

OPTIMIZAÇÃO DA EXTENSÃO DAS 3.^a E 4.^a FASES DO PROLONGAMENTO DO QUEBRA-MAR LESTE DO PORTO DE SINES RECORRENDO A MODELAÇÃO NUMÉRICA

Sofia Costa Freire, João Barros e Lucília Luís (CONSULMAR, Projectistas e Consultores, Lda.)
Idalino Sabido e Luís Aparício (APS – Administração dos Portos de Sines e do Algarve, S.A.)

RESUMO

No Plano de Expansão do porto de Sines, entre outras ações, foi previsto que o quebra-mar leste do porto de Sines, que é atualmente constituído por 2 troços: o troço 1 com cerca de 1100 m e o troço 2 com 400 m, venha a ser prolongado em cerca de 500 m na 3.^a Fase de expansão (passando a totalizar 2000 m) e mais cerca de 500 m na 4.^a Fase, (passando a totalizar 2500 m).

Não obstante o previsto no Plano, com vista à optimização do prolongamento do quebra-mar Leste do molhe de Sines correspondente a cada fase, foram efetuadas, com recurso a modelação numérica, um conjunto de simulações que permitiram determinar, para diferentes cenários de prolongamento do cais, qual a extensão de molhe que se afigura técnica e economicamente mais vantajosa, ou seja, aquela cujo número de dias de inoperacionalidade é inferior ao da situação de referência.

1 – INTRODUÇÃO

O trabalho desenvolvido teve como principal objetivo otimizar a extensão do molhe prevista no âmbito da 3.^a e 4.^a Fases de expansão do Terminal de Contentores do Porto de Sines, através da estimativa das correspondentes condições de operacionalidade na bacia portuária e nas novas frentes de cais, face à incidência de ondas curtas.

O Terminal de Contentores do porto de Sines é atualmente protegido pelo Molhe Leste (cuja implantação se ilustra na Fig. 1), que consiste num molhe de taludes, com núcleo em material de todo-o-tamanho (TOT), sub-mantos em enrocamento e manto resistente em blocos de betão do tipo Antifer.

Para conferir o abrigo necessário ao terminal, a anteceder a extensão dos novos cais, foi também prevista a ampliação do Molhe Leste. Para o efeito, analisa-se qual a ampliação de molhe que se afigura mais adequada tendo em conta as várias extensões de cais propostas.

Assim, para o prolongamento do cais, atualmente com 940 m, avaliaram-se as seguintes fases de expansão do molhe:

- 500 m para proteger +415 m de cais acostável (3.^a Fase);
- Entre 600 a 700 m para proteger + 660 m de cais acostável (3.^a Fase A);
- Entre 750 a 900 m para proteger + 860 m de cais acostável (4.^a Fase).

De acordo com as várias extensões de cais e molhe, a ampliação do Molhe Leste considerada no âmbito desta apresentação encontra-se esquematizada na Fig. 1.



Fig. 1 – Esquema dos prolongamentos de cais e respectivo intervalo de extensão do molhe avaliados como soluções alternativas de expansão do Terminal de Contentores do Porto de Sines

2 – METODOLOGIA

A determinação de qual a extensão de molhe mais adequada, para proteger as novas extensões de cais, foi feita com base na propagação da agitação para o interior da bacia portuária do Terminal de Contentores implicando, a descrição do padrão de propagação da ondulação, e a sua caracterização no interior da bacia para análise e comparação entre as várias configurações alternativas analisadas.

Como as condições de agitação na zona próxima e interior da bacia dependem principalmente da difração, reflexão e das condições de propagação da ondulação registadas localmente, para avaliar esses efeitos foi simulada a propagação da ondulação no campo próximo recorrendo a um modelo de escala local. O modelo utilizado para o efeito foi o modelo comercial MIKE 21 – BW, que se baseia nas equações de Boussinesq, desenvolvido pelo DHI (Danish Hydraulic Institute) e que permite simular grande parte dos fenómenos associados à propagação das ondas em domínio local, nomeadamente os processos de empolamento, refração, difração, reflexão parcial, transmissão e rebentação.

Para obtenção das condições de propagação da ondulação na fronteira do modelo local recorreu-se ao modelo de refração espectral da CONSULMAR.

Para efeitos do estudo de operacionalidade, com base nos dados obtidos na boia ondógrafo de Sines no período de 1988-2016, foi definido o regime de agitação marítima, o qual é transferido para o interior do Terminal de Contentores, recorrendo aos modelos numéricos de propagação de ondas.

Com base nesses resultados, e considerando as características-tipo dos navios que utilizam normalmente o cais acostável, bem como as consequentes características máximas de agitação marítima permitidas (em especial, a altura de onda máxima) para a sua utilização, foi calculado o número de dias de inoperacionalidade, em diferentes zonas no interior da bacia portuária.

3 – PROPAGAÇÃO DA AGITAÇÃO NA ZONA COSTEIRA DE SINES

Para definição das condições de agitação marítima na fronteira do modelo de propagação local foram considerados os dados de ondulação disponíveis que correspondem aos registos tri-horários da boia ondógrafo direcional de Sines, localizada à profundidade de 97 m, cobrindo um período de cerca de 28 anos de dados (26 de maio de 1988 a 30 de setembro de 2016).

Estes dados encontram-se entre os mais completos e atuais, tendo sido ainda comparados com outras fontes de informação disponíveis, designadamente o “hindcast” de 37 anos do projeto europeu ERA-Interim, disponibilizado pelo European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF).

A duração de cada registo da boia ondógrafo é de 30 minutos, sendo estes obtidos a intervalos de 3 horas, exceto em situação de tempestade (altura significativa acima de 5 m), em que o intervalo passa, em geral, a 1/2 hora.

Os dados foram tratados pelo método direto (análise no tempo) e pelo método espectral, tendo-se optado pela utilização dos dados resultantes da aplicação do segundo, por serem aqueles que incluem informação sobre os rumos.

Na Fig. 2 é apresentada a localização da boia, a qual, dista mais de 7 km do molhe leste. Para a obtenção dos dados na fronteira do modelo local propagaram-se as condições de agitação registadas na boia até à fronteira que delimita o modelo local (PFA e PFB).

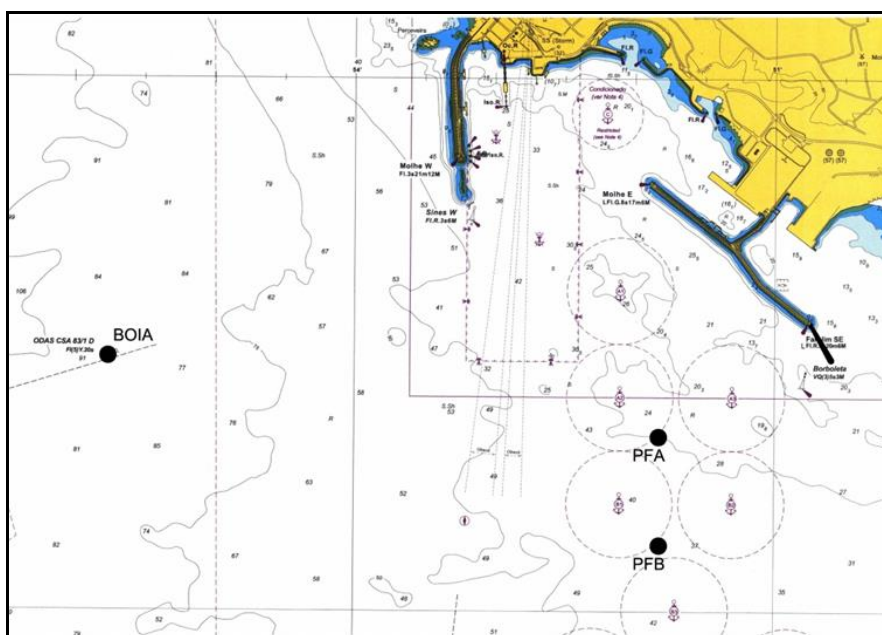


Fig. 2 – Localização da boia e dos pontos na fronteira do modelo local (PFA e PFB)

Para a transferência das observações foi utilizado um programa de cálculo de refração espectral por leques inversos de raios de onda, desenvolvido pela CONSULMAR, baseado no método estudado pela Hydraulics Research Station, no formato espectral completo, ou seja, considerando-se a distribuição de energias por frequência e por direção, através da adopção de espectros empíricos.

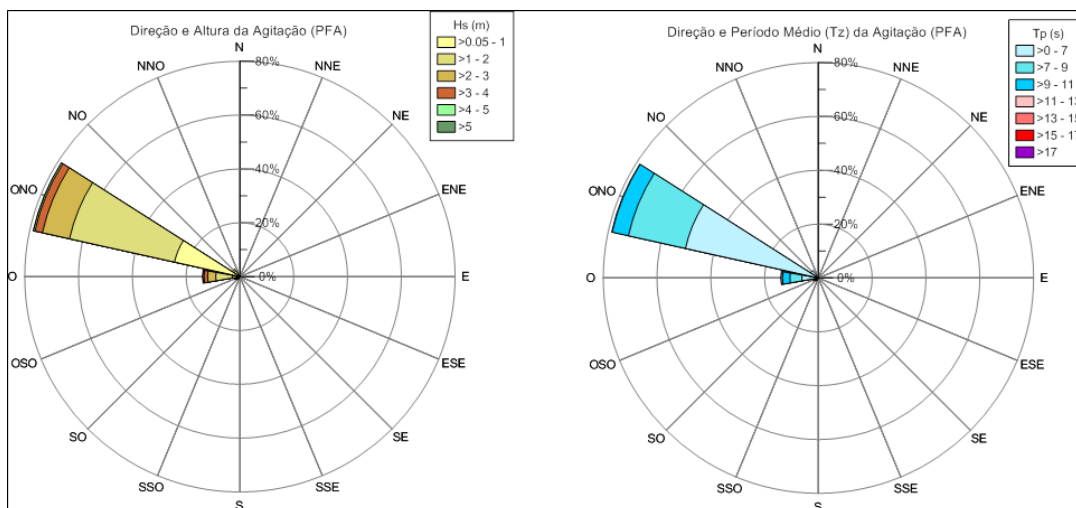


Fig. 3 – Direção, altura e período da agitação na fronteira do modelo local (PFA)

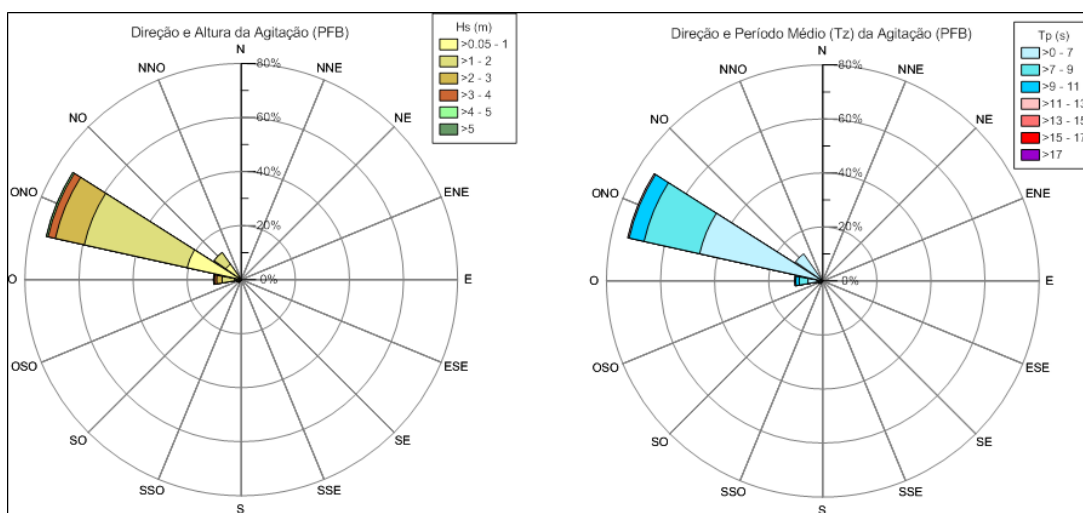


Fig. 4 – Direção, altura e período da agitação na fronteira do modelo local (PFB)

Comparando os resultados obtidos para os dois pontos, observou-se que as tendências são muito similares, notando-se ainda assim um ligeiro aumento da frequência de agitação com altura significativa superior a 5 m e maior concentração dos rumos em PFA face a PFB, o que deriva da posição do ponto PFA numa zona de maior concentração de energia devido à configuração do fundo e à menor profundidade face a PFB.

Pelo facto dos resultados obtidos no ponto PFA serem ligeiramente superiores em termos de períodos e alturas, apresentando igualmente rumos mais rodados a Sul, serão estes os dados considerados para a propagação até à zona do terminal de contentores.

Salienta-se que os dados do ponto PFA considerados nas análises dos capítulos seguintes correspondem a um ano médio, o que significa, que todos os resultados obtidos com base nestes dados, conduzem a valores médios, podendo em caso de Invernos mais ou menos gravosos se registarem na realidade alturas e períodos de onda superiores ou inferiores aos aqui estimados.

4 – PROPAGAÇÃO DA AGITAÇÃO NO TERMINAL DE CONTENTORES

4.1 – Domínio de cálculo

Considerou-se um domínio de cálculo para o estudo em modelo matemático, que corresponde a uma área de 4800 m x 4800 m.

A malha representando o domínio de cálculo, foi construída sobre uma malha regular composta por células de dimensão 4 m x 4 m, com uma representação até à batimétrica dos 35 m aproximadamente, num total de 1200 x 1200 células (ver Fig. 5).

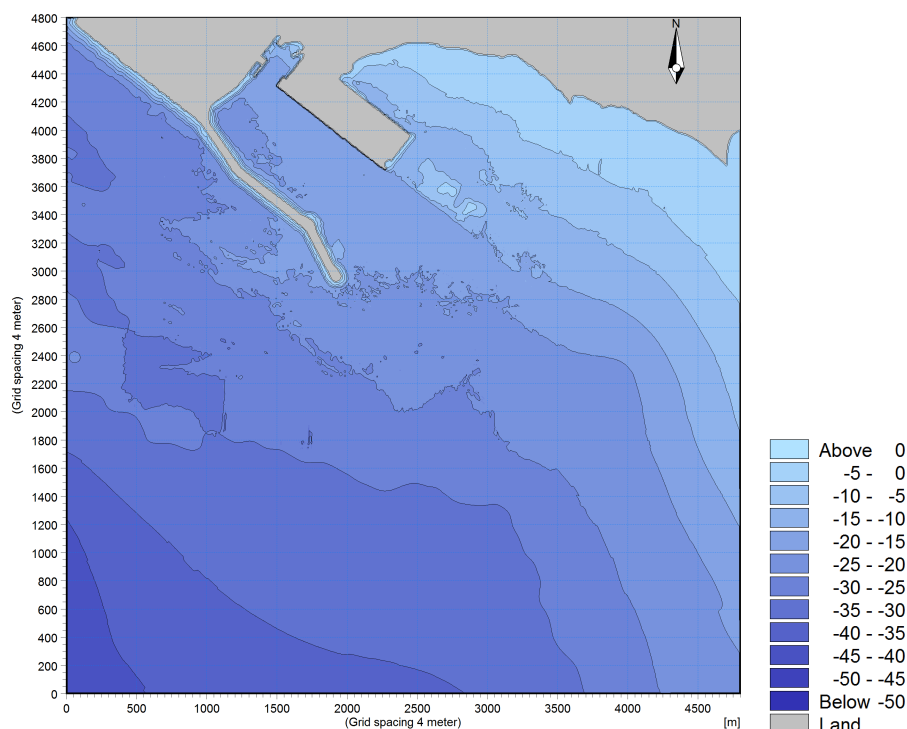


Fig. 5 – Domínio de cálculo da situação de referência

Para além da situação de referência, foram consideradas as seguintes configurações geométricas (ver Fig. 6).

Para a 3.ª Fase de expansão do cais com comprimento total de 1355 m:

- Configuração com prolongamento no alinhamento de 500 m.

Para a 3.ª Fase A de expansão do cais com comprimento total de 1600 m:

- Configuração com prolongamento no alinhamento de 700 m;
- Configuração com prolongamento no alinhamento de 650 m;
- Configuração com prolongamento no alinhamento de 600 m.

Para a 4.ª Fase de expansão do cais com comprimento total de 1800 m:

- Configuração com prolongamento no alinhamento de 900 m;
- Configuração com prolongamento no alinhamento de 850 m;
- Configuração com prolongamento no alinhamento de 800 m;
- Configuração com prolongamento no alinhamento de 750 m.

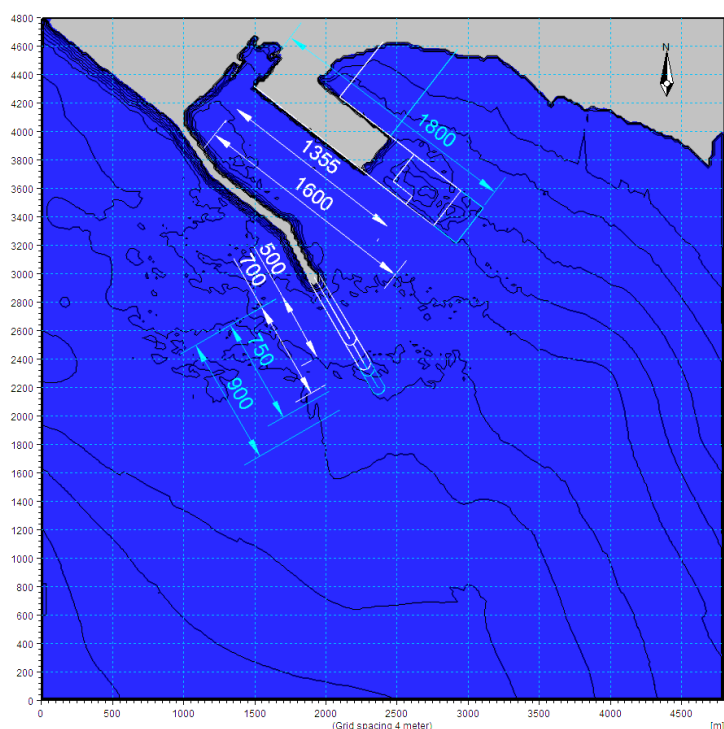


Fig. 6 – Configurações de projeto consideradas. A branco: 3.ª Fase e 3.ª Fase A; a azul claro: 4.ª Fase

4.2 – Condições de Fronteira

O modelo foi aplicado para um nível de maré médio, $NM = 2,0$ m, para condições de agitação com ondas irregulares unidirecionais, segundo o espectro de JONSWAP. Foram assim simuladas as direções SO (225°), OSO ($247,5^\circ$), O (270°) e ONO ($292,5^\circ$), para períodos de 8 e 12 s para todos os rumos, período de 16 s para os rumos de O e ONO e período de 20 s para o rumo de O, considerando uma altura significativa de onda de 1,0 m. No Quadro 1 são apresentadas as condições de agitação simuladas.

As condições de agitação incidente consideradas foram definidas com base na análise da estatística do clima de agitação no ponto PFA na fronteira do modelo. Assim, a seleção prendeu-se com as condições de maior frequência e de maiores valores de altura de onda. Incluiu-se igualmente o rumo de SO, que apesar de pouco frequente, as ondas daí provenientes incidem quase diretamente no cais. As condições selecionadas correspondem a 96% dos resultados obtidos no ponto PFA.


Quadro 1 – Condições de agitação simuladas

Direção da agitação	Hs (m)	Tp (s)	Nível de maré (m)
SO	1,0	8,12	2,0
OSO		8,12	
O		8, 12, 16, 20	
ONO		8, 12, 16	

Para além das condições anteriormente referidas, foi também definida a condição de fronteira de terra, tendo sido especificada como de reflexão total ou parcial, através da inclusão do efeito de dissipação em camadas de porosidade variável e ajustável.

No Quadro 2 apresentam-se os valores dos coeficientes de reflexão adotados para cada estrutura de acordo com a condição de fronteira ensaiada, estimados com base nas formulações da bibliografia da especialidade.

Quadro 2 – Coeficientes de reflexão adotados para cada estrutura



Estrutura	Tp=8 s	Tp=12 s	Tp=16 s	Tp=20 s
A	0.37	0.51	0.62	0.77
B	0.62	0.75	0.81	0.90
C	0.36	0.58	0.70	0.81
D	0.10	0.21	0.32	0.42
E	0.35	0.57	0.70	0.81
F	0.90	0.90	0.90	0.90
G	0.38	0.60	0.75	0.90
H	0.46	0.66	0.80	0.88
I	0.25	0.37	0.74	0.82

No âmbito deste estudo não se incluíram a análise de possíveis fenómenos de ressonância na bacia portuária do Terminal de Contentores.

4.3 – Resultados das simulações

Os resultados obtidos pelo modelo em cada simulação correspondem a mapas onde se representa o índice de agitação ou altura significativa normalizada pela altura incidente na fronteira do modelo. Nesta comunicação apresentam-se parte dos resultados, correspondentes à condição de maior período de pico de cada rumo e ao conjunto de prolongamentos analisados no contexto da 3ª Fase A e 4ª Fase de expansão, (ver Figs. 7 a 14).

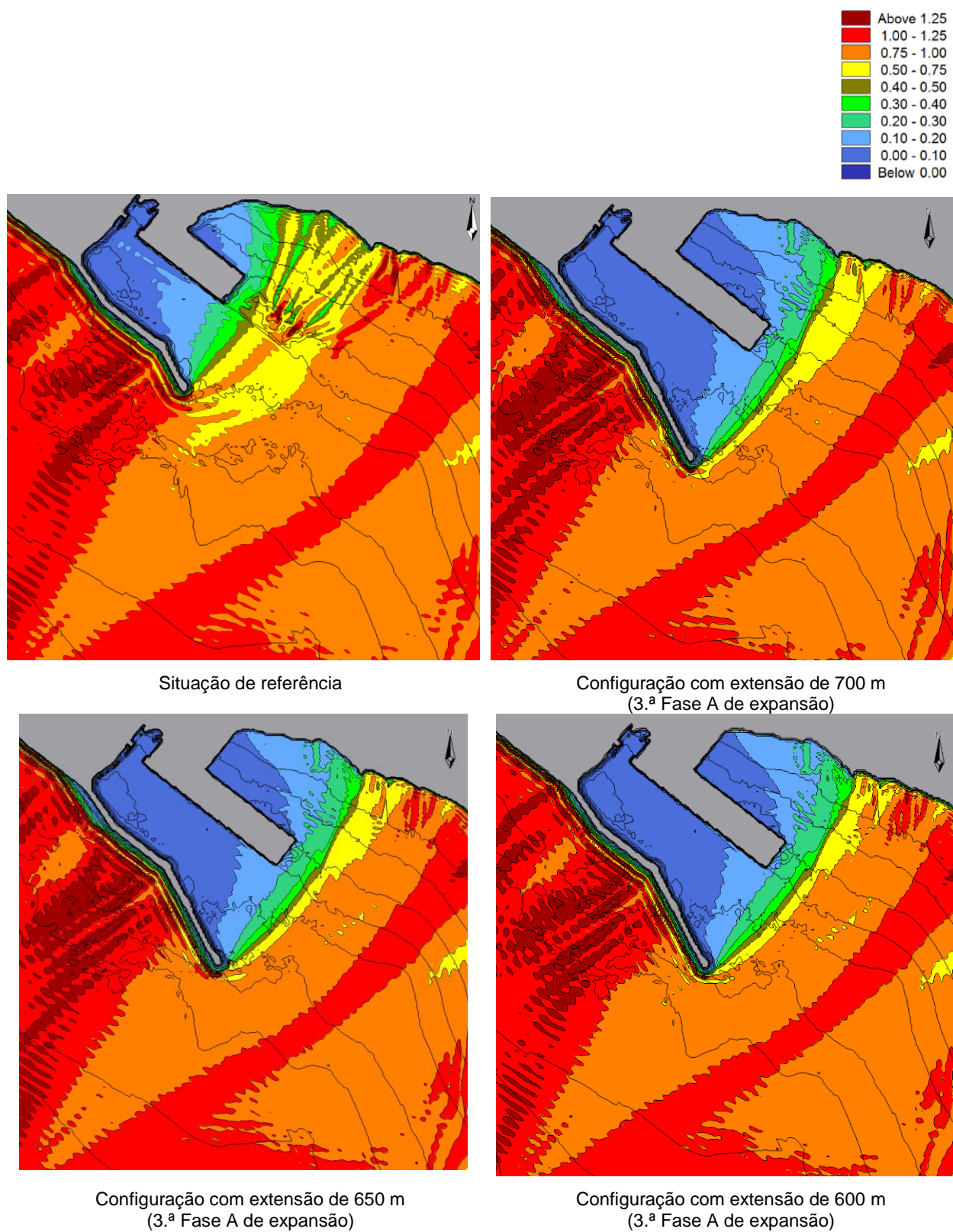


Fig. 7 – Distribuição dos índices de agitação no Terminal de Contentores do Porto de Sines — para as configurações da 3.^a Fase A (Direção SO; Hs = 1,0 m; Tp = 12 s)

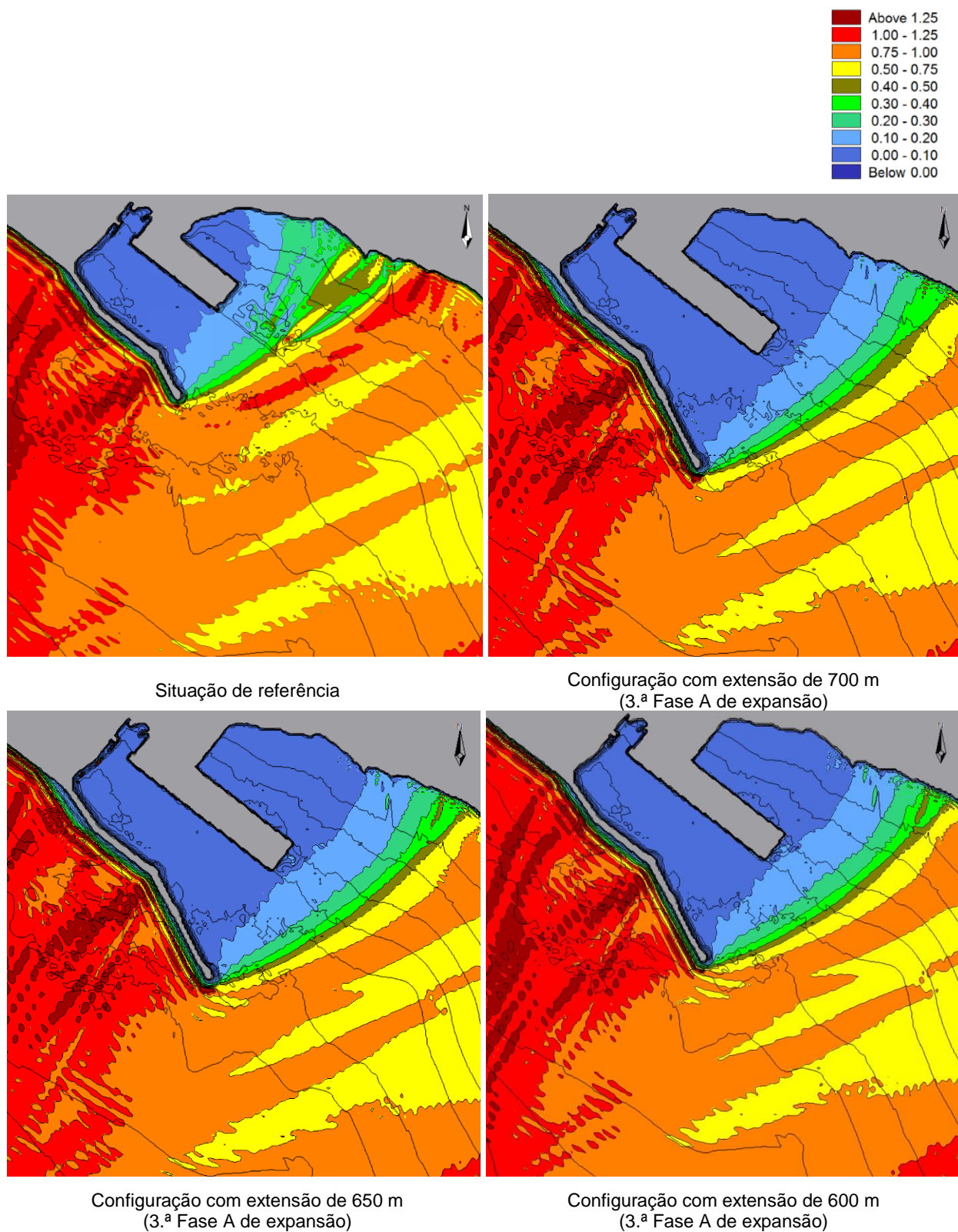


Fig. 8 – Distribuição dos índices de agitação no Terminal de Contentores do Porto de Sines — para as configurações da 3.ª Fase A (Direção OSO; Hs = 1,0 m; Tp = 12 s)

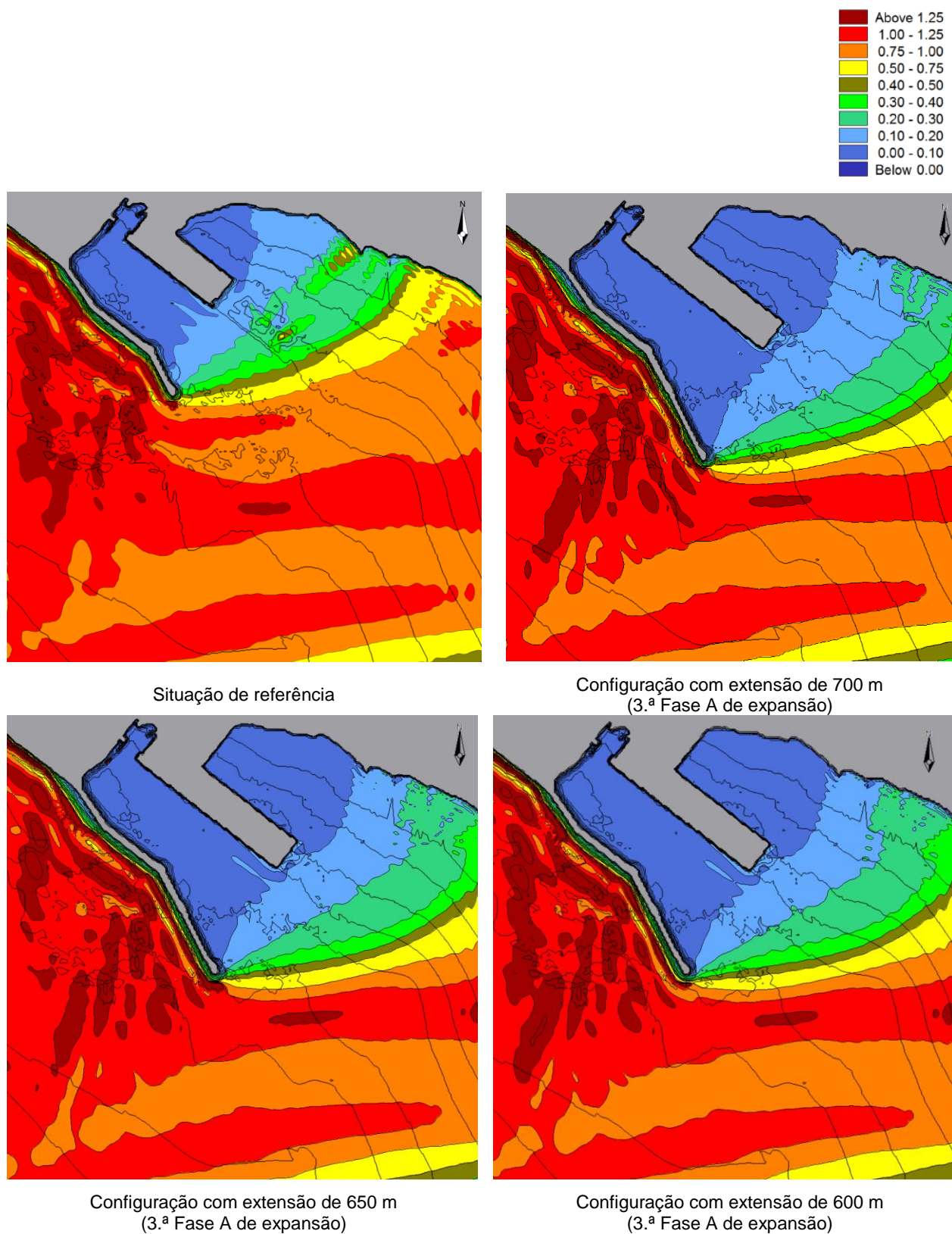


Fig. 9 – Distribuição dos índices de agitação no Terminal de Contentores do Porto de Sines — para as configurações da 3.ª Fase A (Direção O; Hs = 1,0 m; Tp = 20 s)

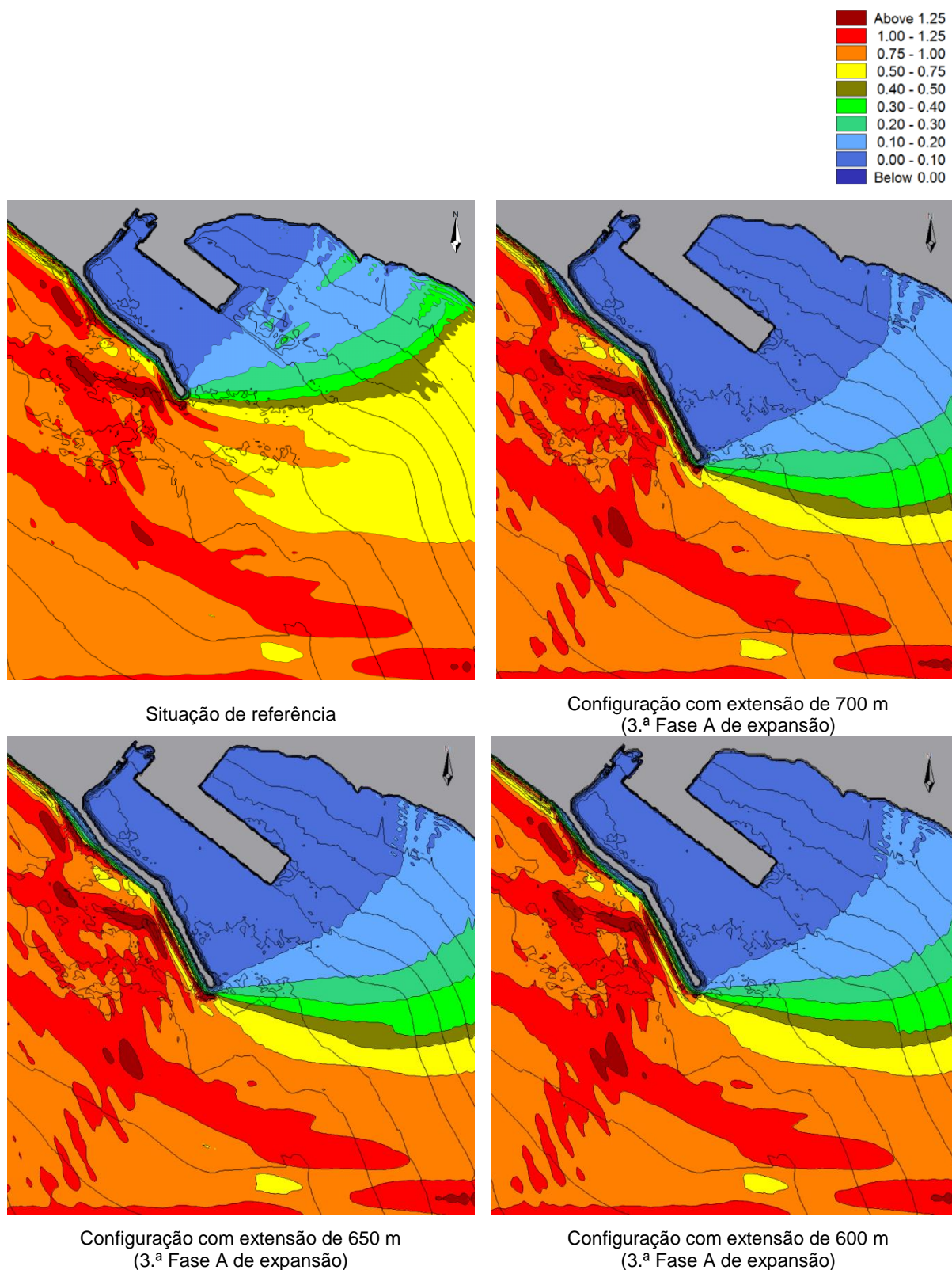
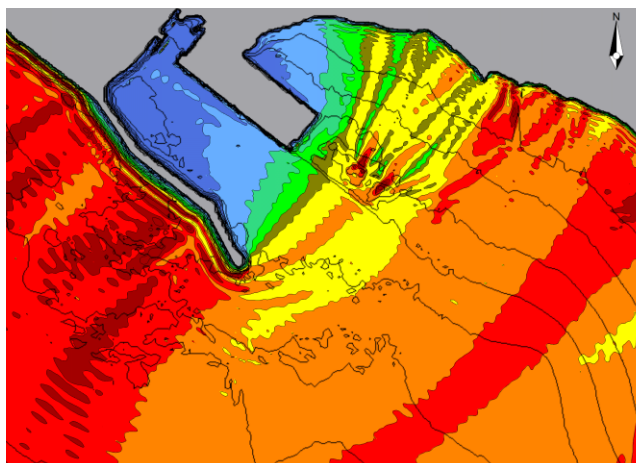
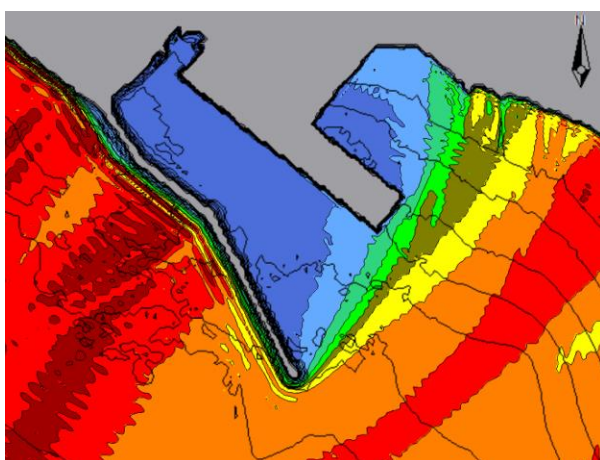
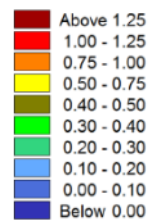


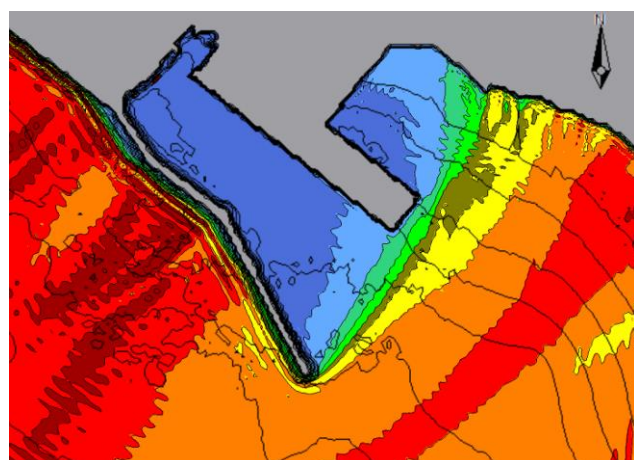
Fig. 10 – Distribuição dos índices de agitação no Terminal de Contentores do Porto de Sines — para as configurações da 3.^a Fase A (Direção ONO; $H_s = 1,0$ m; $T_p = 16$ s)



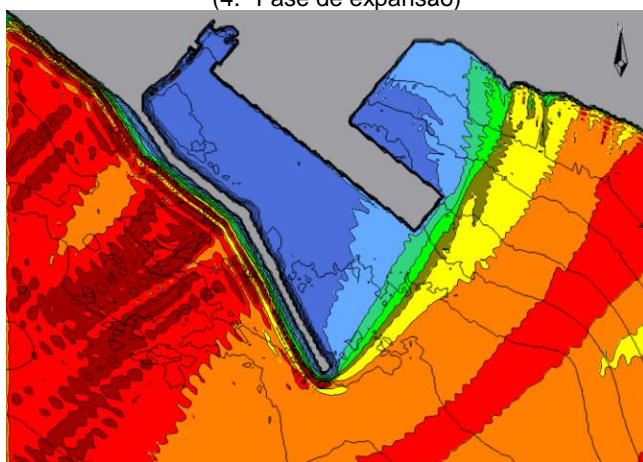
Situação de referência



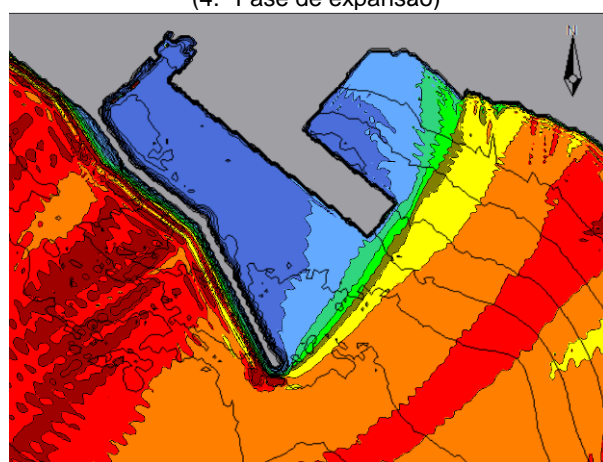
Configuração com extensão de 900 m
(4.ª Fase de expansão)



Configuração com extensão de 850 m
(4.ª Fase de expansão)

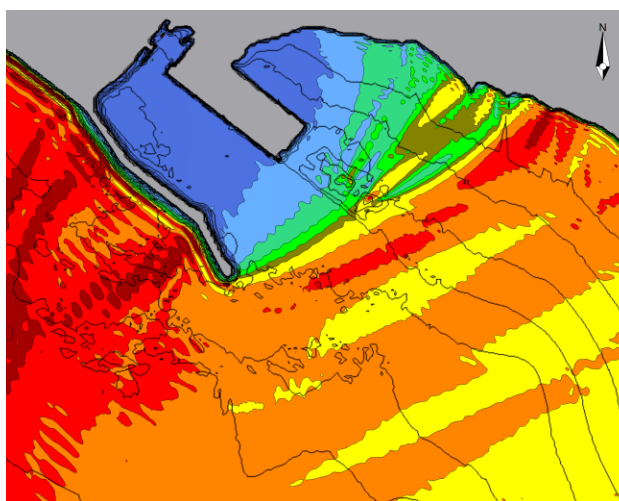


Configuração com extensão de 800 m
(4.ª Fase de expansão)

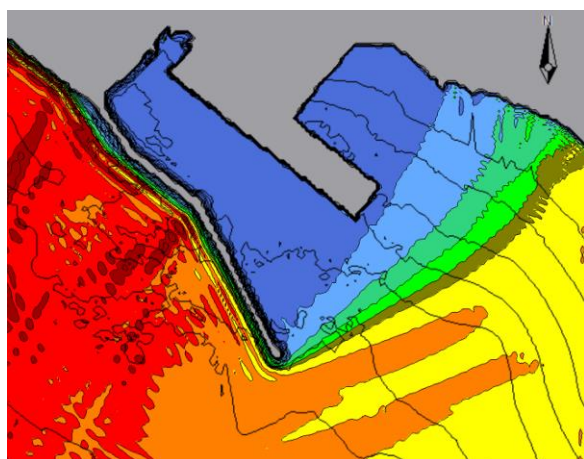
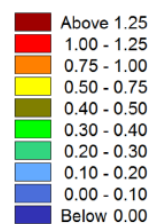


Configuração com extensão de 750 m
(4.ª Fase de expansão)

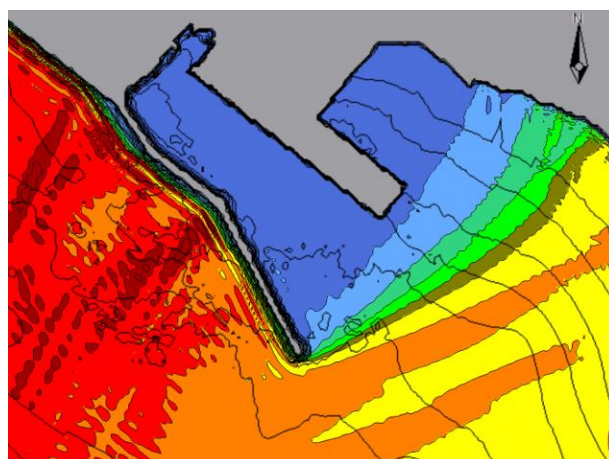
Fig. 11 – Distribuição dos índices de agitação no Terminal de Contentores do Porto de Sines — para as configurações da 4.ª Fase (Direção SO; Hs = 1,0 m; Tp = 12 s)



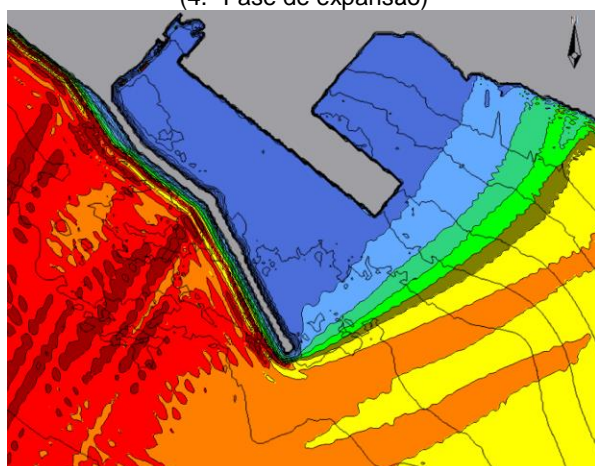
Situação de referência



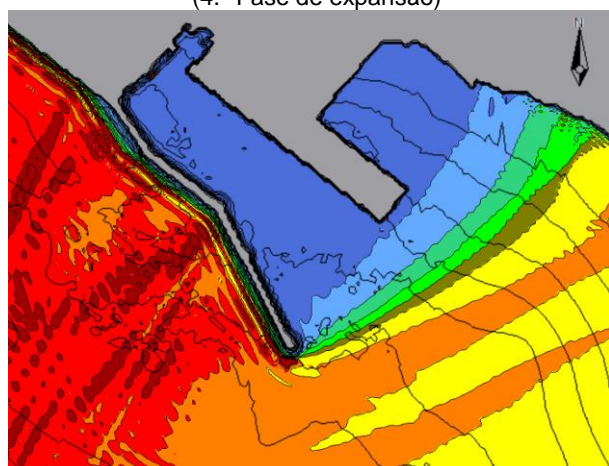
Configuração com extensão de 900 m
(4.^a Fase de expansão)



Configuração com extensão de 850 m
(4.^a Fase de expansão)

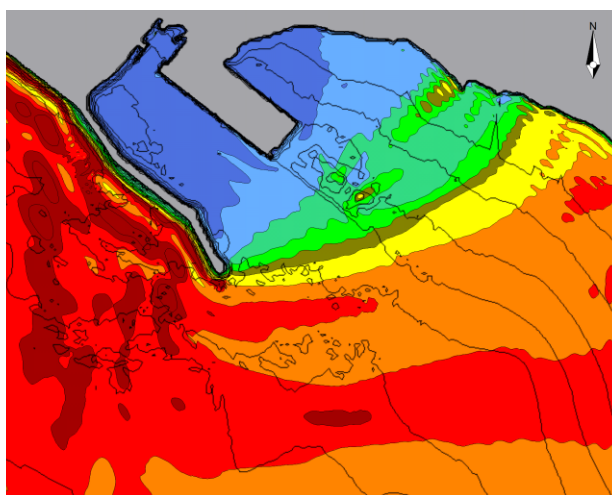


Configuração com extensão de 800 m
(4.^a Fase de expansão)

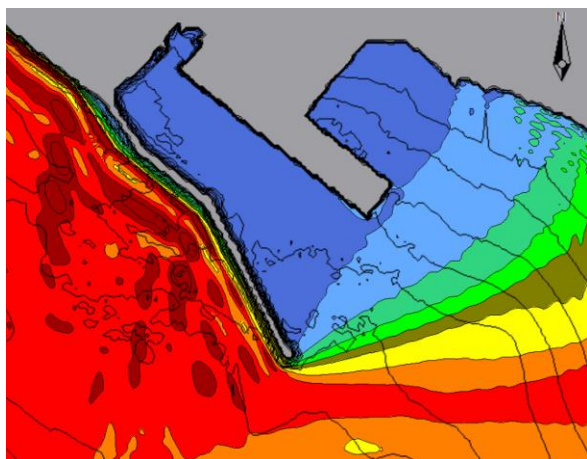
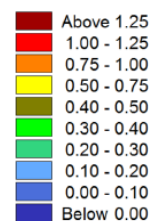


Configuração com extensão de 750 m
(4.^a Fase de expansão)

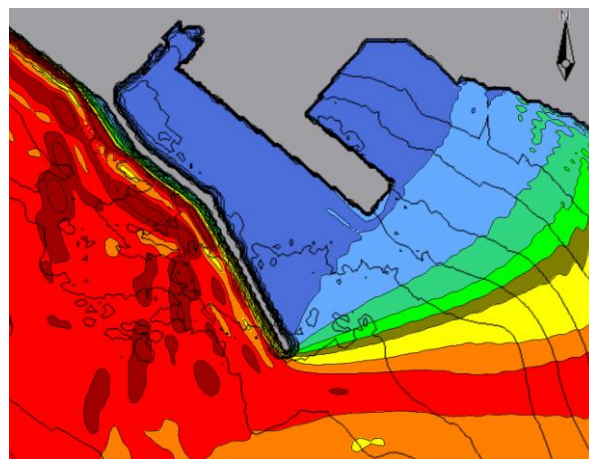
Fig. 12 – Distribuição dos índices de agitação no Terminal de Contentores do Porto de Sines — para as configurações da 4.^a Fase (Direção OSO; Hs = 1,0 m; Tp = 12 s)



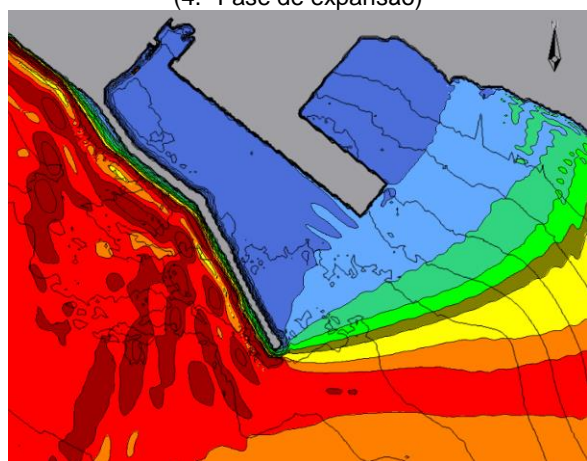
Situação de referência



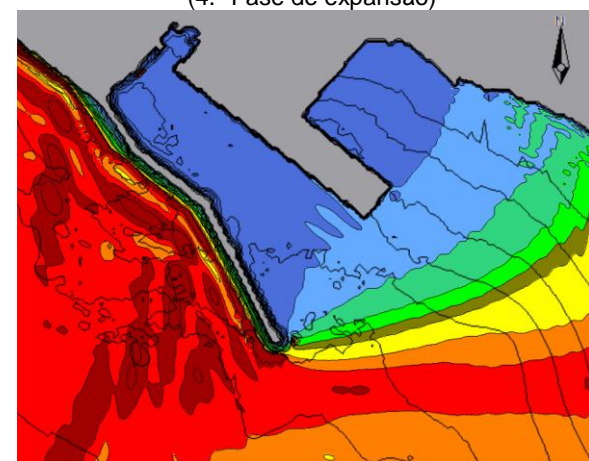
Configuração com extensão de 900 m
(4.^a Fase de expansão)



Configuração com extensão de 850 m
(4.^a Fase de expansão)

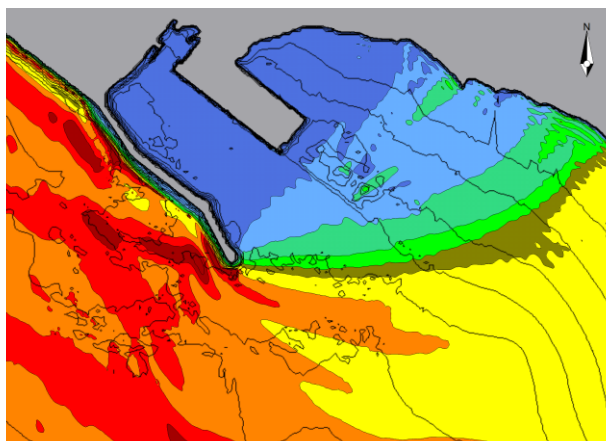


Configuração com extensão de 800 m
(4.^a Fase de expansão)

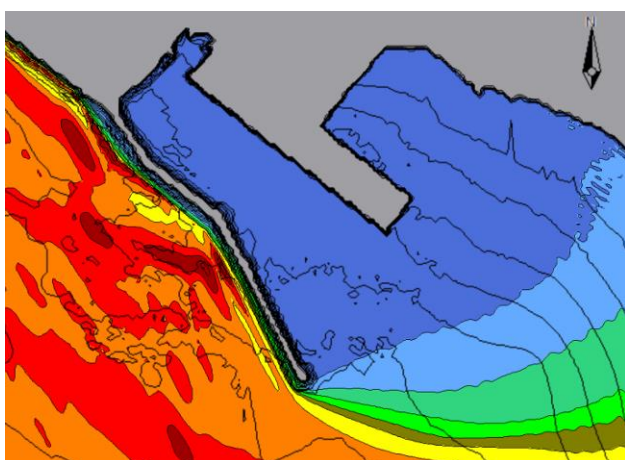
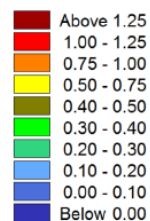


Configuração com extensão de 750 m
(4.^a Fase de expansão)

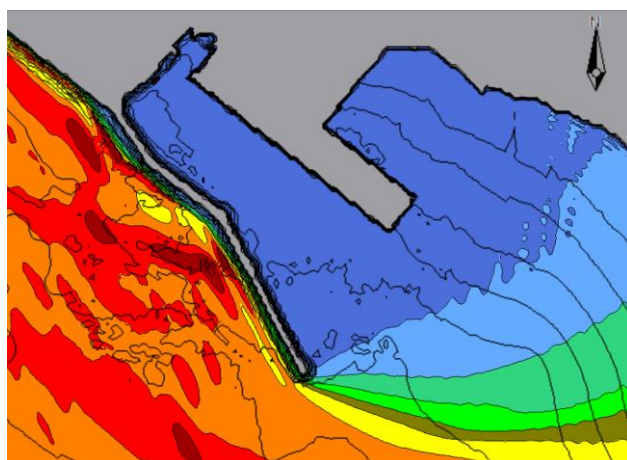
Fig. 13 – Distribuição dos índices de agitação no Terminal de Contentores do Porto de Sines — para as configurações da 4.^a Fase (Direção O; Hs = 1,0 m; Tp = 20 s)



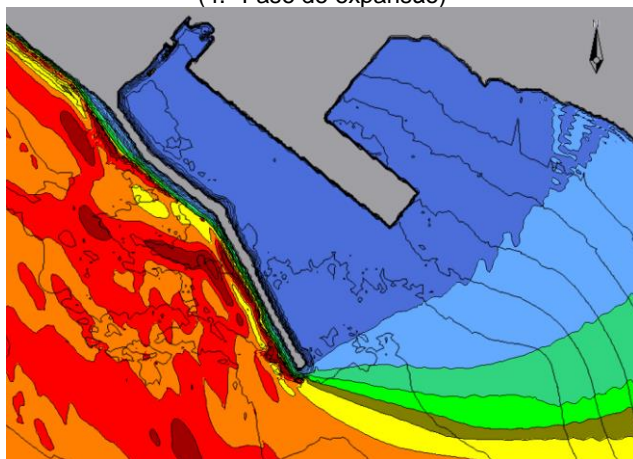
Situação de referência



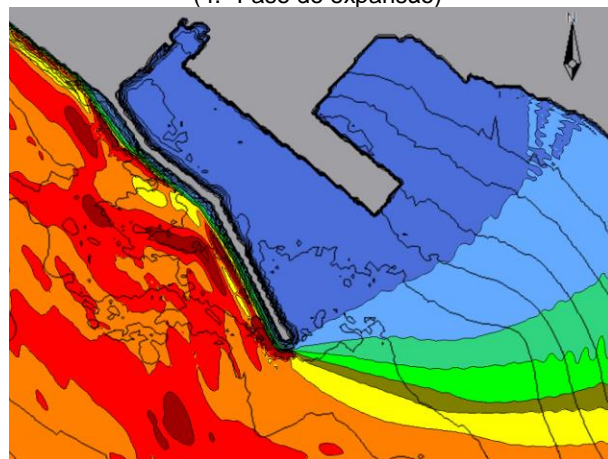
Configuração com extensão de 900 m
(4.^a Fase de expansão)



Configuração com extensão de 850 m
(4.^a Fase de expansão)



Configuração com extensão de 800 m
(4.^a Fase de expansão)



Configuração com extensão de 750 m
(4.^a Fase de expansão)

Fig. 14 – Distribuição dos índices de agitação no Terminal de Contentores do Porto de Sines — para as configurações da 4.^a Fase (Direção ONO; Hs = 1,0 m; Tp = 16 s)

4.4 – Análise e comparação de resultados

Com base na análise das configurações da 3ª Fase A os resultados mostraram que a configuração com maior comprimento apresenta sempre uma maior tranquilidade na bacia e cais, como seria de esperar. No entanto, esse resultado apenas corresponde a pequenas melhorias, que são mais evidentes para o rumo mais exposto que, naturalmente, corresponde ao rumo com menor frequência de ocorrência.

Em relação às configurações da 4ª Fase de expansão verificou-se que quase sempre todas as configurações apresentam melhores resultados que a situação de referência e que estes são bastante semelhantes entre si. Devido à semelhança entre soluções e às reduzidas melhorias entre estas, derivadas principalmente de uma situação de abrigo já privilegiada, concluímos que as diferentes configurações não apresentam melhorias expressivas em termos de índices de agitação.

5 – AVALIAÇÃO DA OPERACIONALIDADE

5.1 – Limite de operacionalidade

A definição de um nível de agitação «aceitável» ou «não-aceitável» nos cais está ligado à possibilidade de utilização do cais por navios, seja para operações de carga e descarga ou para simples atracação.

A quantificação de limites de operacionalidade para navios atracados é uma questão complexa e não existe um consenso geral sobre o tema. Na maior parte das publicações, os limites de operacionalidade são estabelecidos em termos de amplitude do movimento dos navios, (PIANC, 1995). No entanto, não existe correspondência direta entre os movimentos dos navios atracados e as características da agitação incidente. Esta relação depende de diversos factores, nomeadamente o período de onda, o ângulo de incidência da agitação, o período de oscilação próprio do navio, as propriedades das amarrações e das defensas e as características do próprio cais.

Ainda assim, algumas publicações apresentam limites de operacionalidade em termos de altura de onda. É o caso das «Recomendaciones para Obras Marítimas» (ROM, 2007) publicadas pelo Ministério Espanhol das Obras Públicas. Outros autores fazem distinção dos limites de operacionalidade de acordo com o tipo de embarcação atracada. Marcos Rita (1995), baseado em estudos realizados por outros autores, sugere alturas significativas máximas para diversas tipologias de navios, alertando para o carácter conservativo dos valores publicados, já que não tomam em consideração toda a complexidade do ambiente marítimo local.

Os referidos limites de operacionalidade provêm de publicações da especialidade com mais de 10 anos. Tendo em conta o aumento das dimensões dos novos navios, em especial dos porta-contentores, salienta-se que atualmente estes maiores navios (mega-porta-contentores), devem suportar alturas de onda superiores.

5.2 – Análise da operacionalidade

A análise da operacionalidade é feita com base na transposição das estatísticas de agitação do largo para zonas adjacentes ao cais. A partir dos índices de agitação na área junto ao cais e da máxima altura de onda admissível à operação do navio em questão, é possível determinar a altura de onda correspondente no exterior do porto. Para alturas de onda superiores a esse valor, não estão reunidas as condições de segurança para a utilização do cais pelos navios.

Recorrendo à série de dados obtida no ponto PFA, correspondente a 28 anos de dados de observações transpostas para as zonas do atual cais e novos cais, é possível determinar o número de dias num ano para os quais a altura de onda ultrapassa o limite definido para a operacionalidade.

Para a análise das várias configurações, tendo em conta que correspondem a fases diferentes com extensões de cais distintos, procedeu-se ao registo dos índices de agitação nas zonas adjacentes aos cais tal como identificado de acordo com a Fig. 15.

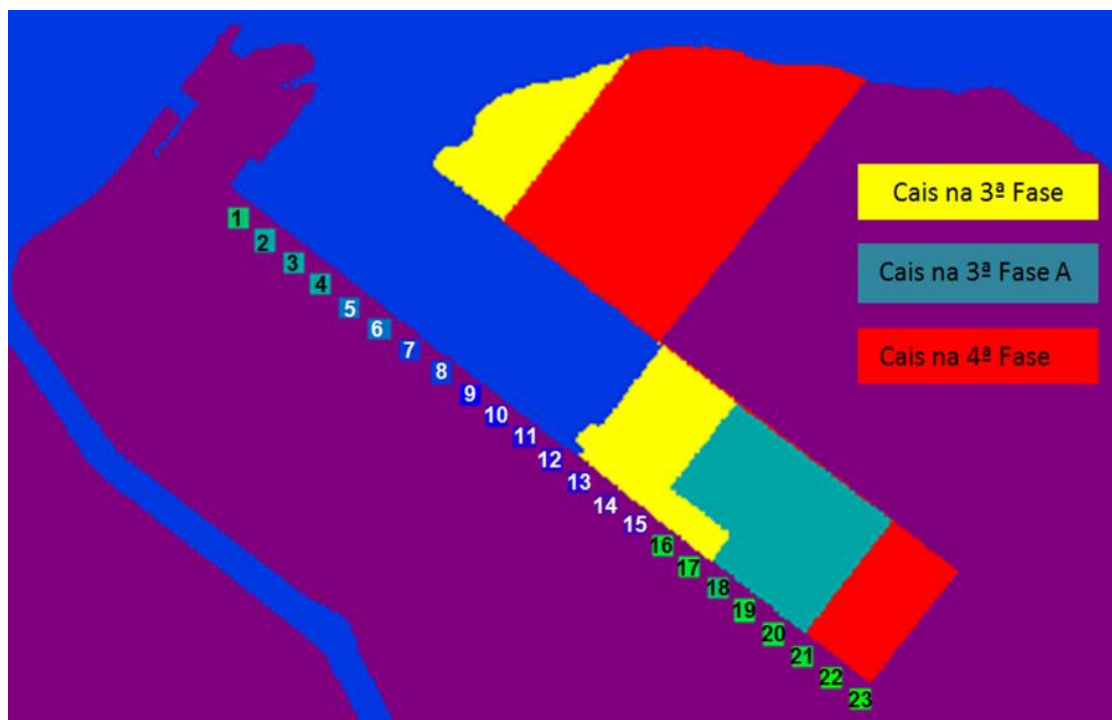


Fig. 15 – Identificação das zonas do cais em que foram registados os valores médios dos índices de agitação obtidos para as condições simuladas para as várias configurações

Para a situação de referência consideraram-se como zonas de registo do índice de agitação, as zonas 8 a 12, para a configuração da 3.ª Fase com prolongamento do cais de 415 m foram adotadas as zonas 13 a 17, para as configurações da 3.ª Fase A com prolongamento do cais de 660 m foram adotadas as zonas 16 a 20 e para as configurações da 4.ª Fase com prolongamento do cais de 860 m, registaram-se os valores nas zonas 19 a 23. Os valores dos índices de agitação adotados na análise correspondem à média dos índices máximos registados em cada zona (opção pelo lado da segurança).

Para a associação dos índices à estatística de agitação no ponto PFA foi adotada a correspondência indicada no Quadro 3.

Quadro 3 – Correspondência das condições simuladas aos intervalos de valores da estatística do ponto PFA

Condição	Intervalo de direção (°)	Intervalo de períodos Tp (s)
Dir=SO ; Tp=8	[213,75 – 236,25[	$T \leq 8$
Dir=SO ; Tp=12	[213,75 – 236,25[	$T_p > 8$
Dir=OSO ; Tp=8	[236,25 – 258,75[	$T \leq 8$
Dir=OSO ; Tp=12	[236,25 – 258,75[	$T_p > 8$
Dir=O ; Tp=8	[258,75 – 281,25[	$T \leq 8$
Dir=O ; Tp=12	[258,75 – 281,25[	$8 < T \leq 12$
Dir=O ; Tp=16	[258,75 – 281,25[	$12 < T \leq 16$
Dir=O ; Tp=20	[258,75 – 281,25[	$T > 16$
Dir=ONO ; Tp=8	[281,25 – 303,75[	$T \leq 8$
Dir=ONO ; Tp=12	[281,25 – 303,75[	$8 < T \leq 12$
Dir=ONO ; Tp=16	[281,25 – 303,75[	$T > 12$

Para completo preenchimento dos índices em falta, considerou-se que para rumos iguais ou superiores a 303,75° o índice corresponderia ao pior valor do índice do escalão de rumos

anterior (quadrante ONO), enquanto que para rumos inferiores ao quadrante SO, ou seja, inferiores a 213,75°, o índice foi considerado unitário, devido à maior exposição do cais.

Na análise de operacionalidade dos cais considerou-se as recomendações constantes na bibliografia da especialidade para o caso de navios porta-contentores, que para a incidência da onda no sentido longitudinal ao cais, recomendam uma altura de onda limite de 0,5 m.

De acordo com as elevadas exigências de operacionalidade de um terminal de mega-contentores com as características do Terminal XXI, os valores de inoperacionalidade usualmente aceites pelos concessionários/operadores situam-se, por regra, abaixo de 7 dias/ano. Os resultados das estimativas de dias de inoperacionalidade por ano indicam-se no Quadro 4.

Com base nos resultados pode-se concluir que para qualquer uma das configurações simuladas é cumprida a regra limite dos 7 dias/ano de inoperacionalidade.

No entanto, salienta-se que as reduções obtidas nos índices de agitação para as várias extensões de molhe, face à situação de referência, são reduzidas e nem sempre evidentes, o que se justifica por esta já apresentar condições de tranquilidade bastante boas, que dificilmente têm margem para ser melhoradas de forma significativa. Assim sendo, devem os valores da estimativa de dias de inoperacionalidade indicados no quadro seguinte, serem encarados como uma referência da ordem de grandeza e melhorias relativas.

Quadro 4 – Estimativa do número médio de dias de inoperacionalidade por ano para a última extensão de 400 m do Cais do Terminal de Contentores, considerando $H_s \geq 0,5$

Dias de inoperacionalidade	Cais atual (zonas 8 a 12)	Cais da 3ª Fase (zonas 13 a 17)	Cais da 3ª Fase A (zonas 16 a 20)	Cais da 4ª Fase (zonas 19 a 23)	% melhoria em relação à Sit. Ref.
Situação de Referência	5,7	-	-	-	-
Configuração com prolongamento de 500 m (3.ª Fase)	-	5,6	-	-	1,5%
Configuração com prolongamento de 600 m (3.ª Fase A)			4,5		21,1%
Configuração com prolongamento de 650 m (3.ª Fase A)	-	-	3,8	-	32,8%
Configuração com prolongamento de 700 m (3.ª Fase A)	-	-	2,6	-	55,4%
Configuração rodada a Sul com prolongamento de 750 m (4.ª Fase)				5,6	1,7%
Configuração rodada a Sul com prolongamento de 800 m (4.ª Fase)				4,7	17,8%
Configuração rodada a Sul com prolongamento de 850 m (4.ª Fase)	-	-	-	3,9	31,7%
Configuração rodada a Sul com prolongamento de 900 m (4.ª Fase)	-	-	-	3,4	41,4%

Considera-se importante lembrar que a análise aqui efetuada foi feita com base num ano médio, podendo vir a ocorrer invernos mais ou menos gravosos que o considerado, conduzindo naturalmente a dias de inoperacionalidade superiores ou inferiores aos valores estimados aqui apresentados.

6 – CONCLUSÕES

Nesta comunicação analisou-se a propagação da agitação marítima para o interior da bacia portuária do Terminal de Contentores do porto de Sines, considerando várias extensões do molhe Leste de acordo com as 3.^a e 4.^a Fases de expansão do Terminal. Os estudos de propagação foram realizados com o modelo numérico de ondas irregulares Mike21-BW do DHI.

Para o prolongamento do cais, atualmente com 940 m, avaliaram-se as seguintes fases de expansão, de acordo com várias extensões de molhe:

- 500 m para proteger +415 m de cais acostável (3.^a Fase);
- Entre 600 a 700 m para proteger + 660 m de cais acostável (3.^a Fase A);
- Entre 750 a 900 m para proteger + 860 m de cais acostável (4.^a Fase).

Na análise comparativa entre configurações conclui-se, como seria de esperar que as configurações com maior comprimento apresentam sempre melhores resultados. Esse resultado corresponde a pequenas melhorias, que nem sempre são muito evidentes, o que se deve ao fato da situação de referência já apresentar condições de tranquilidade bastante boas, que têm margem reduzida para serem melhoradas de forma significativa. As pequenas diferenças encontradas entre configurações, são da mesma ordem de grandeza do erro, levando-nos a afirmar que as opções por um prolongamento de 600 m, testada para a 3.^a Fase A ou as de 750 m e 800 m testadas para a 4.^a Fase de expansão, por prudência, devem ser consideradas semelhantes à situação atual, em termos de índices de agitação.

Em relação à avaliação da inoperacionalidade nos últimos 400 m do cais do terminal de Contentores os resultados obtidos indicam que:

- Todas as configurações estudadas apresentam uma taxa de inoperacionalidade inferior a 7 dias/ano;
- As taxas de inoperacionalidade das configurações de prolongamento estudadas correspondem sempre a um valor inferior ao estimado para a situação de referência.

As conclusões apresentadas quanto à proteção da bacia portuária do Terminal de Contentores foram baseadas nos valores dos índices de agitação obtidos para as características de agitação marítima irregular e nível de maré fixo, admitido de 2,0 m (ZH), não se tendo em conta a variação do nível de maré, nem os possíveis efeitos de eventuais galgamentos da estrutura de proteção marítima (efeito analisado nos ensaios em modelo físico 3D).

Por outro lado, o limite de operacionalidade considerado de altura de onda limite no cais de 0,5 m, será garantidamente superior para os novos navios que apresentam dimensões consideravelmente superiores às dos navios adoptados à data nas referências bibliográficas da especialidade.

Em relação aos estudos dos prolongamentos do Molhe Leste para a 3.^a Fase A e 4.^a Fase de expansão do cais de contentores, pode-se concluir que os resultados relativos a um prolongamento extra de 50 m em cada fase de expansão trás efeitos positivos, mas não significativos. Podem eventualmente justificar-se as opções de extensão mais longas, se o objetivo for criar melhores condições de abrigo que as atualmente existentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APS, S.A. (2014). 3.^a e 4.^a Fases de Ampliação do Molhe Leste do Porto de Sines, Projeto de Execução.

CONSULMAR, APS, S.A. (2017a). Projeto de Execução da 3.^a e 4.^a Fase de Ampliação do Molhe Leste do Porto de Sines. Estudo das Condições de Abrigo e de Operacionalidade – Relatório Preliminar, Janeiro de 2017.

CONSULMAR, APS, S.A. (2017b). 3.^a e 4.^a Fases de Ampliação do Molhe Leste do Porto de Sines. Estudos de Agitação Adicionais – Versão Definitiva, Julho de 2017.

DHI Software, (2012). MIKE 21: Waves – Boussinesq Wave Module. Scientific Documentation.

LNEC (2006). Prolongamento do Molhe Leste do Porto de Sines. Estudos Complementares. Estudos de Agitação Marítima. RELATÓRIO 324/07 – NPE;

LNEC (2013). Ampliação da Bacia Portuária do Terminal de Contentores de Sines. Estudos das Condições de Abrigo. Estudo das Condições de Abrigo. RELATÓRIO 32/2013 – NPE.

Marcos Rita, M. (1995). Dimensionamento Hidráulico de Portos: Operacionalidade e segurança dos navios nos cais. Programa de Investigação, LNEC, Lisboa.

PIANC (1995) Criteria for Movements of Moored Ships in Harbours – Practical Guide. Report of Working Group nº24.

ROM 3.1-99 (2007) Recommendations for the Design of the Maritime Configuration of Ports, Approach Channels and Harbour Basins, Puertos del Estado.