

ESTIMAÇÃO DE REGIMES DE AGITAÇÃO MARÍTIMA EM LOCAIS ONDE NÃO EXISTAM DADOS

Alexandre Braga Coli ^(a)

^(a) Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal.

RESUMO

Nesta comunicação, apresentam-se as principais técnicas de medição da agitação marítima, como as observações visuais, medições instrumentais directas e indirectas e estimação por modelos, analisando-as no contexto da sua utilização para a estimação de regimes de agitação em locais onde não existam dados.

A metodologia TRANSFER, desenvolvida no LNEC, faz parte deste conjunto de opções para a estimação da agitação marítima e é analisada mediante o estudo dum caso da costa Oeste de Portugal, que utiliza dados de agitação medidos por bóias ondógrafos em Sines, Figueira da Foz e Leixões. Os resultados demonstraram que o largo de Leixões e da Figueira da Foz pode ser considerado o mesmo e, para a costa Oeste, devem haver, no mínimo, duas zonas com características da agitação marítima distintas, dividida algures entre Figueira da Foz e Sines.

Para a composição de regimes de agitação, utilizando os dados de agitação marítima da Figueira da Foz e de Leixões, verificou-se que a utilização da metodologia TRANSFER é preferível a apenas unir os parâmetros da agitação medidos por ambas as bóias ondógrafos.

1. INTRODUÇÃO

A região costeira pode ser considerada como o resultado do balanço das acções oceanográficas, atmosféricas e geomorfológicas, entre as quais a agitação marítima tem um papel fundamental. A sua importância pode ser resumida na dissipação rítmica e constante da energia das ondas no litoral, tanto remobilizando e transportando sedimentos, como impondo esforços às estruturas existentes. Os estudos da agitação marítima são, portanto, indispensáveis no planeamento e manutenção de obras costeiras de abrigo ou protecção e em todos os aspectos da gestão costeira.

Devido ao seu comportamento difícil de tratar com modelos determinísticos, a agitação marítima é descrita através de métodos estatísticos que conduzem aos chamados regimes de agitação. Para a determinação dos regimes de agitação são necessários vários conjuntos de dados em vários anos, arrançados de tal modo que haja uma representatividade espacial e temporal dos parâmetros da agitação próxima da zona de interesse. Os resultados obtidos serão tanto mais fiáveis quanto maior o período de medições disponível, desde que haja razoável continuidade e qualidade nos dados. Porém, o que se verifica, em geral, é a ausência de dados de qualidade obtidos durante vários anos bem como uma deficiente cobertura espacial ao longo das regiões costeiras.

A solução deste problema é dispendiosa, pois envolve os custos de instalação, manutenção e operação de diversos instrumentos para a medição da agitação ao longo de uma região costeira. Por causa disso, alguns métodos foram estabelecidos para descrever de modo satisfatório as condições de mar e estimarem regimes de agitação em locais onde não existam dados de agitação marítima medidos por instrumentação adequada.

Este trabalho analisa algumas possibilidades para a obtenção de dados de agitação pretéritos, como dados obtidos por altímetros de satélites, dados condensados em atlas estatísticos e dados obtidos pela agitação reconstituída através de modelos globais de geração

e propagação de ondas (*hindcast models*). Para além desses, faz uma avaliação da metodologia TRANSFER, desenvolvida no LNEC, que permite a transferência de regimes de agitação marítima de locais onde exista grande quantidade de dados, com qualidade razoável, para os locais onde se efectuarão os estudos costeiros. Para essa avaliação utilizou-se o estudo dum caso da costa Oeste portuguesa, que consiste na hipótese da existência de um largo único entre as transferências de parâmetros da agitação marítima, estimando o grau de precisão associado à sua utilização e avaliando a sua fiabilidade para a inclusão no conjunto de metodologias de estimação de regimes de agitação.

Este trabalho apresenta, na secção 2, uma introdução aos regimes de agitação marítima, passando a uma breve descrição dos métodos de medição da agitação marítima na secção 3. Na secção 4, faz-se uma análise crítica dos métodos de estimação de regimes e, na secção 5, apresenta-se o estudo do caso da costa Oeste portuguesa, aplicando a metodologia TRANSFER aos dados de agitação marítima obtidos pelas bóias ondógrafos de Sines, Figueira da Foz e Leixões. Os resultados são comparados visualmente e por métodos estatísticos, permitindo inferências sobre a validade e precisão dessa metodologia. Na secção 6, são apresentadas as conclusões e sugestões.

2. REGIMES DE AGITAÇÃO MARÍTIMA

Os métodos estatísticos utilizados em estudos de agitação marítima prevêm o tratamento dos parâmetros da agitação em duas categorias distintas, de curto ou longo prazo. Nas estatísticas de curto prazo, descrevem-se as elevações, períodos e direcções de um registo da agitação marítima, tendo em vista a caracterização do estado do mar dentro do intervalo de tempo das medições, geralmente 20 minutos. As estatísticas de longo prazo utilizam essa caracterização de estados de mar, ao longo de vários anos, para determinar o **clima de agitação marítima**.

O clima de agitação marítima, num determinado ponto no mar, é o comportamento estatístico a longo prazo (vários anos) de quatro parâmetros básicos de registos da agitação: Altura Significativa de Onda (HS), Altura Máxima do registo (HM), Período Médio de Zero-Ascendente (TZ), Direcção Média da agitação (Θ)¹. O clima de agitação é constituído por um conjunto de subclimas, designados por **regimes de agitação marítima**.

Um regime de agitação marítima é, portanto, um tratamento parcial dos quatro parâmetros dos registos da agitação, realizado com a intenção de descrever determinadas características estatísticas do clima de agitação marítima apropriadas a um estudo específico. Deste modo, temos, entre outros, o **regime geral observado** e o **regime de extremos**.

O regime geral observado consiste em séries cronológicas dos quatro parâmetros (HS, HM, TZ, Θ) e sua distribuição em classes, na forma de histogramas simples e conjuntos. O regime de extremos consiste em valores máximos anuais extrapolados das alturas significativas e alturas máximas, para um conjunto de períodos de retorno, associados a períodos e direcções. No planeamento de estruturas marinhas ou intervenções costeiras, ambos os regimes são complementares.

O regime geral observado é utilizado, geralmente, por investigadores e gestores costeiros que não estão interessados nas medições propriamente, mas necessitam de dados que traduzam os estados de mar, exprimindo as variabilidades sazonais e interanuais. A continuidade da obtenção de dados de agitação é muito útil, por exemplo, para validar modelos de previsão de ondas, activar avisos à navegação e planear as operações em portos, como os serviços de carga e descarga de navios. No contexto das engenharias costeira e oceânica, a gama de períodos nos regimes de agitação, é de grande importância para os estudos acerca da amplificação dinâmica da frequência natural e dos aspectos de fadiga por carregamento cíclico nas estruturas, tanto fixas quanto móveis. A direcção de ondas é também um parâmetro importante dos estudos de agitação marítima, desde estudos de atracação de navios ou

¹ Obviamente, estas definições podem ser extendidas para incluir outros parâmetros estatísticos, como o Espectro Direccional, Período de Pico, etc.

embarcações em portos e marinas, até estudos envolvendo o transporte de sedimentos, onde direcção de ondas é obviamente crítica. As companhias de petróleo usam os métodos estatísticos de curto prazo e os regimes de agitação para prever o intervalo de tempo propício às perfurações e o tempo que os barcos de serviço ficarão inoperantes (Wilson e Baird, 1981). O regime de extremos é geralmente utilizado para se estabelecer um grau de severidade das condições de tempestade em projectos e obras marítimas, onde os critérios mais críticos a observar são a eficácia das estruturas marítimas, a operação de equipamentos e sua capacidade de sobrevivência.

3. MÉTODOS DE MEDIÇÃO DA AGITAÇÃO

A agitação marítima é tradicionalmente estimada visualmente, sendo estas estimativas catalogadas pelos diários de bordo de navios desde o século XIX (NCC, 1980). A partir da década de 1950, surgiram instrumentos capazes de medir a agitação marítima de forma automática e contínua, avaliando a altura e período das ondas num determinado intervalo de tempo. Com a evolução dos equipamentos, tornou-se possível medir também a direcção de proveniência das ondas. A partir da década de 1970, o uso das técnicas de detecção remota por satélites tem permitido medições das ondas, entre outros parâmetros oceanográficos, com cobertura global. A utilização da modelação em estudos sobre a dinâmica costeira tornou-se difundida a partir das décadas de 1970 e, principalmente, 1980, decorrente em grande parte dos avanços tecnológicos computacionais.

A escolha dos tipos de observação e medição de ondas está relacionada com determinadas características como linearidade, precisão e exactidão, confiabilidade e custo financeiro de cada método (CCEMS, 1989). Estas técnicas podem ser divididas basicamente em três grupos: observação visual, dados instrumentais (ondógrafos e satélites) e estimação por modelos.

As observações visuais de altura, período e direcção das ondas têm sido reportadas de forma rotineira pelos navios ao redor do mundo desde 1949, embora a velocidade do vento (na Escala Beaufort) e a altura de onda num código não unificado têm sido reportadas desde 1854 (NCC, 1980). Um número considerável de atlas contendo dados derivados destas observações tem sido publicados, como por exemplo o Global Wave Statistics (Hogben *et al.*, 1986), além de séries regulares de relatórios meteorológicos e oceanográficos disponíveis nas agências pertinentes do mundo todo. Além dos navios, as informações visuais podem ser encontradas em diversas páginas da Internet, geralmente páginas de surfe, que dão as condições dos litorais com dados de onda estimados visualmente. A régua de onda (*wave staff* ou ondómetro filar) auxilia as estimativas visuais da altura de onda, havendo a possibilidade de acoplar um circuito eléctrico com o qual as alturas poderão ser obtidas por multímetros (Figura 1).

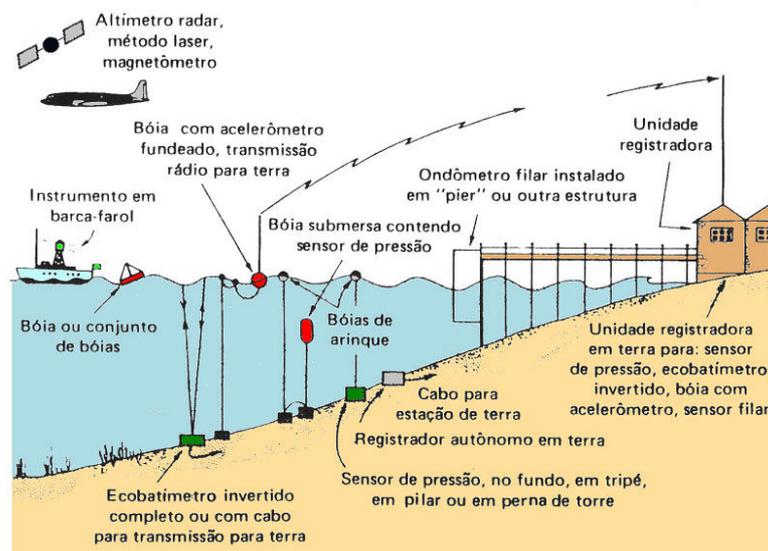


Figura 1. Técnicas de medição de ondas oceânicas, nomenclatura segundo Franco, 1984.

As medições instrumentais de ondas oceânicas têm sido realizadas com inúmeros objectivos, tendo em vista a aquisição de dados mais fiéis à realidade, embora a escolha do equipamento esteja sujeita a uma gama de variáveis. Existe uma série de dispositivos de medição de onda baseados em princípios físicos distintos, envolvendo técnicas directas, indirectas e remotas (Figura 1). Cada instrumento possui vantagens e desvantagens inerentes à técnica de medição e sua utilização depende do destino final dos dados e do tipo de instalação do instrumento. A fiabilidade das medições e continuidade temporal dos métodos que utilizam instrumentos *in situ*, além da capacidade de solucionar problemas sobre regiões localizadas, são as grandes vantagens na sua utilização. Por outro lado, os equipamentos e sensores são vulneráveis a danos provocados por tempestades ou passagem de navios. As medições em áreas muito extensas só podem realizar-se com conjuntos desses instrumentos ou através de sensores aerotransportados ou colocados em satélites.

Basicamente os instrumentos de medição de onda compõem-se de bóias ondógrafos escalares (por exemplo as bóias *waverider*) ou direccionais (por exemplo bóias *wavec*, *wavescan* e *triaxys*), sensores acústicos e perfiladores de correntes por efeito Doppler (*ADCP*), sensores de pressão, sistemas folha-de-trevo, altímetros e radares de abertura sintética (*SAR*).

Embora não sejam propriamente uma *medição* das ondas, os modelos numéricos estimam o estado do mar a partir de outros parâmetros ambientais, como os ventos, ou da própria agitação marítima, propagada de localidades mais longínquas até à área de estudo. De modo geral, podemos destacar os modelos de propagação e transformação das ondas (incluindo efeitos de refacção, difracção, reflexão, atrito de fundo, etc.) e os modelos globais de geração da agitação marítima acoplados com modelos atmosféricos (por exemplo WAM, Wavewatch, MAR3G, etc.). A precisão das estimativas dependerá do tipo e grau de complexidade do modelo utilizado e da qualidade dos dados de vento, no caso de haver geração (WAMDI, 1988).

4. ESTIMAÇÃO DE REGIMES DE AGITAÇÃO

A determinação de regimes de agitação tem por objectivo a representação espacial e temporal da agitação marítima próxima da região de interesse e pode ser efectuada a partir de da utilização de algumas técnicas de medição ou metodologias de estimação.

A primeira opção, mais acessível e de baixíssimo custo, são os atlas estatísticos de agitação marítima. O exemplo clássico é o Global Wave Statistics (GWS, Hogben *et al.*, 1986), que contém dados obtidos de diversas fontes, compilados em histogramas de ocorrência de Alturas Significativas e Períodos Médios, divididos por octantes do rumo da ondulação. Os histogramas são relativos a 104 áreas, que cobrem toda a superfície dos oceanos (Figura 2), e possuem uma caracterização anual e trimestral (Março a Maio, Junho a Agosto, Setembro a Novembro e Dezembro a Fevereiro). Neste tipo de fonte de dados de agitação, não há qualquer informação sobre a data e hora da observação nem as coordenadas das estimativas.

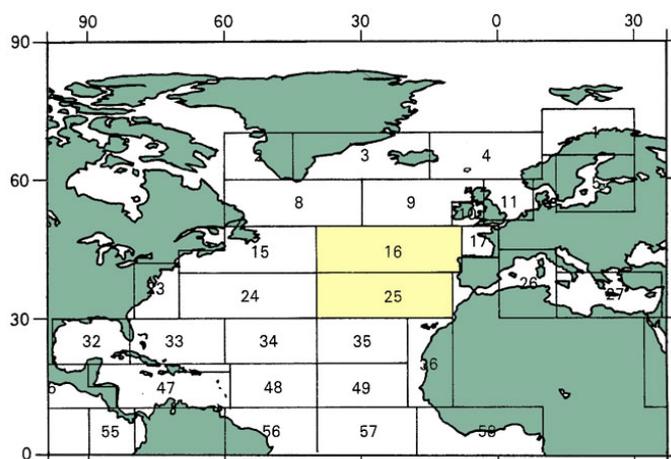


Figura 2. Mapa do Oceano Atlântico Norte com as divisões das áreas do GWS, destacando-se as áreas próximas a Portugal (adaptado de Hogben *et al.*, 1986).

A utilidade de atlas estatísticos, como o GWS, é, contudo, restrita, pois fornecem apenas o regime geral observado numa determinada área. À parte o carácter subjectivo da medição visual, os dados cobrem, em geral, áreas muito extensas, onde o regime geral pode ser não ser único devido à agitação marítima poder variar de acordo com condições locais, como a influência dos ventos ou correntes e mesmo a influência do fundo. Isto é particularmente verdade se a região que contém os dados disponíveis abarca tanto o largo como a proximidade da costa, como pode ser visto na área 16 da Figura 2, que vai do Norte de Portugal até a metade do Oceano Atlântico Norte. Na a área 25, mais ao Sul de Portugal, nem está indicada a existência de dados próximos à costa Sudoeste e Sul de Portugal. Além disso, visto que não possuem coordenadas mas estão contidos numa área, os dados podem exprimir a agitação na região das rotas preferenciais dos navios e não na área toda uniformemente. Outra limitação deste recurso de dados é a distribuição das direcções em sectores de 45°, que podem ser demasiado extensos para a precisão exigida em determinados estudos de engenharia costeira.

Uma alternativa actualmente utilizada são os modelos globais de reconstituição da agitação marítima (*hindcast models*). Em geral, são constituídos por dois modelos acoplados, um modelo atmosférico, para a reconstituição dos ventos e um modelo oceânico, para a geração e propagação das ondas. Um exemplo deste tipo de modelo é o GROW (*Global Reanalysis of Ocean Waves*) (Oceanweather, s.d.), que estima as ondas de superfície dos oceanos através da associação do modelo global de ondas ODGP2, que contempla a geração, crescimento e propagação da agitação, e do modelo de ventos TC96, que é do tipo *tropical boundary layer model*. Os dados de entrada do modelo GROW são exclusivamente ventos. É um bom exemplo de modelos de reconstituição da agitação pois deriva de uma revisão do campo global de ventos desde 1970 até ao presente, em conjunto com a agitação marítima, para além de apresentar uma validação da agitação marítima relativamente a medições de bóias ondógrafos.

Embora esta reconstituição permita a obtenção de mais de 30 anos de dados de agitação marítima em todo o globo e, ainda, a extracção de resultados em qualquer ponto, este tipo de metodologia deve ser utilizado com algum cuidado. Com efeito, a base do modelo são dados atmosféricos globais. Ora, se nos continentes existe um razoável número dados armazenados por estações meteorológicas, principalmente por causa dos aeroportos, o mesmo não acontece nos oceanos, onde apenas existem dados obtidos por bóias meteo-oceanográficas ou por satélites. A dispersão destas bóias pelos oceanos implica interpolações com quantidade e qualidade de dados variável, de acordo com o período que se toma em consideração (décadas de 1970, 1980 ou 1990). Os satélites que estimam a agitação marítima ou os ventos, estiveram operacionais somente após 1985. Por tudo isso, deve-se ter em atenção que os dados de agitação pretéritos não possuem a mesma precisão e qualidade que os dados actuais. Por fim, deve-se ter em consideração os valores de validação destes modelos ou metodologias com dados de agitação marítima efectivamente medidos. Mais especificamente, utilizando novamente o modelo GROW, a validação com dados de Altura Significativa de *mais de 40 bóias ondógrafos*, para o Nordeste Atlântico (que inclui Portugal) resultou num desvio médio quadrático de 1.41m (*RMS error*) e um coeficiente de correlação de 0.73. Este desvio pode ser considerado demasiado alto em estudos de engenharia se tomarmos a média de 3.47 m extraída destes cálculos.

Outra opção é a utilização de dados de agitação marítima obtidos por detecção remota, que possuem a vantagem de ter uma cobertura global independente das condições climáticas. Dentre os sensores aptos a medir a agitação marítima, os sensores altimétricos possuem a capacidade de estimar a altura significativa e, em estudos mais recentes, o período médio, mas não dão informações sobre a direcção da agitação. O primeiro satélite altimétrico foi lançado em 1978 (Seasat) mas teve alguns problemas e a missão foi encerrada 3 meses depois. A seguir, somente em 1985 foi lançado o satélite Geosat, cuja a missão durou de 1985 a 1989. As missões mais efectivas só foram possíveis após 1991, com o lançamento do satélite ERS1, 1992 com o satélite Topex/Poseidon e 1995 com o ERS 2.

Os altímetros a bordo dos satélites estimam a Altura Significativa a partir do sinal de retorno que possui, na superfície do mar, um raio de 2 a 7 km ao redor do ponto de passagem do satélite, se utilizarmos, como exemplo, o sensor do satélite Topex/Poseidon (AVISO, 1992). A trajectória dos satélites é condicionada de acordo com o carácter da missão; assim sendo, o Topex/Poseidon possui uma resolução temporal de 10 dias enquanto os satélites da série ERS

possuem 35 dias. Isso significa que eles passarão no mesmo lugar uma vez a cada 10 ou 35 dias e resulta numa maior ou menor cobertura espacial dos oceanos. A Figura 3 ilustra a trajectória (*projecção em terra das órbitas*) dos satélites Topex/Poseidon e da série ERS para a região marítima junto a Portugal Continental.

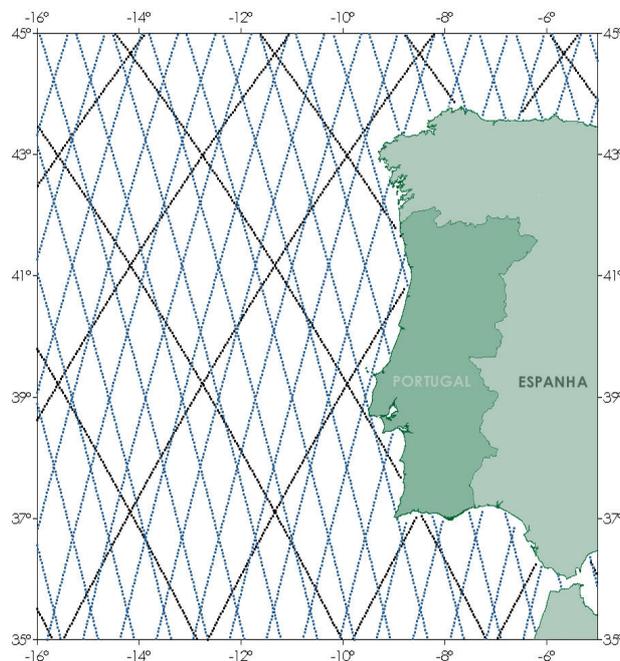


Figura 3. Trajectória dos satélites Topex/Poseidon (a preto) e da série ERS (a azul) para a região marítima adjacente a Portugal Continental.

Apesar da vantagem de se ter uma cobertura global da agitação marítima sem precedentes, existem alguns inconvenientes na utilização dos dados altimétricos de satélite. O que mais se destaca é não haverem medições da direcção da agitação, embora seja comum a associação da direcção da agitação com a direcção dos ventos estimada pelo escaterómetro (*scatterometer*), outro sensor a bordo destes satélites. O erro deste tipo de associação é desprezar a agitação gerada longinquamente (*swell*), além de assumir a hipótese dos ventos e agitação terem a mesma direcção sempre e sem qualquer desvio angular. A estimativa do período está em fase de desenvolvimento e espera-se que em breve esteja disponível como um produto das medições. Outra característica importante, que consta nos manuais da AVISO (1992), é que as medições não são fiáveis em profundidades menores que 30 m e que, quando o satélite (sobre seu traçado) sai do continente em direcção ao mar, há uma influência não linear nas medições, o que inviabiliza sua aplicação directa em estudos costeiros. Outra questão relevante é a baixa frequência de medições num mesmo ponto (ou área), pois eventos importantes, como as tempestades, podem não ser medidos entre uma passagem e outra do satélite.

Por último, existe a opção da estimação de regimes de agitação com dados de agitação previamente medidos por instrumentação oceanográfica, desde que eles existam próximos da área de interesse. Dentro deste rol, estão os instrumentos como as bóias ondógrafos (medição directa), os perfiladores acústicos por efeito Doppler (*ADCP*) e sistemas de sensores de pressão (medições indirectas). São os equipamentos que realizam as medições mais precisas e fiáveis, mas estão restritos apenas a alguns locais, isto é, as medições são pontuais. Quando têm de ser realizados estudos de engenharia costeira e próximo ao local de interesse existem dados instrumentais de agitação marítima, utiliza-se um modelo de propagação da agitação marítima (ou vários, dependendo da situação) para transferir os dados deste ponto até o local de estudo. Os modelos numéricos actuais (por exemplo o SWAN, RefDif-S, DREAMS, etc.) dão resultados bastante razoáveis.

A utilização de dados medidos por instrumentação para a estimação de regimes de agitação marítima, nos locais de interesse, é condicionada por: ou existirem as medições já no local de estudo ou utilizar os modelos de propagação para o local.

Se existem medições da agitação marítima no local de estudo, ou ao largo próximo deste, o procedimento a realizar é calcular os regimes de agitação ou transferi-los um local para o outro. No que se refere à aplicação desta metodologia em Portugal, Pires-Silva *et al.* (2002) propagaram dados de agitação marítima da bóia ondógrafo de Sines, utilizando o modelo espectral SWAN, até a praia de Pinheiro da Cruz e compararam os resultados obtidos pelo modelo com medições de um ADCP, instalado a 17 m de profundidade, encontrando boas correlações entre os resultados de Altura Significativa e de Período de Pico dos dois períodos analisados, de 4 e 7 dias respectivamente. Zóximo *et al.* (2002) aplicaram o modelo de propagação irregular DREAMS_S, em dois casos de agitação na Barra do Ancão, Algarve, cujos dados de entrada foram medidos por uma bóia ondógrafo direccional e os resultados comparados com dois sensores de pressão instalados *em águas pouco profundas*, mostrando também boa correspondência entre as alturas significativas medidas e estimadas pelo modelo.

A questão que permanece é como proceder quando não existem dados de agitação na região junto ao local de interesse, nem na região exactamente ao largo do local tal que se possam, apenas, propagá-los por modelos numéricos.

Para solucionar esta questão, o LNEC desenvolveu uma metodologia, chamada TRANSFER, que utiliza dados de agitação medidos por instrumentação e os transfere para outros locais, desde que estes não se situem muito longe do ponto de medição, pressupondo que as condições de estado de mar, ao largo, possam ser consideradas semelhantes. Esta metodologia utiliza o conceito de propagação inversa de raios de onda, que parte de um ponto mais próximo da costa, o local das medições da agitação marítima, e propaga os parâmetros de agitação para o largo. Uma vez definido o largo, considera-se este como o mesmo largo de outra localidade e propaga-se para o novo ponto, geralmente próximo da costa. A Figura 4 apresenta o conceito da metodologia TRANSFER, já aplicado aos estudos de caso que serão vistos mais adiante. Esta metodologia assenta sobre 3 modelos numéricos, Backtrack, Refspec e Interpol (Coli *et al.*, 2002) e, no actual estágio de desenvolvimento, não considera os efeitos não lineares nem interacções com ventos e correntes.

Num trabalho recente (Capitão *et al.*, 2003), fez-se a comparação dos dados medidos pela bóia ondógrafo direccional de Leixões (instalada a 83 m de profundidade), transferidos pela metodologia TRANSFER para o largo e depois para um ponto a 30 m de profundidade, próximo de Leixões, onde, durante 6 meses, foi instalada uma bóia ondógrafo não-direccional. Utilizando testes estatísticos na comparação das Alturas Significativas e Períodos Médios de Zero-Ascendente, os autores concluíram que a metodologia TRANSFER conduz a resultados precisos, no intervalo de tempo considerado, embora tenha havido uma ligeira sobrestimação das alturas transferidas (10.7 % para Altura Significativa e 2,1 % para os Períodos Médios). Nesse trabalho, como habitualmente se faz, a metodologia TRANSFER foi utilizada tomando em consideração um mesmo largo que, realmente, era o mesmo. A transferência dos parâmetros de agitação da bóia de Leixões a 83 m para o largo e, posteriormente, para o ponto da bóia a 30 m, foi muito bem sucedida.

5. ESTUDO DOS CASOS DE SINES, FIGUEIRA DA FOZ E LEIXÕES

Uma das premissas para a aplicação da metodologia TRANSFER é a existência de um regime de agitação único ao largo, tal que o largo do ponto de medição da agitação marítima possa ser tomado como sendo o mesmo largo do ponto para onde se vai transferir a agitação. Esta hipótese também significa que, se tivermos uma ferramenta que faça a estimação da agitação ao largo, partindo de medições simultâneas em dois ou mais pontos próximos à costa, os regimes de agitação ao largo resultante das transferências deveriam ser muito semelhantes, independentemente de onde foram realizadas as medições. A verificação desta hipótese para a costa Oeste portuguesa foi o primeiro objectivo deste estudo de caso. Utilizou-se a metodologia TRANSFER como ferramenta de transferência, para o largo, dos parâmetros de agitação

disponíveis em Sines, Figueira da Foz e Leixões e os resultados obtidos foram comparados através de métodos visuais e estatísticos. O conceito deste trabalho está ilustrado na Figura 4.



Figura 4. Transferência conceptual dos dados de agitação das bóias ondógrafos de Leixões, Sines e Figueira da Foz para o largo e, dessa região, para o ponto da bóia ondógrafo de Leixões.

O segundo objectivo foi avaliar o êxito da transferência da agitação marítima, utilizando a metodologia TRANSFER, em situações onde o largo não seja exactamente o mesmo. Para isso, os parâmetros da agitação marítima da Figueira da Foz (HS, TZ e Θ) foram transferidos para o largo e, posteriormente, para o ponto da bóia ondógrafo de Leixões, sendo comparados com os parâmetros correspondentes medidos pela bóia ondógrafo de Leixões (Figura 4).

5.1 ORGANIZAÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS DE AGITAÇÃO MARÍTIMA

Em Leixões, Figueira da Foz, e Sines existem séries de dados recolhidos por bóias ondógrafos, escalares ou direccionais, que foram instaladas em diferentes posições e anos. De todos os dados disponíveis, consideraram-se somente os registos que continham informações válidas da altura, período e direcção e que foram medidos simultaneamente. O Quadro 1 resume as posições e características das bóias ondógrafos direccionais utilizadas neste estudo, ilustradas na Figura 5 (Figueira da Foz), Figura 6 (Leixões) e Figura 7 (Sines).

Quadro 1. Posição e características das bóias ondógrafos de Sines, Figueira da Foz e Leixões.

Designação	Código	Latitude	Longitude	Prof. (ZH)	Anos em Operação
Datawell/Direc	F. Foz 9	40° 13' 30" N	9° 06' 00" W	-83 m	Mar 86 – Mar 90
Wavec/Direc	F. Foz 10	40° 11' 08" N	9° 08' 44" W	-92 m	Jul 90 – Feb 96
Wavec/Direc	Leixões 7	41° 12' 12" N	9° 05' 18" W	-110 m	Jul 93 – Jun 96
Wavec/Direc	Sines 1D	37° 55' 16" N	8° 55' 44" W	-97 m	Mai 88 – Dez 95

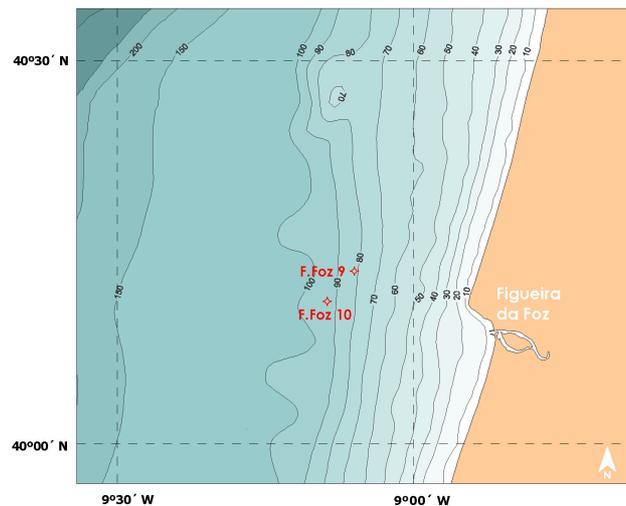


Figura 5. Posição das bóias ondógrafos da Figueira da Foz.

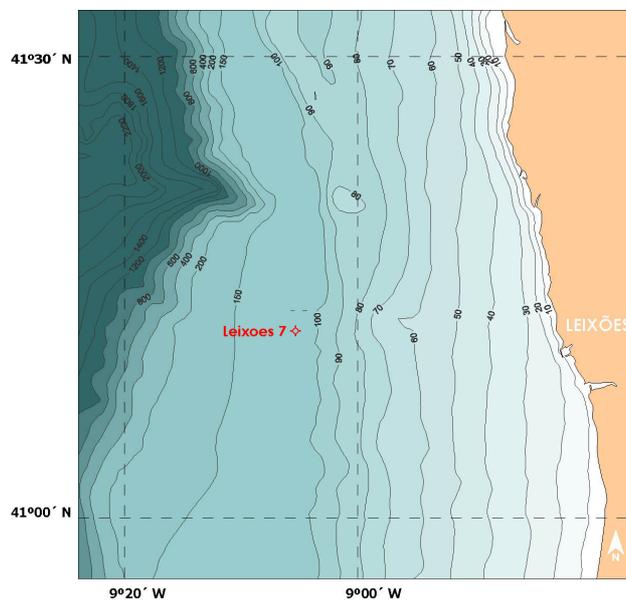


Figura 6. Posição da bóia ondógrafo de Leixões.

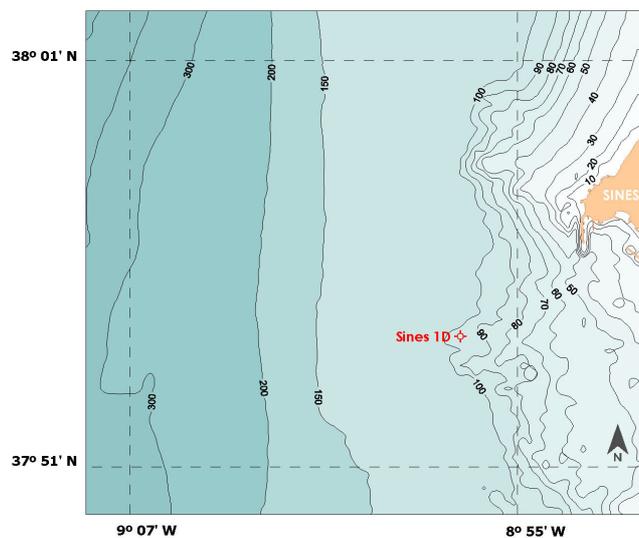


Figura 7. Posição da bóia ondógrafo de Sines.

A simultaneidade foi uma forma encontrada para que as comparações das medições simultâneas das bóias ondógrafos (posteriormente transferidas) pudessem ser realizadas com os dados de agitação disponíveis e baseia-se em duas hipóteses implícitas. A primeira é que, a partir de um registo das medições da agitação marítima de 20 minutos, realizado a cada 3 horas, os parâmetros HS, TZ e Θ são representativos do estado de mar daquele momento e que podem ser considerados estacionários durante aquele período de 3 horas. A segunda hipótese é a existência de um mesmo largo, donde provém a agitação, e que esta agitação chega aos ondógrafos dentro de um intervalo máximo de 3 horas, tal que a medição efectuada em um deles seja comparável com a medição obtida por outro, caso ambas as medições tenham sido obtidas num mesmo intervalo de 3 horas. É claro que, por exemplo, uma agitação marítima que tenha direcção predominante de Norte atingirá sequencialmente os ondógrafos de Leixões, Figueira da Foz e Sines e, portanto, as medições simultâneas da agitação não reproduzirão fielmente uma mesma situação da agitação nos três locais. Torna-se necessário impor estas duas hipóteses pois, caso contrário, não seria possível realizar as comparações entre os dados disponíveis, a não ser que os registos de agitação marítima nos 3 locais fossem contínuos no tempo e não tomados em 20 minutos a cada 3 horas.

Assim, tentou-se escolher dados da agitação que tivessem sido medidos simultaneamente nas três bóias ondógrafos mas, infelizmente, este procedimento resultou em apenas 4 meses de dados de agitação no ano de 1994. Desse modo, julgou-se mais conveniente tratar os dados de agitação marítima em separado: um contendo os dados de agitação marítima que foram medidos simultaneamente entre Figueira da Foz e Sines e outro entre Figueira da Foz e Leixões, cujos períodos de medição simultânea são apresentados no Quadro 2. Pode-se notar, neste Quadro, que as bóias ondógrafos da Figueira da Foz e de Sines mediram a agitação marítima simultaneamente durante 6 anos enquanto as bóias ondógrafos de Leixões e Figueira da Foz realizaram medições simultâneas em pouco mais de 1 ano.

Quadro 2. Período de tempo onde existe simultaneidade de medições da agitação marítima entre Figueira da Foz, Sines e Leixões.

Conjunto de dados de Agitação Marítima	Data-Hora Inicial	Data-Hora Final	Número de Registos
Figueira da Foz e Leixões	1994-03-09 21:00	1995-01-05 21:00	366
Figueira da Foz e Sines	1990-07-16 09:00	1995-12-29 00:00	4403

Como os dois conjuntos de dados de agitação marítima, medida simultaneamente entre Figueira da Foz e Sines ou Figueira da Foz e Leixões, não são homogêneos, isto é, continham falhas de medição na série de dados da agitação, estes dois conjuntos foram sub-divididos em trechos. Um trecho foi definido como uma sequência de dados de registos, igualmente espaçados a cada 3 horas, sem qualquer interrupção, e que apresenta, no mínimo, 30 pares dos parâmetros da agitação marítima HS, TZ e Θ . Deste modo, o conjunto da Figueira da Foz e Sines foi dividido em 51 trechos e o conjunto da Figueira da Foz e Leixões em 6 trechos, Quadro 3 e Quadro 4.

Quadro 3. Trechos do conjunto da agitação marítima de Sines e Figueira da Foz

Referência do Trecho	Data-Hora Inicial	Data-Hora Final	Número de Registos
333	1990-07-16 09:00	1990-07-27 00:00	85
334	1990-07-27 09:00	1990-07-31 12:00	33
338	1990-09-01 03:00	1990-09-27 00:00	207
342	1990-10-01 03:00	1990-10-07 06:00	49
343	1990-10-07 12:00	1990-10-24 12:00	136
344	1990-10-24 18:00	1990-10-31 21:00	57
346	1990-11-01 12:00	1990-11-05 15:00	33
350	1990-11-08 15:00	1990-11-30 03:00	172
354	1990-12-02 00:00	1990-12-11 15:00	77
355	1990-12-11 21:00	1990-12-23 00:00	89
356	1990-12-23 06:00	1990-12-28 21:00	45
364	1991-01-14 12:00	1991-01-19 18:00	42
365	1991-01-20 00:00	1991-01-31 21:00	95

366	1991-02-01 03:00	1991-02-12 00:00	87
370	1991-02-14 03:00	1991-02-20 06:00	49
373	1991-03-03 15:00	1991-03-17 00:00	35
375	1991-03-18 09:00	1991-03-31 21:00	108
376	1991-11-05 15:00	1991-11-21 06:00	125
377	1991-11-25 18:00	1991-11-29 18:00	32
379	1991-12-01 03:00	1991-12-05 03:00	32
381	1991-12-06 15:00	1991-12-14 06:00	61
383	1991-12-15 15:00	1991-12-31 21:00	130
385	1992-01-02 15:00	1992-01-13 18:00	89
388	1992-01-16 21:00	1992-01-31 21:00	120
389	1992-02-01 03:00	1992-02-09 18:00	69
390	1992-02-10 00:00	1992-02-13 18:00	30
395	1992-02-16 06:00	1992-02-29 21:00	109
400	1992-03-24 03:00	1992-03-30 00:00	47
428	1992-04-02 00:00	1992-04-30 21:00	231
430	1992-05-02 09:00	1992-05-24 03:00	38
434	1992-06-01 03:00	1992-06-21 18:00	165
436	1992-06-22 21:00	1992-06-30 21:00	64
439	1992-08-01 03:00	1992-08-26 15:00	204
442	1992-09-01 03:00	1992-09-13 12:00	99
445	1992-09-15 18:00	1992-12-16 06:00	44
454	1992-12-16 15:00	1992-12-31 21:00	122
455	1993-01-01 03:00	1993-01-31 03:00	240
457	1993-02-01 03:00	1993-02-23 12:00	179
463	1993-03-12 12:00	1993-03-16 18:00	34
464	1993-08-10 12:00	1993-08-19 03:00	69
466	1993-08-21 09:00	1993-08-25 21:00	36
470	1994-06-05 09:00	1994-06-10 12:00	41
474	1994-06-17 06:00	1994-06-21 15:00	35
480	1994-10-04 21:00	1994-10-15 15:00	86
482	1994-11-01 03:00	1994-11-06 06:00	41
483	1994-11-06 12:00	1994-11-13 03:00	53
485	1995-07-01 03:00	1995-07-17 06:00	129
489	1995-08-08 18:00	1995-08-25 18:00	136
490	1995-12-04 12:00	1995-12-11 12:00	56
496	1995-12-21 18:00	1995-12-29 00:00	58

Quadro 4. Trechos do conjunto da agitação marítima de Leixões e Figueira da Foz

Referência do Trecho	Data-Hora Inicial	Data-Hora Final	Número de Registos
5	1994-03-09 21:00	1994-03-23 21:00	112
7	1994-05-29 09:00	1994-06-06 03:00	62
8	1994-06-06 09:00	1994-06-10 12:00	33
23	1994-12-13 15:00	1994-12-20 12:00	55
24	1994-12-20 18:00	1994-12-30 09:00	69
28	1995-01-01 12:00	1995-01-05 21:00	35

Definiram-se, assim, dois conjuntos contendo os dados de agitação marítima medidos nas bóias ondógrafos, sub-divididos em trechos homogêneos:

- 1) Parâmetros da agitação marítima (HS, TZ e Θ), simultâneos dos ondógrafos da Figueira da Foz e de Leixões;
- 2) Parâmetros da agitação marítima (HS, TZ e Θ), simultâneos dos ondógrafos da Figueira da Foz e de Sines.

Os parâmetros da agitação marítima simultâneos, relativos a cada trecho de cada conjunto, foram transferidos para o largo utilizando os modelos envolvidos na metodologia TRANSFER. Assim, cada trio de parâmetros da agitação (HS, TZ e Θ) foi transferido de seu local de medição (Figueira da Foz, Leixões ou Sines) para o largo, através da parametrização de um espectro Jonswap, discretizado em 32 frequências de 0.02 a 0.40 cps, com factor de

aguçamento do espectro de 3.3, e uma função co-seno para a distribuição da dispersão direccional com expoente 20. Os domínios de cálculo são apresentados nas figuras 5, 6 e 7. Na Figueira da Foz, o domínio possui 66300 m segundo o paralelo, e 114075 m segundo o meridiano, com espaçamento de 975 m em ambas as direcções. Para Leixões, tem 49725 m segundo o paralelo e 72150 m segundo o meridiano, com o mesmo espaçamento de 975 m. Para Sines, foi utilizado um domínio de cálculo com resolução de 350 m e dimensões de 27300 m, segundo o paralelo, e 28350 m, segundo o meridiano.

O resultado deste processamento foi a constituição de 2 conjuntos de parâmetros da agitação marítima simultâneos e transferidos para o largo. São, em resumo, os mesmos conjuntos 1 e 2 transferidos para o largo:

- 3) Parâmetros da agitação marítima (HS, TZ e Θ), simultâneos dos ondógrafos da Figueira da Foz e de Leixões transferidos para o largo;
- 4) Parâmetros da agitação marítima (HS, TZ e Θ), simultâneos dos ondógrafos da Figueira da Foz e de Sines transferidos para o largo.

Além destes, outro conjunto de dados de agitação marítima foi composto para ser utilizado nos testes da metodologia TRANSFER. Partindo-se das hipóteses já referidas, a agitação marítima medida simultaneamente na bóia ondógrafo de Leixões e na bóia ondógrafo da Figueira da Foz têm a mesma origem ao largo. Então, ao passar a agitação da Figueira da Foz para o largo seria como “voltar no tempo” e chegar a uma agitação que se propagará a Leixões e chegará à mesma hora daquela medida na Figueira da Foz. Assim, o quinto conjunto de dados de agitação marítima é composto pelas medições simultâneas da Figueira da Foz transferidas para largo e, ainda, do largo para o ponto da bóia ondógrafo de Leixões, segundo os critérios descritos anteriormente, com os dados medidos na própria bóia ondógrafo de Leixões:

- 5) Parâmetros da agitação marítima (HS, TZ e Θ), simultâneos do ondógrafo da Figueira da Foz, transferidos para o largo e, depois, para Leixões, e parâmetros do ondógrafo de Leixões sem qualquer transferência.

As comparações da agitação marítima, neste trabalho, foram efectuadas entre os pares simultâneos dos parâmetros de agitação (HS, TZ e Θ), separados em trechos, dos conjuntos de dados acima. Os conjuntos de dados de agitação marítima foram agrupados dessa forma:

- a) Dados da Figueira da Foz transferidos para o largo com dados de Leixões transferidos para o largo;
- b) Dados da Figueira da Foz transferidos para o largo com dados de Sines transferidos para o largo;
- c) Dados da bóia ondógrafo da Figueira da Foz com dados da bóia ondógrafo de Leixões, sem qualquer transferência;
- d) Dados da Figueira da Foz transferidos para o largo e do largo para Leixões, com dados medidos em Leixões.

5.2 TESTES VISUAIS

O primeiro teste foi visual, permitindo avaliar, *grosso modo*, a semelhança dos valores HS, TZ e Θ de cada trecho dos conjuntos a), b), c) e d) descritos na secção anterior. Caso fosse encontrada uma disparidade óbvia na comparação visual dos parâmetros de agitação, a realização de testes estatísticos poderia ser considerada como um mero exercício, uma vez que a hipótese dos dados pertencerem à mesma população torna-se pouca consistente. Os testes visuais foram realizados para a totalidade dos trechos de cada conjunto. Apresentam-se nas figuras 8 e 9, como exemplo, os trechos que contém o maior número de parâmetros da agitação simultâneos entre Figueira da Foz e Sines transferidos para o largo (trecho 455) e simultâneos entre Figueira da Foz e Leixões também transferidos para o largo (trecho 5).

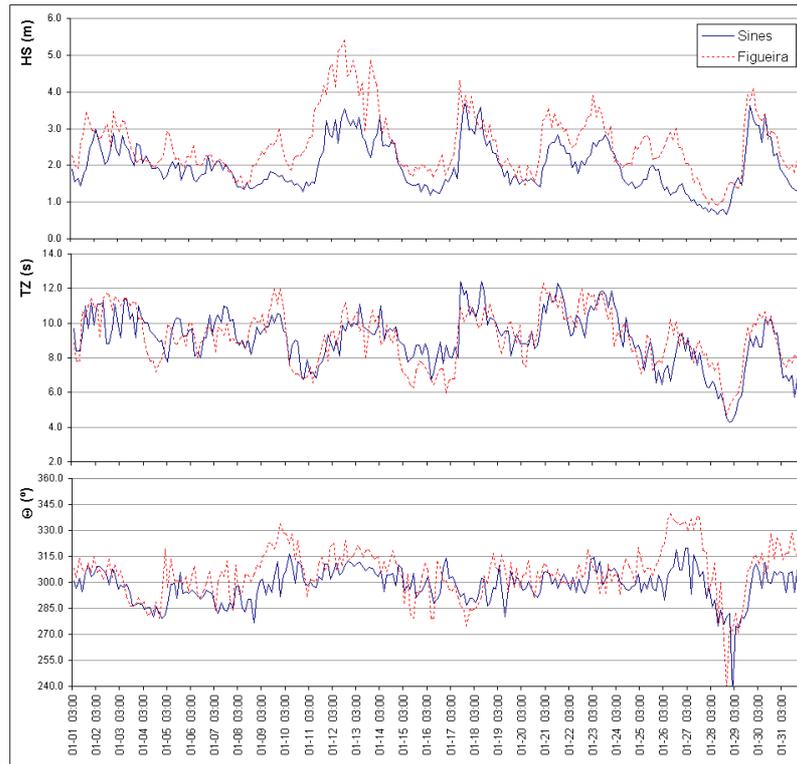


Figura 8. Trecho 455 do conjunto dos dados da agitação marítima de Sines e Figueira da Foz, transferidos para o largo. Nesta figura apresentam-se as alturas significativas de onda (HS), períodos médios de zero-ascendente (TZ) e as direcções médias associadas ao período de pico (Θ).



Figura 9. Trecho 5 do conjunto dos dados da agitação marítima de Leixões e Figueira da Foz, transferidos para o largo. Nesta figura apresentam-se HS, TZ e Θ .

Destes exemplos, e da generalidade dos trechos analisados, pode-se verificar que existe uma semelhança maior entre os dados da Figueira da Foz e de Leixões transferidos para o largo do que entre os dados de Sines e Figueira da Foz ao largo. Um dos factores que podem ter influenciado este facto é que a bóia de Leixões dista aproximadamente 120 km da Figueira da Foz, enquanto Sines está a 360 Km da Figueira da Foz, aproximadamente. Em ambos, contudo, nota-se que há uma mesma tendência nas séries, não havendo uma discordância clara dos parâmetros nos dois conjuntos de dados tal que se conclua que são medições sem qualquer correlação. Além disso, Costa *et al.* (2001), analisando os dados de agitação marítima medida pelas bóias ondógrafos da Figueira da Foz e de Sines, desde 1980 a 2001, concluíram que as condições médias globais e sazonais da distribuição direccional dos estados de mar e os valores médios dos períodos são semelhantes e que, quanto a distribuição das alturas significativas, há uma maior severidade, durante todo o ano, dos valores medidos na estação da Figueira da Foz. Em termos dos regimes gerais de agitação, num trabalho anterior, Carvalho e Capitão (1994) também obtiveram a mesma conclusão quanto a maior severidade do mar na Figueira da Foz. No entanto, esses autores alertam para o facto que, de modo inverso, o regime de extremos possui valores extrapolados maiores em Sines. Este facto, como demonstrado naquele trabalho, é devido à maior variabilidade da amostra da agitação marítima de Sines em comparação com Figueira da Foz.

Por estas razões, executaram-se testes estatísticos, descritos na secção a seguir, com a intenção de verificar se os parâmetros HS, TZ e Θ , entre estes três locais, pertencem à mesma população.

Para a avaliação da metodologia TRANSFER na composição de regimes de agitação, em contraste à simples união dos dados de agitação medidos nas bóias ondógrafos, foram utilizados o conjunto de dados da Figueira da Foz transferido para Leixões e dados da bóia ondógrafo de Leixões e o conjunto de dados das bóias ondógrafos da Figueira da Foz e de Leixões sem qualquer transferência. Um extracto de cada conjunto, representando um trecho, é apresentado na Figura 10 e na Figura 11, respectivamente.

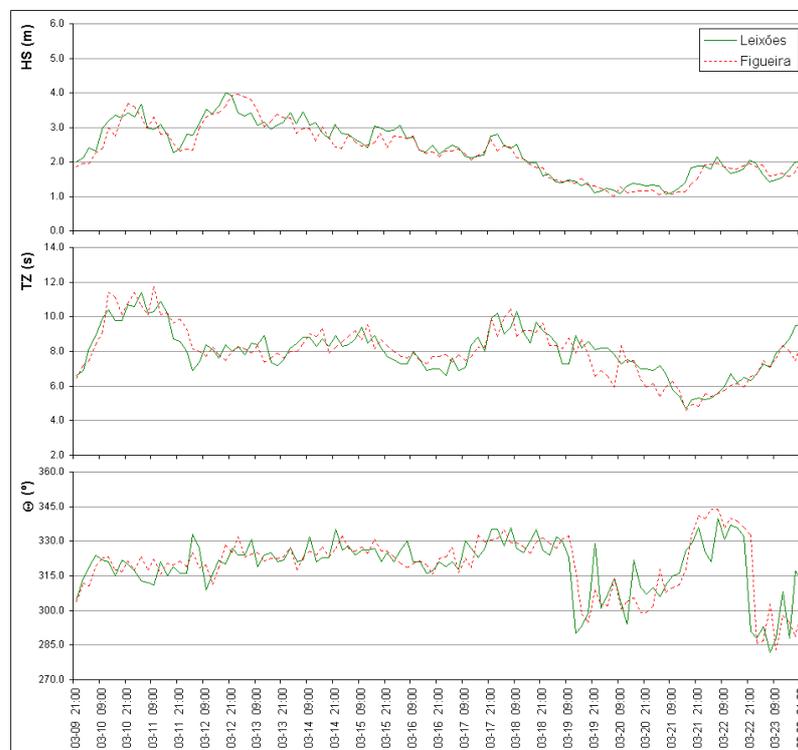


Figura 10. Trecho 5 do conjunto dos dados da agitação marítima da Figueira da Foz transferidos para o ponto do ondógrafo de Leixões e de Leixões sem transferências. Nesta figura apresentam-se HS, TZ e Θ .

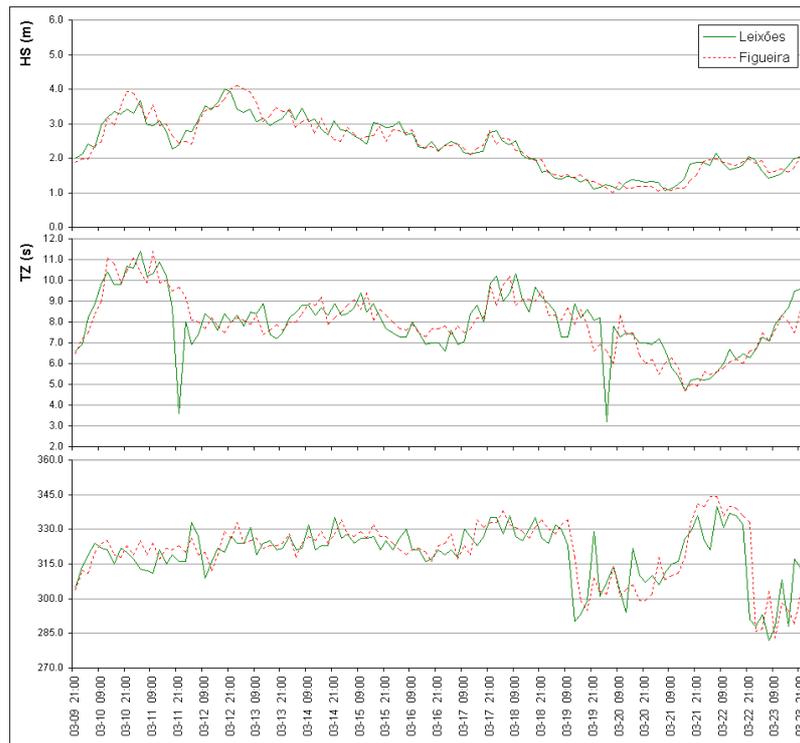


Figura 11. Trecho 5 do conjunto dos dados da agitação marítima das bóias ondógrafos da Figueira da Foz e de Leixões sem quaisquer transferências. Nesta figura apresentam-se HS, TZ e Θ .

Nestas figuras nota-se que há uma certa semelhança entre os dados de agitação marítima da Figueira da Foz (transferidos para Leixões ou não) e os dados de Leixões. Da comparação visual das figuras 9, 10 e 11, que são casos distintos, também não se notam as diferenças, pois estas são bem ligeiras. Somente os resultados dos testes estatísticos podem dar algumas evidências neste sentido.

5.3 TESTES ESTATÍSTICOS

Para verificar a adaptabilidade das séries de dados de agitação marítima, três testes estatísticos foram aplicados a cada trecho dos conjuntos de dados a), b), c) e d) definidos na secção 5.1, que contém os parâmetros da agitação marítima (HS, TZ e Θ).

Os três testes estatísticos não paramétricos utilizados neste trabalho foram: teste do Qui-Quadrado (χ^2), teste dos chorrilhos ou Run test e teste da soma das ordens ou Rank Sum test. Neste trabalho, não se utilizou o teste de Kolmogorov-Smirnov. O objectivo destes testes é verificar a seguinte hipótese (hipótese nula): se os dados de agitação provenientes de um local e os correspondentes vindos de outro pertencem à mesma população, isto é, têm a mesma distribuição. Um resultado positivo (neste trabalho) significa que não se rejeita a hipótese nula.

Mais do que isso, podemos extrapolar os resultados dos testes estatísticos e tirar algumas conclusões interessantes consoante os conjuntos de dados que foram aplicados. O resultado positivo dos testes aplicados aos conjuntos de dados de agitação transferidos para o largo, isto é, Figueira da Foz e Sines (conjunto b da secção 5.1) ou Figueira da Foz e Leixões (conjunto a), indicam que os dados podem ser combinados para produzir um regime único ao largo e, ainda, verificar a hipótese básica da metodologia TRANSFER da existência de um único largo.

De outro modo, o resultado dos testes aplicados aos dados de agitação das bóias ondógrafos de Leixões e Figueira da Foz (conjunto c) e aos dados de Leixões e seus

correspondentes medidos simultaneamente na Figueira da Foz e transferidos para Leixões (conjunto d) indicam qual é a melhor alternativa para compor um regime único de agitação, ou seja, se é necessária a transferência dos dados ou não. A suposição de que as bóias ondógrafos já se encontram na região ao largo, uma vez que foram instalados em locais com grandes profundidades, dispensaria a transferência dos parâmetros da agitação de um local para o outro e, neste caso, a comparação dos resultados dos testes entre os dados das bóias ondógrafos e os resultados transferidos não apresentaria diferença alguma.

Os testes estatísticos têm como resultado a aceitação ou rejeição da hipótese nula, mediante um determinado nível de significância. Neste trabalho, os testes foram realizados para os três níveis de significância, α , habitualmente utilizados: 0.01, 0.05 e 0.1. Como os testes foram realizados para vários trechos e não para o conjunto inteiro dos parâmetros de agitação marítima, foi anotado, para cada trecho, o valor máximo de α (dentre estes 3 valores) para o qual, num dado trecho, a hipótese nula não é rejeitada. Desse modo, ao final de um teste estatístico (Qui-Quadrado, Run test ou Rank Sum) tem-se o número de trechos que passaram nos níveis de significância de 0.01, 0.05 e 0.1, relativos a cada parâmetro da agitação testado. Para ilustrar este procedimento, apresenta-se o Quadro 5 abaixo onde, para o Run test, tem-se o número de trechos que passaram nos testes, tomando em consideração o valor máximo de α .

Quadro 5. Número de trechos que não rejeitaram a hipótese nula nos Run tests, para HS, TZ e Θ , do conjunto de dados de agitação de Leixões e Figueira da Foz transferidos para o largo.

Leixões e Figueira da Foz transferidos para o largo				
Run test	$\alpha=0.1$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$	Rejeitados
HS	5	0	1	0
TZ	3	0	1	2
Θ	2	0	2	2

A partir deste tipo de tabela, para os resultados dos testes serem comparados com maior rigor, Carvalho *et al.* (2002) criaram um índice de adaptabilidade relativo a cada teste e a cada parâmetro. Este índice é o somatório dos resultados dos três testes estatísticos para cada valor de α , sendo, ao final, normalizado para ter-se o máximo índice igual a 1.0. A normalização é obtida dividindo-se o somatório dos resultados pelo total máximo que pode ser obtido. O Quadro 6 completa o Quadro 5 e indica índice de adaptabilidade para o Run test, aplicado ao mesmo conjunto de dados de agitação marítima. Apresenta-se também, neste Quadro, o cálculo do índice de adaptabilidade tendo em consideração os 6 casos do Quadro 5. O denominador é 0.6, índice máximo resultante caso os 6 trechos não fossem rejeitados no Run test para o α máximo de 0.1 (mais exigente).

Esses dois Quadros tiveram a intenção de apresentar um exemplo do cálculo do índice de adaptabilidade para um teste apenas, enquanto que, para os estudos de caso, serão apresentados índice de adaptabilidade para cada um dos três testes estatísticos e para cada parâmetro (HS, TZ e Θ), além da média destes índices de adaptabilidade por parâmetro de agitação.

Quadro 6. Cálculos dos índices de adaptabilidade utilizados neste trabalho, do Run test para HS, TZ e Θ , do conjunto de dados de agitação de Leixões e Figueira da Foz transferidos para o largo.

Leixões e Figueira da Foz transferidos para o largo	
Run test	Índice de Adaptabilidade
HS	$(5 * 0.1 + 0 * 0.05 + 1 * 0.01) / 0.6 = \mathbf{0.850}$
TZ	$(3 * 0.1 + 0 * 0.05 + 1 * 0.01) / 0.6 = \mathbf{0.518}$
Θ	$(2 * 0.1 + 0 * 0.05 + 1 * 0.01) / 0.6 = \mathbf{0.368}$

TESTES PARA A CONSIDERAÇÃO DO MESMO LARGO

O Quadro 7 abaixo apresenta os índices de adaptabilidade resultantes dos testes estatísticos aplicados em cada trecho dos dois conjuntos de dados de agitação simultâneos transferidos para o largo.

Quadro 7. Índices de adaptabilidade dos testes estatísticos aplicados aos parâmetros da agitação transferidos para o largo.

Teste	Leixões e Figueira da Foz transferidos para o largo			Sines e Figueira da Foz transferidos para o largo		
	HS	TZ	DIR	HS	TZ	DIR
Qui-Quadrado	1.00	0.67	1.00	0.28	0.43	0.15
Run test	0.85	0.52	0.37	0.37	0.21	0.10
Rank Sum	1.00	0.92	1.00	0.26	0.50	0.21
Média	0.95	0.70	0.79	0.30	0.38	0.15

Neste quadro pode-se notar uma grande diferença entre os índices de adaptabilidade quando se compara os resultados obtidos utilizando o conjunto de dados de Leixões e da Figueira da Foz transferidos para o largo e os dados de Sines e Figueira da Foz também transferidos para o largo.

O conjunto de Leixões e Figueira da Foz apresenta, para HS, o maior índice de adaptabilidade, 0.95, sendo que os índices para TZ e Θ foram 0.70 e 0.79 respectivamente. Esses valores indicam as séries dos parâmetros de agitação tiveram boa correlação e permitem concluir que o largo entre estes dois locais pode ser considerado o mesmo, principalmente se HS for levada em consideração.

Por outro lado, o conjunto da Figueira da Foz e Sines apresentou valores muito baixos, não ultrapassando 0.38, que foi o índice obtido para a comparação de TZ. Os resultados dos testes estatísticos foram, em sua maioria, negativos (rejeitaram a hipótese nula) e, portanto, as séries de dados de agitação medidos nestes dois locais e transferidos para o largo não pertencem à mesma população, não sendo possível supor um mesmo largo. Se extrapolarmos estes resultados, podemos dizer que a costa Oeste de Portugal deve ter, no mínimo, duas regiões com regimes de agitação diferentes, com a separação algures entre Figueira da Foz e Sines.

TESTES DO ÊXITO DA TRANSFERÊNCIA DA AGITAÇÃO

Os resultados positivos dos testes estatísticos aplicados aos dados de agitação transferidos da Figueira da Foz e de Leixões para o largo motivaram a realização desses novos testes, uma vez que o largo pode ser considerado, com alguma confiança, o mesmo.

Para responder ao grau de êxito da transferência da agitação marítima pela metodologia TRANSFER, dois testes estatísticos foram realizados: um contendo os dados das bóias ondógrafos da Figueira da Foz e de Leixões sem qualquer transformação e outro contendo os dados da Figueira da Foz, transferido para o largo e para o ponto da bóia ondógrafo de Leixões, comparados com os dados correspondentes da bóia ondógrafo de Leixões. Os resultados são apresentados no Quadro 8.

Quadro 8. Índices de adaptabilidade dos testes estatísticos aplicados aos parâmetros da agitação dos ondógrafos da Figueira da Foz e de Leixões e dos dados transferidos da Figueira da Foz para Leixões e do ondógrafo de Leixões.

Teste	Figueira da Foz e Leixões sem qualquer transferência			Figueira da Foz transferido e Leixões		
	HS	TZ	DIR	HS	TZ	DIR
Qui-Quadrado	1.00	0.67	0.92	1.00	0.67	1.00
Run test	1.00	0.44	0.50	1.00	0.59	0.53
Rank Sum	1.00	0.85	1.00	1.00	0.85	1.00
Média	1.00	0.65	0.81	1.00	0.70	0.84

Deste Quadro, pode-se notar que os índices de adaptabilidade são maiores que 0.65, sendo que, para HS, atingiram o mais alto grau de confiança, com valor 1.0. Os resultados, para além de mostrarem que a agitação em ambos os casos pode ser considerada como pertencente à mesma população, o ligeiro aumento dos índices de adaptabilidade dos testes aplicados aos dados transferidos da Figueira da Foz e de Leixões mostram que a transferência dos parâmetros da agitação pela metodologia TRANSFER, em especial para TZ e Θ , possui maior confiança e fiabilidade.

Estas diferenças ficam mais evidentes nos resultados do Run test, que parece ser o teste estatístico mais exigente, pois resultou em valores de adaptabilidade mais baixos dentre os testes utilizados neste trabalho.

6. CONCLUSÕES

Nesta comunicação abordou-se um problema comum em engenharia costeira, que é a falta de dados de agitação marítima em locais onde há a necessidade de realizar uma obra ou intervenção costeira. Efectivamente, quando não existem dados medidos no local de interesse, ou próximo deste, é necessário procurar outras formas para o estabelecimento dos regimes de agitação marítima.

De facto, qualquer das metodologias apresentadas para a estimação de regimes de agitação, desde estimacões visuais e numéricas a medições instrumentais, possui vantagens e inconvenientes inerentes às próprias técnicas de medição ou à estimação dos parâmetros da agitação marítima. Dentre todos os modos de medição, os dados de agitação marítima obtidos por instrumentação *in situ* são os mais fiáveis e os que possuem maior qualidade, desde que haja uma razoável continuidade nas medições. As restrições da utilidade desta técnica de medição, devido ao seu carácter pontual, estão sendo superadas pela associação aos modelos numéricos de propagação e deformação da agitação cada vez mais desenvolvidos.

Os modelos numéricos propagam a agitação marítima para o local de interesse exigindo, portanto, a existência de dados de agitação marítima na região ao largo do local onde se desejam os regimes de agitação. Quando não há dados de agitação na região ao largo contígua à região de interesse, mas existem dados de agitação marítima em alguma região próxima, deve-se ter alguma ferramenta (ou metodologia) que estime os parâmetros da agitação ao largo, para que, então, possa servir de entrada nos modelos numéricos.

Neste contexto, os estudos de caso apresentados tiveram a intenção de discutir a metodologia TRANSFER como uma metodologia provedora de dados da agitação marítima ao largo para a formação dos regimes de agitação, de forma concreta para a costa Oeste portuguesa. Deve ser referido que estes estudos de caso foram realizados com dados de agitação marítima simultâneos entre Figueira da Foz e Leixões, medidos em pouco mais de um ano (1994-1995), e com 6 anos de dados (1990-1995) simultâneos entre Figueira da Foz e Sines. Idealmente, os conjuntos de dados de agitação marítima deveriam ser maiores e conter menos falhas, para que este estudo pudesse ter um carácter mais definitivo. Além disso, devem ser consideradas as ressalvas com relação à simultaneidade imposta nestas

comparações (hipóteses de trabalho). Mesmo com essas reservas, os resultados de todas as comparações realizadas permitiram algumas conclusões interessantes.

Os resultados dos testes estatísticos efectuados com os parâmetros HS, TZ e Θ de Leixões e Figueira da Foz, simultâneos e transferidos para o largo, permitiram concluir esses podem ser considerados como pertencentes à mesma população e, como consequência, que o largo entre estes dois locais pode ser considerado o mesmo, principalmente para o caso das Alturas Significativas.

Entre os resultados da transferência da agitação da Figueira da Foz e de Sines para o largo, dos testes efectuados pode-se concluir que os parâmetros HS, TZ e Θ não podem ser considerados pertencentes à mesma população. Resulta também que: ou não se pode atribuir um largo único para a costa Oeste portuguesa, devendo sempre ser tratadas as regiões Norte e Sul separadas algures entre Figueira da Foz e Sines, facto que é habitualmente tido como verdadeiro, ou a metodologia de transferência de regimes de agitação deve ser aperfeiçoada para incluir efeitos oceanográficos e atmosféricos que não contém.

As diferenças encontradas entre a comparação dos dados de agitação marítima medida em Leixões e os dados medidos na Figueira da Foz, tanto transferidos para o largo e, posteriormente para Leixões, como os dados sem qualquer transferência, são pequenas, pois as bóias ondógrafos foram instaladas em profundidades razoáveis (92 m e 110 m, respectivamente). Mesmo não sendo significativa esta diferença, pode-se concluir que, quando os parâmetros HS, TZ e Θ da agitação marítima são transferidos de um local para outro, os índices de adaptabilidade são maiores. Portanto, para a composição de regimes gerais de agitação, é preferível utilizar a metodologia TRANSFER em contraste a unir os dados das bóias ondógrafos sem qualquer tratamento. Este é um resultado interessante também para os casos em que se deseja realizar a reconstrução cronológica dos registos, utilizando dados dos dois locais, para colmatar possíveis falhas nas medições da agitação marítima.

Chama-se a atenção para o facto de todos os testes visuais e estatísticos não terem sido realizados para as Alturas Máximas dos registos. Os resultados apresentados neste trabalho, por conseguinte, não devem ser generalizados para os regimes extremos. De facto, Carvalho e Capitão (1994), como já se disse, encontraram características diferentes entre o regime geral e o regime de extremos para a Figueira da Foz e Sines.

Finalmente, nada se pode dizer sobre o regime entre Sines e o Cabo São Vicente, visto que não há dados para tal. A sugestão é que seja colocada uma bóia ondógrafo naquele cabo, que tanto servirá para a determinação da agitação marítima no extremo Sul da costa Oeste de Portugal como também para o segmento Oeste da costa Sul de Portugal (Algarve), pois nesta costa somente existe a bóia ondógrafo de Faro. Mais ao Norte, caso não se tenha interesse em instalar uma bóia ondógrafo, poderiam utilizar-se, se disponíveis, os dados da bóia ondógrafo espanhola da Galiza.

7. AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao Doutor Mendes de Carvalho, ao Eng. João Alfredo Santos e à Dr^a. Sandra Fachin pelas discussões e críticas a este trabalho e ao Sr. Franklin Carvalho pelo auxílio técnico.

Este trabalho foi apoiado e inteiramente financiado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil, através do programa "Modelação Estocástica da Agitação Marítima", do plano de investigação programada para 2001-2004 "Modelação da Agitação Marítima e Correntes".

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AVISO (1992) "AVISO Users Handbook: Merged Topex/Poseidon Products". AVI-NT-02-101-CN, Edition 2, 200 pp. France.
- CCEMS. Committee on Coastal Engineering Measurements Systems (1989) "Measuring and Understanding Coastal Processes for Engineering Purposes". National Academic Press, 72 pp.
- Carvalho, M.M.; Capitão, R. (1994) "Valores Extremos da Agitação Marítima. Regime Geral de Extremos da Agitação Marítima da Costa Oeste de Portugal". Relatório 307/94-NPP, LNEC, Novembro.
- Carvalho, M.M.; Capitão, R.; Fortes, C.J.; Coli, A.B. (2002) "The Oporto Oil Refinery at Leixões. Sea Wave Transfer Verification". Relatório 217/02-NPP, LNEC, Agosto.
- Coli, A.B., Santos, J.A., Fortes, C.J., Capitão, R., Carvalho, M.M. (2002) "Metodologia de propagação de regimes de agitação marítima do largo para a costa: análises dos modelos BACKTRACK-REFSPEC e SWAN". 6º Congresso da Água, Porto, 17 pp. (versão em CD).
- Capitão, R., Fortes, C.J., Carvalho, M.M. Coli, A.B., Santos, J.A., (2003) "Aferição do Método de Transferência de Dados de Agitação Marítima". VII Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos, Almeria, 10 pp. (versão em publicação).
- Costa, M., Silva R., Vitorino, J. (2001) "Contribuição para o Estudo do Clima de Agitação Marítima na Costa Portuguesa". 2^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Sines, 20 pp. (versão em CD).
- Franco, A. S. (1984) "Análise Linear de Ondas, Teoria e Prática". Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Publicação 1333. USP editora, pp. 35-115.
- Hogben, N, Dacunha, N.M.C., Olliver, G.F. (1986) "Global Wave Statistics". British Maritime Technology Limited, Unwin Brothers Limited, Feltham.
- NCC – National Climate Center (1980). "TDF-11 Manual of Surface Marine Observations". U.S. National Climate Center, NOAA, 18 pp.
- Oceanweather (s.d.) "Global Analysis of Ocean Waves (GROW). Project description".
- Pires-Silva, A. A., Makarynsky, O., Monbaliu, J., Ventura-Soares, C., Coelho, E. (2002) "WAM/Swan Simulations in an Open Coast: Comparisons with ADCP Measurements". Littoral 2002 Conference, Porto, v.II, pp. 169-173.
- WAMDI Group (1988) "The WAM model: A Third Generation Ocean Wave Prediction Model". Journal of Physical Oceanography, v. 18, n. 10-12, pp. 1775-1810.
- Wilson, J.R., Baird, W.F. (1981) "Canadian Wave Climate Study: Organization and Operation". Manuscript Report Series, Ontario, Canada, v. 59, 26pp.
- Zózimo, A. C., Fortes, C. J. E. M., Neves, M. G., Fernandes, J. L., Ferreira, O. (2002) "Dreams_Spectral, the Ancão Inlet Case". Littoral 2002 Conference, Porto, v.II, pp. 209-219.