

ONDATLAS – Atlas de Ondas em Portugal

Ricardo Aguiar e Maria Teresa Pontes

INETI, Departamento de Energias Renováveis, Estrada do Paço do Lumiar, 1649-038 Lisboa

ricardo.aguiar@ineti.pt, teresa.pontes@ineti.pt <http://www.ineti.pt/>

Henrique Oliveira Pires

Instituto de Meteorologia, Rua C do Aeroporto de Lisboa, 1749-077 Lisboa

oliveira.pires@meteo.pt <http://www.meteo.pt/>

Resumo

O ONDATLAS é um Atlas que descreve o clima de ondas e o recurso energético associado junto à costa de Portugal continental. Trata-se de um atlas em formato digital contendo descrição estatística detalhada em 85 pontos: 78 junto à costa a profundidade de ca. 20 metros, espaçados entre 5 km a 30 km; 5 locais ao largo – profundidade de ca. 100 m – próximo de locais onde foram ou são ainda efectuadas medições com bóia-ondógrafo; e 2 locais em oceano aberto, o que permite a um utilizador efectuar por si próprio a transformação das estatísticas de ondas para qualquer ponto da costa.

As estatísticas do ONDATLAS incluem médias anuais e mensais, variabilidade anual e a densidade de probabilidade referente à altura significativa, ao período médio de energia, ao período de pico e à potência da agitação; várias estatísticas da direcção; distribuições de probabilidade conjunta de várias combinações dos parâmetros referidos; e valores extremos tais como períodos de retorno para altura e período das ondas.

O artigo descreve as características principais do ONDATLAS, ilustra a forte variação espacial devido ao abrigo pela costa e apresenta uma avaliação sumária do recurso energético.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento das estatísticas das ondas perto da costa é utilizado para inúmeros propósitos em engenharia costeira. Existem então boas razões para proporcionar à comunidade de engenharia estimativas de estatísticas de ondas a longo termo de alta qualidade. E isto tanto no que se refere a dados de zonas costeiras com uma resolução espacial elevada, que podem ser usados directamente em algumas aplicações, como dados de zonas profundas com uma resolução espacial inferior, que podem ser usados como entrada em modelos especializados a juzante para estimar valores junto à costa.

Contudo os dados experimentais, em particular medições de bóias, raramente estão disponíveis. E mesmo quando os há, apresentam usualmente vários problemas como registos em falta, espúrios, ou demasiado curtos.

Uma alternativa é a obtenção de estimativas a longo prazo a partir de modelos numéricos, que partem de dados de vento e produzem boas estimativas em oceano aberto. Modelos de propagação de ondas em águas pouco profundas podem depois ser usados para a determinação das condições próximas em locais perto da costa, a partir dos dados estimados para o largo.

Apresenta-se abaixo o Atlas proposto para a costa portuguesa, designado pelo acrónimo ONDATLAS, e que foi desenvolvido pelo Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (INETI) sob o contrato com o Instituto Português e dos Transportes Marítimos (IPTM).

Historicamente o desenvolvimento deste Atlas seguiu a experiência da equipa nos desenvolvimentos anteriores de atlas de energias renováveis. De facto, o INETI já tinha participado em vários Projectos relevantes neste campo, conforme se refere de seguida.

Sendo a avaliação do recurso da energia das ondas um pré-requisito básico para o planeamento estratégico da utilização da energia das ondas, a Comissão Europeia incluiu na acção 'Preliminary Actions on Wave Energy R&D' (1991-1993) um projecto para rever os fundamentos que a teoria das ondas requer para a exploração do recurso e elaborar recomendações para a sua caracterização (Pontes et al, 1993). Foi nessa ocasião proposta uma metodologia a dois níveis: primeiro a caracterização ao largo deve ser baseada em séries temporais longas (pelo menos 10 ou 15 anos) de dados de ondas de elevada qualidade (de preferência espectros direccionais) produzidos por modelos numéricos de ondas e vento e com medidas de ondas disponíveis; e depois, o recurso perto da costa e na linha de costa poderá ser produzido a partir dessa série de dados usando um modelo de ondas para águas pouco profundas.

O Atlas Europeu de energia, WERATLAS, também financiado pela Comissão Europeia, foi o primeiro exemplo da aplicação do primeiro nível desta metodologia. O WERATLAS usou dados de modelos do ECMWF e alguns dados observados, para disponibilizar clima de ondas e estatísticas da energia das ondas para 85 pontos ao largo no Atlântico e Mediterrâneo (Pontes et al, 1996 e Pontes, 1998). Este atlas foi amplamente divulgado na comunidade académica, assim como tem sido comprado por companhias e agências, pela marinha e e autoridades de portos de vários países, revelando uma multitude de usos muito para além da exploração da energia das ondas. Já o presente ONDATLAS concretiza os dois passos da metodologia, concatenando-se resultados do modelo numérico de ondas ao largo MAR3G com um modelo de transporte para a costa.

Este artigo apresenta os aspectos mais relevantes do modelo MAR3G e resume a sua verificação detalhada; descreve o clima de ondas e as estatísticas da energia das ondas seleccionadas para este Atlas; realça a abordagem utilizada no desenvolvimento da interface com o utilizador e descreve de forma breve a avaliação do clima de ondas e do recurso energético nas zonas costeiras consideradas.

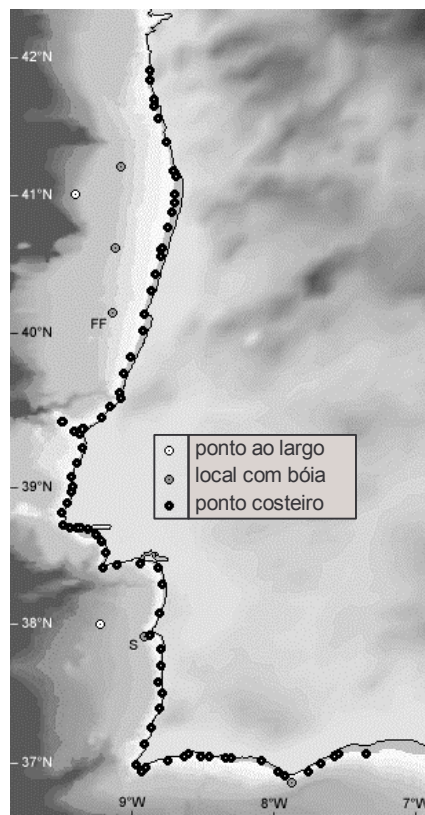


Fig. 1 – Os 85 locais do ONDATLAS.

2. CONTEÚDO DO ATLAS

O Atlas fornece dados estatísticos para 85 locais: 64 ao longo da costa ocidental de Portugal, 18 ao longo da costa sul de Portugal e 2 em oceano aberto como mostra a Fig. 1. Inclui ainda 5 pontos próximos de locais onde as bóias estão (ou estavam até recentemente) posicionadas, isto inclusivé para objectivos de validação.

Considerou-se inicialmente uma resolução de 10 km, mas alguns locais foram retirados pois se verificou que o clima de ondas era muito similar ao dos pontos vizinhos. Tratava-se em particular de casos em que a costa é mais ou menos linear e com batimetria homogénea. Os locais que foram seleccionados tomaram também em consideração a existência de estruturas marítimas (e.g. portos e marinas) e características geográficas especiais (ilhas, lagoas, estuários), e em alguns casos a existência de bóias.

Após reuniões com potenciais utilizadores do ONDATLAS foi decidido incluir dois pontos extra ao largo da costa oeste do Atlântico, permitindo assim aos utilizadores inferir as estatísticas para zonas próximas da costa a partir dos seus próprios métodos ou/e para locais não incluídos no Atlas.

As séries temporais de espectros direccionais $E(f, \theta)$ (onde f é a frequência e θ a direcção das ondas) que foram obtidas para construir o Atlas – ver a secção seguinte – representam uma quantidade enorme de dados que não estão disponíveis directamente ao utilizador. Foram seleccionados para apresentação ONDATLAS conjuntos das estatísticas mais úteis dos parâmetros de ondas e dos parâmetros de energia das ondas, que se podem obter dos espectros mencionados. Os parâmetros seleccionados foram a altura significativa (H_s), o período médio de energia (T_e), o período de pico unidireccional (T_p), densidade de potência (P_w), direcção vectorial média (θ) e a direcção média de energia (θ_w). Estes parâmetros derivam de $E(f, \theta)$ através de

$$H_s = 4m_0^{1/2},$$

$$T_e = m_{-1}/m_0,$$

onde os momentos espectrais m_n são definidos por

$$m_n = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} f^n E(f, \theta) df d\theta.$$

O significado de T_e é o de valor médio do período, pesado pelo espectro. T_e depende principalmente da banda de frequências mais baixas do espectro, cujas contêm a maior parte da energia. Assim é um parâmetro mais estável que o tradicional período médio de cruzamento de zeros T_{m02} que é calculado a partir dos momentos espectrais por $(m_0/m_2)^{1/2}$. A dependência de m_2 faz com que se torne muito sensível na zona da cauda do espectro que corresponde às altas frequências e que contém pouca informação energética.

O período de pico T_p é o inverso da frequência de pico, que corresponde ao máximo da densidade espectral. Deve ser tomado em consideração que em locais em que existem diferentes estados de mar, considerar um só valor de T_p tem uma validade limitada. O período de pico foi avaliado em conjunto com a informação direccional, porém é do conhecimento geral que a identificação automática de T_p é difícil e por vezes os critérios usados são questionáveis e os resultados pouco claros. Deste modo apenas a informação do período de pico unidireccional é apresentada. Outras características espectrais, tais como a largura espectral, não foram incluídas no ONDATLAS devido a dificuldades semelhantes.

O nível da densidade de potência é dado por

$$P_w = \rho g \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} c_g(f, h) E(f, \theta) df d\theta$$

sendo ρ a densidade da água, g a aceleração da gravidade e c_g a velocidade de grupo (velocidade a que se propaga a energia) que depende de f e da profundidade h .

A direcção média é calculada por

$$\theta = \arctan \frac{\int_0^{2\pi} \int_{0'}^{\infty} E(f, \theta) \sin(\theta) df d\theta}{\int_0^{2\pi} \int_{0'}^{\infty} E(f, \theta) \cos(\theta) df d\theta} \quad (1)$$

e a direcção média de potência por

$$\theta_w = \arctan \frac{\int_0^{2\pi} \int_{0'}^{\infty} c_g(f, h) E(f, \theta) \sin(\theta) df d\theta}{\int_0^{2\pi} \int_{0'}^{\infty} c_g(f, h) E(f, \theta) \cos(\theta) df d\theta} \quad (2)$$

Para além das coordenadas e da batimetria do local, o Atlas inclui a seguinte informação, para três períodos temporais ou “estações” – ano, Inverno (Dezembro a Fevereiro) e Verão (Junho a Julho):

- i) tabelas de dados – estatísticas descritivas, funções de probabilidade (incluindo algumas estatísticas de probabilidade conjunta), e histogramas direccionais;
- ii) gráficos – informação semelhante à contida nas tabelas, com excepção das estatísticas conjuntas, e com gamas de parâmetros mais curtas, sempre que adequado.

Para H_s , T_e , T_p , and P_w , o ONDATLAS contém estatísticas mensais da média, mediana, variância, e os quantis 16% e 84% da probabilidade de ocorrência.

Para H_s e P_w , confirmou-se que modelos logNormais se ajustavam bem aos dados, como tinha sido já obtido no desenvolvimento do WERATLAS. Outros candidatos inspeccionados foram a função Normal simples, uma função de pico Lorentziana e certas funções racionais, mas estas não trouxeram de um modo geral qualquer melhoramento significativo em relação ao desempenho da logNormal. Os parâmetros dos modelos logNormais ajustados às distribuições de probabilidade mensais são por isso apresentados no Atlas.

Também foram obtidas estatísticas mensais para as três estações temporais já mencionadas. Foram determinadas funções de densidade de probabilidade para H_s , T_e , T_p , P_w , θ e θ_w , e funções de excedência para H_s e P_w . As larguras das bandas para H_s e P_w são definidas com intervalos progressivamente maiores,

H_s : 0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5 6 7 8 9 10 12 14 16 (m),

P_w : 0 1 2 3 4 5 10 15 20 25 30 40 50 100 200 300 500 1000 2000 5000 (kW/m),

enquanto que para os parâmetros de período e de direcção se adoptaram bandas de largura constante: 3 s a 22 s com intervalos de 1s, e 30°, respectivamente.

Obtiveram-se funções de densidade de probabilidade conjunta para os pares $\{H_s, T_e\}$, $\{H_s, T_p\}$, $\{H_s, \theta\}$, $\{T_p, \theta\}$, e $\{P_w, \theta_w\}$. Foram inspeccionados modelos analíticos para estas distribuições, e.g. combinações das formulações Normal, logNormal ou valores extremos tipo Gumbell, com e sem sinergia entre funções de probabilidade marginais, i.e. correlação cruzada entre parâmetros de ondas. No entanto não foi possível obter um modelo ou um pequeno conjunto de modelos capaz de reproduzir de forma adequada os padrões dos dados para a totalidade dos locais e das estações do ano, e assim sendo esta informação não é apresentada no Atlas.

Valores máximos anuais a longo prazo de H_s e T_e são apresentados graficamente em papel de probabilidade de Gumbell, juntamente com uma regressão linear para auxiliar a extrapolação no caso de períodos de retorno elevados. No caso de H_s também se assinala o limite físico relacionado com a profundidade (recorde-se que a maioria dos pontos corresponde a locais

com cerca de 20 m de profundidade). As estimativas de H_s no ONDATLAS correspondem a intervalos temporais de 6 horas, pelo que se apresentam também estimativas da altura significativa correspondentes a intervalos temporais de ½ hora e correspondentes a alturas de onda “instantâneas”.

Finalmente, apresentam-se histogramas direccionais da direcção média e da direcção média de potência da agitação marítima, para as três estações temporais.

3. DADOS DE AGITAÇÃO MARÍTIMA

Os dados de agitação marítima para avaliação do clima e do recurso energético das ondas foram obtidos do modelo numérico de agitação marítima MAR3G (Oliveira-Pires, 1993). Trata-se de um modelo de terceira geração similar ao modelo WAM (The WAMDI Group, 1988), implementado na rotina operacional do Centro Europeu de Previsão do Tempo a Médio Prazo (ECMWF, Reading, Reino Unido). O MAR3G usa como dados de entrada os campos de vento produzidos pelo modelo meteorológico do ECMWF. Os modelos de terceira geração calculam espectros direccionais de agitação marítima a partir da integração da equação de balanço de energia sem necessidade de assumir *a priori* qualquer forma espectral empírica. Devido a uma nova parametrização da influência do vento (Oliveira-Pires, 1997), o MAR3G parece produzir, sob condições de temporal, melhores resultados que outros modelos similares existentes.

A fim de obter resultados para zonas de águas pouco profundas e/ou zonas abrigadas, o modelo está interligado a um modelo linear de raios inversos que converte espectros direccionais de mar aberto para zonas costeiras, entrando em linha de conta com o efeitos de profundidade decrescente, empolamento, refração, dissipação por atrito no fundo e abrigo da costa. Executou-se para o ONDATLAS uma reconstituição (hindcast) de 11 anos (1989 a 1999), com resultados a cada 6 horas.

Foi efectuada uma verificação extensa e detalhada do MAR3G por comparação de séries temporais longas de valores calculados de H_s , T_e , P_w e θ_w com medições efectuadas por bóias em diversos locais ao largo da costa portuguesa, vd. Oliveira Pires *et al.* (1995). Um caso notável de condições perto da costa complexas será Porto Cachorro, na Ilha do Pico, Açores (onde foi instalada uma central de extracção de energia das ondas), com um intrincado perfil da linha de costa e a presença de várias ilhas na vizinhança. Os resultados do modelo para este local ajustaram-se de forma muito razoável às medições por bóia, para a maior parte das condições de agitação (Oliveira Pires *et al.* 1997). Os resultados da avaliação do desempenho do modelo para a altura significativa na Figueira da Foz (assinalada por “FF” na Fig. 1) estão resumidos na Tabela I.

**Tabela I – Erro do modelo MAR3G para a altura significativa.
Figueira da Foz, Julho de 1992 a Junho de 1993.**

	Viés (m)	Desvio absoluto (m)	Erro médio quadrático(m)	Coefficiente de Dispersão*
JUL	0.16	0.20	0.24	0.23
AGO	0.07	0.28	0.34	0.20
SET	0.11	0.28	0.37	0.21
OUT	0.21	0.42	0.49	0.24
NOV	0.15	0.47	0.63	0.27
DEZ	0.21	0.46	0.63	0.22
JAN	0.04	0.45	0.55	0.21
FEV	0.01	0.34	0.46	0.23
MAR	0.11	0.40	0.50	0.23
ABR	0.07	0.42	0.57	0.22
MAI	0.25	0.34	0.45	0.26
JUN	0.08	0.32	0.42	0.24
ANO	0.12	0.38	0.49	0.23

*erro médio quadrático dividido pelo valor médio observado

A Figura 2 mostra a comparação entre histogramas da altura significativa observada e calculada, para o mesmo local. Os resultados para outros locais são bastante semelhantes. A Figura 3 mostra resultados semelhantes para a direcção média da agitação marítima em Sines (assinalada por “S” na Fig. 1).

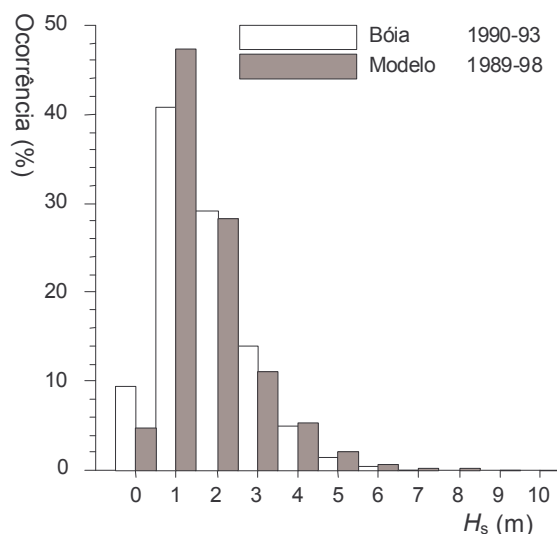


Fig. 2 – Verificação do modelo: histogramas da altura significativa na Figueira da Foz.

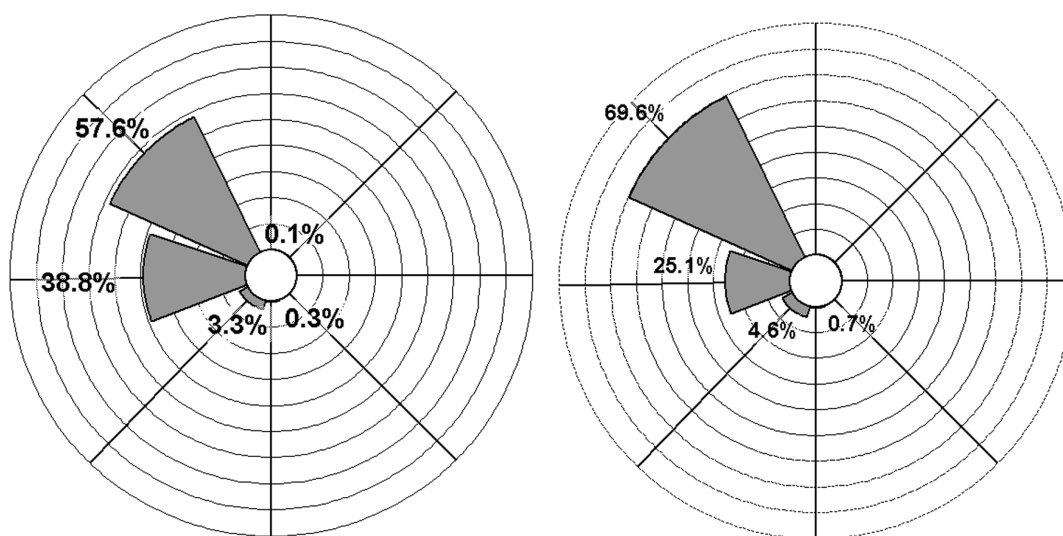


Fig. 3 – Histogramas direccionais da direcção media da agitação marítima para a bóia de Sines. À direita: dados de bóia, 1990-93. À esquerda: dados do modelo, 1989-98.

4. CONSTRUÇÃO, DISTRIBUIÇÃO E ACTUALIZAÇÃO DO ATLAS

Na construção do ONDATLAS procurou-se adoptar uma abordagem que possibilitasse um rápido e fácil desenvolvimento e implementação do Atlas e que ao mesmo tempo permitisse mais tarde oferecer ao utilizador portabilidade, rápido acesso aos dados, fácil navegação e um ambiente gráfico agradável.

As experiências anteriores com Atlas foram tomadas em consideração: bases de dados, sistemas SIG e várias linguagens de programação foram utilizados nestes produtos pelo que a re-utilização do código surgia como a escolha mais óbvia. Porém, a equipa constatou pelas

suas experiências anteriores, bem como de comentários de utilizadores do WERATLAS e outros produtos do género, que na prática estes não são sujeitos a actualizações frequentes, e a larga maioria dos utilizadores não tem necessitado ou desejado modificar os bancos de dados ou a informação geográfica subjacente aos Atlas. Em vez da potencial flexibilidade de actualizar o Atlas, em princípio oferecida por abordagens de programação e SIG, os utilizadores mostraram preferência por uma navegação lógica, simples e rápida, gráficos visualmente agradáveis e de alta qualidade que pudessem ser directamente utilizados em estudos e relatórios, a possibilidade de exportar facilmente tabelas e gráficos para outras aplicações, e por possuir tanto quanto possível uma ferramenta auto-suficiente, ou seja, que não necessite de outras aplicações, tais como software tipo SIG, mesmo que apenas de visualização.

A abordagem utilizada no ONDATLAS foi, por isso, bastante distinta das utilizadas em produtos anteriores. Este Atlas foi construído em *Hyper Text Markup Language* (HTML). Um *browser* permite uma navegação fácil e rápida; a exportação e impressão de dados são também controladas sem qualquer esforço de programação. Assumiu-se que um *browser* de Internet é de fácil acesso a qualquer utilizador mas poderá também ser incluído no CD-ROM para instalação. Um aspecto visual atractivo dependeu mais de um bom *design* gráfico do que de programação complicada de *layout* no ecrã. Por fim, ajuda interactiva foi incluída com facilidade no código HTML.

Tabelas de todas as combinações de parâmetros de ondas, tipos de estatísticas e estações temporais são dispostas em ficheiros HTML. Utilizando *software* comercial para gráficos técnicos, foram produzidos gráficos para todas as combinações mencionadas bem como várias opções de escala, e posteriormente gravados como ficheiros GIF. Deste modo produziram-se gráficos de alta qualidade e imagens que, de outra forma, requereriam trabalho muito moroso e delicado de programação.

Estas soluções são também convenientes no sentido de reduzir o esforço de desenvolvimento noutros aspectos do Atlas. O trabalho principal foi repartido por tarefas de programação e detecção de erros no código, *design* gráfico, processamento estatístico e produção de gráficos (de alta qualidade), resultando num produto de maior confiança. Uma desvantagem desta abordagem seria o elevado número de ficheiros gráficos e HTML necessários. A sua geração é de certa forma fastidiosa, mas simples depois de definidos os *layouts* finais; o tamanho de armazenagem (cerca de 40 Mb) não é hoje em dia um problema para a capacidade dos computadores pessoais.

Por fim, é de assinalar que esta abordagem em HTML também permite facilmente disponibilizar o ONDATLAS através da Internet.

5. AMOSTRA DE ESTATÍSTICAS DO ATLAS

Esta secção apresenta exemplos de estatísticas do ONDATLAS. As Figuras 4 e 5 mostram mapas das estatísticas descritivas para as três estações. Observa-se uma forte variabilidade espacial e sazonal. A altura e a potência das ondas no Inverno são consideravelmente mais elevadas do que no Verão. Na costa oeste e na costa sul observam-se claramente diferentes regimes de agitação. Na costa sul e nos estuários do rio Tejo (ca. 39° 40' N) e, especialmente, do rio Sado (ca. 39° 20' N) observam-se valores mais baixos de altura e potência, tipicamente ca. 8 kW/m. Ocorrem valores mais elevados de altura e potência em locais desabrigados da costa oeste – tipicamente 25 kW/m –, com um gradiente moderado, decrescente de norte para sul. Os níveis de energia nos dois pontos ao largo têm médias ca. 30 kW/m, logo não muito acima das estimativas para extensões costeiras desabrigadas. Porém, como seria de esperar, a direcção das ondas roda no sentido da perpendicular à linha de costa.

A resolução espacial utilizada no ONDATLAS parece ser suficientemente alta para resolver a maior parte das diferenças de clima de ondas ao longo da costa continental portuguesa. De facto, na maioria dos casos o clima de ondas varia pouco de ponto para ponto do Atlas. As excepções serão locais próximos de alguns cabos (não todos), as entradas dos estuários do Tejo e do Sado, e a transição da costa oeste para a costa sul. Alguns exemplos das estatísticas para estas áreas de especial interesse aparecem nas Figuras 6 a 8.

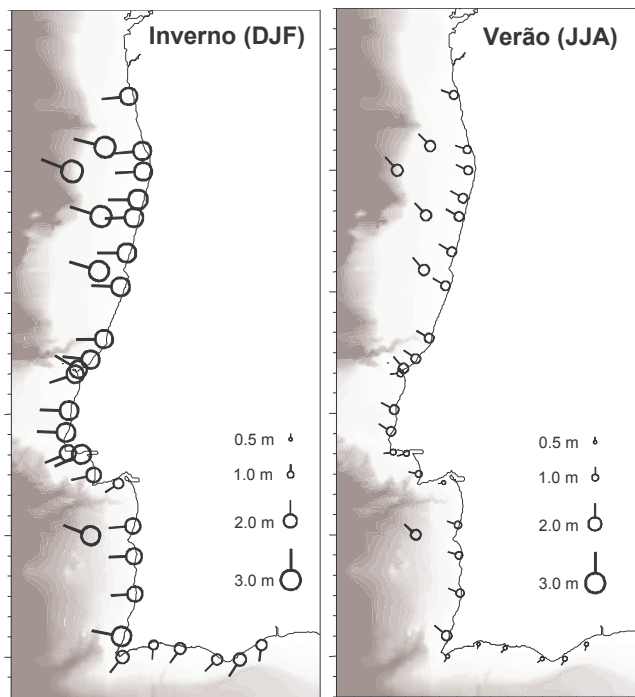
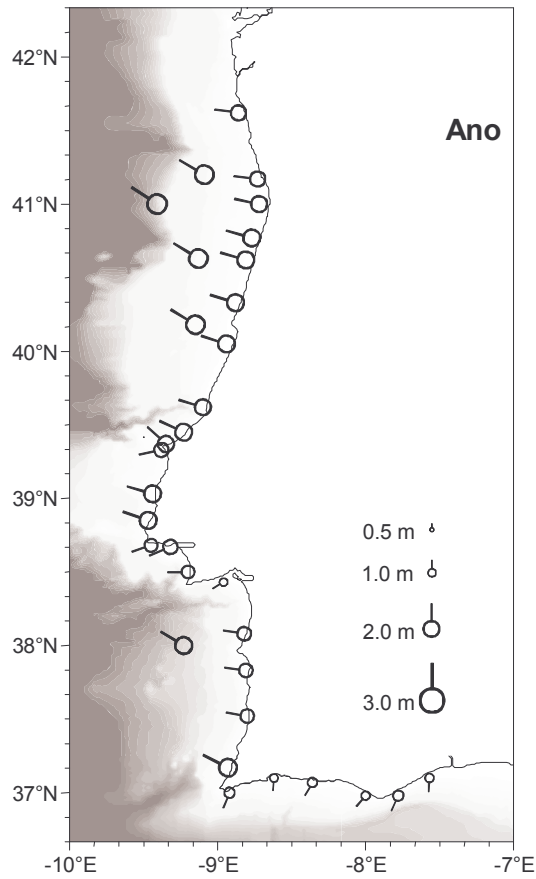


Fig. 4 – Amostra das estatísticas do ONDATLAS: valores de longo prazo das médias de H_s (círculos) e θ (traços) para o ano (em cima) e para duas estações do ano (em baixo). Para clareza, apenas um em cada três locais é representado.

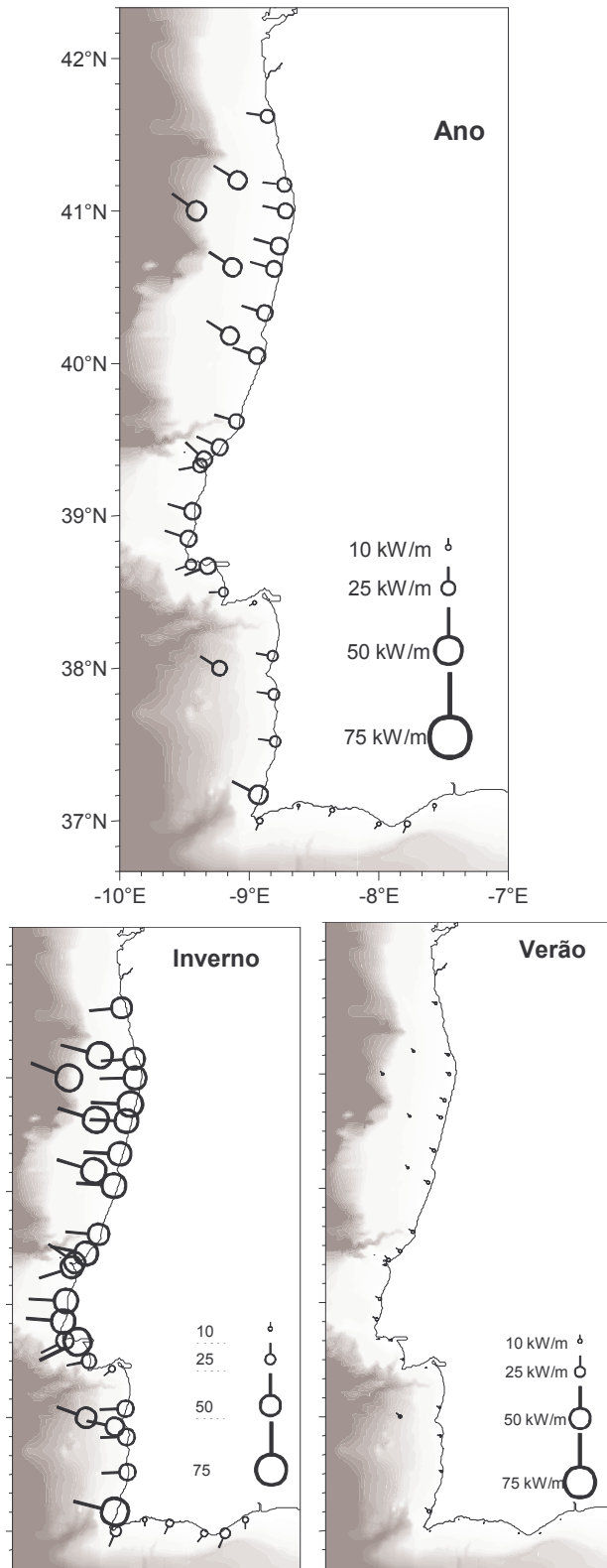


Fig. 5 – Amostra das estatísticas do ONDATLAS: valores de longo prazo das médias de P_w (círculos) e θ_w (traços) para o ano (em cima) e para duas estações do ano (em baixo). Para clareza, apenas um em cada três locais é representado.

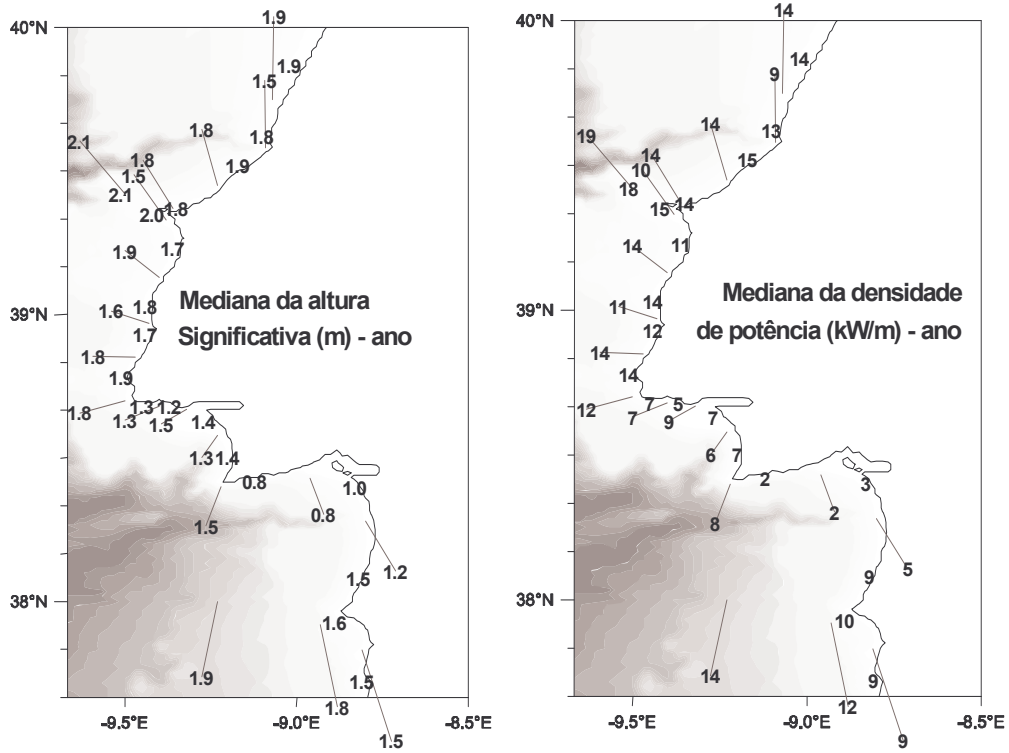


Fig. 6 – Amostra de estatísticas ONDATLAS: detalhes da costa oeste mostrando alta variabilidade espacial da altura significativa e da potência das ondas em alguns locais.

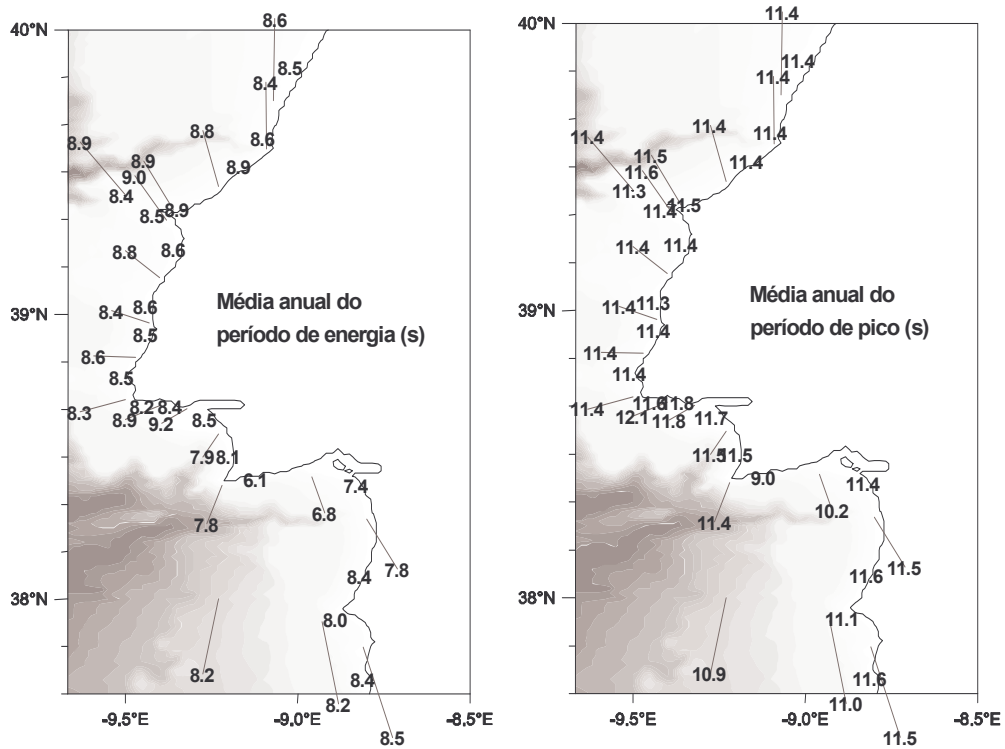


Fig. 7 – Amostra das estatísticas do ONDATLAS: detalhes da costa oeste mostrando a variabilidade espacial do clima para os períodos de ondas.

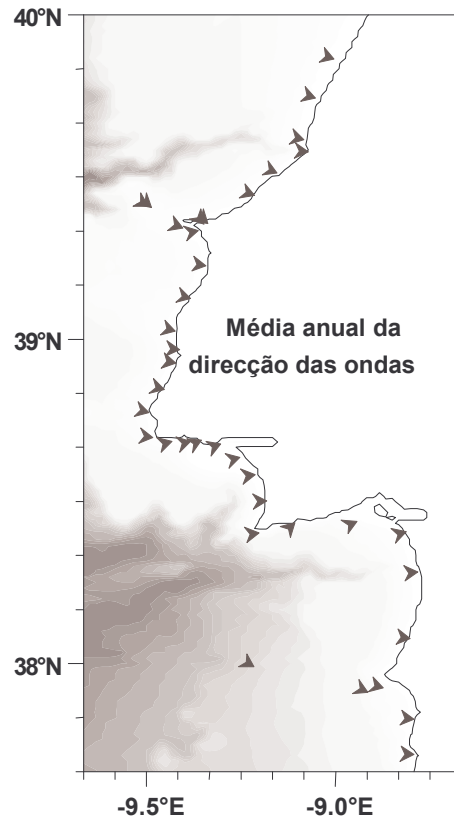


Fig. 8 – Amostra das estatísticas do ONDATLAS: detalhe da costa oeste mostrando a variabilidade espacial da direcção média das ondas.

6. CONCLUSÕES

Comunicou-se o lançamento do ONDATLAS – Atlas de ondas e energia das ondas para a costa continental portuguesa.

A abordagem para a construção de Atlas deste género foi discutida no contexto do panorama actual do registo de dados e experiência de modelos numéricos e exigências do utilizador. O resultado foi um Atlas de utilização rápida e amigável e com interface compatível com Internet; carregado com dados estatísticos para numerosos locais perto da costa (c.a 20m de profundidade) complementado com alguns locais ao largo.

O Atlas é baseado em dados de longo termo de modelo numérico de vento-onde, em conjunto com um modelo de raios inversos. Uma avaliação *a posteriori* mostrou que as aproximações tomadas em vários aspectos eram adequadas. Em particular, a resolução espacial foi suficiente para resolver espacialmente o clima de ondas nas extensões da linha de costa mais complicadas (estuários, falésias, transição da costa oeste para a costa sul).

A riqueza de informação do Atlas só agora começa a ser apreciada. No entanto está já claro que foram atingidos os objectivos do cliente institucional – ajuda da navegação, engenharia costeira e até mesmo implementação das directivas da EU – e no futuro o ONDATLAS poderá ainda ser útil para outros fins que começam agora a emergir, tais como identificação de locais com elevado potencial em energia das ondas e estudos de carácter ambiental.

AGRADECIMENTOS

O ONDATLAS foi desenvolvido sob contrato do INETI com o IPTM. Agradece-se muito em particular a Margarida Gonçalves e José Cândido por precioso auxílio no processamento gráfico e controlo de qualidade do Atlas, bem como a colaboração no texto deste artigo.

REFERÊNCIAS

- Aguiar, R. (1998). Meteorological Data for Renewable Energies and Rational Use of Energy in Portugal. Final Report of ALTENER Project No. XVII/4.1013/ Z/92-096. INETI-ITE, Dept. Renewable Energies, Lisbon.
- Aguiar, R. (1995). European Solar Radiation Atlas-Task II Reports. EU – DG XII JOULE III Contract No. JOU2-CT93-305. INETI- ITE, Dep. Renewable Energies, Lisbon.
- Oliveira Pires, H. (1993). Numerical Modelling of Wind-Generated Sea Waves, Ph.D. thesis, IST, Lisbon Technical University, 222 pp.
- Oliveira Pires, H., Carvalho, F. and Pontes, M.T. (1995). "Assessment of the Wave Conditions in Sheltered Areas", *Proc. Second European Wave Power Conference*, Lisbon, pp.20-27.
- Oliveira Pires, H., Carvalho, F. and Pontes, M.T. (1997). "Modelling the Effect of Shelter in the Modification of Waves from the Open Sea to Near-Shore", *Transactions of ASME - Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, Vol.119, nº1, pp.70-72.
- Oliveira Pires, H. (1997). "Parameterization of the Effect of Wind Variability on Wave Growth Applied to Wave Modelling", *The Global Atmosphere and Ocean System*, Vol. 5, pp. 211-227
- Pontes, M. T.; Mollison, D.; Cavaleri, L.; Nieto, J. C.; Athanassoulis, G. A. (1993) "Wave Studies and Development of Resource Evaluation Methodology. Final Report.", DGXII Contract N° JOUR-0132-PT(MNRE), 75pp.
- Pontes, M.T., G. A. Athanassoulis, S. Barstow, L. Cavaleri, B. Holmes, D. Mollison, and H. Oliveira Pires (1996). WERATLAS – Atlas of Wave Energy Resource in Europe". Technical Report, DGXII Contract N° JOU2-CT93-0390, INETI, Lisbon. (URL: www.ineti.pt/proj/weratlas).
- Pontes, M.T. (1998) "Assessing the European Wave Energy Resource", *Transactions of ASME - Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, Vol.120, nº4, pp. 226-231.
- The WAMDI Group (1988). "The WAM Model – A Third Generation Wave Prediction Model", *J. Phys. Ocean.* Vol 18, pp. 1775-1810.