

DEFINIÇÃO DE REGIMES DE AGITAÇÃO MARÍTIMA - CASOS DE ESTUDO

Rui Capitão⁽¹⁾, Conceição J. M. Fortes⁽¹⁾, M. Mendes de Carvalho⁽²⁾, J. Afonso Covas⁽²⁾

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa

⁽¹⁾ Assistente de Investigação, ⁽²⁾ Investigador-Coordenador

Sumário

Nesta comunicação, definem-se os tipos de regime de agitação marítima mais utilizados nos estudos efectuados no LNEC e, como exemplos, apresentam-se alguns casos de estudo de regimes de agitação marítima obtidos a partir quer de dados observados por bóias-ondógrafo no local, quer de dados provenientes de locais mais longínquos, estes obtidos através da aplicação de uma metodologia de transferência de regimes adequada, igualmente descrita neste trabalho. Assim, utilizando como base os dados de agitação marítima recolhidos na Figueira da Foz, local onde se possui uma razoável colecção de dados, são definidos os regimes de agitação marítima de extremos, médio e geral locais, e apresentados alguns resultados da aplicação recente da metodologia de transferência de regimes para obtenção das características da agitação marítima em Buarcos e em Leixões.

1 Introdução

No dimensionamento de uma obra de engenharia portuária ou costeira, conhecer de alguma forma o regime de agitação marítima próprio da zona onde se prevê construir essa obra é fundamental.

A definição dum regime de agitação marítima no local de interesse utiliza dados de agitação marítima recolhidos por equipamento adequado (normalmente, bóias-ondógrafo, se possível, direccionais) numa zona o mais próxima do local de interesse. Idealmente, esses dados devem ser muitos (*i.e.*, obtidos através de observação durante muitos anos) e de qualidade (*i.e.*, sem falhas e com a garantia de que o equipamento de onde provêm funcionou sempre adequadamente durante o período de tempo a que se reportam os dados).

Infelizmente, ao longo da costa portuguesa, são escassos os locais onde são recolhidos, durante um período de tempo suficientemente longo e de forma sistemática, dados que permitam uma conveniente caracterização do regime de agitação marítima local. Com efeito, dos vários locais onde o Instituto Hidrográfico instalou bóias-ondógrafo, apenas os dados provenientes de Figueira da Foz, de Sines e, mais recentemente, de Faro, permitem realizar uma análise estatística aceitável ao ponto de possibilitar a definição de um regime de agitação marítima local, pelo menos indicativo. Mesmo assim, nos locais referidos (principalmente no segundo), há que ter em conta algumas reservas de aplicação. Nos restantes locais da costa portuguesa, quando há escassez de dados, o regime serve apenas como indicação.

Para colmatar essa dificuldade, quando há mesmo necessidade de ter uma indicação do regime de agitação marítima num local onde há poucos ou nenhuns dados observados, desenvolveu-se uma metodologia, apresentada em Capitão *et al.* (1994), para a obtenção das características da agitação marítima num ponto qualquer da costa, com base em dados

recolhidos por bóias-ondógrafo numa zona relativamente próxima desse ponto. Esta metodologia, já aplicada com sucesso a vários locais, consiste na passagem da agitação marítima dum local onde haja dados que permitam obter um regime observado minimamente válido, para o largo, e a partir daí transferir o regime do largo para outros locais da costa portuguesa não muito distantes da zona onde foram inicialmente recolhidos os dados de agitação marítima. Ambas as transferências são conseguidas com o apoio de vários modelos matemáticos existentes no LNEC. Ver Figura 1.

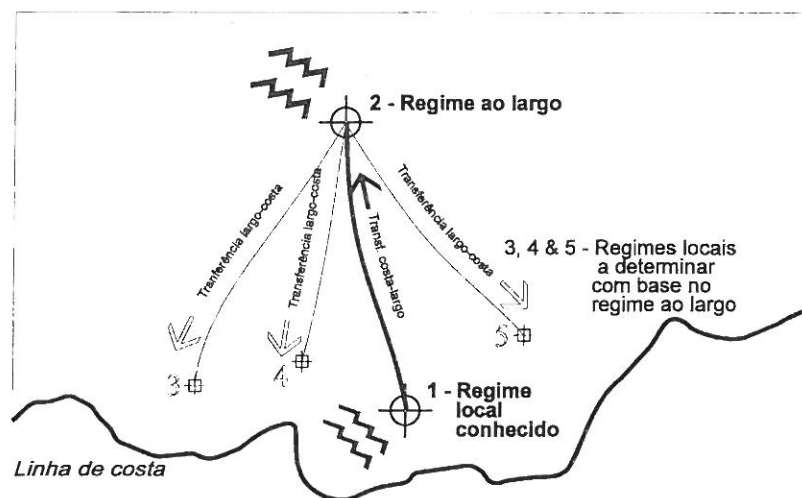


Figura 1 – Metodologia de transferência de regimes de agitação do local (Ponto 1) para o largo (Ponto 2) e do largo para junto à costa (Pontos 3, 4 e 5).

Nesta comunicação, descrevem-se os tipos de regimes de agitação mais utilizados nos estudos habitualmente efectuados no LNEC, descrevem-se os procedimentos utilizados para a sua obtenção em locais onde existem dados de bóias-ondógrafo, dando origem aos chamados *regimes locais de agitação marítima*, e apresenta-se a metodologia utilizada para estabelecimento de regimes de agitação marítima em locais onde não exista recolha de dados, a qual é aplicada, a título de exemplo, às zonas de Buarcos e Leixões.

2 Regimes de agitação marítima locais obtidos com base em dados de bóias-ondógrafo

2.1 Introdução

Para o tratamento local da agitação marítima, devem seleccionar-se os dados de agitação marítima (alturas de ondas, períodos de onda, rumos, etc.) disponíveis no local ou, por falta, perto dele. Saliente-se que, em certos locais (Sines, por exemplo), existem variadíssimas posições onde se efectuou recolha de dados, em períodos diversos e com métodos diferentes. Assim, para além de reunir os dados existentes no local, é necessário verificar as localizações da recolha, as profundidades consideradas e os métodos utilizados em cada conjunto de dados e, a partir daí, uniformizá-los com os restantes. Claro que para esta uniformização há que adoptar critérios, por vezes subjectivos, o que retira nesta ocasião alguma da "qualidade" que algumas das amostras possuíam, consideradas individualmente.

O estabelecimento dos regimes de agitação faz-se a partir dos dados dos relatórios mensais e trimestrais, publicados pelo Instituto Hidrográfico, referentes a registos de 20 minutos de duração, obtidos de três em três horas, com informação, nomeadamente, da altura

significativa, HS , da altura máxima, HM , do período de zero ascendente, TZ , e da direcção média, Θ .

O clima de agitação local, na zona da(s) bóia(s)-ondógrafo, pode ser definido de diversas formas, que dependem fundamentalmente do objectivo para o qual vai ser utilizado. Assim, por exemplo, para estudos de dimensionamento de quebra-mares e outras estruturas marítimas, é necessário conhecer os valores extremos das alturas de onda e de períodos e direcções associados a um determinado período de retorno, obtendo-se assim um regime normalmente designado por *regime de extremos*. Por outro lado, quanto se estuda o transporte litoral de areias, a erosão ou a sedimentação, num local, é necessário estabelecer um *regime médio*, usando os valores de altura de onda médios mensais da altura de onda e os respectivos períodos e direcções associados. Para uma melhor caracterização geral da agitação marítima, tem geralmente interesse estabelecer um regime de agitação que considere todos os valores observados. Este último regime é designado por *regime geral observado*. Será feita a seguir uma definição mais pormenorizada dos três regimes referidos.

2.2 Obtenção dos diferentes regimes

Regime de Extremos

A obtenção do regime de extremos consiste na determinação da distribuição de HS_A e HM_A , no cálculo dos valores (extrapolados) com essa distribuição alargada a um conjunto de períodos de retorno e na associação a esses valores de gamas de períodos e direcções.

Assim, as amostras são constituídas por valores da altura máxima anual, HM_A , ou da altura significativa máxima anual, HS_A , e os correspondentes períodos, TZ_A , e direcções de onda, Θ_A .

A razão para considerar unicamente valores anuais deriva do facto de as amostras deverem ser aleatórias, (os correspondentes valores devem ser independentes e da mesma distribuição) o que é uma das condições necessárias para a aplicação da função de distribuição de probabilidade de valores extremos, Carvalho e Capitão (1996a). No entanto, se em vez de se considerarem as alturas máximas anuais, com respectivos períodos e direcções associados, de anos civis consecutivos, se utilizarem alturas máximas de cada inverno marítimo (de Outubro dum ano a Março do ano seguinte), estas formarão uma melhor amostra de valores extremos. Este método é designado por *método do máximo anual* para cálculo de extrapolações extremas.

Uma variante deste método é o *método do pico acima dum limiar* (Peak Over Threshold - POT - method) onde se consideram os máximos de altura significativa ou máxima de temporais, considerados independentes entre si. Obviamente que, havendo mais do que um temporal por ano civil ou marítimo, o que acontece frequentemente, conseguem-se mais valores para a amostra de extremos. O problema reside, porém, na definição de temporal e na dificuldade que há em garantir independência entre eles, pelo que este método, dada a subjectividade que pressupõe, não é tão seguro quanto o método dos máximos anuais e é por isso que é utilizado apenas como recurso.

Estabelecidas as amostras de valores (de extremos anuais ou, eventualmente, de extremos de temporais independentes), há que escolher um modelo de distribuição de probabilidade a usar para as extrapolações dos valores das amostras. O programa ADAPTA, Carvalho e Capitão (1990), permite usar seis distribuições de probabilidade por forma a testar o seu ajuste às amostras de extremos: as assintóticas de máximos de Gumbel, de Fréchet e de Kimball, a assintótica de mínimos (Weibull), a exponencial e a lognormal.

Para estimar os parâmetros dessas distribuições, o programa ADAPTA usa o *método dos mínimos quadrados*. Há, no entanto, outros métodos que se podem utilizar para o mesmo fim. Um deles, o *método dos momentos*, é actualmente utilizado no LNEC, através da utilização de macros da folha de cálculo EXCEL, especialmente criadas para o efeito.

Para distinguir a qualidade do ajuste dos diferentes modelos de distribuição, são frequentemente calculados dois parâmetros: o erro padrão das estimativas, e , e o coeficiente de correlação, r . Pode posteriormente calcular-se outro parâmetro, a estatística do teste Kolmogorov-Smirnov, d , que, juntamente com um dos anteriores parâmetros, permite caracterizar o melhor ou pior ajuste do modelo de distribuição de probabilidade às amostras. Os parâmetros e (ou r) e d podem ser combinados e normalizados por forma a produzirem um único valor que permita avaliar o ajuste. Assim, surge o parâmetro combinado, c , calculado como exposto em Carvalho e Capitão (1996a).

Escolhido o modelo de distribuição a usar, é possível obter os valores extrapolados da altura de onda para diferentes períodos de retorno, T . Aos valores extrapolados de HS_A e HM_A podem associar-se direcções e períodos locais, ao usar um dos dois métodos seguintes:

- Tratamento de amostras de valores anuais agrupados por sectores de direcções (gamas de períodos), o que permite associar direcções (períodos) a valores extrapolados;
- Obtenção de distribuições de amostra conjuntas de altura e direcções (períodos), a partir de valores máximos mensais, o que dá informações sobre a associação de alturas e direcções (períodos), no que respeita a valores observados.

Constrói-se, assim, uma tabela de valores, para cada período de retorno, de extremos de alturas de onda locais, de períodos de onda (ou gamas de períodos de onda) e de direcções de onda (ou gamas de direcções) associados a esses valores extremos de altura de onda.

Regime Médio

O regime médio é dado pelas distribuições mensais das variáveis de interesse, HS , HM , etc. Para o estabelecimento deste regime, as amostras são construídas a partir dos valores médios e respectivos desvios-padrão da altura de onda máxima mensal, HM_{med} , e HM_{dp} , da altura significativa mensal, HS_{med} e HS_{dp} , do período de onda mensal, TZ_{med} e TZ_{dp} e da direcção de onda mensal, Θ_{med} e Θ_{dp} . Obtêm-se assim os valores médios daquelas variáveis correspondentes aos 12 meses do ano.

Com as médias e os desvios-padrão dos diversos parâmetros, pode obter-se uma distribuição de probabilidade aproximada para cada parâmetro em cada mês do ano. Para isso, é preciso arbitrar o tipo de distribuição. Como primeira aproximação para HS (e/ou para HM), pode-se usar a de Weibull, que é fácil de trabalhar e cuja forma se adapta à que apresentam os histogramas mensais daqueles parâmetros nos relatórios do IH. Um exemplo desses resultados no que diz respeito ao parâmetro HS_{med} , para o mês de Julho, em Leixões, é apresentado mais à frente na Figura 7.

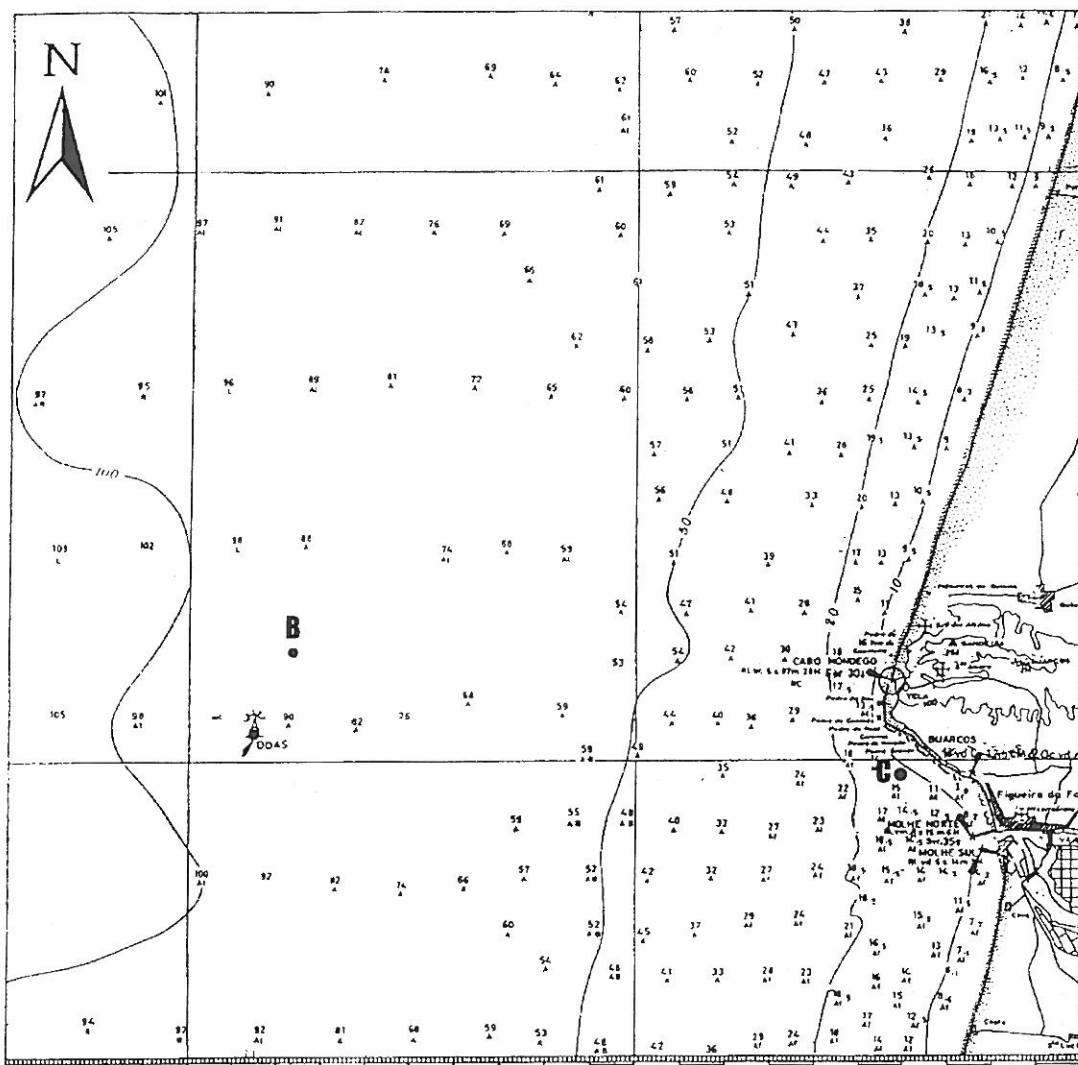
Regime Geral Observado

Este tipo de regime consiste nas distribuições bivariadas conjuntas de pares (HS , TZ), (HS , Θ), etc. Para o estabelecimento deste regime, são construídas amostras com a totalidade dos valores tri-horários (isto é, relativos aos registos efectuados pela bóia de três em três horas) da altura significativa, HS , do período médio de zero ascendente, TZ , e da direcção da onda, Θ . Com a amostra de valores tri-horários, é possível construir histogramas com a indicação para cada par de valores (HS , Θ ou TZ) do correspondente número de ocorrências.

2.3 Caso de aplicação – Regimes de agitação marítima na Figueira da Foz

O porto da Figueira da Foz encontra-se localizado na costa oeste de Portugal, a norte de Lisboa, Figura 2. Os dados de agitação marítima na Figueira da Foz foram recolhidos com bóia não-direccional DATAWELL WAVERIDER de 1981 a meados de 1990, e com bóia direccional DATAWELL WAVEC, a partir de Julho de 1990. Note-se que, embora haja dados de bóia-ondógrafo desde 1981, só a partir de 1984 há dados de direcções. Estes últimos foram recolhidos visualmente até meados de 1990, altura a partir da qual provêm de bóia-direccional.

Por outro lado, houve três posições de bóia. A posição média é designada por B e tem as coordenadas $42^{\circ} 12' 30'' \text{ N} - 9^{\circ} 07' 36'' \text{ W}$ e profundidade de -89 m.



LEGENDA

B- Posição média das bóias-ondógrafo: $40^{\circ} 12' 00'' \text{ N} - 9^{\circ} 7' 36'' \text{ W}$, prof.: -89 m (ZH)

C- Buarcos: $40^{\circ} 09' 55'' \text{ N} - 08^{\circ} 54' 07'' \text{ W}$, prof.: -11 m (ZH)

Figura 2 – Região da Figueira da Foz e de Buarcos. Localização da posição média das bóias-ondógrafo na Figueira da Foz, ponto B. Localização do ponto C em Buarcos.

Apresentam-se de seguida alguns exemplos da obtenção dos diversos regimes da agitação marítima na Figueira da Foz cujas características dependem das decisões efectuadas quanto às amostras, modelos de distribuição e associação de períodos e direcção da onda.

(1) Regime de extremos local

Para estabelecimento do regime de extremos local, na Figueira da Foz, e aplicando o procedimento descrito em 2.2:

- São extraídos dos relatórios do IH os valores de altura máxima anual e altura significativa máxima anual e direcções e períodos associados. O número de valores da amostra será correspondente ao número de anos de observações válidas.
- É aplicado o programa ADAPTA para o ajuste das distribuições à amostra considerada. A distribuição que conduziu a melhores resultados para a amostra dada foi a de Gumbel;
- É calculado o regime de extremos local para vários períodos de retorno (normalmente de 10, 50 e 100 anos - este último a título meramente indicativo) o qual é constituído pelos valores:
 - A – de extremos extrapolados de altura de onda: altura significativa máxima, HS_A , e altura máxima, HM_A , para os períodos de retorno seleccionados;
 - B – médios do período de zero ascendente, TZ_A ou gama de períodos associados às alturas extremas;
 - C – médios da direcção da onda, Θ_A , ou gama de direcções associadas às alturas extremas.

O regime de extremos na Figueira da Foz, obtido quando da elaboração de um estudo recente referente a Sesimbra, Carvalho *et al.* (1999) é representado no Quadro 1, a seguir. Notar que os valores extremos de altura significativa para os diversos períodos de retorno, T, estão referidos a três sectores de direcções importantes na Figueira da Foz. O sector 270° a 300° (1ª linha) é o que apresenta valores extremos mais elevados, assim como períodos de zero ascendente, TZ, associados maiores.

Quadro 1 – Regimes locais de extremos de alturas de onda na F. Foz, por sectores de direcção.

		Período de Retorno, T		
		10 Anos	50 Anos	100 anos
θ (°)	TZ (s)	HS (m)		
270 a 300	8 a 20	8.7	11.0	12.0
240 a 270	6 a 20	5.7	8.4	10.0
210 a 240	6 a 20	5.6	7.8	8.8

(2) Regime médio local

Para o estabelecimento de um regime de agitação marítima médio na Figueira da Foz, calcula-se, para cada mês, a média de HS_{med} , HM_{med} , TZ_{med} e Θ_{med} , assim como os respectivos desvios-padrão, HS_{dp} , HM_{dp} , TZ_{dp} e Θ_{dp} . Estes valores, em número de 12, foram calculados com base nos dados fornecidos pelo IH, somente até Setembro de 1993, visto que foi nessa data que houve necessidade de calcular o regime médio para um estudo efectuado no LNEC, ver Quadro 2. Espera-se muito em breve actualizar este regime com base em dados mais recentes.

Neste quadro, a branco, apresentam-se os valores médios e os desvios-padrão referentes aos meses de Inverno Marítimo.

Com base nos valores do Quadro 2, podia-se nesta fase utilizar um modelo de distribuição de probabilidade aproximada para uma ou mais das variáveis HS, HM, TZ ou Θ . tal como é mostrado à frente na Figura 7.

Quadro 2 – Regime médio na Figueira da Foz.

Mês	HS _{med}	HS _{dp}	HM _{med}	HM _{dp}	TZ _{med}	TZ _{dp}	Θ _{med}	Θ _{dp}
Jan	2.58	1.00	4.12	1.59	8.66	1.63	292	11.7
Feb	2.67	1.32	4.28	2.08	8.36	1.64	297	12.9
Mar	2.38	0.95	3.83	1.53	7.95	1.64	299	13.8
Apr	1.97	0.80	3.18	1.29	6.87	1.07	297	14.0
May	1.58	0.66	2.60	1.11	6.23	1.12	296	16.7
Jun	1.47	0.53	2.41	0.88	6.10	0.98	300	12.7
Jul	1.21	0.45	1.99	0.76	5.68	0.90	302	11.2
Aug	1.48	0.56	2.43	0.94	6.27	1.09	303	11.5
Sep	1.50	0.66	2.45	1.08	6.76	1.23	298	17.4
Oct	2.06	0.96	3.34	1.56	7.37	1.43	298	13.0
Nov	2.28	1.03	3.67	1.65	7.67	1.55	295	12.1
Dec	2.48	1.24	3.97	2.00	8.11	1.77	292	14.6

(3) Regime geral observado local

Para o estabelecimento do regime geral observado na Figueira da Foz, são extraídos dos relatórios do IH, os valores de HS, HM, TZ, e Θ, para todos os registos em que houve observação de Θ. Nestas circunstâncias, formou-se uma amostra na Figueira da Foz, referida ao período de 1984 a 1996 e constituída por 13 464 registos locais.

A partir desta amostra podem calcular-se distribuições conjuntas, de que se apresentada um exemplo na Figura 3, a seguir (HS, Θ). Histogramas semelhantes podem ser construídos para (HS, TZ), (HM, Θ), (HM, TZ), etc.

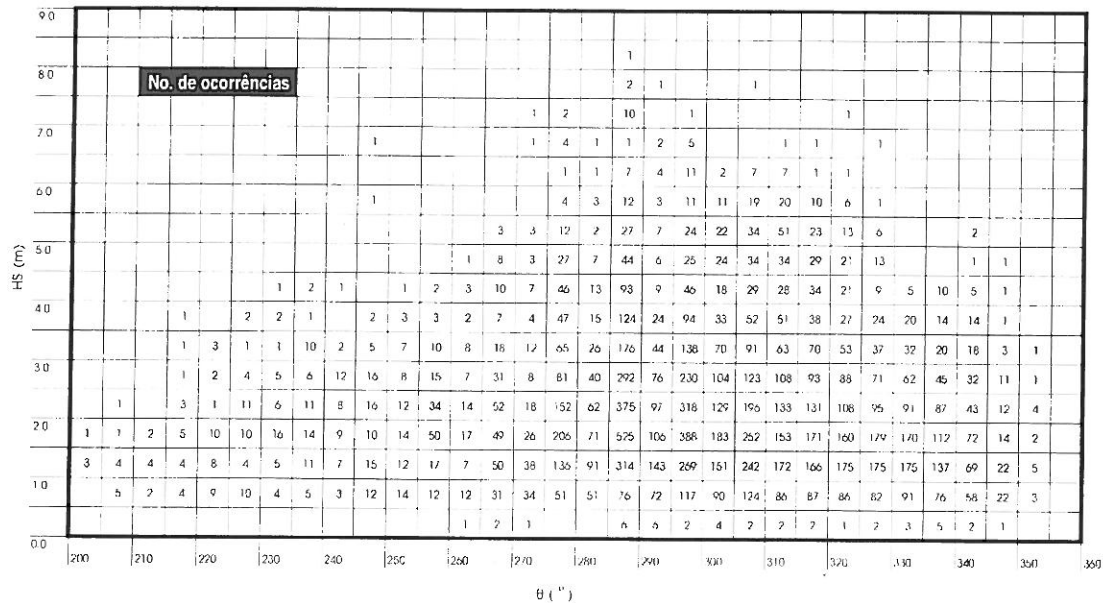


Figura 3 – Regime de agitação marítima observado ou geral da Figueira da Foz - Distribuição conjunta de (HS, Θ).

3 Estabelecimento de regimes de agitação marítima num local com base em dados de bóias-ondógrafo obtidos noutra local afastado

3.1 Modelos matemáticos usados na passagem do regime de agitação para o largo e do largo para a costa.

Para a transferência de regimes de agitação, utiliza-se o modelo matemático de refacção de ondas irregulares do LNEC - BACKTRACK e REFSPEC, Covas e Pontes (1988) e o programa de interpolação - INTERPOL - Capitão *et al.* (1994), descritos sumariamente a seguir. Chama-se a atenção para o facto de esta metodologia ser comum à transferência de regimes extremos, médio ou geral definidos no local onde existem dados de bóias-ondógrafo.

BACKTRACK calcula o percurso dos raios de onda para uma dada batimetria. Este programa calcula e desenha os leques de refacção e cria um ficheiro contendo, para cada leque correspondente a uma certa frequência, os valores das grandezas características das ondas e uma tabela com os valores das direcções Θ e Θ_0 dos raios no ponto e em águas profundas. Os principais dados de entrada são os valores das coordenadas do ponto de origem dos leques, a frequência de cada leque, os valores mínimo e máximo do ângulo Θ no ponto e o respectivo incremento $\Delta\Theta$, os níveis de maré de referência, bem como os valores da profundidade nos nós de uma quadrícula regular de célula quadrada. Os resultados dos cálculos relativos a cada leque de refacção são constituídos pelos desenhos do leque de refacção global, por uma listagem dos valores das principais grandezas características da onda referentes a esses leques de refacção, e ainda pelo ficheiro acima referido.

REFSPEC efectua a propagação de ondas irregulares desde o largo até à costa tendo em conta unicamente o fenómeno da refacção. Utiliza os resultados do BACKTRACK para determinar num ponto, em águas pouco profundas, a resposta a um espectro de águas profundas. O espectro de águas profundas é definido como o produto de uma função de distribuição direccional (do tipo potência par da função coseno, funções de Gauss ou *stereo-Wave Observation Project*) por um espectro em frequência do tipo Pierson-Moskowitz, JONSWAP, Newman ou Bretschneider. Este espectro é caracterizado pelo período de pico, direcção espectral média (coincidente com a direcção espectral de pico, uma vez que a função de distribuição direccional é simétrica e não há influência do fundo) e um parâmetro s de dispersão da distribuição direccional. Os resultados produzidos são constituídos, para além da listagem do espectro direccional em direcção e em frequência no ponto considerado, pela relação entre a altura significativa no ponto e em águas profundas, H/H_0 , pelo período de zero ascendente, TZ , pela direcção espectral de pico, Θ , e pela direcção espectral mediana Θ_m .

INTERPOL é um programa usado para estimar, por interpolação, valores numa grelha bi-dimensional de valores tabelados de TZ , Θ e H/H_0 e de dois vectores unidimensionais de valores de cada uma das variáveis independentes TZ e Θ_0 . Os valores de entrada deste programa são os que resultam dos cálculos de REFSPEC (valores de H/H_0 , TZ , Θ e Θ_m , em função dos valores correspondentes ao largo TZ_0 e Θ_0) e os resultados são as características do clima de agitação (H , TZ e Θ) ao largo ou num ponto junto à costa, consoante se está a efectuar a transferência das características da agitação marítima local dum ponto na costa para o largo, ou do largo para um ponto na costa.

3.2 Metodologia de passagem do regime de agitação da costa para o largo e do largo para a costa

3.2.1 Transferência do regime de agitação local para o largo

O estudo é iniciado pela caracterização da batimetria da região em estudo e do ponto (coordenadas e profundidade) onde foi definido o regime de agitação marítima local, (Ponto 1

da Figura 1). Este ponto é o ponto de origem dos leques de refração a calcular por BACKTRACK.

Considerando as direcções e períodos de onda locais (θ , T_z), a gama de direcções e de períodos ao largo (θ_0 e T_{z0}) pode ser estimada, ver Figura 4. Estes valores são usados nos programas REFSPEC e BACKTRACK. Para utilizar REFSPEC é necessário ainda definir o espectro em águas profundas através da escolha de uma função de distribuição direccional e de um espectro em frequência. Normalmente é usada a função de distribuição direccional do tipo potência par da função coseno e o espectro de JONSWAP, para espectro em frequência. Aplicando os programas BACKTRACK e REFSPEC, obtêm-se os valores de θ , T_z e H/H_0 no Ponto 1, como função dos valores do período e da direcção da onda ao largo (T_{z0} , θ_0).

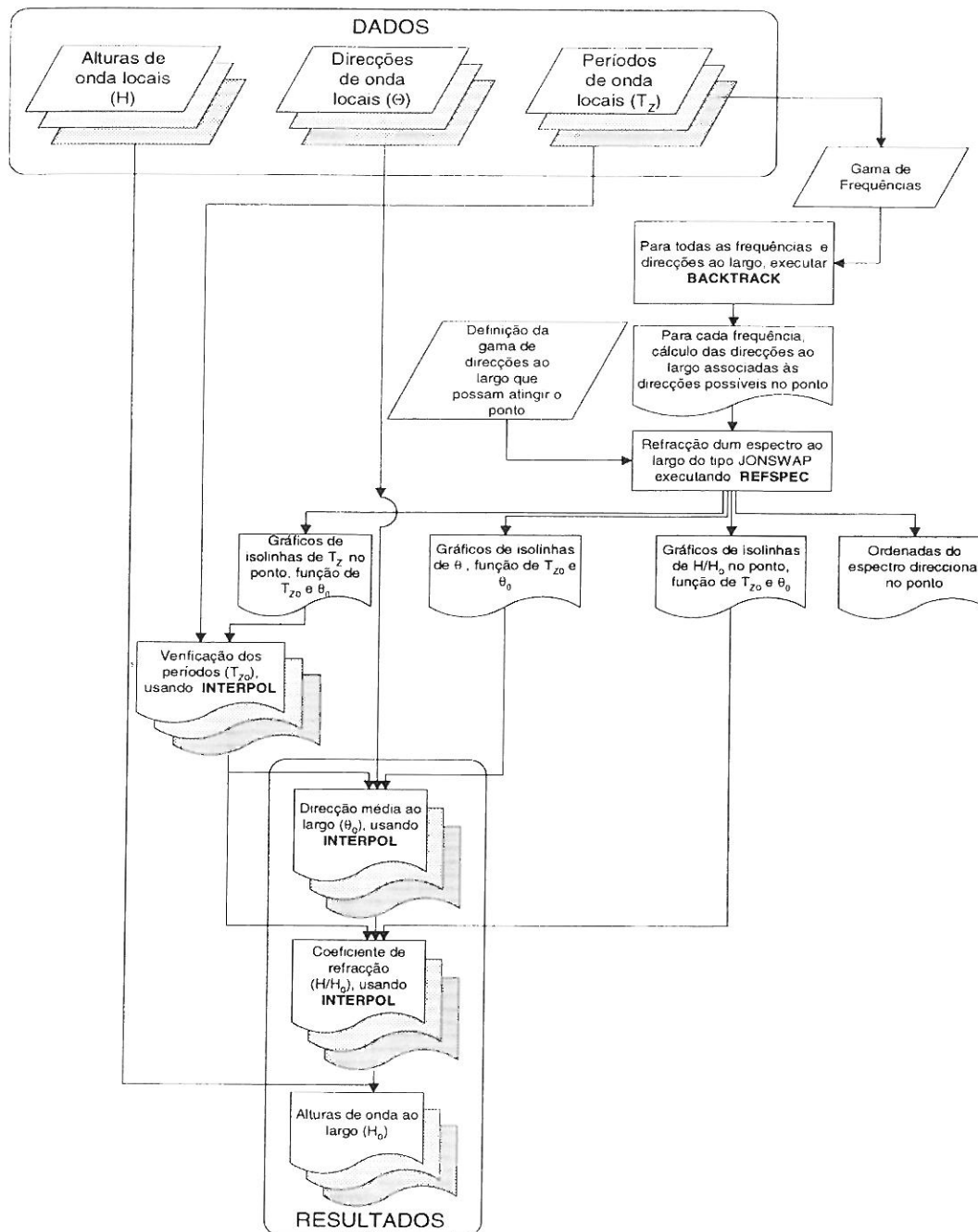


Figura 4 – Esquema de transferência de regimes de agitação - Programas utilizados.

Com estes valores, o programa *INTERPOL* calcula as características das ondas ao largo (Ponto 2), H_o e Θ_o , correspondentes ao regime de agitação local estabelecido no Ponto 1. Assim para cada conjunto de valores de H (altura de onda local), TZ (período médio de zero ascendente) e Θ (direcção de onda local), *INTERPOL* calcula o correspondente trio de valores H_o , TZ_o , Θ_o (altura, período e direcção ao largo) o que vai representar o regime de agitação ao largo.

Em resumo, para efectuar a transferência do regime de agitação marítima local (Ponto 1) para o largo (Ponto 2), há que efectuar:

- (1) Cálculos de refacção de ondas irregulares:
 - Definição do regime de agitação (H , T , Θ) no Ponto 1 onde foram recolhidos dados de agitação marítima por bóias-ondógrafo, conforme referido em 2.;
 - Definição das características do Ponto 1 (coordenadas e profundidade) e da batimetria da região em estudo;
 - Definição do espectro ao largo. As gamas de períodos de pico e de direcção média do espectro ao largo são estimadas a partir das gamas do regime de agitação local;
 - Uso do programa *BACKTRACK* para cálculo dos leques de refacção, tendo como ponto de origem dos leques de refacção o Ponto 1;
 - Uso do programa *REFSPEC* para cálculo da propagação do espectro desde o largo até ao Ponto 1.
- (2) Cálculos das características do regime de agitação marítima ao largo (H_o , TZ_o , Θ_o) com o programa *INTERPOL*, no Ponto 2.

Estes procedimentos estão esquematizados na Figura 4, acima.

3.2.2 Transferência do regime de agitação do largo para um ponto junto à costa

Uma vez conhecido o regime de agitação marítima ao largo (Ponto 2), este pode ser transferido para um ponto qualquer junto à costa (Pontos 3, 4 ou 5, ver Figura 1) através também da utilização dos programas *BACKTRACK*, *REFSPEC* e *INTERPOL*.

Neste caso, há que efectuar:

- (1) Cálculos de refacção de ondas irregulares:
 - Definição das características dos Pontos 3, 4 ou 5 (coordenadas e profundidade) e da batimetria da região em estudo;
 - Definição do espectro ao largo. As gamas de períodos de pico e de direcção média do espectro ao largo são definidas com base nas gamas presentes no regime de agitação definido ao largo (ponto 3.2.1);
 - Uso do programa *BACKTRACK* para cálculo dos leques de refacção, a partir dos Pontos 3, 4 ou 5, que são agora os pontos de origem dos leques de refacção;
 - Uso do programa *REFSPEC* para cálculo da propagação do espectro desde o largo até aos Pontos 3, 4 e 5.
- (2) Cálculo das características do regime de agitação marítima nos Pontos 3, 4 ou 5 (H , TZ , Θ) com o programa *INTERPOL* correspondente ao regime de agitação ao largo, Ponto 2.

O esquema dos passos referido na Figura 4, acima, aplica-se quer à transferência de regimes de agitação marítima da costa para o largo, quer do largo para a costa. No primeiro caso, os dados são constituídos pelos trios (H local, TZ local e Θ local) e os resultados são os correspondentes ao largo, ao passo que no segundo caso, inverte-se a situação.

3.3 Casos de aplicação

3.3.1 Regime geral observado em Buarcos

Para ilustrar a aplicação do método descrito em 3.2, será definido nesta secção o regime geral observado de Buarcos, Ponto C (ver Figura 2), a partir do regime geral observado na Figueira da Foz, o qual foi definido no capítulo 2.

Numa primeira fase, considerando que o largo da Figueira da Foz é aproximadamente o mesmo que o largo de Buarcos, procedeu-se à passagem do regime de agitação marítima observado na Figueira da Foz para o largo, definindo-se assim o regime de agitação marítima observado ao largo da Figueira da Foz.

Após a digitalização da batimetria da região da Figueira da Foz, foram efectuados cálculos de refração de ondas irregulares com os modelos BACKTRACK e REFSPEC. Para tal, considerou-se o espectro de JONSWAP para períodos de pico entre 4 e 26 s e a função de distribuição direccional do tipo potência par (2s) da função coseno, tomando a direcção média do espectro ao largo valores entre 190° e 350°. Estes valores de período e direcção foram escolhidos por estimativa das gamas de frequências e direcções que chegam provavelmente à Figueira da Foz.

Usando os resultados do modelo REFSPEC, o programa INTERPOL é usado para calcular os valores de H_0 , TZ_0 e Θ_0 correspondentes a cada trio de valores (H, TZ, Θ) do histograma observado na Figueira da Foz (Figura 3).

Para obter a relação $TZ=f(HS)$, efectuou-se um cálculo de regressão linear, que conduziu à fórmula $TZ = 0.99 HS + 5.37$, a qual, apesar de ter um coeficiente de correlação, r , de apenas 0.62, é útil para associação à distribuição conjunta (HS, Θ), nas passagens costa→largo→costa.

O histograma ao largo calculado a partir do histograma observado na Figueira da Foz (ver Figura 3) é apresentado na Figura 5. O número total de ocorrências considerado neste histograma é agora de 13 357, isto é, 107 dos 13 464 registos iniciais locais não foram transferidos para o largo, o que representa uma muito pequena limitação da passagem.

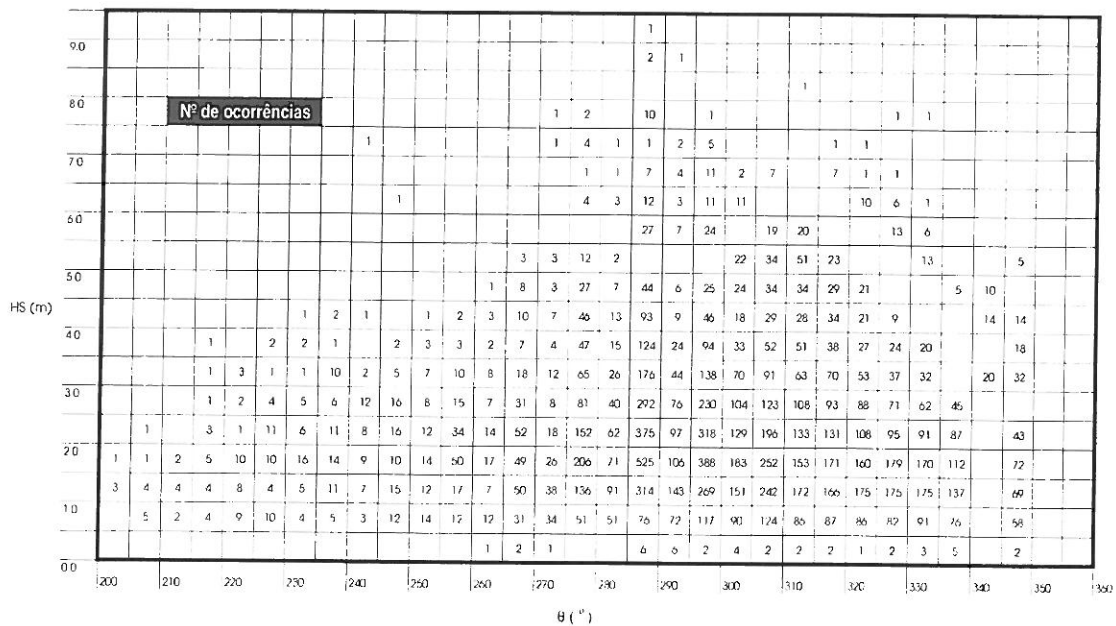


Figura 5 – Regime de agitação marítima observado ao largo da Figueira da Foz - Distribuição conjunta de (HS, Θ).

Numa segunda fase, o regime de agitação marítima observado ao largo foi transferido para um ponto próximo de Buarcos, ponto C, utilizando a metodologia atrás referida. Ver Capitão *et al.* (1997).

Após a digitalização da batimetria da região de Buarcos, foram calculados os leques de refração a partir do ponto C e efectuados cálculos de refração de ondas irregulares com os modelos BACKTRACK e REFSPEC. Considerou-se o espectro de JONSWAP para períodos de pico entre 4 e 22 s e a função de distribuição direccional do tipo potência par (2s) da função coseno tomando a direcção média do espectro ao largo valores entre 200° e 320°. Estes valores de período e direcção foram escolhidos com base nas gamas de frequências e direcções que constituem o histograma do regime de agitação marítima ao largo da Figueira da Foz e têm em consideração que algumas das direcções de onda mais extremas (de Norte) e alguns períodos de onda elevados não atingem a zona de Buarcos.

Usando os resultados do modelo REFSPEC, o programa INTERPOL calcula os valores de H, TZ e Θ no ponto C correspondentes a cada trio de valores (H_0 , TZ_0 , Θ_0) do histograma ao largo, Figura 5.

O histograma no ponto C calculado a partir do histograma observado ao largo da Figueira da Foz é apresentado na Figura 6. Repare-se que todas as 13 357 ocorrências consideradas ao largo da Figueira da Foz foram passadas para Buarcos, isto é, apenas não foram transferidos para Buarcos da Figueira da Foz 107 da totalidade dos registos iniciais (por limitações várias, e unicamente na passagem Figueira da Foz → largo) .

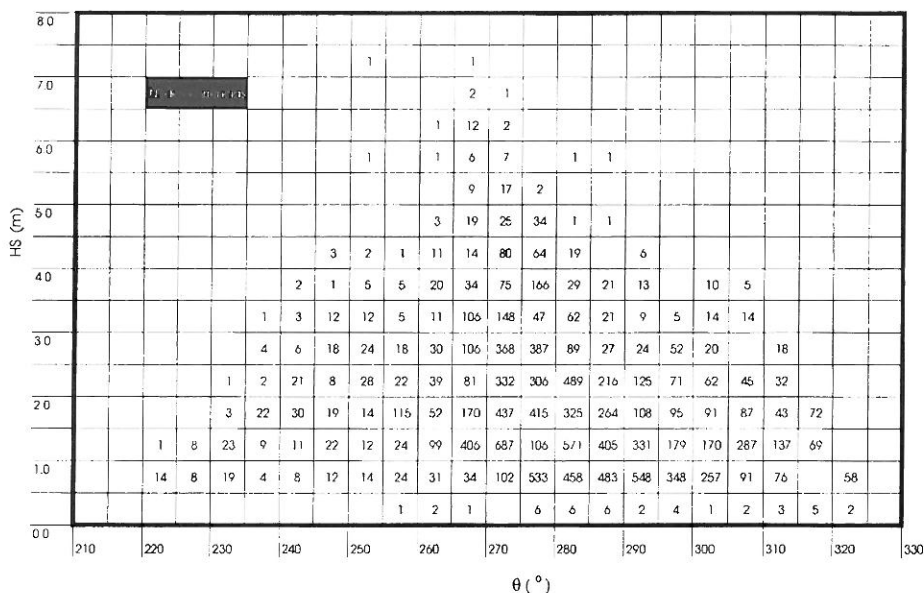


Figura 6 – Regime observado de agitação marítima em Buarcos - Distribuição conjunta de (HS, Θ).

Notar que nas passagens F. Foz→largo e largo→Buarcos há que ter em consideração as seguintes limitações:

- O regime de agitação observado obtido na zona de Buarcos foi transferido do largo da Figueira da Foz considerando que este "largo" não se afastaria significativamente do "largo" de Buarcos, o que é perfeitamente plausível, aliás.
- São várias as limitações do modelo de refração utilizado, uma vez que se trata de um modelo de ondas irregulares que tem em conta unicamente a configuração do fundo mas não considera outros efeitos lineares (difracção e reflexão) e não lineares (dissipação de energia).

- O espectro considerado neste estudo, para todos os regimes, foi um espectro empírico de JONSWAP, de banda estreita ($s = 10$), no que respeita a direcções.
- O leque de direcções locais da Figueira da Foz é extenso. Direcções extremas de, por exemplo, 190° e 350° , associadas a períodos muito baixos (de 3 a 6 segundos) podem ser geradas por ventos locais sendo portanto desnecessária a sua transferência para largo e, posteriormente, para os pontos considerados junto à costa.

3.3.2 Regime médio em Leixões

De igual forma ao efectuado em Buarcos, para o regime geral, ilustra-se a seguir a aplicação do mesmo método na definição do regime de agitação marítima médio em Leixões, a partir do regime de agitação marítima médio observado na Figueira da Foz, definido atrás. Ver Carvalho e Capitão (1996b).

Quadro 3- Regime médio de agitação marítima em Leixões, por transferência da F. Foz.

Transferência da altura significativa média mensal para $s=10$ - h_{med10}									
	Regime na Figueira da Foz			Regime ao largo			Regime em Leixões		
	$HS_{med}(m)$	$TZ_{med}(m)$	$\Theta_{med}(m)$	$HS_{med}(m)$	$TZ_{med}(m)$	$\Theta_{med}(m)$	$HS_{med}(m)$	$TZ_{med}(m)$	$\Theta_{med}(m)$
Janeiro	2.58	8.66	292	2.62	8.82	292	2.42	8.82	289
Fevereiro	2.67	8.36	297	2.70	8.50	297	2.47	8.50	293
Março	2.38	7.95	299	2.40	8.06	299	2.20	8.06	296
Abril	1.97	6.87	297	1.97	6.94	297	1.87	6.94	295
Mai	1.58	6.23	296	1.58	6.28	296	1.52	6.28	295
Junho	1.47	6.10	300	1.47	6.15	300	1.42	6.15	299
Julho	1.21	5.68	302	1.21	5.72	302	1.19	5.72	301
Agosto	1.48	6.27	303	1.48	6.32	303	1.42	6.32	301
Setembro	1.50	6.76	298	1.50	6.83	298	1.42	6.83	296
Outubro	2.06	7.37	298	2.06	7.46	298	1.92	7.46	295
Novembro	2.28	7.67	295	2.29	7.77	295	2.13	7.77	292
Dezembro	2.48	8.11	292	2.50	8.23	292	2.33	8.23	289

Assim, o Quadro 3 mostra a transferência da altura significativa média mensal, com valores de período e direcção associados, desde a Figueira da Foz para o largo e daqui para um local relativamente distante, Leixões. Notar também que não são apresentados os desvios-padrão HS_{dp} , HM_{dp} , TZ_{dp} e Θ_{dp} por razões de clareza do quadro.

A partir dos valores do regime em Leixões, do Quadro 3, e dos respectivos desvios-padrão (não são apresentados), obteve-se, utilizando o modelo de distribuição de Weibull a distribuição para HS_{med} , para o mês de Julho, em Leixões, apresentada na Figura 7, a seguir.

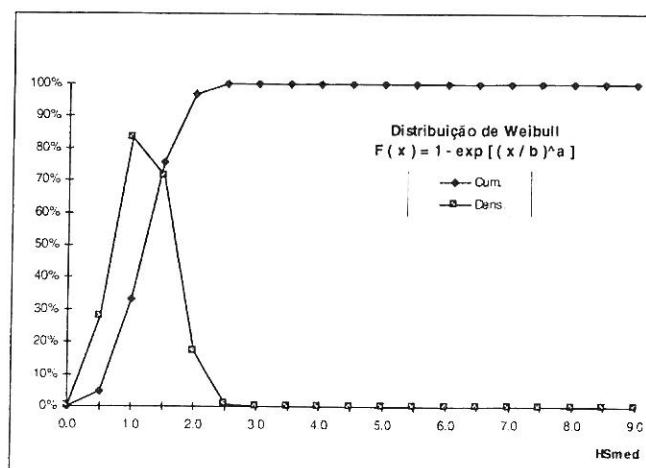


Figura 7 – Distribuição de HS_{med} em Julho, em Leixões.

3.3.3 Regime de extremos em Leixões

Analogamente, para o mesmo local, apresenta-se no Quadro 4 o regime de extremos em Leixões transferido da Figueira da Foz.

Quadro 4- Regime de extremos de agitação marítima em Leixões, por transferência da F. Foz.

s = 10	Regime de Extremos em Leixões			
T (ano)	HS_A	HM_A	TZ_A	Θ_A
10	5.1 a 11.1	8.5 a 19.0	12.0 a 23.2	270 a 299
50	6.0 a 13.7	10.3 a 23.1		
100	6.5 a 14.5	11.0 a 24.8		

4 Conclusões

Apresentou-se, nesta comunicação, um conjunto de procedimentos para a definição de regimes de agitação em locais onde existem dados de agitação marítima provenientes de bóias-ondógrafo de boa qualidade e em quantidade suficiente para o estabelecimento desses regimes. Este procedimento foi aplicado à Figueira da Foz para obtenção dos regimes de extremos, médio e observado.

Para outros locais, onde era necessário definir um regime de agitação mas não existiam ou eram pouco fiáveis os dados de agitação marítima, utilizou-se uma metodologia de transferência de regimes de agitação marítima. Alguns dos resultados da transferência do regime geral observado na Figueira da Foz para as zonas de Buarcos e Leixões foram aqui apresentados. Este método foi também aplicado na definição de regimes em Óbidos, Nazaré e Ferrel, três localizações próximas da Figueira da Foz. Apesar da escassez e deficiências dos dados, esta metodologia conduz a bons resultados. Só quando houver mais dados disponíveis, se poderá avaliar as vantagens dos métodos aqui apresentados. No entanto, note-se que em locais onde a difracção, a reflexão e outros fenómenos tenham papel significativo, a aplicação dos modelos BACKTRACK e REFSPEC deixa de ser válida, pelo que haverá que recorrer a outros modelos mais adequados.

Agradecimentos

Alguns dos resultados aqui apresentados fazem parte do projecto de investigação PO-Waves financiado pela NATO, intitulado "Clima de agitação na costa portuguesa". Os autores agradecem este financiamento. Os autores Conceição Fortes e Afonso Covas agradecem ainda ao projecto PRAXIS XXI Nº 2/2.1/TPAR/2082/95, o financiamento concedido para apresentação desta comunicação.

Referências

- Capitão, R.; Fortes, C.J., Carvalho, M.M. (1997) - *Análise da dinâmica costeira no troço Cabo Mondego – Estuário do Mondego – Erosões em Buarcos – Estudo de agitação marítima*. Relatório 167/97-NPP, LNEC, Lisboa, Julho.
- Capitão, R.; Fortes, C.J., Reis, T.V., Carvalho, M.M.; Covas, J.A. (1994) - *A method for obtaining deep water wave characteristics based on the local sea wave*

climate. Seminário Luso-Francês de Modelação em Hidráulica Marítima, Coimbra, 11-13 Julho.

- Carvalho, M.M.; Capitão, R. (1990) - *Ajustamento Gráfico de Distribuições*. Relatório 250/90-NPP, LNEC, Lisboa, Novembro.
- Carvalho, M.M.; Capitão, R. (1996a) - *Valores Extremos da Agitação Marítima na Costa Oeste de Portugal*. Artigo da revista da "Recursos Hídricos", APRH, Vol 17, No. 1, pp. 33-42.
- Carvalho, M.M.; Capitão, R. (1996b) - *Instalação de uma monobóia para descarga de petróleo bruto para a refinaria do Porto. Caracterização da agitação marítima*. Relatório 200/96-NPP, LNEC, Lisboa.
- Carvalho, M.M.; Sancho, F.S.; Capitão, R.; Fortes, C. (1999) - *Estudo das condições de galgamento do enraizamento do molhe do porto de pesca de Sesimbra. Estudos de agitação marítima*. Relatório 61/99-NPP. LNEC, Lisboa, Março.
- Covas, J.A.; Pontes, M.T. (1988) - *Modelo matemático de refração de ondas irregulares*. LNEC e LNETI, Março.

