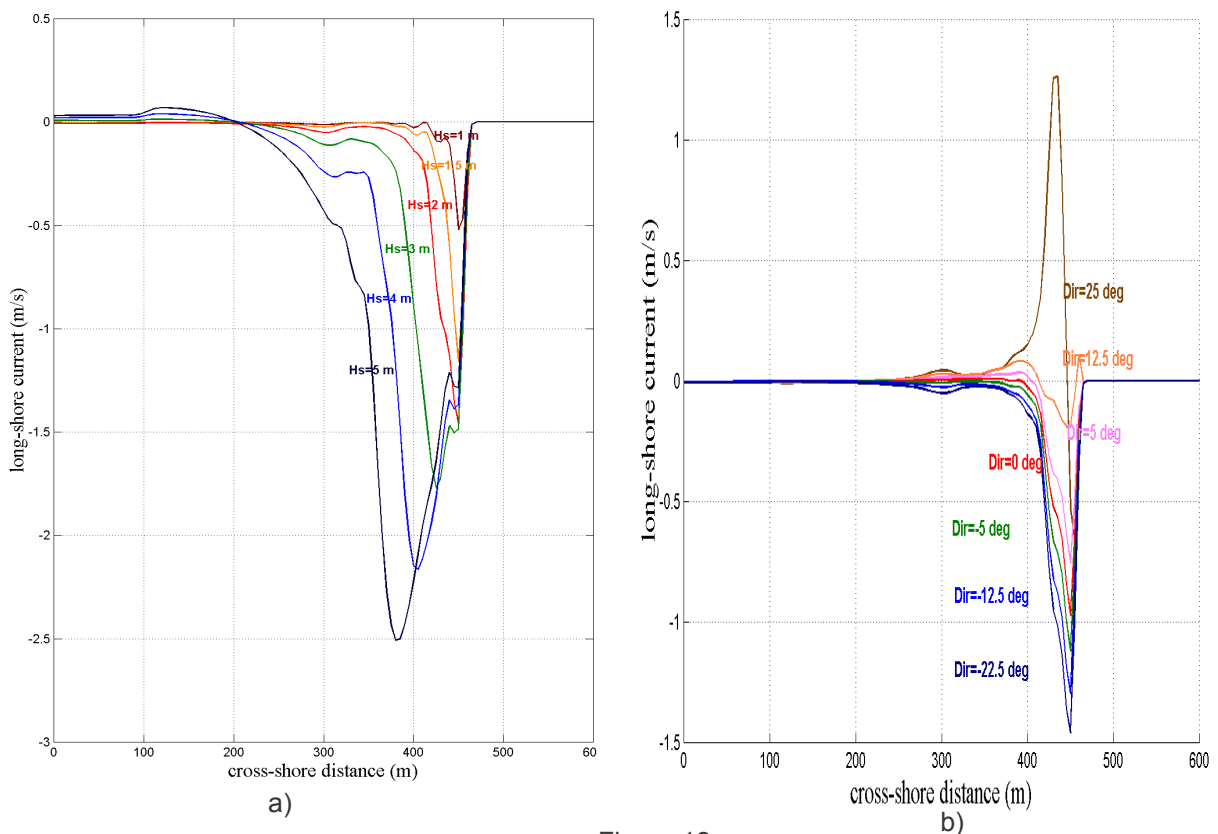


Figura 12
Variações das correntes ao longo da linha de referência
a) $Dir=const=-22.5^\circ$, $Hs=[1, 1.5, 2, 3, 4, 5]$; b) $Hs=const=2m$, $Dir=[-22.5, -12.5, -5, 0, 5, 12.5, 25]$.

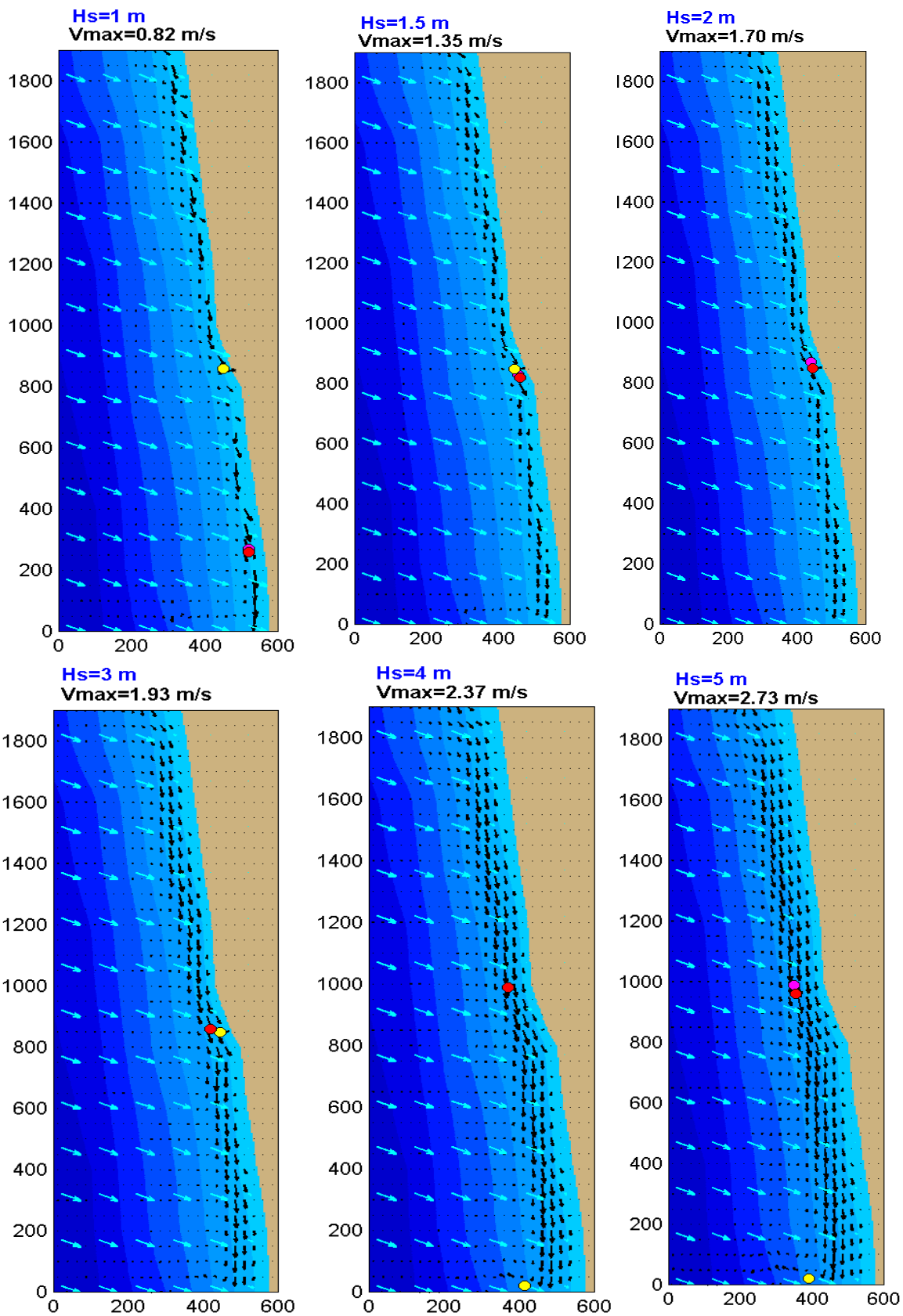


Figura 13
 Influência do crescimento da altura significativa sobre as correntes $Dir=const=-22.5^\circ$
 $H_s=[1, 1.5, 2, 3, 4, 5]$.

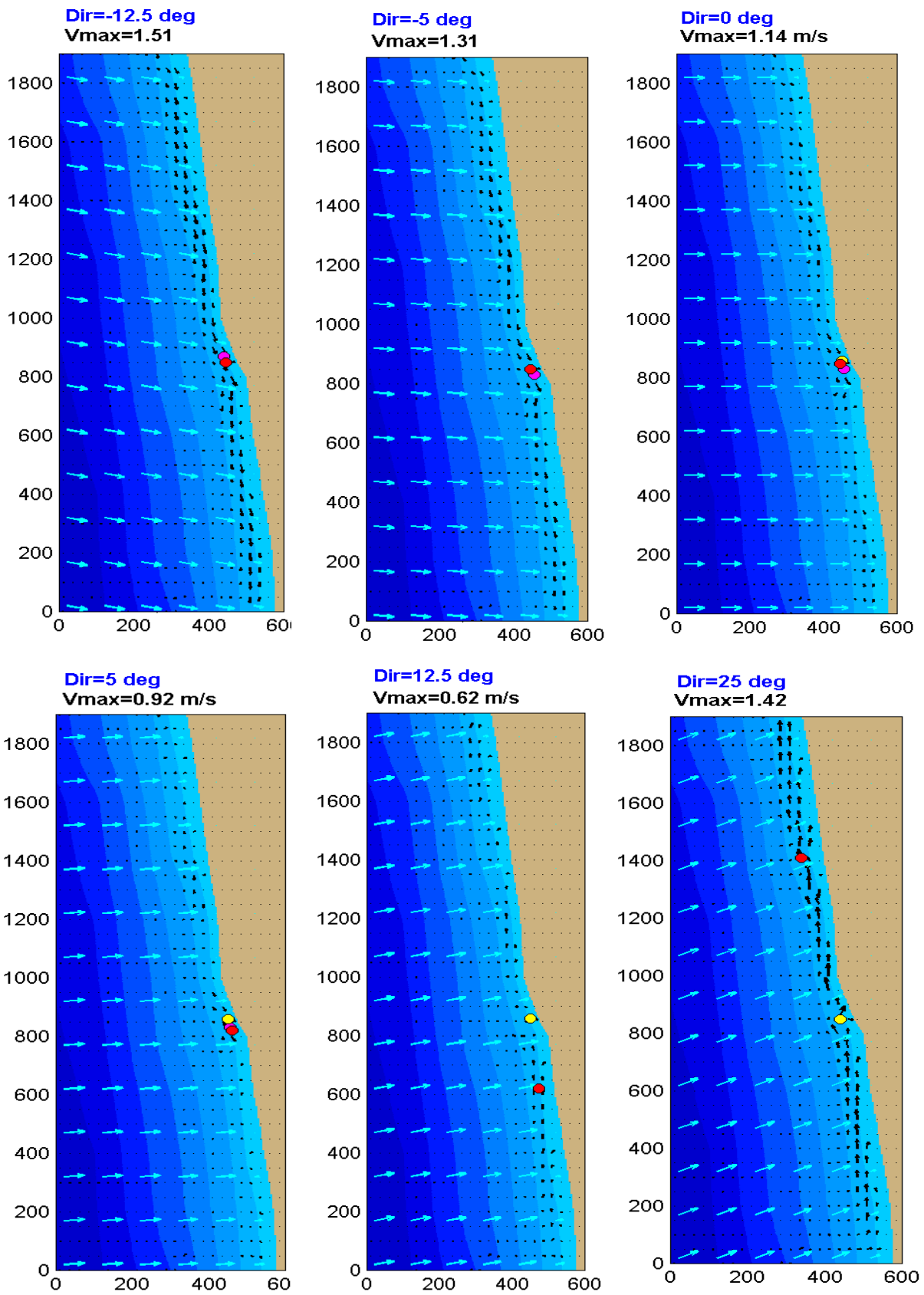


Figura 14
 Influência da variação da direcção das ondas sobre as correntes $H_s = \text{const} = 2\text{m}$,
 $\text{Dir} = [-12.5, -5, 0, 5, 12.5, 25]$

Foram efectuadas várias simulações para testar o modelo SHORECIRC. Assim, na figura 12a é apresentada a variação da velocidade da corrente longitudinal que considera diferentes alturas significativas $H_s=[1, 1.5, 2, 3, 4, 5]$, mantendo-se a direcção da onda e o período constantes (22.5deg. e 6s respectivamente). Na figura 13 pode ver-se a distribuição das correntes na área considerada para estas simulações. Por outro lado, na figura 12b é apresentada a variação da mesma corrente, variando agora a direcção da onda incidente $Dir=[-22.5, -12.5, -5, 0, 5, 12.5, 25]$, enquanto a altura significativa e o período são mantidos constantes (2m e 6s respectivamente). As distribuições das correntes para estes casos representam-se na figura 14.

4. CONCLUSÕES

A partir do standard 'output' do SWAN e usando alguns resultados da teoria linear foi desenvolvido um modelo para estimar as características mais importantes de rebentação. Estas características são: a localização da linha de rebentação, a variação da profundidade da água e da altura significativa ao longo da linha de rebentação, o quociente de rebentação, o número de frentes da onda e o tipo de rebentação. Usando a equação de Longuet-Higgins (CERC 1984), foram também calculadas em primeira aproximação as correntes de deriva litoral. Esta aproximação apresenta a vantagem de poder ser utilizada operacionalmente, para áreas extensas ao longo da costa. Foi também implementado o modelo quase 3D SHORECIRC. Este modelo requer uma resolução muito alta mas, por outro lado, permite uma avaliação mais precisa das correntes de deriva litoral considerando o efeito do fenómeno chamado 'lateral mixing', que significa uma variação horizontal da quantidade de movimento devida às variações verticais das correntes. Com o objectivo de testar a validade do modelo SHORECIRC pretende-se realizar uma campanha de observações 'in situ' da corrente de deriva litoral.

BIBLIOGRAFIA

- Battjes, J.A.; Janssen, J.P. (1978) - *Energy Loss and Set-up Due to Breaking of Random Waves*. 16th International Conference on Coastal Engineering, ASCE, (USA), pp. 569-587.
- CERC (1984), *Shore Protection Manual*, Coastal Engineer Research Center, U.S. Army Corps of Engrs. Washington D.C.: U.S. Govt. Printing Office.
- Eldeberky, Y.; Battjes, J.A. (1996) - *Spectral Modeling of Wave Breaking: Application to Boussinesq Equations*. Journal of Geophysical Research, 101, C1, pp. 1253-1264.
- Elgar, S.; Guza, R.T.; Raubenheimer, B.; Herbers T.H.C.; Gallagher, E.L. (1997) - *Spectral evolution of shoaling and breaking waves on a barred beach*, J. Geophys. Res., 102, C7, 15797-15805.
- Holthuijsen, L.H., Booij, N., Ris, R.C., Haagsma, I.J.G., Kieftenburg, A.T.M.M. and E.E. Kriezi, (2001) - *User Manual for SWAN Version 40.11*. Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, 124p.
- Kaminski, G.; Krauss, N.C. (1993) - *Evaluation of depth-limited wave breaking criteria*. Waves 193, Amer. Soc. Civil Engrs., 180-193.
- Kirby, J. T. and R. A. Dalrymple, (1994) - *Combined Refraction/Diffraction Model - REF/DIF version 2.5*, Documentation and User's Manual. Centre for Applied Coastal Research, University of Delaware, Newark, DE 19716 CACR Report No. 94-22, 171p.
- Komar, P.D., (1998) - *Beach Processes and Sedimentation*. Library of Congress Cataloguing-in-Publication Data, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 545p.
- Rusu, E. and Coelho, E. F. (2000).- *Modelo para a Estimativa de Condições Agitação Marítima na Costa Portuguesa*, the proceedings of 3^o Simpósio Sobre a Margem Ibérica Atlântica, Universidade do Algarve, 25-27 September pp.99-100
- Svendsen I. A., Haas, K. and Zhao, Q., (2002) - *Quasi-3D Nearshore Circulation Model SHORECIRC*, version 2.0, Center for Applied Coastal Research, University of Delaware, Newark, DE 19716 U.S.A.
- Thornton, E.B., Guza, R.T. (1983) - *Transformation of Wave Height Distribution*. Journal of Geophysical Research, 88, C10, 5925-5938.