



UTILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS ACÚSTICOS PARA MEDIÇÃO DE PARÂMETROS DE AGITAÇÃO MARÍTIMA

Luís Quaresma dos Santos

Marinha - Instituto Hidrográfico, Divisão de Oceanografia
Rua das Trinas 49, 1249-093 Lisboa

Carlos Ventura Soares

Marinha - Instituto Hidrográfico, Divisão de Oceanografia
Rua das Trinas 49, 1249-093 Lisboa

José Mesquita Onofre

Marinha - Instituto Hidrográfico, Divisão de Oceanografia
Rua das Trinas 49, 1249-093 Lisboa

Sumário

Tradicionalmente a medição dos parâmetros de agitação marítima tem sido efectuada recorrendo as bóias ondógrafo, em águas profundas ou a sensores de pressão, em águas pouco profundas. Recentemente, tem-se verificado o aparecimento de novas tecnologias, que trazem ao estudo e monitorização da agitação marítima costeira novas soluções e aplicações.

Os mais recentes correntómetros acústicos por efeito de Doppler (ADCP) apresentam-se como uma alternativa a ter em conta nas medições em águas intermédias e pouco profundas. Para além de calcularem os tradicionais parâmetros de agitação marítima, permitem ainda calcular tanto o espectro de alturas como o espectro direccional das ondas de superfície. Para tal utilizam três métodos independentes, através da medição das velocidades orbitais, da detecção da superfície livre e registo da variação de pressão.

A presente comunicação tem por objectivo apresentar esta nova tecnologia e mostrar a sua aplicabilidade à gestão costeira e portuária. São apresentados resultados obtidos por um ADCP fundeado a 20 metros de profundidade frente à praia de Pinheiro da Cruz e discutidas as vantagens e desvantagem da sua aplicação. Será também apresentado um interface gráfico, utilizando "software" MATLAB, destinado a facilitar a interpretação dos dados obtidos.

Introdução

A superfície do oceano encontra-se permanentemente sujeita a forças externas naturais, que ditam as características das ondas por si induzidas. No entanto é a acção do vento sobre a superfície do mar a principal responsável pela geração das ondas de superfície, induzindo períodos da ordem de alguns segundos [1-25s].

Já na Grécia antiga, a partir da observação, se associava o fenómeno da agitação marítima à interacção dos ventos com a superfície do mar. Mas só nos séculos XIX e XX se

começaram a aprofundar os estudos deste fenómeno, com a tentativa de o reproduzir em laboratório, para deste modo se realizarem medições precisas.

Os primeiros “*sensores de ondulação*” foram desenvolvidos para medições em bancos hidráulicos e baseavam-se na alteração da resistência ou capacitância de condutores eléctricos, consoante estes se encontravam sobre ou sob a superfície da água em oscilação.

Em meados do século passado apareceram os sensores de pressão de alta frequência de amostragem, capazes de estimar a variação da superfície livre. Este método, baseia-se na proporcionalidade existente entre a variação de pressão no fundo e a variação da altura da coluna de água sobre o sensor. Estes sensores para além de serem utilizados em laboratório são também utilizados no mar, onde a sua utilização é limitada à monitorização da agitação marítima em águas pouco profundas.

Em água profundas, são historicamente utilizadas bóias ondógrafo. Estas, constituem plataformas flutuantes que seguem os movimentos da superfície do mar, sendo actualmente capazes de medirem a altura da agitação marítima, assim como de estimar a direcção da ondulação. Estas características resultam dos sensores incorporados na bóia: 1 acelerómetro vertical e 2 acelerómetros horizontais. A deslocação vertical da bóia é obtida por dupla integração da aceleração vertical, enquanto a direcção da ondulação é obtida por integração dos restantes acelerómetros (x, y).

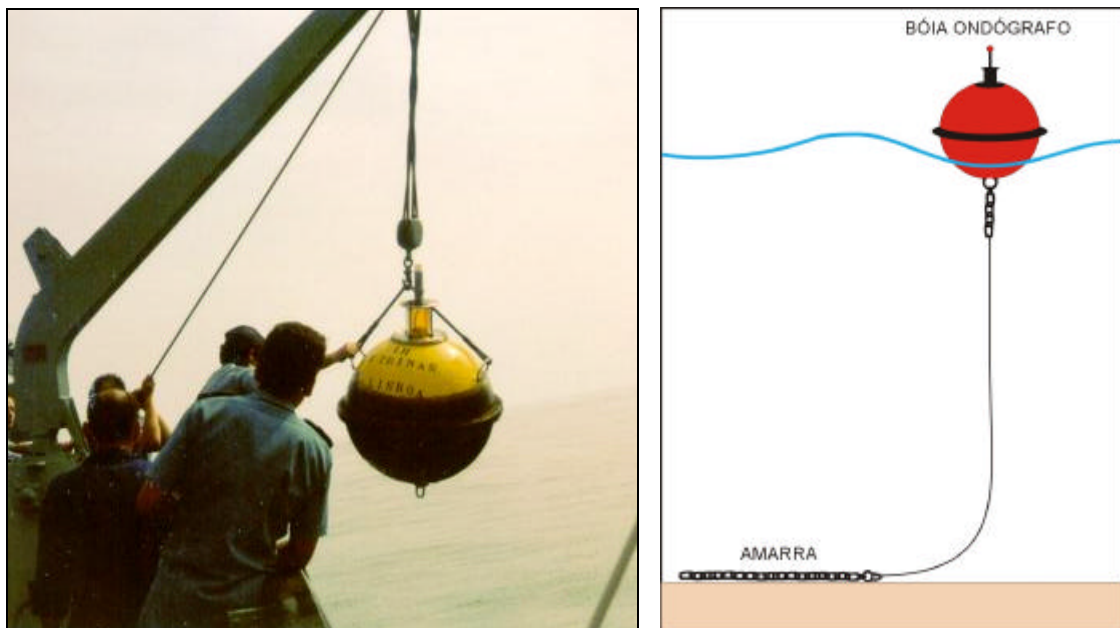


Fig.1 a) Colocação de uma Bóia Ondógrafo, a partir da tolda de um navio. b) Esquema de fundeamento da bóia.

Hoje em dia vários métodos são utilizados na medição da agitação marítima, entre os quais se destacam: Sensores de pressão, de elevada frequência de amostragem; Bóias ondógrafo direccionais; Altimetria medida por satélite; Radar e Perfiladores Acústicos de Correntes por Efeito Doppler (ADCP).

Princípios básicos de funcionamento do ADCP

Na década de 80 desenvolveu-se uma tecnologia acústica capaz de medir correntes, a partir do efeito Doppler gerado pela interação das partículas suspensas na coluna de água (com uma velocidade relativa) e os impulsos sonoros emitidos por um transdutor acústico fixo (referencial).

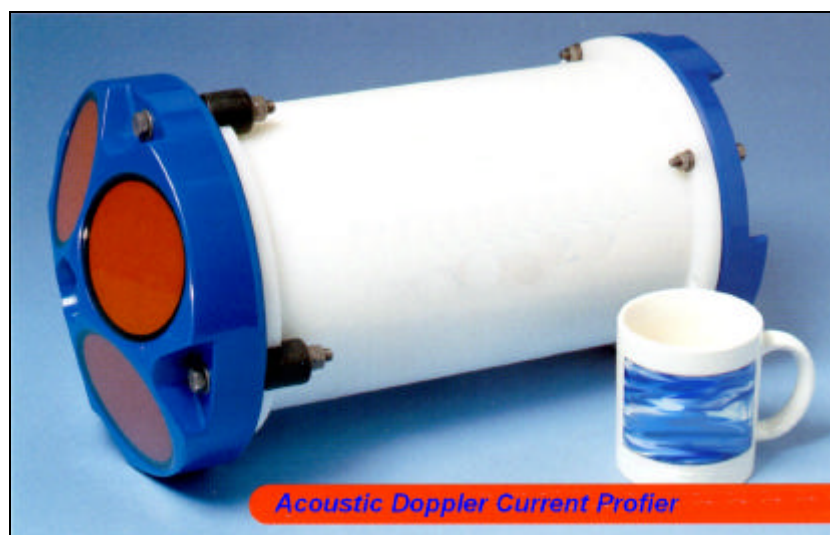


Fig.2 ADCP (*Perfilador Acústico de correntes por Efeito Doppler*).

Os ADCPs são instrumentos capazes de medir com elevada precisão o campo de velocidades da coluna de água situada sobre os seus transdutores. Para tal, emitem impulsos sonoros de determinada frequência e analisam o sinal reflectido (ecos) por partículas em movimento, suspensas na coluna de água (sedimento fino e fitoplâncton).

De modo simplificado podemos assumir que a celeridade das partículas é proporcional à variação de frequência entre o sinal emitido e o reflectido, enquanto que a direcção é estimada pelo desfasamento entre estes sinais. Assumindo que estas partículas se movem em concordância com a massa de água, então o seu movimento pode ser equiparado à corrente que as transporta.

Na realidade, cada ADCP é constituído por 4 transdutores (ver fig.2), que emitem 4 feixes com direcções distintas. Cada par de feixes obtêm uma componente horizontal e outra vertical. No entanto, uma vez que estão perpendicularmente orientados, um mede a componente Norte/Sul e o outro a componente Este/Oeste e em simultâneo os dois pares medem a componente vertical (obtendo-se assim uma dupla medição da componente vertical, melhorando a precisão da sua medida).

Uma vez que os ecos provenientes de distancias superiores demoram mais tempo a chegar aos transdutores, cada segmento é associado a uma determinada profundidade. Deste modo os perfis de velocidade são produzidos através da decomposição do sinal recebido.

Esta tecnologia tem vindo a ser bastante desenvolvida, de tal modo que a precisão na medição das velocidades veio permitir a sua aplicação na medição da agitação marítima.

Medição da Agitação Marítima através de um ADCP

O princípio básico da medição da agitação marítima através de um ADCP reside na sua capacidade em medir as velocidades orbitais (induzidas pela ondulação à superfície) com grande precisão, associada à medição da maré e da altura média da coluna de água, através de um sensor de pressão incorporado.

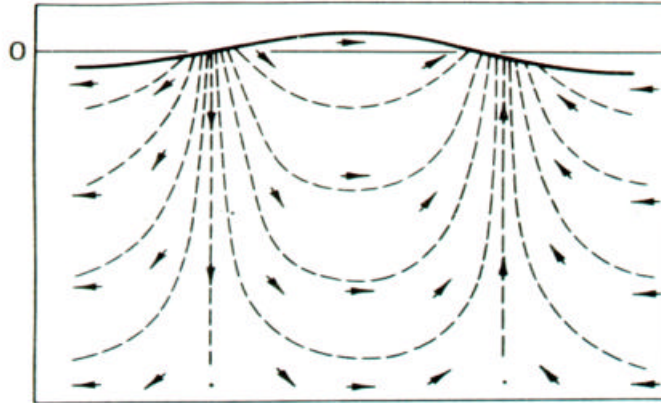


Fig.3 Esquema do campo das velocidades orbitais geradas por uma onda de superfície

Para efectuar esta medição o ADCP é fundeado e orientado para cima, de tal modo que a potência dos seus feixes seja suficiente para que estes atinjam a superfície. As séries temporais da velocidade vão-se acumulando e a partir delas é calculado o espectro de potência das velocidades. De modo a chegar ao espectro da elevação da superfície livre, o espectro das velocidades é transposto para a superfície recorrendo aos dados obtidos pelo sensor de pressão e aplicando a *teoria cinemática ondulatória linear*.

De modo a aumentar a precisão da estimativa dos parâmetros não direccionais, o ADCP possui a capacidade de efectuar independentemente a detecção da superfície (funcionando o aparelho como um sonar) e a medição da variação da pressão à profundidade em que se encontra fundeado. Deste modo a informação é interceptada e a partir da sua correlação são validadas as diferentes estimativas (ver fig.4).

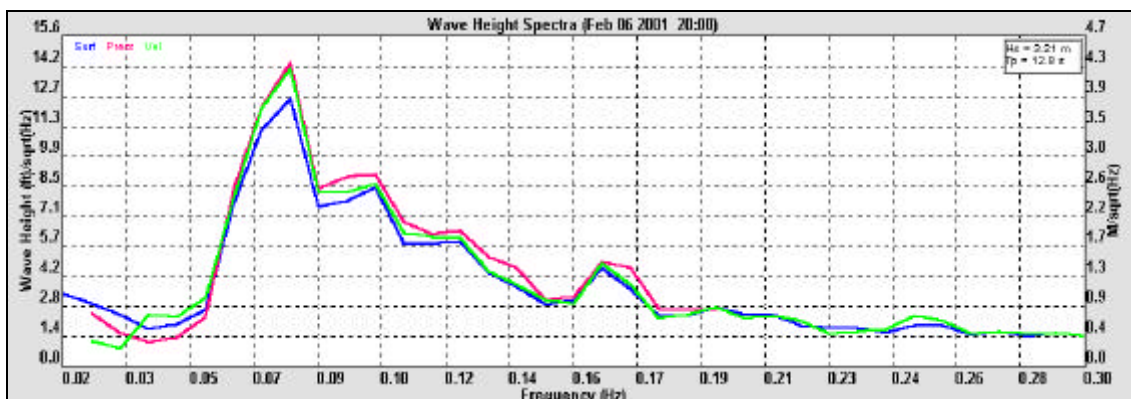


Fig.4 Intercepção dos espectros de altura da agitação marítima, calculados independentemente através de cada serie temporal medida (Velocidades Orbitais – verde; detecção da superfície – azul e pressão – vermelho).

Para obter o espectro direccional, cada feixe é processado individualmente e cada célula, de diferente profundidade, é utilizada para calcular o espectro cruzado. O resultado é uma matriz que contém a informação da fase da onda presente em cada um dos feixes e para cada banda de frequências. Então, o espectro cruzado, para uma determinada frequência, é correlacionado com o espectro direccional, para essa frequência.

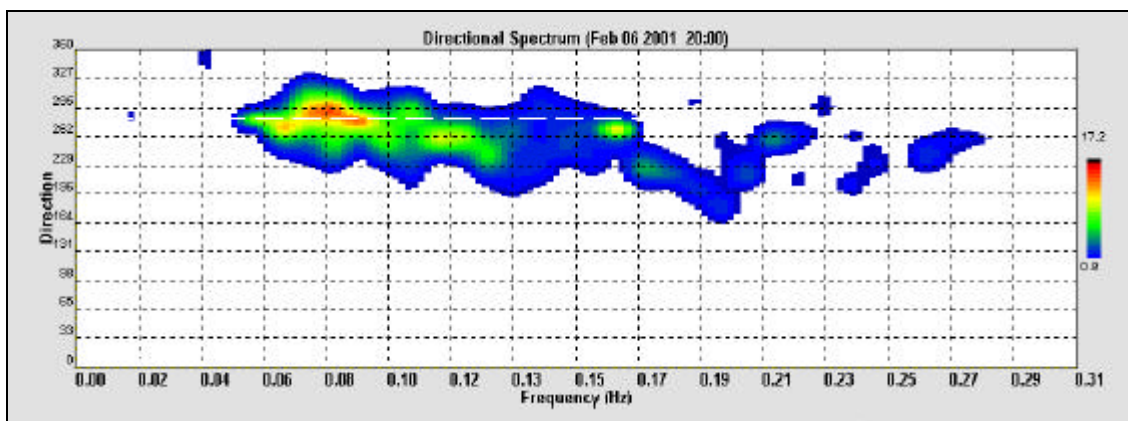


Fig.5 Espectro direccional calculado. As cores representam a altura da ondulação (m).

Como resultado do calculo dos diferentes espectros apresentados anteriormente, obtém-se as séries temporais dos parâmetros de agitação marítima estimados: H_s (altura significativa); T_p (período médio); D_p (direcção média) e T_d (variação média da superfície livre).

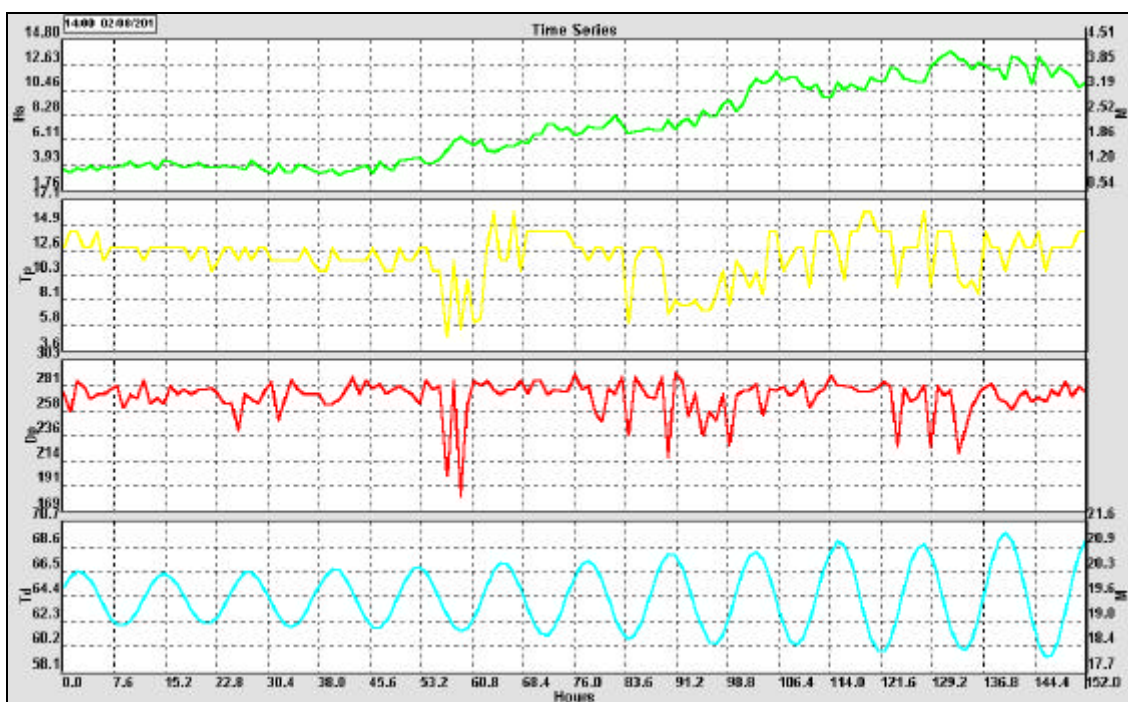


Fig.6 Parâmetros de agitação marítima, estimados a partir da utilização de um ADCP, com módulo WAVES, fundeado ao largo de Pinheiro da Cruz, no âmbito do projecto PAMMELA.

Fundamento, Medição e Recuperação

A utilização de um ADCP inicia-se com uma fase de planeamento, que envolve a escolha da posição de fundeamento do aparelho e a programação do regime de funcionamento do mesmo.

Na escolha do posicionamento é importante ter em conta o limite de potência dos feixes, uma vez que é indispensável que estes atinjam a superfície. Para tal deve ser feito um estudo prévio da altura máxima da maré no local, assim como da altura máxima da agitação marítima que se espera registar.

O regime de funcionamento do aparelho deve ser programado de modo a corresponder às necessidades de cada utilizador. Assim, o utilizador pode optar por um registo simultâneo do perfil de correntes (observadas ao longo de toda a coluna de água) e da Agitação Marítima à superfície. Por outro lado devem ser definidos os intervalos de amostragem (tanto para as correntes como para a agitação), tendo no entanto em atenção que quanto maior for o intervalo, maior será a precisão do espectro calculado.

Na medição da agitação marítima a amostragem é realizada a um frequência de 2Hz, variando o intervalo de amostragem escolhido (*Burst*). De modo a poupar energia (uma vez que o ADCP possui uma bateria incorporada que lhe confere autonomia) mantendo a qualidade dos dados obtidos, o fabricante recomenda a programação de um *Burst* horário de 20 minutos. Quer isto dizer que, no início de cada hora, o aparelho liga-se e inicia uma amostragem a 2Hz continua durante 20 minutos, desligando-se até á hora seguinte. Deste modo a estimativa dos parâmetros de agitação será de hora a hora.

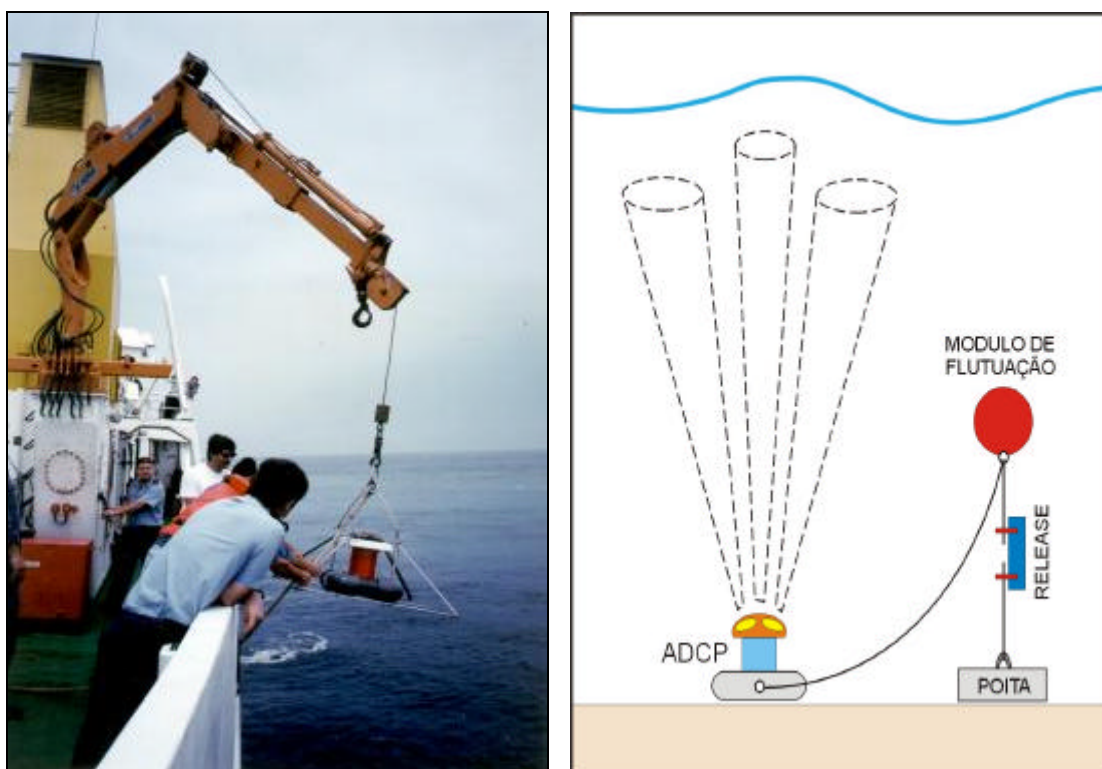


Fig.7 a) Colocação de um ADCP, a partir da tolda de um navio. b) Esquema de fundeamento de um ADCP.

Processamento e validação dos dados

Após a recuperação do aparelho, torna-se necessário extrair a informação registada na sua memória e que se encontra em formato binário. Esta informação não é mais do que o conjunto das séries de velocidades orbitais, detecção da superfície livre e pressão em formato binário, para além das séries de perfil de velocidades, caso tenha sido seleccionada a opção de medição da agitação em simultâneo com as correntes. Torna-se então, indispensável utilizar um software proprietário, para extrair estas séries, a partir das quais são cálculos os diferentes espectros de frequências e estimados os diferentes parâmetros de agitação marítima (ou seja, processamento e validação dos dados). O mesmo software permite a transformação dos dados binários em dados ASCII, possibilitando ao utilizador o cálculo independente dos espectros e dos parâmetros por si pretendidos. Nesta fase, os dados ASCII serão utilizados em aplicações desenvolvidas pelo próprio utilizador ou disponibilizadas na Internet.

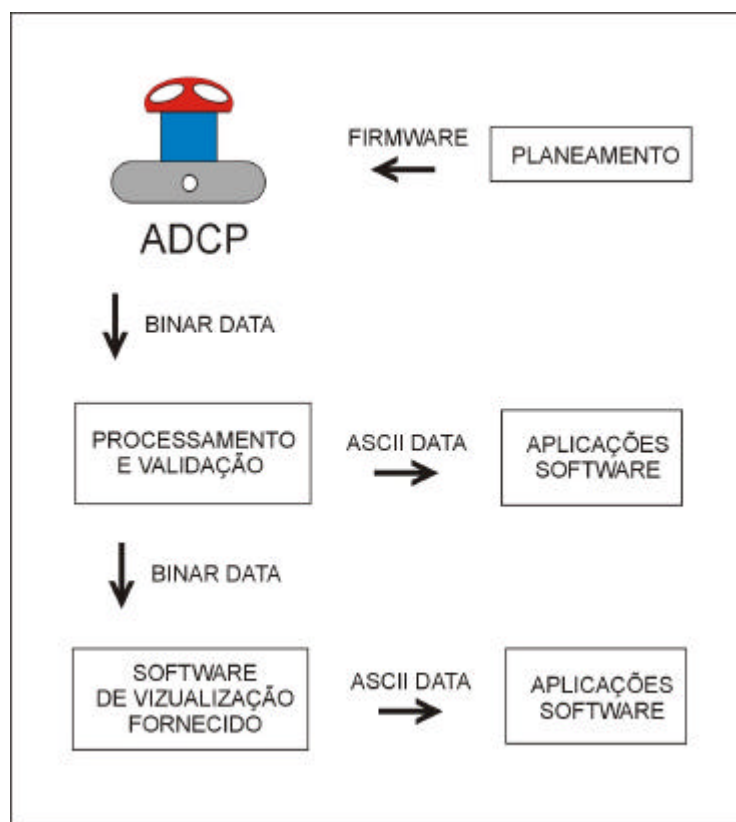


Fig.8 Esquema das diferentes fases de interactividade entre o utilizador e o aparelho.

O software proprietário inclui uma aplicação de visualização dos dados (em formato binário), que não só grafica toda a informação adquirida como simplifica a sua análise. Um exemplo desta aplicação é a graficação polar do espectro direccional (ver fig.9). Nesta figura podemos observar a decomposição da ondulação verificada ao largo de Pinheiro da Cruz em conjuntos de ondas de período e direcção distintos.

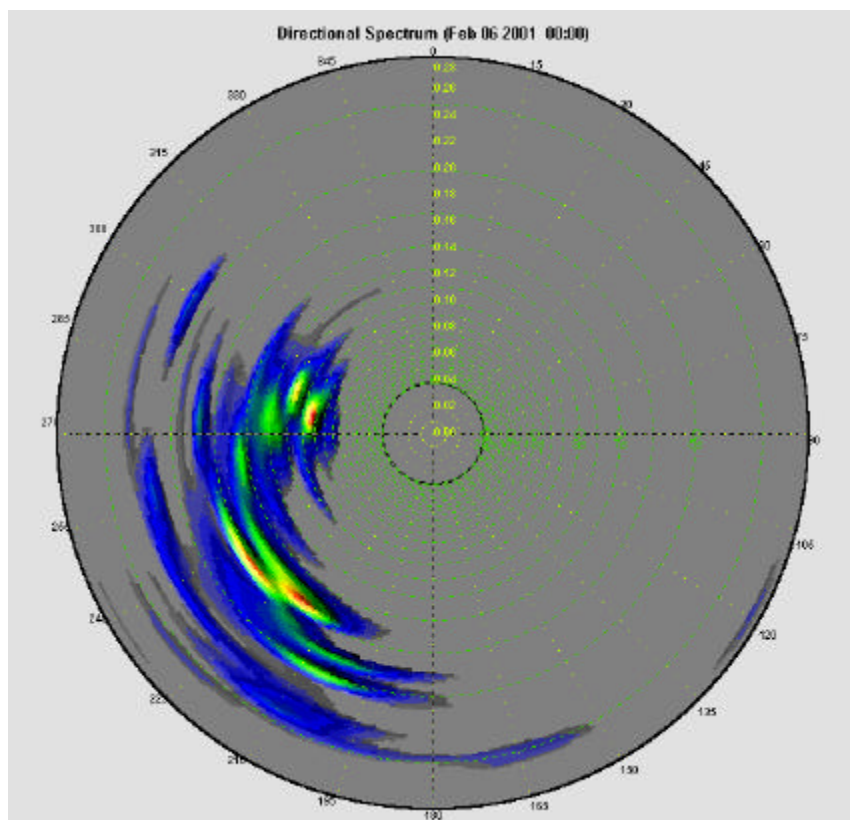


Fig.9 Espectro de direcções graficado polarmente. Pode ser observado a chegada de ondulação tanto de Oeste como de Sudoeste com períodos distintos.

Aplicação em Matlab / Exemplo de aplicação

O Instituto Hidrográfico adquiriu há alguns anos um conjunto de ADCPs, utilizando-os frequentemente nas suas campanhas de observação. Paralelamente tem sido desenvolvidas metodologias de validação, processamento e análise dos dados obtidos. Neste sentido, está em curso a construção de uma ferramenta, denominada *ADCP PROCESSING*, capaz de processar os dados obtidos em qualquer modo de utilização de um ADCP, em formato ASCII. Esta ferramenta é na realidade um sistema de diferentes aplicações (desenvolvidas em ambiente MATLAB) que fornecem ao utilizador uma alternativa para a validação, processamento e visualização dos seus dados.

Um exemplo destas aplicações é o *ADCP VIEW*, que tem por objectivo facilitar a processamento e visualização de dados obtidos por qualquer ADCP fundeado, permitindo a análise da evolução do perfil de velocidades (ver fig.10).

Quando se utiliza um ADCP na monitorização da agitação marítima, pode ser medido em simultâneo o perfil de correntes sob a superfície monitorizada, tal como foi anteriormente referido. Esta combinação torna-se extremamente útil uma vez que as correntes observadas nas camadas superficiais (que podem chegar aos 20 metros de profundidade) são geralmente função das condições de vento verificadas á superfície. Uma vez que a própria agitação marítima é função do vento, então esta deve-se reflectir no perfil de velocidades ao longo da coluna de água.

O exemplo apresentado, nas próximas figuras, reporta-se a um ADCP de 600KHz fundeado ao largo da praia de Pinheiro da Cruz, durante o período de 27/01 a 08/02 de 2001.

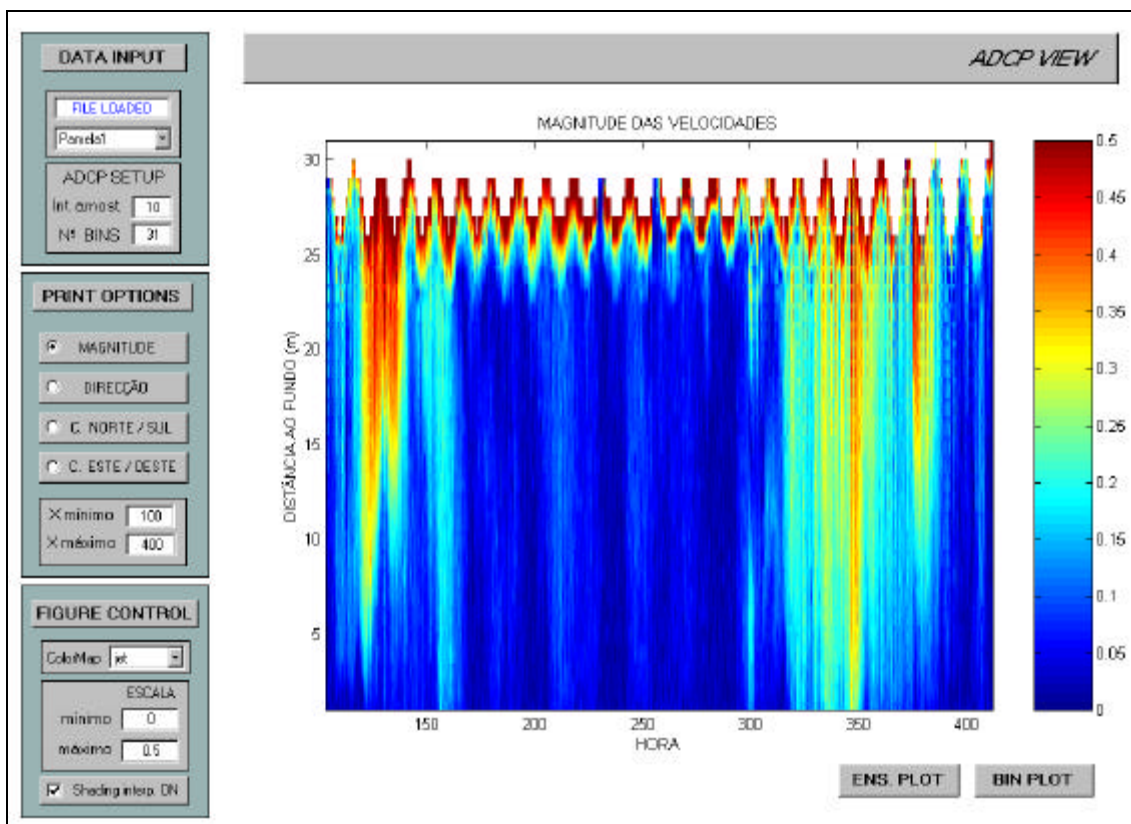


Fig.10 Output da aplicação ADCP VIEW, desenvolvida no Instituto Hidrográfico.

O *ADCP VIEW* permite visualizar não só a magnitude das velocidade medidas, como a sua direcção e componentes Norte/Sul e Este/Oeste. Na figura anterior, encontra-se representada a magnitude e podem ser observados 2 períodos de tempestade, através da intensificação desta grandeza em profundidade. Esta análise é validada pela observação da agitação marítima registada no mesmo período (pelo mesmo aparelho) e representada na fig.11.

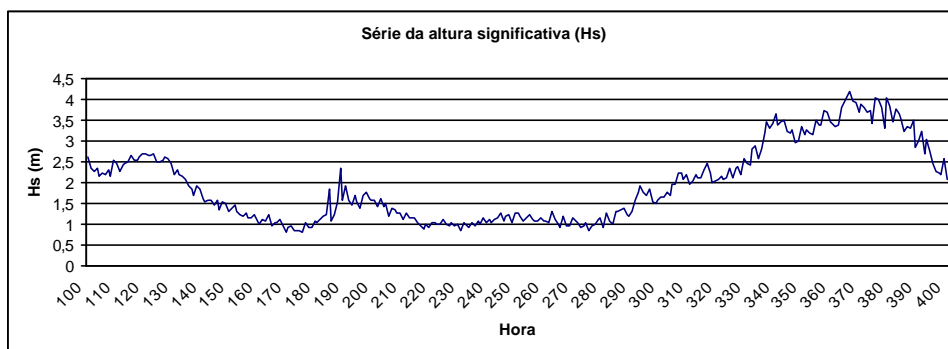


Fig.11 Graficação da série da altura significativa registada pelo aparelho durante período semelhante ao da fig.11.

A aplicação possui ainda os módulos BIN PLOT e ENSEMBLE PLOT. O primeiro módulo tem por objectivo graficar as mesmas componentes, indicadas anteriormente, mas desta vez unidimensionalmente, para cada célula de igual distância ao fundo (denominadas por *Bins*). O segundo módulo permite a visualização independente de cada perfil de velocidades registadas (denominados por *Ensembles*).

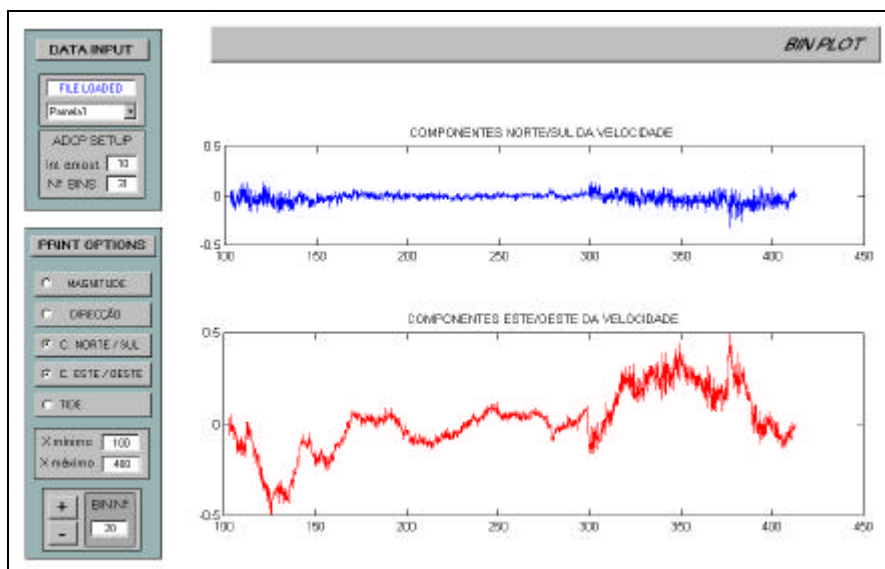


Fig.12 Output da aplicação BIN PLOT, desenvolvida no Instituto Hidrográfico.

Através da análise da fig.12 pode-se observar que, apesar das 2 tempestades terem induzido velocidades de magnitude semelhante e com a mesma direcção (à profundidade de 10m), elas são provenientes de diferentes direcções. Este pressuposto pode ser confirmado pela visualização de 2 Ensembles distintos (um durante o 1º evento e outro durante o 2º evento), utilizando a aplicação *ENSEMBLE PLOT* (ver fig.13).

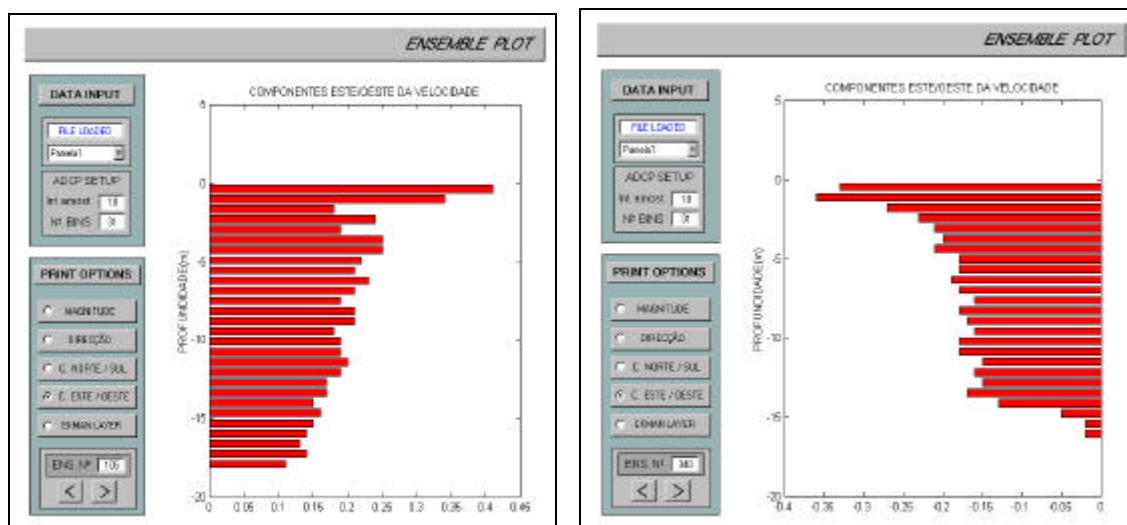


Fig.13 Outputs da aplicação *ENSEMBLE PLOT*, desenvolvida no Instituto Hidrográfico.

Este pressuposto pode também ser validado recorrendo ao ADCP VIEW, através da visualização das componentes Este/Oeste (ver fig. 14).

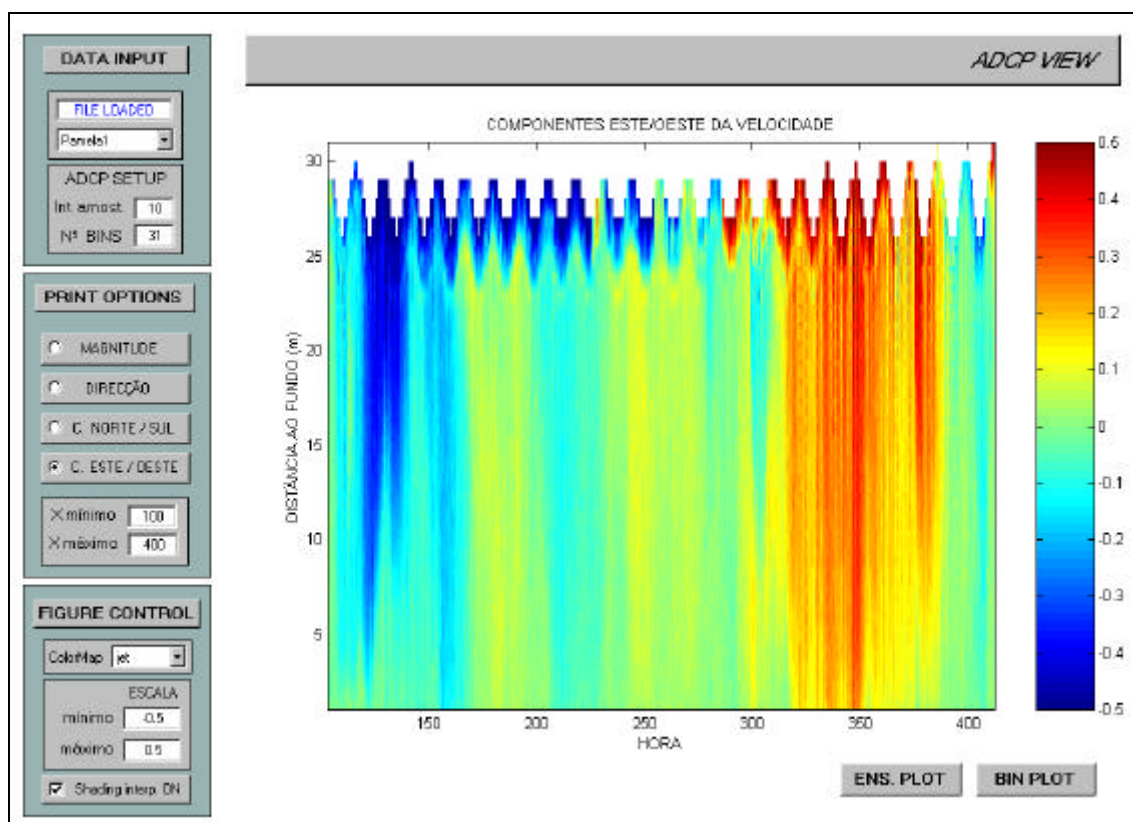


Fig.15 Output da aplicação ADCP VIEW, desenvolvida no Instituto Hidrográfico.

As aplicações apresentadas são apenas um pequeno exemplo do possível tratamento que se pode realizar com os dados obtidos com esta tecnologia acústica.

Conclusão

Os perfiladores Acústico de Correntes por Efeito Doppler, apesar serem um tecnologia nova e ainda em desenvolvimento, já são muito utilizados por todo o mundo, na monitorização de Correntes, Marés e mais recentemente da Agitação Marítima, em águas intermédias e pouco profundas.

A vantagem na utilização deste tipo de aparelhos na medição da agitação marítima é para além de um rápido processamento e visualização dos dados obtidos, a sua capacidade de medir em simultâneo o perfil de correntes em uma maré no local.

Estas características fazem deste aparelho um instrumento precioso na monitorização costeira, podendo ser aplicado por um leque variado de utilizadores, como instrumento de apoio:

- À navegação, em barras e portos.
- Ao estudo e gestão de zonas costeiras, incluindo fenómenos de erosão e gestão de recursos.
- Ao projecto e manutenção de obras costeiras, como molhes, plataformas off-shore e emissários submarinos. .

Um exemplo de uma aplicação possível é a monitorização em tempo real destas variáveis. Para tal torna-se necessário ligar um aparelho fundeado junto à costa a uma estação em Terra, através de um cabo comunicativo ou via rádio, através de uma bóia retransmissora.

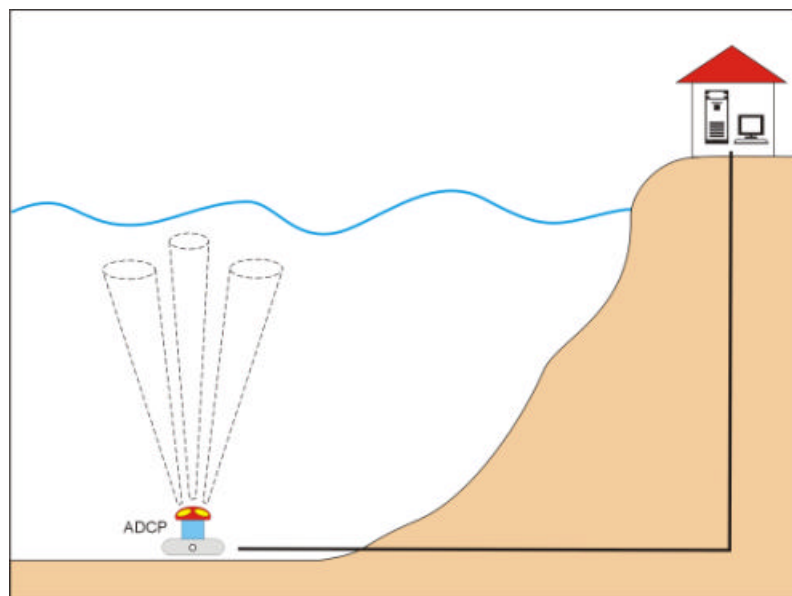


Fig.16 Esquema da possível aplicação de um ADCP fundeado, na monitorização em tempo real da agitação marítima em águas costeiras.

Bibliografia

Rd Instruments, "*Principles of Operation: A practical Primer*", Second Edition for BroadBand ADCPs, 1996, San Diego, US.