

6^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária
Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

Tabela 2– Alturas de onda limite em portos de recreio. Critério recomendado pela PIANC.
 (Adaptado: PIANC, 1997)

Comprimento da embarcação (m)	Ondas de través		Ondas de proa	
	Período (s)	H _s lim (cm)	Período (s)	H _s lim (cm)
4 - 10	< 2	20	< 2,5	20
	2 - 4	10	2,5 - 4	15
	> 4	15	> 4	20
10 - 16	< 3	25	< 3,5	30
	3 - 5	15	3,5 - 5,5	20
	> 5	20	> 5,5	30
20	< 4	30	< 4,5	30
	4 - 6	15	4,5 - 7	25
	> 6	25	> 7	30

O tamanho das embarcações que podem frequentar a marina da Póvoa de Varzim está regulamentado no ponto 4, do artigo 3º do capítulo II do Regulamento de Utilização da Marina da Póvoa:

“É vedado o acesso à Marina de barcos com mais de 18 metros de comprimento fora a fora, 11 metros de boca e ou o calado superior a 3 metros, salvo autorização especial da Autoridade Marítima a solicitação prévia dos responsáveis da Marina.”

O estudo foi realizado para ondas geradas pelo vento (ondas de *swell*), cujo período no local poderá variar entre 6 e 18 s. Assim, a altura de onda máxima no interior do porto de recreio deve ser inferior a 20 cm, caso a onda atinja uma embarcação de través, ou, 30 cm, no caso de a onda embater na embarcação pela proa. Verifica-se que a pior situação é quando a onda ataca o barco lateralmente.

Os parâmetros utilizados para a caracterização da agitação marítima no trabalho desenvolvido foram escolhidos com base num trabalho realizado pela CEHIDRO para o estudo da agitação à entrada do porto de Leixões, dada a proximidade de Leixões e da Póvoa de Varzim. Foram assim efectuadas simulações para ondas com rumos NW, W e W-20ºS, períodos de pico de 14,0 e 18,0 s e alturas de onda significativas na fronteira oceânica de:

- $H_{m0} = 7,00$ m e $H_{m0} = 5,00$ m para $T_p = 14,0$ s;
- $H_{m0} = 10,0$ m e $H_{m0} = 6,00$ m para $T_p = 18,0$ s.

A maneira mais eficaz de resolver o problema de agitação existente consiste em construir obras de protecção adicionais. Estas obras de abrigo podem ser feitas pelo interior ou pelo exterior do porto. Foram, assim, testadas 4 soluções diferentes, duas obras de abrigo pelo exterior (solução A e B) e duas pelo interior (solução C e D), para tentar melhorar as condições de utilização da marina (Figura 4 e Figura 5).

Tabela 3 – Soluções ensaiadas.

Soluções ensaiadas			
Exterior	A	A1	Prolongamento do molhe norte em cerca de 185 m, mantendo a mesma direcção do quebra-mar existente.
		A2	Prolongamento do molhe norte em cerca de 180 m, considerando-se o prolongamento um pouco curvado.
	B	B1	Construção de um contra-molhe no molhe sul com 250 m.
		B2	Construção de um contra-molhe no molhe sul com 295 m.
Interior	C	Construção de um quebra-mar com 100 m, ligado à cabeça do molhe sul, perpendicular a este.	
	D	Construção de dois quebra-mares destacados, com 45 m cada um, perpendiculares ao molhe sul.	

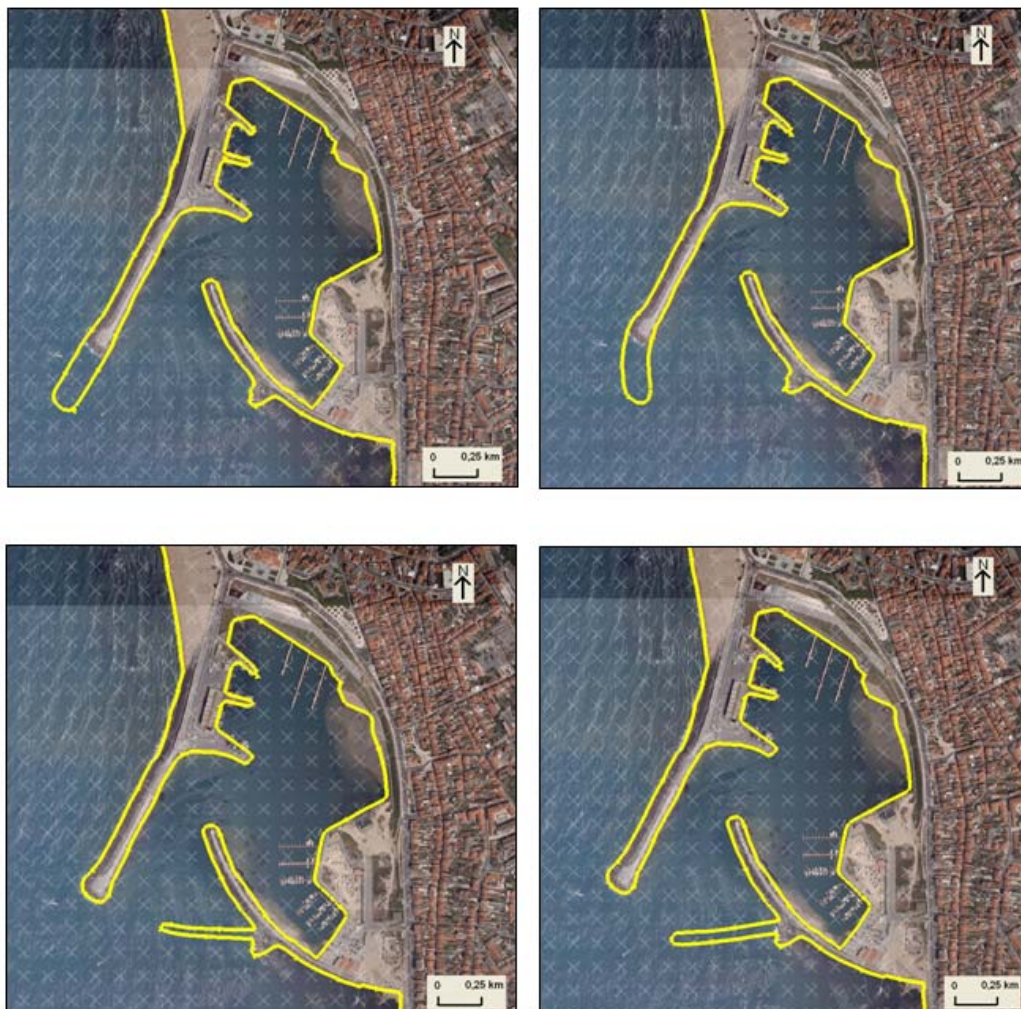


Figura 4 – Porto da Póvoa de Varzim. Representação esquemática das soluções pelo exterior: Solução A1 – em cima à esquerda; Solução A2 – em cima à direita; Solução B1 – em baixo à esquerda; Solução B2 – em baixo à direita.

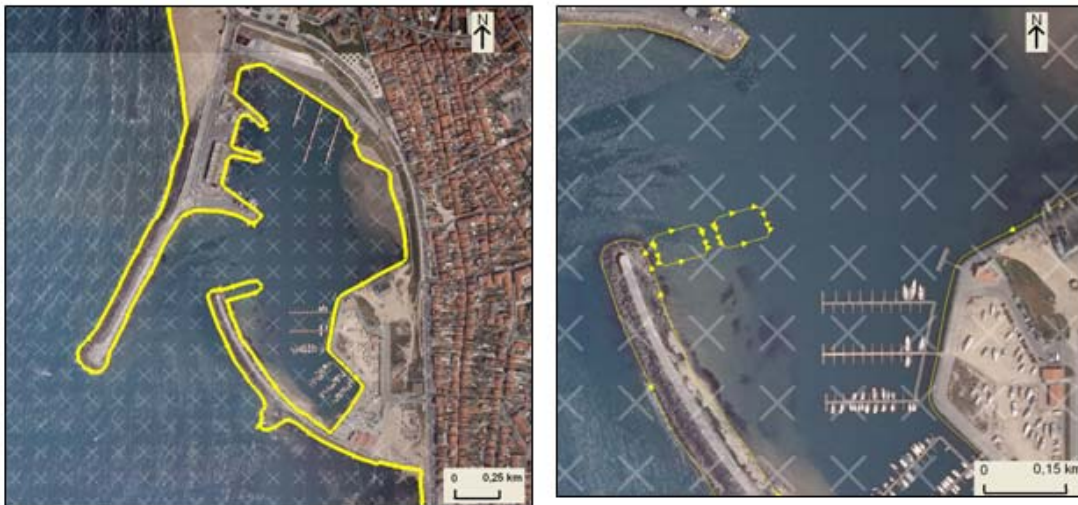


Figura 5 – Porto da Póvoa de Varzim. Representação esquemática das soluções pelo interior:
Solução C (esquerda); Solução D (direita)

Inicialmente foram feitas, para cada um dos rumos e para ondas com $T_p=14,0$ s, simulações em relação ao nível médio (NM) das águas do mar para a situação actual, que se tomou como de referência e para as diferentes soluções propostas. O nível médio das águas do mar no local de estudo encontra-se 2,0 m acima do zero hidrográfico, segundo a Tabela de Marés. Através da análise destes resultados escolheu-se a melhor solução pelo exterior e a melhor pelo interior. De seguida, para estas duas soluções efectuaram-se simulações para o nível de preia-mar (PM), que se encontra 3,95 m acima do zero hidrográfico, e tendo em conta o efeito do atrito de fundo. Em nenhum dos casos foi considerada a rebentação.

Como o valor que caracteriza o atrito de fundo é bastante difícil de quantificar, optou-se por analisar dois casos extremos:

- fundo rugoso, com grandes quantidades de vegetação;
- fundo liso, com pouca vegetação.

Para o primeiro caso adoptou-se $n=0,12$ (Hartwing, 2005) e para o segundo $n=0,05$ (Chow, 1981). Assim, analisando estas duas situações consegue-se perceber se o efeito do atrito de fundo influencia os resultados. No entanto, o valor mais baixo caracteriza melhor a situação do porto da Póvoa de Varzim, que tem um fundo de areia pouco rugoso e com pouca vegetação.

Na Tabela 4 apresenta-se um resumo dos cenários estudados para as diferentes situações analisadas.



Tabela 4 - Cenários estudados para os rumos NW, W-20°S e W.

	NM				PM	
	T _p =14,0 s e: - H _{m0} =5,00m - H _{m0} =7,00m	T _p =18,0 s e: - H _{m0} =6,00m - H _{m0} =10,00m	T _p =14,0 s H _{m0} =1,00m; n=0,12	T _p =14,0 s H _{m0} =1,00m; n=0,05	T _p =14,0 s e: - H _{m0} =5,00m - H _{m0} =7,00m	T _p =18,0 s e: - H _{m0} =6,00m - H _{m0} =10,00m
Situação de referência	X	X	X	X	X	X
Soluções propostas (A, B, C, D)	X					
Melhor solução pelo exterior e pelo interior		X	X		X	X

Para cada uma das simulações efectuadas para os diversos cenários estudados, analisaram-se três pontos específicos no interior do porto (A, B, C). O ponto A situado na zona da marina, mais especificamente, no lugar de amarração mais próximo da boca de entrada do porto; o ponto B situado na zona destinada às embarcações de pesca e o ponto C situado na zona frontal à entrada do porto.

6.2. Apresentação dos resultados

A apresentação dos resultados das simulações efectuadas para os cenários anteriormente descritos é feita através de diagramas de fase e de diagramas de alturas de onda.

Os diagramas de fase permitem ver a forma como a onda se propaga para o interior do porto (Figura 6). Permitem, também, ver de maneira bastante nítida os fenómenos de reflexão e difracção da onda quando esta entra em contacto com as obras de abrigo. Com os diagramas de altura é possível ver a distribuição das alturas de onda na zona abrangida pelo modelo de cálculo.

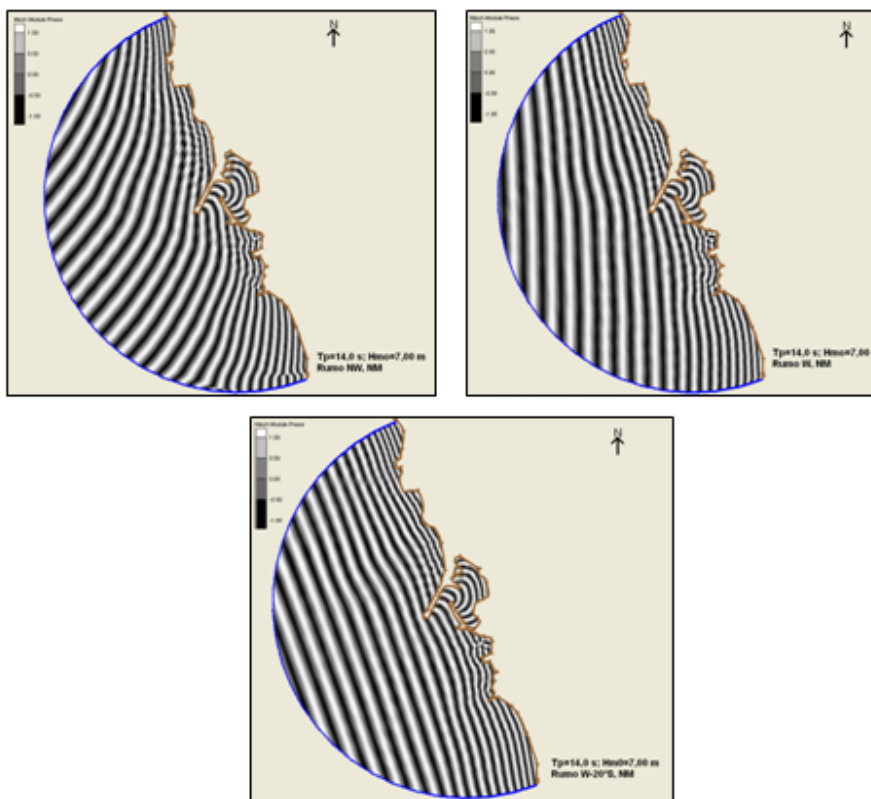


Figura 6 – Porto da Póvoa de Varzim. Diagramas de fases.

Na Figura 7 encontram-se representados alguns dos diagramas de altura de onda obtidos, correspondendo os representados às simulações para ondas com $T_p=14,0s$, $H_{m0}=7,00$ e direcção $W-20^\circ S$.

Por observação dos diagramas seguintes e análise dos resultados obtidos, concluiu-se que as melhores soluções de abrigo são a solução A2 pelo exterior e a solução C pelo interior. No entanto, tanto a solução C como a solução D apresentam resultados muito semelhantes e relativamente aceitáveis, havendo uma melhoria significativa da tranquilidade no interior do porto na zona da marina. Já era de esperar que o prolongamento do molhe norte (solução A2) fosse uma solução eficaz, dada a orientação das ondas no local em estudo, no entanto, esta solução não parece ser muito viável, dado os elevados custos de uma obra deste tipo. Relativamente às duas variantes estudadas na solução B, onde se esperava que os resultados fossem favoráveis, não melhoram em nada as condições de agitação da marina, sendo mesmo as hipóteses que piores resultados apresentaram, para qualquer uma das simulações efectuadas.

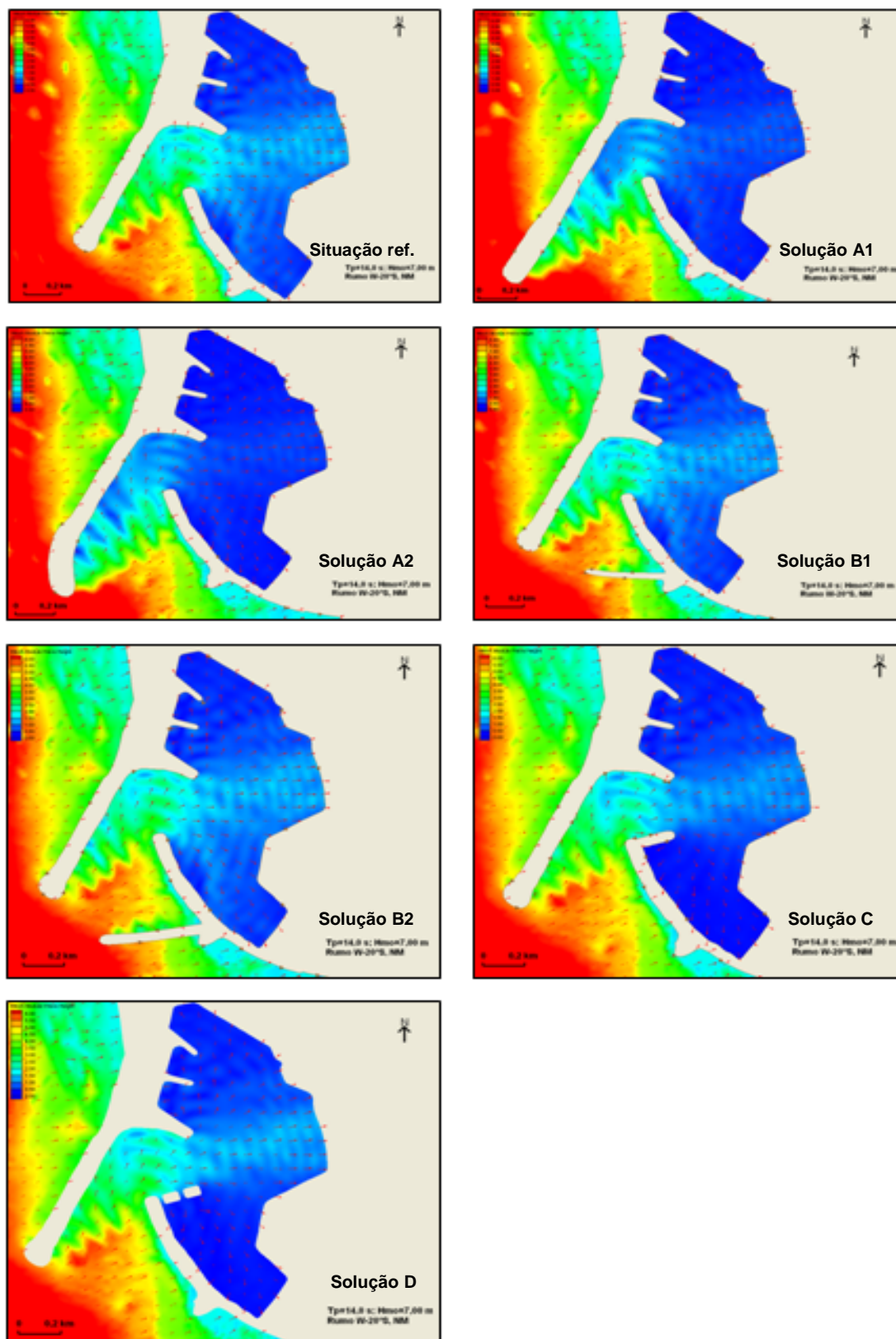


Figura 7 – Porto da Póvoa de Varzim. Diagramas de altura de onda. Da esquerda para a direita, de cima para baixo: situação de referência; solução A1; solução A2; solução B1; solução B2; solução C; solução D.



7. Conclusão

Os resultados obtidos vão de encontro às queixas que têm sido apresentadas pela administração do porto da Póvoa de Varzim relativamente à falta de tranquilidade sentida na zona da marina.

Estudaram-se quatro soluções de abrigo pelo exterior e duas pelo interior, para tentar diminuir a agitação que atinge o interior do porto, analisando diversos cenários, para ondas geradas pelo vento com períodos de pico de 14,0s e 18,0s e com diferentes rumos ao largo (W, W-20°S e NW). As alturas de onda significativa consideradas ao largo foram de 5,00m e 7,00m para um $T_p = 14,0s$, e 6,00 m e 10,00m para um $T_p = 18,0s$. Note-se que quanto maior for a altura de onda ao largo, para um mesmo período de pico, maior é a agitação que atinge o interior do porto. Os resultados obtidos demonstram isso mesmo.

Das várias soluções analisadas concluiu-se que a solução A2, onde se analisou o prolongamento do molhe norte em cerca de 180 m, e a solução C, que consiste na construção de um quebra-mar com 100 m, ligado à cabeça do molhe sul, são as duas soluções que melhor satisfazem as condições pretendidas para que a marina possa ser utilizada sem restrições. Os resultados obtidos permitiram concluir ainda que:

- as ondas que vêm de NW raramente causam problemas de agitação no interior do porto;
- as ondas vindas de W-20°S são as que mais se propagam para o interior do porto, causando grandes problemas de agitação marítima em quase todo o abrigo portuário;
- o efeito do atrito de fundo não influencia os resultados;
- os níveis de maré abordados influenciam os resultados de forma diferente;
- é difícil abrigar o porto de uma maneira eficaz para as ondas com $H_{m0}=10,00$ m, que têm um período de retorno de 100 anos, mas para ondas com $H_{m0}=5,00$ m com um período de retorno de 10 anos, as duas soluções escolhidas garantem as condições de tranquilidade na marina;
- a orientação das ondas ajuda na estabilização das embarcações, quanto mais para o interior da marina se vai;
- nenhuma das soluções propostas piora as condições de agitação na zona do norte do porto.

O trabalho desenvolvido permite, assim, abrir caminho para que se façam estudos mais aprofundados e com um grau de precisão mais elevado, tendo como ponto de partida uma ideia das soluções possíveis que garantem as condições de tranquilidade na marina da Póvoa de Varzim.

No futuro é necessário efectuar um estudo económico para que se escolha a solução definitiva que possibilita o funcionamento do porto na sua máxima capacidade, uma vez que as melhores soluções do ponto de vista técnico nem sempre são as mais viáveis economicamente.



8. Bibliografia

CEHIDRO, 2004, Centro de Estudos de Hidrossistemas, APDL. Agitação à entrada do Porto de Leixões. Modelação matemática.

Chow, V. T., 1981. *Open-Channel Hydraulics*, Internacional Student Edition, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd., pp. 89 – 123.

Hartwing, M., 2005. IST, *Numerical Wave Simulation for long-period waves in the harbor of Leixões*.

Jones, N. L., and Richards, D. R., 1992, Mesh Generation for Estuarine Flow Models, *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, **118**, 599-614

PIANC Reports – “Commission for Sport and Pleasure Navigation”. *Review of Selected Standarts for Floating Dock Designs*. Supplement to Bulletin 93, January 1997

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a9/328px-Mapa_de_Portugal_-_Distritos_plain2.png