

## ESTIMATIVAS DE PERÍODO DAS ONDAS POR RADAR ALTÍMETRO

Ana Margarida Gonçalves, M. Teresa Pontes

INETI, Estrada Paço do Lumiar nº 22, 1649-038 Lisboa

[margarida.goncalves@ineti.pt](mailto:margarida.goncalves@ineti.pt)

[teresa.pontes@ineti.pt](mailto:teresa.pontes@ineti.pt)

### RESUMO

O objectivo deste trabalho consiste em avaliar o recurso energético das ondas marítimas em zonas costeiras a partir de medições remotas das ondas do mar efectuadas por altímetro a bordo de satélites.

O altímetro estima a altura significativa  $H_s$  e a intensidade do vento a 10 metros  $U_{10}$ , mas não determina directamente o período das ondas. Recentemente foram propostos algoritmos que o permitem estimar partir das medidas efectuadas pelo altímetro, sendo o modelo proposto por Davies *et al.* (1998) o que mais generalidade apresenta. Neste trabalho utilizam-se os dados de ondas medidos pelo satélite TOPEX/Poseidon (T/P). Para o cálculo do período médio de cruzamento de zeros ( $T_z$ ) utilizou-se o algoritmo de Davies *et al.* (1998) e efectuou-se a verificação dos resultados através da comparação entre os valores de período obtidos a partir de medidas efectuadas por bóias-ondógrafo.

Apresenta-se em primeiro lugar a informação básica necessária à caracterização das ondas do mar e do recurso energético associado e na secção seguinte uma breve descrição dos sistemas de medição de ondas (altímetro e bóia-ondógrafo). Segue-se a descrição das verificações dos dados fornecidos pelo altímetro do satélite T/P através de comparações com medidas efectuadas por bóia-ondógrafo localizada ao largo da costa oeste de Portugal (Figueira da Foz) e para duas bóias localizadas na costa oeste dos Estados Unidos da América (zona de Los Angeles).

Em conclusão verificou-se um bom ajustamento dos valores da altura significativa e da potência da agitação marítima (fluxo de energia por unidade de comprimento de crista). No entanto a aplicação da mesma metodologia para a costa oeste dos Estados Unidos mostra que não é satisfatória a concordância com as estimativas obtidas pelo método de Davies *et al.* a partir do altímetro e as medidas efectuadas com bóias.

### INTRODUÇÃO

Para a avaliação do clima de ondas e caracterização do recurso energético das ondas marítimas é necessário dispor de dados de agitação marítima referentes à altura e ao período. As medições *in situ*, com bóia-ondógrafo ou sistemas submersos como as sondas de pressão (ACDP), são difíceis de executar (devido ao elevado risco de destruição destes equipamentos) e consequentemente dispendiosos, sendo as séries de medições geralmente incompletas devido a falhas do sistema de medição e/ou aquisição. Para ultrapassar estas dificuldades têm sido desenvolvidos sistemas para efectuar essas medições de forma remota, nomeadamente a bordo de satélites. Até ao presente o mais utilizado para esta finalidade é o radar altímetro que fornece informação relativa à dinâmica oceânica desde a superfície até ao fundo do mar e estima a velocidade de vento à superfície e altura significativa das ondas.

Tem-se encontrado em órbita praticamente de forma permanente desde de 1980 pelo menos um satélite equipado com um radar altímetro. Neste trabalho utilizam-se as medições

efectuadas pelo T/P entre 1992 e 2001 excluindo o período de degradação (Março de 1996 a Fevereiro de 1999).

Embora os altímetros não produzam informação referente ao período das ondas, têm sido propostos algoritmos para calcular um período médio dos estados de agitação marítima a partir dos parâmetros medidos por estes altímetros. São de mencionar os trabalhos de Davies *et al.*, 1998, Hwang *et al.*, 1998.

O método proposto por Davies *et al.* (1998), utilizado neste trabalho consiste em calcular o período médio de cruzamento de zeros ( $T_z$ ) a partir de um período do altímetro, que se calcula através dos momentos espectrais obtidos directamente de medidas do altímetro da altura significativa  $H_s$  e coeficiente de retrodispersão ( $\sigma_0$ ), e da pseudo idade das ondas  $\xi$  que também se obtêm directamente de grandezas medidas pelo altímetro. Esta metodologia foi já objecto de verificação para o largo da costa oeste de Portugal (Moreira, 2001), tendo-se verificado uma concordância razoável entre as estimativas do período de cruzamento de zeros obtido a partir do altímetro do Topex/Poseidon e os valores medidos com bóia ao largo da Figueira da Foz.

### AGITAÇÃO MARÍTIMA E RECURSO ENERGÉTICO

O espectro direccionado  $S(f, \theta)$  que representa a distribuição da densidade de energia em termos da frequência  $f$  e direcção  $\theta$ , permite descrever a agitação marítima. Por vezes não se consideram as características direccionais e utiliza-se o espectro de frequência que resulta da integração de  $S(f, \theta)$  em direcção:

$$S(f) = \int_0^{2\pi} S(f, \theta) d\theta. \quad (1)$$

A informação contida no espectro é geralmente condensada em parâmetros de altura  $H$ , período  $T = 1/f$  e direcção  $\theta$ . Para determinar estes parâmetros utilizam-se geralmente os momentos espectrais sendo o momento espectral de ordem  $n$ ,  $m_n$ , definido por

$$m_n = \int_0^{\infty} f^n S(f) df. \quad (2)$$

O parâmetro espectral de altura geralmente utilizado é função de  $m_0$  através de

$$H_{m_0} = 4m_0^{1/2}. \quad (3)$$

e denomina-se altura significativa pois é praticamente coincidente com esse parâmetro que é definido como a altura média do terço superior das ondas e que coincide aproximadamente com a altura estimada visualmente por um observador experiente.

$$H_s \equiv H_{1/3} . \quad (4)$$

Existem vários parâmetros para determinar o período das ondas. Alguns dos mais usuais são o período médio de cruzamento de zeros  $T_z$  que se calcula por

$$T_z = \left( \frac{m_0}{m_2} \right)^{1/2} , \quad (5)$$

o período médio de energia  $T_e$

$$T_e = \frac{m_{-1}}{m_0} , \quad (6)$$

e o período de pico  $T_p$

$$T_p = \frac{1}{f_m} \quad (7)$$

que é o inverso da frequência (de pico) do espectro que corresponde à máxima ordenada espectral.

Para caracterizar o recurso energético utiliza-se a potência ou fluxo de energia por unidade de comprimento da frente de onda que, em águas profundas pode ser calculado através de

$$P = C H_s^2 T_e \cong 0.5 H_s^2 T_e \quad (8)$$

em que  $C = \rho g^2 / 64\pi \cong 0.5$ ,  $g$  a aceleração da gravidade e  $\rho$  a densidade da água do mar que é aproximadamente  $1025 \text{ kg/m}^3$ .

A potência vem expressa em kW/m (ou MW/m) se  $H_s$  é dado em metros e  $T_e$  em segundos.

## DADOS

Neste trabalho utilizam-se dados de agitação marítima obtidos através de medições *in situ* (bóias) e medições remotas (altímetros a bordo de satélites).

### Bóia-Ondógrafo

No âmbito deste trabalho os dados foram adquiridos por bóias do tipo “pitch and roll” as quais, para comprimentos de onda muito superiores ao seu diâmetro, tendem a seguir a orientação espacial da superfície livre do mar e a sofrer os mesmos deslocamentos que as partículas da onda. Em condições normais a aquisição dos dados é efectuada de 3 em 3 horas durante um período de 20 minutos. Nos casos de temporal, a aquisição é feita de 30 em 30 minutos. A bóia ondógrafo mede a aceleração vertical a partir da qual, por dupla integração, se obtém a série temporal de elevação da superfície do mar. Por análise de Fourier, a partir da série temporal da elevação calcula-se o espectro de frequência  $S(f)$  que permite obter através da equação (2) a (8) os referidos parâmetros de altura e período das ondas ( $H_s, T_z, T_e$ ).

Os dados utilizados foram obtidos pela bóia Datawell que esteve situada ao largo da Figueira da Foz, no ponto de coordenadas  $40.19^\circ$  N,  $9.15^\circ$  W, com profundidade de 92 metros que se representana Fig.1. Estes dados referem-se ao ano de 1992 e foram disponibilizados pelo Instituto Hidrográfico da Marinha (IH).

Os dados utilizados para a costa Oeste dos Estados Unidos da América, foram obtidos a partir de duas bóias num período de tempo entre 1999 a 2002. A bóia localizada próxima de Harvest e identificada por 071 tem como coordenadas  $34.46^\circ$  N,  $120.78^\circ$  W e a profundidade é 548.64 m. Para a bóia localizada junto à ilha de San Nicolas Island as coordenadas são  $33.22^\circ$  N,  $119.88^\circ$  W e a profundidade é 335.28 m, como se mostra na Fig.2.

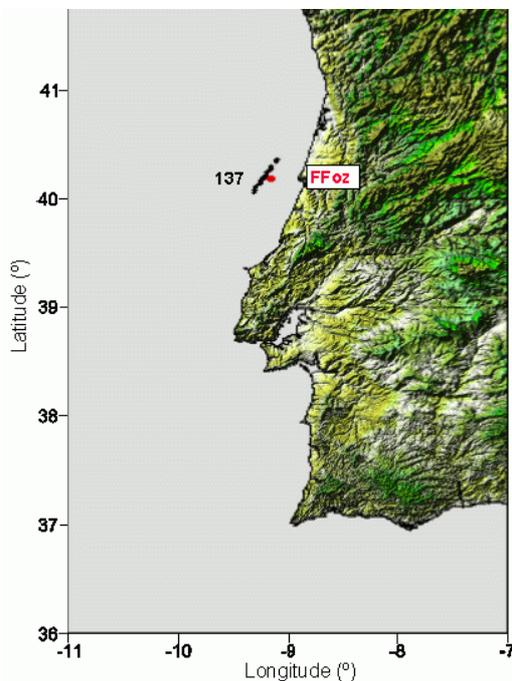


Fig. 1 – Passagem do T/P (—) ao largo da costa oeste de Portugal junto à bóia localizada ao largo da Figueira da Foz (●) .

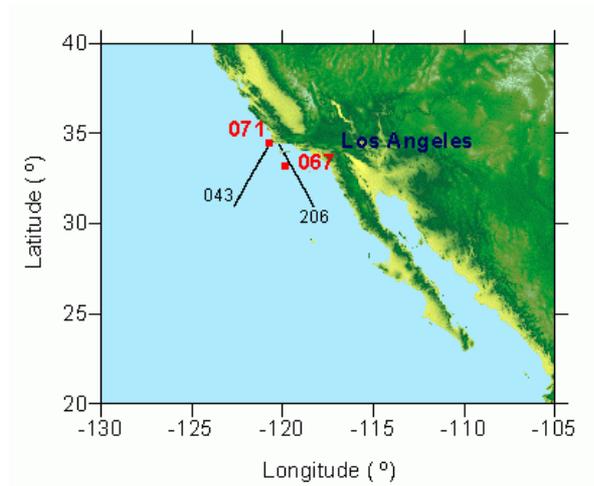


Fig. 2 – Passagens do Topex/Poseidon (—) junto às bóias (■) localizadas ao largo da costa oeste de EUA na zona de Los Angeles.

### Altímetro

Os altímetros são radares que permitem determinar a superfície do globo através da transmissão de um impulso vertical na banda das micro-ondas, em que o tempo de retorno dos respectivos ecos determina a distância entre o sensor e a superfície reflectora.

Para além da superfície do globo, o altímetro estima a altura significativa  $H_s$ , o coeficiente de retrodispersão  $\sigma_0$  e a intensidade do vento a 10 metros  $U_{10}$ . A estimativa de  $H_s$  é efectuada a partir do declive do impulso de retorno resultante do impacto do impulso emitido pelo altímetro na superfície do oceano. A partir de  $\sigma_0$  determina-se a intensidade do vento à superfície, uma vez que o parâmetro  $\sigma_0$  constitui uma medida da rugosidade da superfície do mar. Esta por sua vez está relacionada com ondas de pequeno comprimento de onda que resultam da acção do vento à superfície (Wu, 1972).

Recentemente têm sido propostos algoritmos para o cálculo do período das ondas dos quais se destaca o algoritmo de Davies *et al.* (1998) que mais generalidade apresenta. Este algoritmo permite obter uma estimativa do período médio de cruzamento de zeros  $T_z$  a partir do coeficiente de retrodispersão  $\sigma_0$  do altímetro e, a partir deste, obter  $T_e$ . Este algoritmo utiliza um parâmetro denominado “período do altímetro” (Challenor e Srokosz, 1991) que se define por:

$$T_A = \left( \frac{m_0}{m_4} \right)^{1/4} . \quad (9)$$

O cálculo de  $m_0$  efectua-se a partir de  $H_s$  através da equação (3) e o momento  $m_4$  é função de  $\sigma_0$  através de

$$m_4 = \frac{g^2 |R(0)|^2 (t+1)(t+2)}{2(2\pi)^4 \sigma_0 \sqrt{(2t+1)(t^2+t+1)}} , \quad (10)$$

sendo  $R(0)$  o coeficiente de reflexão de Fresnel da superfície do mar para a incidência normal e  $t$  uma constante que exprime a direccionalidade das ondas. O parâmetro  $t$  toma o valor de 12 e  $|R(0)|^2$  é igual a 0.62 (Brown, 1979, Davies *et al.* 1998).

Um outro parâmetro utilizado nesta metodologia é a *pseudo* idade das ondas  $\xi$  (Fu e Glazman, 1991) que é definida por

$$\xi = 3.25 \left( \frac{g^2 H_s^2}{U_{10}^4} \right)^{0.31} . \quad (11)$$

Deste modo estamos em condições de determinar  $T_z$  a partir de  $T_A$  e  $\xi$  utilizando-se um modelo empírico quadrático

$$T_z = a + bT_A + c\xi + dT_A\xi + eT_A^2 + f\xi^2 . \quad (12)$$

Os valores dos coeficientes  $a, b, c, d, e, f$ , foram calculados por ajustamento entre os valores obtidos por bóias do *National Data Buoy Centre* (NDBC) dos Estados Unidos da América durante os anos de 1991 e 1992 e de estimativas de  $T_A$  e  $\xi$  obtidas pelo altímetro a bordo do satélite ERS-1 da Agência Espacial Europeia. Tomam os valores seguintes:

$$\begin{aligned} a = 3.6770 \quad b = 0.1783 \quad c = 0.1287 \\ d = 0.0156 \quad e = 0.2173 \quad f = -0.0086. \end{aligned} \quad (13)$$

Neste estudo utilizaram-se dados de altímetro provenientes do altímetro do satélite T/P. Trata-se de um satélite de órbita quase heliosíncrona à altitude de 1336 km no equador, com um período de repetição de cerca de 10 dias. Ao fim deste período o satélite efectuou 127 revoluções em torno do globo, o que equivale a 254 passagens adjacentes entre si sendo a separação no equador de 316 km.

## VERIFICAÇÃO DOS DADOS DO ALTÍMETRO

A verificação dos dados obtidos directa ou indirectamente a partir das medições dos altímetros a bordo do TOPEX/Poseidon foi efectuada através da sua comparação com medições de bóia ondógrafo ao largo da Figueira da Foz, com bóias localizadas na costa Oeste dos Estados Unidos da América.

O algoritmo de Davies *et al.* (1998) permite calcular o período médio de cruzamento de zeros  $T_z$  a partir dos parâmetros medidos pelo altímetro mas não permite obter o período médio de energia  $T_e$ , a partir do qual se calcula directamente a potência de agitação marítima das ondas em águas profundas através da equação (8). Como forma expedita de obter  $T_e$  a partir de  $T_z$  efectuaram-se ajustamentos lineares entre os valores de  $T_e$  e  $T_z$  obtidos a partir das medidas efectuadas pela bóia ao largo da Figueira da Foz e pelas bóias localizadas na costa Oeste dos Estados Unidos da América. São expressos por:

$$T_{e,FFOz} = 1.1509 T_{z,FFOz} + 1.0882 \quad (14)$$

$$T_{e,Harvest} = 1.0921 T_{z,Harvest} + 1.9136 \quad (15)$$

$$T_{e,SNicolas} = 1.0660 T_{z,SNicolas} + 2.3236 \quad (16)$$

Os parâmetros de qualidade calculados foram o viés ( $V$ ), o erro médio quadrático ( $E_{rms}$ ) e o índice de dispersão ( $S_i$ ) expressos respectivamente por:

$$V = \bar{E}_i = \overline{X_c - X_{obs}} \quad (17)$$

$$E_{rms} = \sqrt{\overline{E_i^2}} = \sqrt{\overline{(X_c - X_{obs})^2}} \quad (18)$$

$$S_i = E_{rms} / \sqrt{\overline{X_{obs}}}, \quad (19)$$

sendo  $X_c$  o valor calculado pelo modelo e  $X_{obs}$  o valor medido.

### Figueira da Foz

As séries de dados recolhidos referentes às medidas efectuadas pelo T/P referem-se à passagem 137 (ascendente) que está representada na Fig. 1 juntamente com a localização da bóia ao largo da costa oeste de Portugal, na zona da Figueira da Foz. Obtiveram-se 40 pares de dados “simultâneos”, sendo o instante da medição do altímetro aproximado para a medição da bóia mais próxima no tempo. As passagens do satélite não são coincidentes com a localização da bóia, existindo também uma separação espacial entre a medição do T/P e a medição efectuada pela bóia. Para o caso da Figueira da Foz a separação temporal é menor que 1 hora e 30 minutos e a separação espacial igual ou inferior a 20 km em relação ao ponto onde está instalada a bóia (FFoz).

A Fig. 3 apresenta a comparação entre valores de altura significativa ( $H_s$ ), período médio de cruzamento de zeros ( $T_z$ ), período médio de energia ( $T_e$ ) e potência de agitação marítima ( $P$ ), obtidos pelo TOPEX/Poseidon e a partir de medições efectuadas pela bóia localizada ao largo da Figueira da Foz. Os parâmetros obtidos pela bóia foram calculados a partir do espectro de frequência  $S(f)$ . Esta figura inclui também a recta de regressão, a respectiva equação e o coeficiente de determinação  $r^2$ , para além da recta  $y = x$ .

Para o cálculo do  $T_z$  aplicou-se o algoritmo de Davies (12) e  $T_e$  é calculado pela expressão (14) obtida a partir da série de dados da bóia da Figueira da Foz referente ao ano de 1992.

Verifica-se que os parâmetros de  $H_s$  e  $P$  obtidos a partir do altímetro do T/P estão mais fortemente correlacionados com as observações da bóia do que os parâmetros de período,  $T_z$  e  $T_e$ , em particular  $T_e$ , que apresenta o coeficiente de determinação mais baixo ( $r^2 = 0.41$ ). No caso de  $H_s$  obteve-se um valor bastante elevado para o coeficiente de determinação ( $r^2 = 0.98$ ). Como a potência é proporcional ao produto de  $H_s^2$  e  $T_e$ , seria de esperar que a correlação entre as duas séries fosse também elevada, o que se verifica ( $r^2 = 0.96$ ).

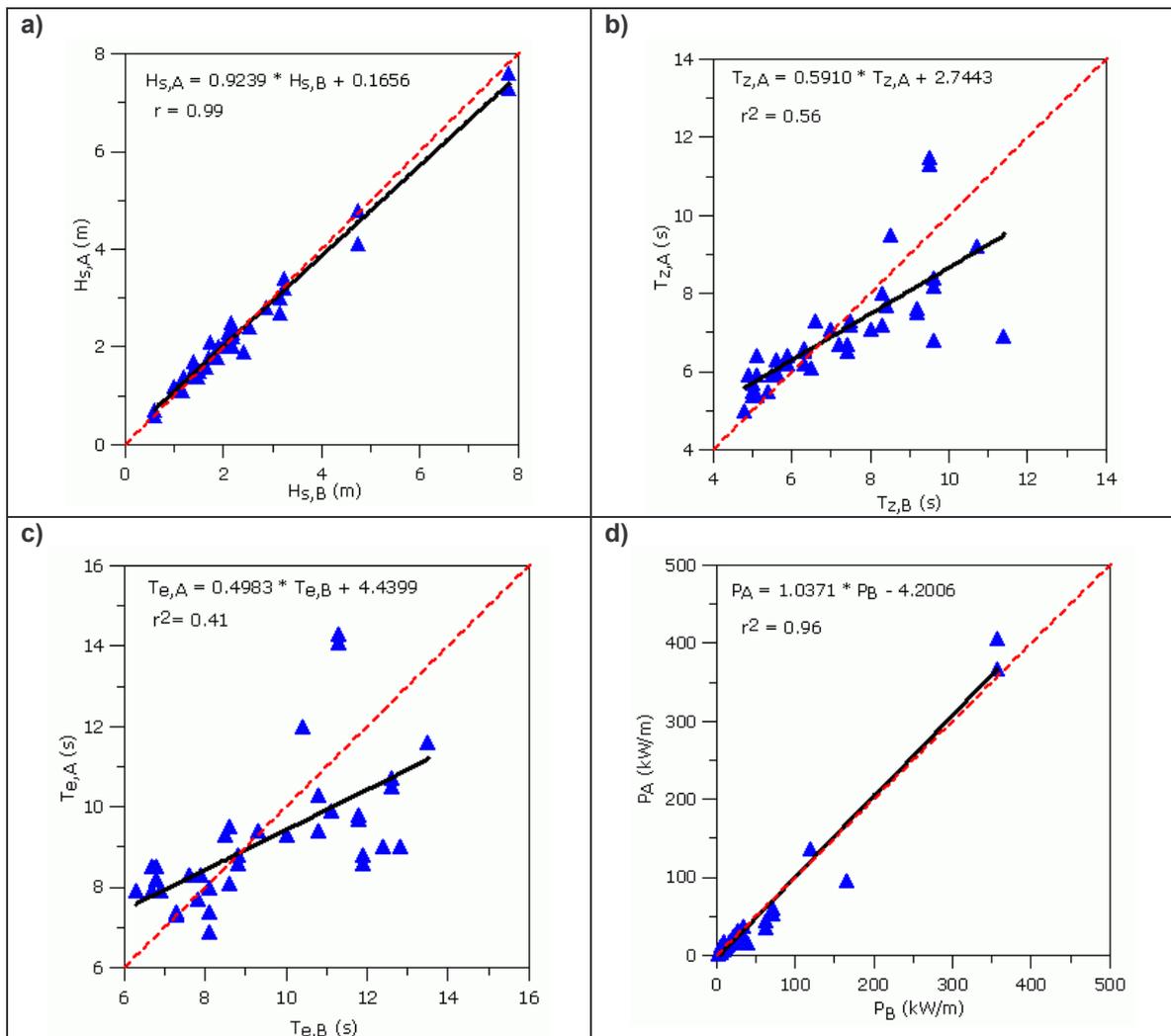


Fig. 3 – Diagramas de dispersão e recta de regressão entre os valores obtidos a partir de medições da bóia e pelo altímetro a bordo do satélite T/P, para o largo da Figueira da Foz no período entre Setembro de 1992 e Junho de 1994 a)  $H_{s,B}$  e  $H_{s,A}$ , b)  $T_{z,B}$  e  $T_{z,A}$ , c)  $T_{e,B}$  e  $T_{e,A}$  d)  $P_B$  e  $P_A$  \*.

\* O índice B refere-se às medições da bóia e o índice A é referente às estimativas do altímetro.

No Quadro 1 apresentam-se o valor médio de  $H_s$ ,  $T_z$ ,  $T_e$  e  $P$  entre Setembro de 1992 e Junho de 1994 correspondentes às medições efectuadas pela bóia e pelo altímetro do T/P. Verifica-se que os valores médios obtidos a partir do T/P são ligeiramente mais baixos que os obtidos pela bóia, sendo de salientar a muito boa concordância entre os valores de  $H_s$  obtidos a partir dos dois instrumentos.

|                       | Bóia_FFOZ | T/P   |
|-----------------------|-----------|-------|
| $\overline{H_s}$ (m)  | 2.33      | 2.32  |
| $\overline{T_z}$ (s)  | 7.15      | 6.97  |
| $\overline{T_e}$ (s)  | 9.38      | 9.11  |
| $\overline{P}$ (kW/m) | 44.31     | 41.75 |

Quadro 1 – Valores médios de  $H_s$ ,  $T_e$ ,  $T_z$  e  $P$  obtidos a partir de medições com a bóia da Figueira da Foz e com o altímetro do T/P na passagem 137 identificada na Fig. 1, entre Setembro de 1992 e Junho de 1994.

O Quadro 2 apresenta os parâmetros de qualidade relativos às estimativas de  $H_s$ ,  $T_z$ ,  $T_e$  e  $P$  em relação ao T/P e o coeficiente de determinação  $r^2$ . Verifica-se que existe uma ligeira subestima dos valores médios obtidos pelo T/P em relação às observações da bóia. Verifica-se também que embora os valores de viés sejam relativamente baixos o erro médio quadrático ( $E_{rms}$ ) é cerca de 17% do valor médio para  $T_z$  e para  $T_e$  da bóia.

|            | Viés  | Ea   | Erms  | Si   | $r^2$ |
|------------|-------|------|-------|------|-------|
| $H_s$ (m)  | -0.01 | 0.16 | 0.22  | 0.09 | 0.98  |
| $T_z$ (s)  | -0.18 | 0.87 | 1.20  | 0.17 | 0.56  |
| $T_e$ (s)  | -0.27 | 1.25 | 1.64  | 0.17 | 0.41  |
| $P$ (kW/m) | -2.56 | 8.33 | 16.06 | 0.36 | 0.96  |

Quadro 2 – Parâmetros de qualidade das estimativas do altímetro do T/P para a passagem 137 junto à bóia ao largo da Figueira da Foz entre Setembro de 1992 e Junho de 1994.

## Costa Oeste dos Estados Unidos da América

Aplicou-se a mesma metodologia para o largo da costa oeste dos EUA na zona de Los Angeles que se apresenta na Fig. 2, juntamente com as passagens mais próximas do T/P. No cálculo de  $T_z$  utilizou-se também o algoritmo de Davies (12) e  $T_e$  foi calculado por (15) no caso de Harvest (071), e por (16) para a bóia de San Nicolas Island (067).

Trata-se de bóias DATAWELL pretencentes ao Coastal Data Information Program operado na Scripps Institution of Oceanography (US Army Corps of Engineers, California Department of Boating and Waterways).

A série de dados com a qual se efectuou a comparação entre as estimativas do T/P e a bóia de Harvest (071), corresponde ao período de tempo entre Fevereiro de 1999 e Junho de 2002 e inclui 91 pares de observações "simultâneas". No caso da bóia de San Nicolas Island (067), a amostra inclui 66 pares de observações simultâneas que se realizaram entre Setembro de 1999 e Abril de 2002. A distância máxima para a bóia de Harvest é de 23 km e de 39 km para a bóia de San Nicolas Island. Nos dois casos a separação temporal é no máximo de 15 minutos.

A Fig. 4 inclui para Harvest (bóia 067) o mesmo tipo de resultados que a Fig. 3 apresentada para a Figueira da Foz. Verifica-se que os parâmetros de  $H_s$  e  $P$  estimados pelo T/P estão mais fortemente correlacionadas com as observações da bóia do que os valores de  $T_z$  e  $T_e$ . No caso de  $H_s$  e  $P$  é menos bom o ajustamento entre medidas da bóia e do altímetro do que para a Figueira da Foz, especialmente para situações de tempestade. Neste caso verifica-se que não é satisfatório o ajustamento entre os valores individuais de  $T_z$  e  $T_e$  obtidos a partir das medições com bóia e estimados a partir das medidas do altímetro. Como seria de esperar o ajustamento para  $T_e$  também é pior do que  $T_z$  obtidos a partir dos dois métodos (0.04 s e 0.08 s, respectivamente). No entanto é bom o ajustamento entre os valores médios, sendo baixo valor do viés.

Os diagramas de dispersão de  $T_z$  e  $T_e$ , em particular o de  $T_e$ , mostra que existe uma correlação muito baixa entre as duas séries, sendo o coeficiente de determinação de 0.47 para  $T_z$  e de 0.16 para  $T_e$ , o que significa que não existe praticamente correlação.

No Quadro 3 encontram-se os valores médios dos parâmetros obtidos a partir da bóia em Harvest e a partir do altímetro do T/P para a passagem 043 (ascendente). Neste caso verifica-se que o altímetro uma ligeira sobrestima a altura significativa e os dois parâmetros de período. Os valores de  $r^2$  são melhores para  $H_s$  e  $P$  (0.95 e 0.93 respectivamente). Para os períodos não se verifica melhoria nas correlações.

A análise da Fig. 5 e do Quadro 5 referente a San Nicolas Island permite verificar que o erro das estimativas de  $H_s$  a partir das estimativas do altímetro é superior ao que se verifica nos dois exemplos anteriores, sobretudo para  $H_s$  maiores que 2 metros. Sendo não satisfatórias as estimativas obtidas para  $T_z$  e  $T_e$  a partir do altímetro. Note-se no entanto que é baixo o valor do viés para  $T_z$  e de  $T_e$  (0.08 s e 0.09 s, respectivamente).

Do quadro 6 verifica-se que o altímetro subestima a altura significativa e a potência de agitação marítima, e sobrestima os períodos. Os coeficientes de correlação referentes aos período médio de cruzamento de zeros e o período de energia não são satisfatórios.

O mau ajustamento entre as medidas da bóia e do altímetro deve ser devido ao facto de existir maior separação espacial entre ambas, que neste caso atinge valores de 39 km.

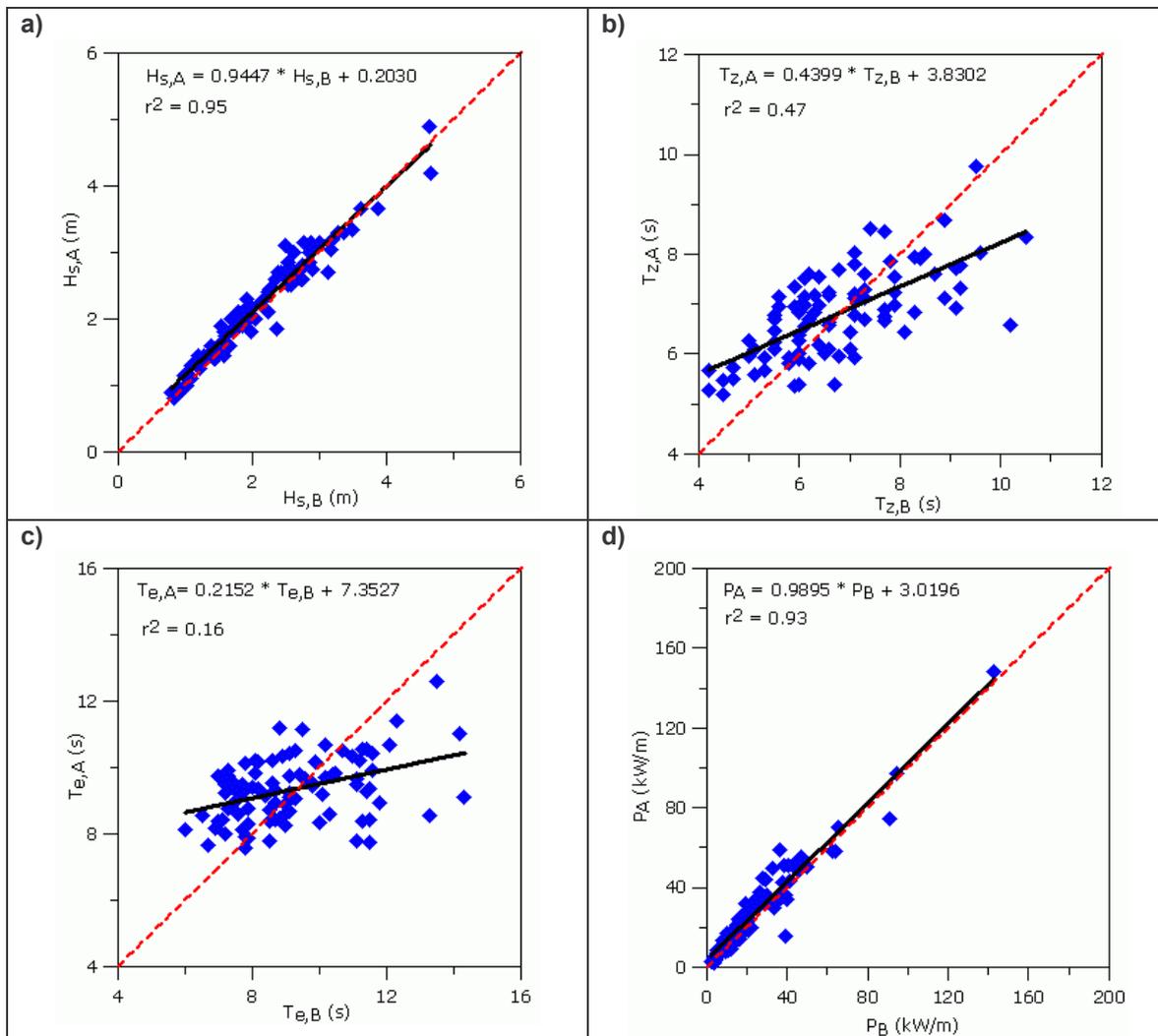


Fig. 4 – O mesmo da Fig. 3 para a bóia de Harvest (071) no período entre Fevereiro de 1999 e Junho de 2002.

|            | Bóia_Harvest | T/P   |
|------------|--------------|-------|
| $H_s$ (m)  | 2.10         | 2.18  |
| $T_z$ (s)  | 6.77         | 6.81  |
| $T_e$ (s)  | 9.27         | 9.35  |
| $P$ (kW/m) | 23.75        | 26.51 |

Quadro 3 – O mesmo da Fig. 3 para a bóia em Harvest (071) e com o altímetro do T/P na passagem 043 identificada na Fig. 2 no período entre Fevereiro de 1999 e Junho de 2002

|            | Viés | Ea   | Erms | Si   | $r^2$ |
|------------|------|------|------|------|-------|
| $H_s$ (m)  | 0.09 | 0.16 | 0.20 | 0.10 | 0.95  |
| $T_z$ (s)  | 0.04 | 0.82 | 1.01 | 0.15 | 0.47  |
| $T_e$ (s)  | 0.08 | 1.31 | 1.67 | 0.18 | 0.16  |
| $P$ (kW/m) | 2.77 | 4.76 | 6.77 | 0.28 | 0.93  |

Quadro 4 – O mesmo do Quadro 2 para a passagem 043 junto à bóia em Harvest (071) no período entre Fevereiro de 1999 e Junho de 2002.

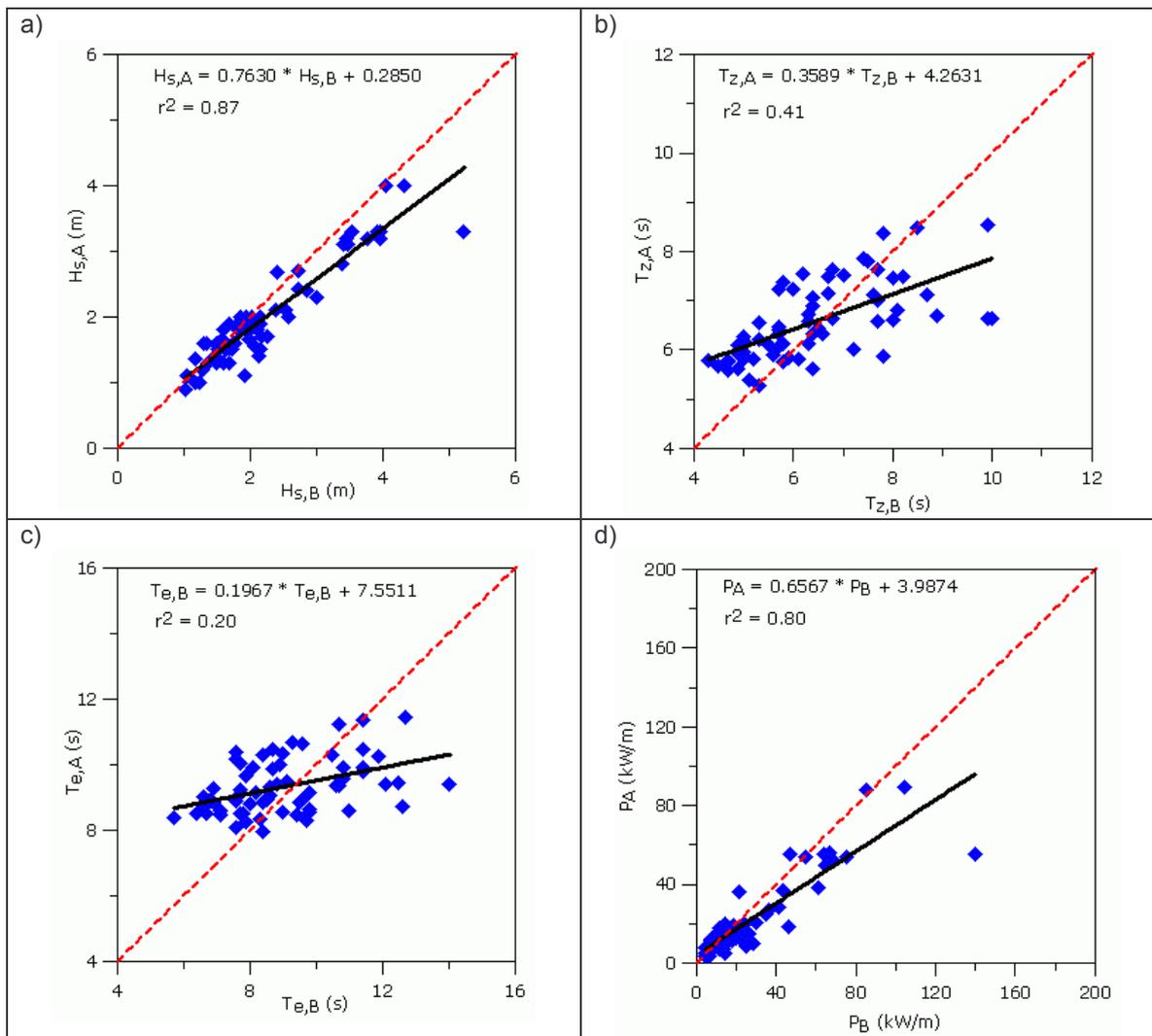


Fig. 5 – O mesmo da Fig. 3 para a bóia de San Nicolas Island (067) no período entre Setembro de 1999 e Abril de 2002.

|            | Bóia_San Nicolas | T/P   |
|------------|------------------|-------|
| $H_s$ (m)  | 2.23             | 1.99  |
| $T_z$ (s)  | 6.42             | 6.57  |
| $T_e$ (s)  | 9.01             | 9.32  |
| $P$ (kW/m) | 27.13            | 21.80 |

Quadro 5 – O mesmo da Fig. 3 para a bóia em San Nicolas Island (067) e com o altímetro do T/P na passagem 206 identificada na Fig. 2 no período entre Setembro de 1999 e Abril de 2002.

|            | Viés  | Ea   | Erms  | Si   | $r^2$ |
|------------|-------|------|-------|------|-------|
| $H_s$ (m)  | -0.25 | 0.30 | 0.42  | 0.19 | 0.87  |
| $T_z$ (s)  | 0.15  | 0.85 | 1.07  | 0.17 | 0.41  |
| $T_e$ (s)  | 0.31  | 1.45 | 1.66  | 0.18 | 0.20  |
| $P$ (kW/m) | -5.32 | 7.53 | 13.64 | 0.50 | 0.80  |

Quadro 6 – O mesmo do Quadro 2 para a passagem 206 junto à bóia em San Nicolas Island (067) no período entre Setembro de 1999 e Abril de 2002.

## CONCLUSÕES

O presente estudo permite concluir que, para o estudo preliminar do recurso energético das ondas do mar em zonas costeiras, é satisfatória a precisão dos dados de ondas obtidos directamente ( $H_s$ ) e indirectamente ( $T_z$ ,  $T_e$  e  $P$ ) para a Figueira da Foz, a partir das medições efectuadas pelos altímetros do satélite TOPEX/Poseidon utilizando para o cálculo do período  $T_z$  o algoritmo de Davies *et al.* (1998). Para as bóias da costa Oeste dos EUA os resultados, relativamente aos valores médios são satisfatórios mas é muito reduzida a correlação entre os valores medidos pela bóia e obtidos a partir do altímetro, em particular para os parâmetros de período ( $T_z$  e  $T_e$ ).

Como conclusões finais:

Os valores obtidos para  $H_s$  são satisfatórios. Para  $T_z$  e  $T_e$  também se obtiveram valores médios satisfatórios, apesar do ajustamento entre os valores individuais é insuficiente.

É necessário aprofundar este estudo para identificar as causas de diferente comportamento ao largo da costa oeste de Portugal e dos EUA. As condições de agitação marítima na zona da costa oeste dos EUA considerada são bastante complexas, sendo sensível o efeito de abrigo de diversas ilhas presentes naquele local e a ocorrência de regimes de ondulação com proveniências distintas (O'Reilly *et al.*, 2001). Devido ao reduzido número de observações do altímetro disponíveis em San Nicolas Island, a distância máxima utilizada foi superior à utilizada em Harvest, o que explicará os piores resultados observados em San Nicolas Island. Os valores referentes a  $P$  são bons pois dependem de  $H_s^2$  e os erros para o período são de 50%.

A diferença entre os resultados da Figueira da Foz e a costa oeste dos EUA, na zona de Los Angeles sugere uma interpretação dos regimes de agitação marítima. Pretende-se aplicar o método proposto por Gommerginger *et al.* (2003).

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Hidrográfico da Marinha (IH) a cedência dos dados da bóia-ondógrafo localizada ao largo da Costa Oeste de Portugal na zona da Figueira da Foz, à agência francesa CNES (*Archiving, Validation, and Interpretation of Satellite Data in Oceanograph*, (AVISO)) a cedência dos dados dos altímetros do satélite TOPEX/Poseidon.

## REFERÊNCIAS

- Brown, G.S., 1979: Estimation of surface wind speeds using satellite-borne radar measurements at normal incidence. *J. Geophys. Res.*, 104, nº C6, 13345-13357, June 15.
- Challenor, P.G. e M.A. Srokosz, 1991: Wave studies with the radar altimeter. 12, nº8, 1671-1686.
- Davies, C.G., P.D. Cotton, Challenor e D.J. Carter, 1998: On the measurements of wave period from radar altimeters, ocean wave measurements and analysis, Proc. 3<sup>rd</sup> Int. Symp. Waves'97, ASCE, Reston, VA, pp 819-826.
- Fu, L.L. e R. Glazman, 1991: The effects of the degree of wave development on the sea state bias in radar altimeter measurement. *J. Geophys. Res.*, 96, nº C1, 829-834.
- Gommerginger, C.P., M.A. Srokosz, P.G. Challenor, P. Cotton, 2003: Measuring ocean wave period with satellite altimeters: A simple empirical model. Proc. IGARSS conference, Toulouse, Julho de 2003.
- Hwang, P.A., W. J. Teague, G.A. Jacobs e D.W. Wang, 1998: A statistical comparison of wind speed, wave height and wave period derived from satellite altimeters and ocean buoys in Gulf of Mexico region. *J. Geophys. Res.*, 103, nº C5, 10451-10468, May 15.
- Moreira, N.M., 2001: Medição das Ondas do Mar com Radar Altimetro. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Geofísicas, Especialização em Meteorologia. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. 95 pp.

Moreira, N.M.,H. Oliveira Pires, T. Pontes e C. Câmara, 2002: Verification of TOPEX-Poseidon wave data against buoys off the West Coast of Portugal. Proc. Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE02), paper 2002-28254. Oslo, Norway, 23 a 28 de Junho.

O'Reilly, W.C., R.T. Guza, R.J. Seymour: Wave Prediction In The Santa Barbara Channel. MMS OCS Study 2001-055. Coastal Research Center, Marine Science Institute, University of California, Santa Barbara, California. MMS Cooperative Agreement Number 14-35-0001-30758. 8 pp.

Wu, J., 1972: Sea-surface slope and equilibrium wind-wave spectra. The Physics of Fluids, 15, nº 5, 741-747, May.