



AMPLIAÇÃO DO MOLHE LESTE DO PORTO DE SINES

António Guedes de Campos, PROMAN – Centro de Estudos e Projectos, SA

Ildeberto Mota Oliveira, CEHIDRO – Instituto Superior Técnico

Ricardo Benoliel de Carvalho, PROMAN – Centro de Estudos e Projectos, SA

SUMÁRIO

A presente comunicação respeita à concepção e ao dimensionamento da obra de ampliação do Molhe Leste do porto de Sines. Com o objectivo de facultar abrigo à bacia portuária do futuro Terminal de Contentores e de garantir, simultaneamente, fácil manobra aos *mega-carriers* previstos, o eixo do molhe desenvolve-se a partir da extremidade sul do actual Molhe Leste, no sentido NW-SE, paralelamente à linha de costa e a uma distância de 600m da futura frente acostável. Descreve-se o processo de modelação matemática da agitação marítima utilizado no apoio ao projecto, quer na transposição das suas características do largo para a zona de implantação da obra, quer na avaliação das condições de tranquilidade na bacia portuária que ela protegerá. Descreve-se por fim a solução estrutural adoptada, semelhante à do actual Molhe Leste, do qual importa salientar o excelente comportamento desde a sua construção há cerca de 14 anos atrás. Esta solução, com manto de protecção em blocos de betão, foi objecto de estudo em modelo físico, de que se apresenta o essencial das especificações técnicas e dos resultados.

1 – INTRODUÇÃO

1.1 – O porto de Sines

O Terminal de Contentores do porto de Sines, actualmente em construção na zona a SE do porto (ver Figura 1), teve por base um vasto conjunto de estudos desenvolvidos desde 1994 e que constituem um dos mais completos trabalhos de índole portuário realizados no país para efeitos de implantação de um terminal especializado.



Figura 1 – Vista aérea de Sines

Os estudos em causa iniciaram-se pelo Estudo do Mercado de Contentores no porto de Sines, do qual se concluiu pela possibilidade de instalar ali um terminal destinado sobretudo ao mercado de *transshipment* e se definiu a localização genérica do mesmo e a estratégia comercial a seguir para tornar viável o empreendimento. Seguiu-se uma multiplicidade de estudos de natureza especializada, que envolveram (i) concepção, localização, dimensionamento e faseamento do terminal, (ii) prospecção geológica do local, (iii) modelação matemática da agitação, para caracterização das condições de abrigo a criar, (iv) ensaios em modelo físico do quebra-mar a construir, (v) estudo prévio e estudo final de impacte ambiental, (vi) estudo prévio e estudo final de avaliação económico-financeira do empreendimento, (vii) projecto de execução do quebra-mar e (viii) projectos de execução do terminal propriamente dito, feitos tanto para a administração portuária (APS), como posteriormente para a concessionária entretanto constituída (PSA Sines), e que compreenderam (a) obras de acostagem e terraplenos, (b) edifícios, (c) acessos rodoviários e (d) acessos ferroviários, estes dois últimos ainda em curso.

No que respeita aos tráfegos previsíveis, os maiores trunfo do porto de Sines consistem na sua posição geo-estratégica e nas condições naturais, em especial as boas profundidades existentes a curta distância da costa. Este último facto, que se traduz na inexistência de um canal de acesso, aliado ao bom rendimento operacional que foi possível ali implantar, permitem que a movimentação dos navios, tanto na entrada e na saída, como na operação propriamente dita, se faça com invulgar rapidez. Estas circunstâncias traduzem-se em apreciáveis vantagens quando se lida com navios de elevadas exigências portuárias, como acontece com os navios porta-contentores de grandes dimensões.

O aspecto desfavorável presente no porto é o das condições adversas de agitação, pelo que há que garantir, para assegurar o sucesso de um terminal de contentores de grande capacidade, a construção de obras de abrigo que conduzam a tempos de inoperacionalidade mínimos.

A situação geo-estratégica do porto aponta sobretudo para a viabilidade da criação de um terminal de contentores de *transshipment*, permitindo que ele seja usado como plataforma giratória para efeitos de transferência de contentores entre os serviços Este-Oeste e os serviços norte-sul, realizando as seguintes possíveis operações:

- ligação do serviço Europa-Extremo Oriente ao (i) serviço Europa-África Ocidental e do Sul e (ii) ao serviço Europa-América do Sul;
- ligação do serviço Mediterrâneo-Costa Oeste dos EUA ao serviço Europa-África Ocidental e do Sul;
- transferência de contentores entre *loops* de serviço Norte da Europa-Extremo Oriente.

O mercado de *transshipment*, uma vez estabelecido num dado terminal, tende a crescer por vezes a ritmos muito elevados, o que obriga a haver disponibilidade de frente acostável, de área de parque e de meios de equipamento que possam atender a demandas rápidas. É isto que se tem verificado em alguns portos de *transshipment*, e também aqui o porto de Sines, pelas suas condições naturais, poderá dar resposta adequada.

1.2 – O Terminal de Contentores de Sines

O Terminal de Contentores será criado na zona sul do porto, adjacente ao Terminal de Carvão. O eixo do novo molhe, desenvolve-se a partir da extremidade SE do actual Molhe Leste (ver Figura 2). As suas obras estão subdivididas em três componentes/empreitadas principais: (i) Ampliação do Molhe Leste, (ii) Obras de Acostagem e Terraplenos (iii) e Edifícios.

Em traços gerais, a obra de Ampliação do Molhe Leste, orçada em aproximadamente 45 milhões de Euros e a construir em 2 anos, consistirá no prolongamento do actual Molhe Leste numa extensão de 1.100 m para SE. Estima-se que a obra requeira um volume substancial de enrocamentos e pedras, sendo cerca de 2.250.000 m³ de material de TOT e 750.000 m³ de enrocamentos seleccionados. O manto externo será constituído por 17.600 cubos de betão de

60 t, aplicados no tronco, e cerca de 2.100 cubos de betão de 71 t, aplicados na cabeça do molhe. A superestrutura requererá a fabricação de cerca de 37.000 m³ de betão.

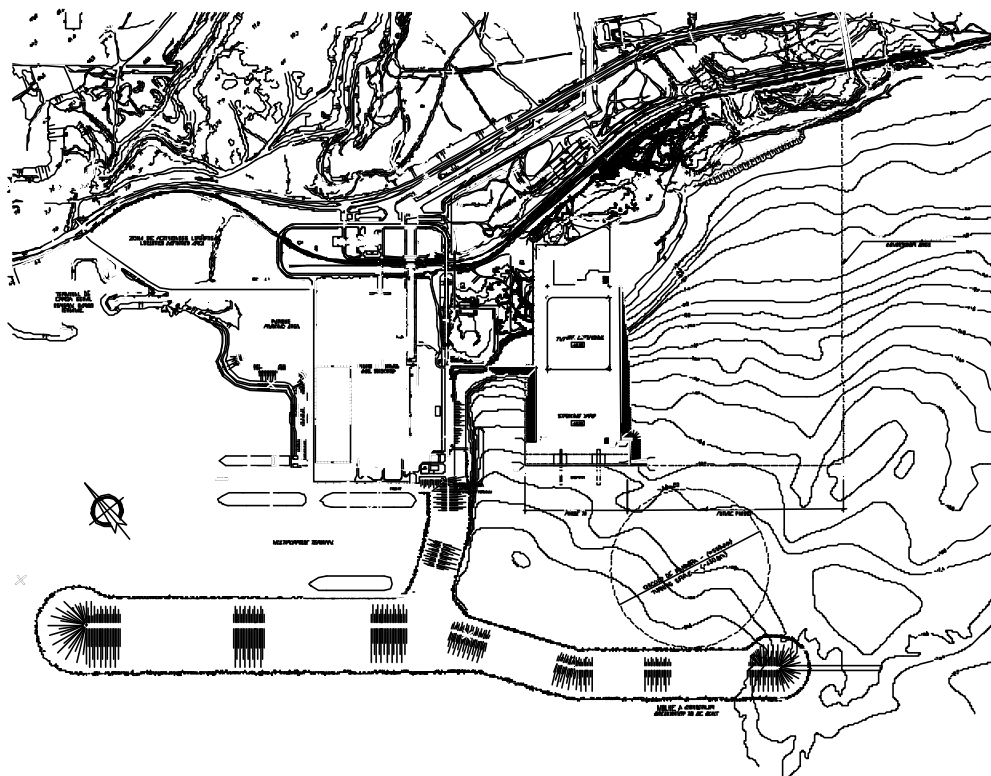


Figura 2 – Localização do futuro Terminal de Contentores

As Obras de Acostagem e Terraplenos, estimadas em 21 milhões de Euros e a construir em 1,5 anos, compreenderão a construção de um muro-cais para 1 posto de acostagem com cerca de 325 m de frente em fundos de -16,5 mZH, aterro com cerca de 1.300.000 m³ à cota +5 mZH, protecção marginal do aterro com cerca de 380 m de extensão, pavimentação de uma área com cerca de 100.000 m² de superfície, caminho de rolamento dos pórticos de cais, rede de drenagem de águas pluviais numa área com cerca de 100.000 m², redes de água e de esgotos da subestação principal e do escritório/subestação do cais e rede eléctrica do terminal, incluindo as obras civis associadas.

A empreitada de construção dos Edifícios, com custo estimado em 4 milhões de Euros e a construir em 1 ano, desenvolver-se-á com a de Obras de Acostagem e Terraplenos, e simultaneamente com mais três: a do Prolongamento do Molhe Leste, a dos Acessos Rodoferroviários ao Terminal de Contentores e a do Terminal de GNL, da Transgás Atlântico. Consistirá no completamento dos aterros e das escavações a realizar na área em causa, de modo a atingir a cota de base dos pavimentos ou dos revestimentos finais, na execução de pavimentos e execução da vedação em todo o seu perímetro, na execução completa dos edifícios da Administração, Oficinas, Centro de Inspeção Aduaneira, Portaria e Central de Resíduos Sólidos e respectivas redes prediais internas, na execução das diversas redes externas, de iluminação pública e na execução do arranjo paisagístico da área em referência.

Dada a vastidão dos assuntos envolvidos, a presente comunicação não poderia abordar em detalhe todos os aspectos de concepção e dimensionamento de tão vasto empreendimento. Portanto, limitar-se-á aos aspectos relacionados com uma das suas mais essenciais (e dispendiosas) componentes: a obra marítima de abrigo, designada por Empreitada de Ampliação do Molhe Leste.

2 – CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO

A ampliação do Molhe Leste destina-se a facultar abrigo à bacia que servirá o Terminal de Contentores, vasto terminal com o qual se iniciará em Portugal a actividade de *transshipment* neste sector. Como já se referiu, o eixo do molhe em causa desenvolve-se a partir do actual Molhe Leste, no sentido noroeste-sudeste, paralelamente à linha de costa.

Adoptou-se no projecto desta obra uma solução estrutural muito semelhante à do Molhe Leste existente, do qual importará referir aqui o excelente comportamento apresentado nos cerca de 14 anos já decorridos desde a sua construção. Os projectistas não se limitaram, no entanto, a "copiar" a concepção da obra existente. Pelo contrário, foi desenvolvido um largo conjunto de estudos que incidiram sobre múltiplos aspectos, desde a caracterização das condições naturais que condicionarão o comportamento da obra até à verificação da sua estabilidade em modelo físico, em canal e em tanque de ondas.

A concepção geral da obra, em planta e em perfil, teve em conta dois factores fundamentais: o grau de abrigo que deverá proporcionar à bacia portuária e a resistência estrutural ao longo da sua vida útil.

Refira-se que, quando do lançamento do concurso de construção, foram consideradas duas hipóteses de empreitada, correspondentes às alternativas de molhe com 1100 m ou com 1420 m. Do processo de apreciação das propostas resultou que a primeira opção seria a efectivamente adoptada para construção.

Com a solução adoptada, o grau de abrigo proporcionado ao terminal possibilita a redução dos tempos de inoperacionalidade a valores aceitáveis e, conseqüentemente, assegura a sua adequabilidade à exigente actividade de movimentação de contentores.

Por outro lado, no que respeita à resistência estrutural do molhe, esta fica assegurada, em termos probabilísticos, dimensionando a estrutura para uma onda de projecto extrema, de elevado período de retorno, cuja probabilidade de excedência, no período de vida útil da obra, representa uma solução de compromisso entre a durabilidade e a economia.

Essencialmente, a estrutura será do tipo quebra-mar de taludes, com núcleo composto por material de todo-o-tamanho (TOT) e mantos de protecção, de extradorso e de intradorso, constituídos por blocos de betão ranhurados. A transição entre estas camadas será feita através de camadas de filtro em enrocamento. Por fim, desenvolver-se-á, ao longo de todo o coramento da obra, a superestrutura em maciço de betão.

A zona da cabeça, sendo a parte mais vulnerável da estrutura, será protegida com blocos de betão mais pesados que os do tronco porque se adoptou a mesma inclinação de talude.

3 – CONDIÇÕES NATURAIS

No projecto de Ampliação do Molhe Leste houve que ter em conta, obviamente, o leque das condições naturais condicionantes da implantação e do dimensionamento da obra, alguns de importância fundamental, como é o caso do regime de agitação, outros apenas com carácter de informação qualitativa complementar, como será o caso da morfologia costeira. Faz-se a seguir uma apresentação sumária destes elementos de trabalho.

3.1 – Morfologia Costeira

De forma sintética, deverá referir-se antes de mais que a morfologia da orla costeira de Sines está profundamente artificializada, como resultado da construção do porto a partir da década de 70 do século passado.

Na zona de implantação do futuro Terminal de Contentores a "linha da costa" avançou sensivelmente sobre o mar, na sequência da criação de um grande depósito de detritos provenientes da Pedreira dos Chãos, da qual saiu a quase totalidade dos enrocamentos utilizados até aqui na concretização do grande empreendimento do porto de Sines. Parte da

área assim conquistada foi já integrada no terraplano de apoio ao Terminal de Carvão, na continuidade e a sul do qual se está agora a construir o Terminal de Contentores.

Ou seja, à data da elaboração do projecto, a "linha da costa" na zona de implantação do futuro terminal era o talude exposto do depósito de detritos de pedreira, avançado cerca de 500 m em relação à linha de costa original. Enquanto esta apresentava o perfil típico de falésia talhada em rocha dura, aquele talude apresentava-se protegido por uma camada de enrocamentos mais ou menos rolados, resultado final dum processo de selecção natural realizado pelas ondas. Com efeito, no decurso dos anos as ondas foram removendo as fracções mais finas, transportando-as transversalmente para maiores profundidades ou longitudinalmente para sul, deixando no local um "manto" de blocos de pedra de maiores ou menores dimensões que sempre existem num maciço de detritos.

A zona de implantação do novo terminal confina a norte com o Terminal de Carvão, servido por uma bacia abrigada pelo Molhe Leste, com 1100 m de comprimento. Esta bacia, cuja cota média do fundo é próxima de -20 mZH, recebeu recentemente na sua periferia um terminal multiusos e, a curto prazo, deverá albergar ainda um posto de acostagem para recepção de navios metaneiros (GNL).

3.2 – Topo-Hidrografia

Em toda a zona costeira para sul da praia Vasco da Gama, o fundo do mar que, face à quase inexistência de areias superficiais, corresponde ao nível de *bedrock*, desce suave e uniformemente. Esta regularidade só é quebrada quando os veios de rochas ígneas aparecem à superfície em afloramentos, como acontece em pontos singulares a cerca de 1600 m da costa, junto à batimétrica dos -20 mZH.

No que respeita à batimetria, há que assinalar em especial o seguinte:

- a batimétrica dos -10 mZH encontra-se, na zona Terminal de Carga de Carvão, a cerca de 50 m do talude do terraplano de detritos de pedreira, referido em 3.1; para sul, a distância à linha de costa original aumenta progressivamente, até atingir cerca de 400 m;
- a batimétrica dos -15 mZH desenvolve-se sensivelmente a 250 m da anterior;
- a batimétrica dos -20 mZH desenvolve-se a cerca de 400 m da batimétrica dos -15 mZH; na zona de implantação do futuro terminal, posiciona-se a cerca de 1500 m da linha de costa original.

A obra do quebra-mar, cuja largura na base é da ordem dos 160m, desenvolve-se em fundos relativamente constantes, situados entre as batimétricas -19 mZH e -22 mZH, encontrando-se tanto o enraizamento como a cabeça à cota -19 mZH.

Esta configuração de fundos, muito favorável, permite que se disponha de uma grande área com excelentes profundidades, garantindo fácil manobra dos navios, e que seja possível dispor de estruturas acostáveis com fundos dessa ordem com extensão considerável.

Apesar disso, haverá zonas, nas imediações do quebra-mar, que exigirão quebraamento de rocha por razões de segurança da navegação, uma vez que se encontram a cotas que podem comprometer a passagem dos navios, em situações de baixa-mar e com ondulação forte. Estas zonas serão dragadas até à cota -16 mZH.

3.3 – Geologia

Existem duas áreas que interessam ao presente projecto: a de implantação das obras e a da pedreira de Monte Chãos, donde provirá a maior parte do material pétreo para a construção do quebra-mar.

A área de implantação das obras, tomando por base o relatório de D'Appolonia (1982), apresenta fundos xistosos, com configuração irregular, algumas bolsas de areia e camadas superficiais lodosas, bastante espessas. Se houver que dragar zonas acima da cota -16 mZH,

algumas poderão ser trabalhadas com *grab*, enquanto outras terão de ser removidas com explosivos.

A área da pedreira, constituída por um complexo gabro-diorítico, encontra-se sobranceira ao porto e dela têm sido extraídos tanto material de enchimento, para aterros e para os núcleos dos quebra-mares, como blocos para camadas de protecção.

O Regulamento de Segurança e Acções (RSA) inclui Sines na Zona A, de elevado risco sísmico. A actividade sísmica local também é caracterizada no mesmo relatório D'Appolonia (1992) onde, para períodos de retorno de 100 e de 1000 anos, são indicados valores da aceleração horizontal de 0,17g e de 0,35g, respectivamente, ou seja, aproximadamente 1,7 e 3,5 m/s².

3.4 – Regime Sedimentar

O regime sedimentar costeiro resulta de um processo natural governado, fundamentalmente, pela acção das ondas, pela configuração da batimetria na zona de aproximação da costa, pela morfologia dessa mesma costa e pela proximidade de fontes de transporte aluvionar (rios).

Da complexidade da interacção destas variáveis resultam fenómenos de erosão, de assoreamento e também de equilíbrio sedimentar, estático ou dinâmico, ao longo da faixa costeira. Na costa oeste de Portugal, o transporte litoral dominante, quando existe, é usualmente dirigido de norte para sul. No entanto, devido às condições geográficas muito específicas de Sines, estas características típicas não são aplicáveis à zona costeira em que o porto de Sines se insere. Com efeito, para aquela área, situada imediatamente a SE do cabo de Sines, é possível afirmar que:

- mesmo antes da construção do molhe Oeste, o próprio cabo de Sines já constituía um obstáculo natural ao transporte sedimentar ao longo daquele trecho de costa; isto é evidenciado pelo facto de, após a construção desta grande obra, não se ter verificado nenhum fenómeno relevante de acumulação de areias (tais como a formação de novas praias) imediatamente a barlarar;
- o molhe Oeste do porto de Sines, que na sua cabeça atinge profundidades da ordem de 40 m, constitui uma barreira artificial intransponível ao transporte sólido litoral, uma vez que em tais profundidades a acção de transporte da onda é irrelevante;
- não existem nas imediações quaisquer cursos de água a que se possam associar fenómenos de transporte de sedimentos de origem fluvial relevantes para a alimentação daquela costa.

Daqui, facilmente se conclui que a implantação do novo terminal de contentores não poderá causar, por si só, quaisquer impactes sobre o regime de transporte sedimentar costeiro, pois, como já se referiu, ele é inexistente naquele local.

3.5 – Ventos

O regime de ventos em Sines encontra-se caracterizado pelo Instituto de Meteorologia (IM), com base nos resultados de observações na estação meteorológica de Sines, que funciona desde 1970. Obviamente, este regime terá certo interesse para a exploração do futuro terminal de contentores, mas é praticamente irrelevante no âmbito da construção e do comportamento da sua obra de abrigo, à qual respeita a presente comunicação. Refere-se apenas que:

- o regime de ventos em Sines é predominante dos quadrantes norte;
- durante o Inverno, os ventos dominantes (maior intensidade) distribuem-se quase uniformemente pelos vários rumos, com velocidade média máxima de 23,3km/h, proveniente do NW, mas os ventos reinantes (maior frequência) provêm sobretudo do N, responsável por 22,1% das ocorrências;
- durante o Verão, os ventos dominantes sopram, de modo idêntico, de todos os quadrantes, embora com menor velocidade média, cujo valor máximo, igualmente do NW, não

ultrapassa 18,6km/h; os ventos reinantes aparecem com especial incidência do rumo NW, responsável por 46,5% das ocorrências.

Em suma, os rumos mais em evidência, tanto no que respeita a intensidade como a frequência, são os de NW e de N. As velocidades médias horárias situam-se em valores relativamente baixos, que pouco excedem os 20km/h.

3.6 – Marés

Ao largo de Portugal continental, as marés apresentam características semi-diurnas, isto é, ocorrem dois ciclos de maré diários, sem variação notória ao longo de todo o litoral, exceptuando nas embocaduras das lagunas e dos estuários. A situação geográfica do porto de Sines, localizado na costa oeste portuguesa a uma latitude de 37° 57 'N, enquadra-se neste contexto.

O Quadro 1 reproduz os elementos de maré em Sines, que constam das "Tabelas de Marés" do Instituto Hidrográfico (IH).

Estes valores foram calculados com base na análise harmónica efectuada sobre observações maregráficas de um ano (1978), e reflectem apenas os efeitos astronómicos, de periodicidade rigorosamente conhecida.

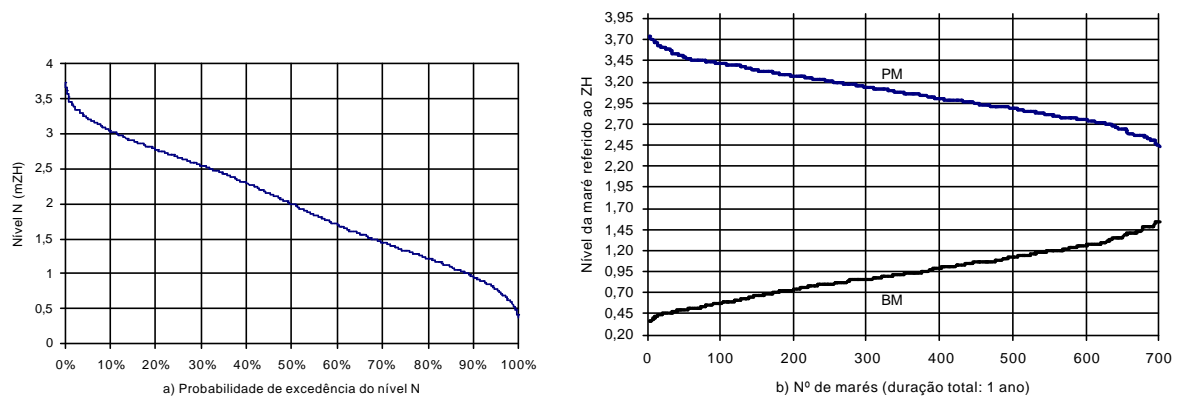
A análise de uma sucessão horária de níveis da maré ao largo da zona costeira de Sines (com base nas constantes harmónicas do porto, foram gerados 8760 níveis de maré ao longo de 1 ano) permitiu estabelecer a curva de probabilidades de excedência do nível de maré (ver Figura 3a). Dela se concluiu que, por exemplo, o nível +1 mZH é excedido durante cerca de 90% do tempo, enquanto o nível +3 mZH já só é excedido durante 12% do tempo.

Quadro 1 – Elementos de maré do porto de Sines

Níveis característicos		Cotas [mZH]
Preia-mar máxima	PMmáx	+3,86
Preia-mar de águas vivas média	PMAVméd	+3,45
Preia-mar das águas mortas média	PMAM	+2,67
Nível médio do mar	NM	+2,00
Baixa-mar de águas mortas média	BMAMméd	+1,36
Baixa-mar de águas vivas média	BMAVméd	+0,56
Baixa-mar mínima	Bmmín	+0,29

Fonte: Tabelas de Marés do Instituto Hidrográfico, Volume I (1995).

A curva de persistência dos níveis extremos de marés (preia-mar, baixa-mar), em que se assinalaram os eventos de maré que ocorrem ao longo de um ano completo, foi também obtida (ver Figura 3b). O número total de marés consideradas foi de 1400, sendo o intervalo médio de recorrência entre eventos consecutivos igual a 6,2 horas (maré semi-diurna com período médio 12,4h).



Figuras 3 – Caracterização estatística de níveis de maré

3.7 – Sobrelevação Meteorológica

As condições meteorológicas, mais concretamente, as acções conjugadas do vento e da pressão atmosférica, podem também exercer efeitos relevantes sobre o nível do mar. O Quadro 2 reproduz elementos extraídos de Gama *et al* (1997). Dele se conclui, por exemplo, que o nível +4,2 mZH, em Sines, ocorre com um intervalo médio de recorrência (período de retorno) de 25 anos.

**Quadro 2 – Níveis extremos da água do mar
(maré + sobrelevação atmosférica)**

Período de retorno, T	Viana	Cascais	Sines	Lagos
10 anos	4,61 mZH	4,15 mZH	4,17 mZH	4,23 mZH
25 anos	4,71 mZH	4,19 mZH	4,20 mZH	4,29 mZH
50 anos	4,78 mZH	4,22 mZH	4,23 mZH	4,34 mZH

Fonte: Gama *et al* (1997), op. cit.

No projecto de obras marítimas é importante ter em consideração não só os níveis extremos do mar devido à maré astronómica mas também à “maré” meteorológica. Conforme se verá mais adiante, o projecto aqui descrito contemplou ambos os aspectos.

3.8 – Ondas

A agitação marítima ao largo de Sines provém, principalmente, do sector compreendido entre os rumos SW e NW, conforme se conclui do Estudo “*Wind Wave Climatology of the Portuguese Coast*” (LNEC/IH, 1994). Verifica-se que estas ondas se distribuem pelos vários rumos da seguinte forma: 80,2 % das ondas provêm do NW, 16,4 % provêm do W, 2,9 % do SW e somente 0,3 % do S (ver Figura 4).

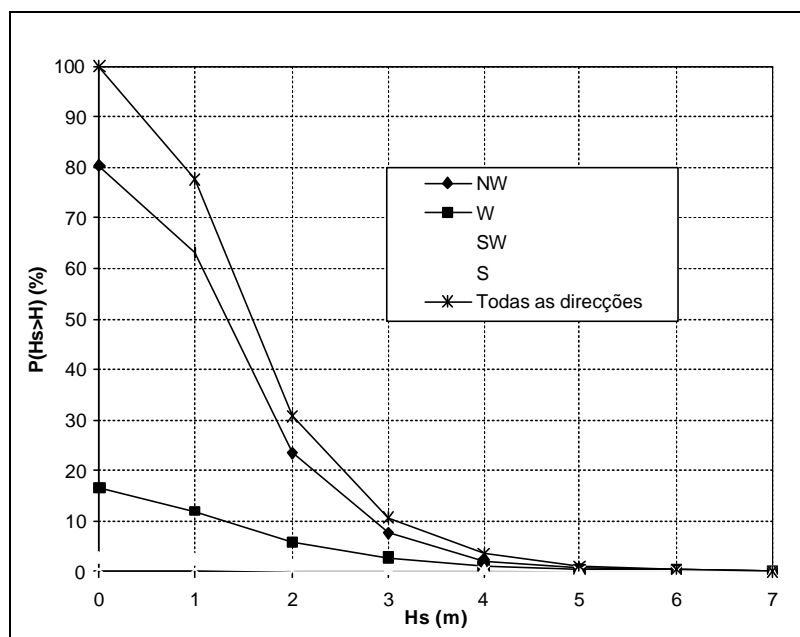


Figura 4 – Probabilidades de excedência da altura de onda, por rumos (ao largo)

Dada a orientação da entrada da nova bacia portuária, e a posição da frente acostável do novo terminal em relação à obra de abrigo, é evidente que as condições de tranquilidade menos satisfatórias naquela bacia serão determinadas principalmente pela agitação do quadrante Sudoeste. Ora o Quadro 3 mostra claramente que quase não existem ondas provenientes dos rumos W e a sul deste com alturas superiores a 3 m e que, mesmo as de alturas superiores a 2 m, ocorrem durante somente 7,1 % do tempo.

Quadro 3 – Distribuição conjunta "rumos-alturas de onda" (valores ao largo)

Rumo	≈ 1m	≈ 2m	≈ 3m	≈ 4m
NW	63,0 %	23,0 %	7,7 %	2,0 %
W	11,7 %	5,8 %	2,6 %	1,2 %
SW	2,5 %	1,3 %	0,5 %	0,4 %
S	0,2 %	-	-	-

Este facto, repete-se, é bastante relevante uma vez que, pela sua localização, o terminal se encontra protegido das ondas provenientes do NW e W. A incidência das ondas provenientes dos rumos SW e S é, como se observa, diminuta em frequência e altura.

A caracterização das ondas de curto período teve ainda por objectivo principal definir os valores extremos da agitação que interessam ao dimensionamento estrutural do molhe.

Para a elaboração deste estudo partiu-se do regime de agitação ao largo e procedeu-se depois, por modelação matemática, à transposição das características das ondas até à zona prevista para a implantação do futuro molhe, caracterizando-se assim o clima de agitação local.

Os valores apresentados no Quadro 4 são extraídos do estudo "*NATO Po-Waves – Passagem ao largo da agitação marítima em Sines*", de Setembro de 1993, produzido pelo LNEC e pelo IH. Neste estudo foi realizada a transposição para o largo da agitação marítima registada nas

bóias-ondógrafo instaladas na zona adjacente ao porto de Sines. Os estudos de refração foram realizados com ondas irregulares.

Quadro 4 – Valores Extremos da Agitação ao Largo

H_s - altura significativa; H_M - altura máxima

T (anos)	H_s (m)	H_M (m)
10	9,7 a 10,7	15,1 a 16,7
50	14,0 a 15,8	21,0 a 23,2
100	16,2 a 18,2	23,2 a 26,2

Fonte: "NATO Po-waves - Passagem ao largo da agitação marítima em Sines", LNEC e IH (1993).

4 – ONDA DE PROJECTO

A estrutura do molhe foi projectada para resistir à acção de ondas extremas, cuja ocorrência representará um fenómeno raro.

Sumariamente, justifica-se a seguir o valor adoptado para a "onda de projecto", ou seja, para a altura significativa máxima abaixo da qual a estrutura deve resistir sem danos relevantes.

Com base em resultados disponíveis na fase inicial do projecto, referentes a dados colhidos até 1986, admitiu-se que aquele valor ao largo, para um período de retorno de 100 anos, seria da ordem de 16 m. Contudo, em Outubro de 1998 o LNEC publicou o relatório 260/98-NPP, intitulado "Valores extremos da agitação em Sines: actualização do regime de extremos e evolução das ondas dos T anos", no qual se faz uma reapreciação do clima de agitação em Sines, com base em dados mais recentes, recolhidos entre 1986 e 1995.

Esse relatório, que actualiza o estudo dos valores extremos de agitação em Sines, utiliza os valores mais recentes das alturas de onda significativas máximas anuais, e indica a distribuição de Frechet como sendo a mais ajustada aos dados observados. Importa ter presente que este estudo de actualização respeita a uma zona fronteira ao complexo portuário, situada em profundidades da ordem de 100 m, designada naquele relatório por *zona do largo* (e não zona ao largo).

Como resultado fundamental daquele trabalho, indica-se que as alturas de onda significativas com períodos de retorno 10, 50 e 100 anos atingem, respectivamente, valores de 8,7, 12,3 e 14,3 m. Também se refere aí uma relação empírica entre o período médio de zero ascendente e a altura significativa: T_z (s) = 0,8 H_s (m) + 6.

Por sua vez, o estudo "Wind Wave Climatology of the Portuguese Coast", já citado, indica uma relação empírica entre os períodos de pico e de zero ascendente: T_p (s) = 1,28 T_z (s).

Com base nestes elementos, e tendo presentes os resultados dos estudos de agitação marítima efectuados, foram adoptadas as seguintes características para a onda de projecto da obra:

- período de retorno – T = 100 anos (onda centenária)
- altura significativa – H_s = 12,0m
- período de pico – T_p = 20s

Refira-se que esta onda "local" (junto à obra) equivale, ao largo, a uma onda com altura significativa $H_s=14,3m$.

Estatisticamente, é possível definir o risco, R, de uma dada onda ser excedida pelo menos uma vez durante o horizonte de projecto, que se confunde com o tempo de vida útil da obra, em função do período de retorno dessa onda. A expressão que traduz esta probabilidade é

$$R=1-(1-1/T)^N$$

sendo T o período de retorno e N a vida útil da obra, ambos expressos em anos.

Tendo-se adoptado para a projecto de ampliação do Molhe Leste de Sines um período de retorno T de 100 anos, e supondo uma vida útil da obra de 50 anos, o risco da onda de projecto ($H_s = 12$ m) ser excedida pelo menos uma vez neste horizonte será de cerca de 40%.

5 – TRANQUILIDADE DA BACIA PORTUÁRIA. ESTUDOS EM MODELO MATEMÁTICO

5.1 – Considerações Preliminares

Para efeitos de dimensionamento do quebra-mar, especialmente estudado em modelo físico, houve que considerar a acção de ondas extremas, isto é, com elevados períodos de retorno, como se refere no ponto anterior. Pelo contrário, para o estudo das condições de tranquilidade da bacia portuária, em modelo matemático, as condições de agitação consideradas foram as correspondentes às ocorrências mais frequentes, provenientes dos rumos mais adversos face à implantação da estrutura de abrigo.

A modelação matemática realizada permitiu obter uma visão suficientemente rigorosa das condições de chegada da agitação à zona em estudo e definir com rigor as características das ondas junto ao molhe, bem como no interior da bacia portuária.

Basicamente, consistiu em duas partes: (i) a simulação da transposição da agitação marítima do largo para junto à obra, na qual predomina o fenómeno da refacção (modelo de transposição das ondas do largo para a costa) e, na sequência desta, (ii) a simulação da agitação no interior da bacia portuária do terminal, onde predomina o fenómeno da difracção (dispersão lateral da energia da onda).

Refira-se que a caracterização da agitação junto à obra em função das suas características ao largo foi desenvolvida em duas fases. A primeira incidiu sobre um número considerável de situações de agitação, cobrindo um largo leque de rumos, períodos e alturas, mas para um nível do mar único e constante (+4 mZH). Na segunda, considerou-se um menor número de situações de agitação (um rumo ao largo, duas alturas H_s e três períodos), mas fez-se variar o nível do mar desde valores correntes (+2 mZH) até valores verdadeiramente excepcionais (+4,7 mZH). Com efeito, no decurso da interpretação dos resultados dos ensaios em modelo físico (item 7), foram levantadas dúvidas a respeito da possível influência do nível do mar sobre a altura máxima da onda que poderia atingir a obra. Em particular, admitiu-se que uma sobrelevação meteorológica excepcional conjugada com uma preia-mar de águas vivas, que conduzisse a um nível extremo de +4,5 mZH, poderia determinar junto à obra ondas de altura superior à considerada como "de projecto" ($H_s = 12$ m; ver ponto 4).

Os referidos ensaios em modelo matemático, realizados pela empresa ENVIMODE – Consultores de Hidroinformática, tiveram por base o sistema de cálculo informático *MIKE21*.

5.2 – Propagação da Agitação do Largo para a Costa

5.2.1 – 1ª Fase; nível do mar: +4 mZH

A modelação matemática de propagação da agitação marítima do largo para a costa foi realizada com o modelo MIKE 21 NSW (Nearshore Spectral Wind-Wave Module). Este modelo considera os efeitos da refacção e empolamento, devidos à variação de profundidade, a dissipação de energia por atrito no fundo, o fenómeno da rebentação e também a acção do vento soprando sobre o mar.

Com base no conhecimento do clima de agitação ao largo de Sines, decidiu-se analisar o comportamento da bacia portuária para as ondas correspondentes às seguintes combinações de parâmetros:

- rumo sudoeste ($R_0 = 225^\circ$); alturas significativas ao largo $H_{s0} = 2,0; 4,0; 8,7; 12,3; 14,3$ m; períodos médios $T_m = 10, 13, 16$ e 19 s;
- rumo oeste ($R_0 = 270^\circ$): idem;

- rumo noroeste ($R_0 = 315^\circ$): idem.

A batimetria verificada nos pontos da grelha de cálculo, conjugada com os níveis de maré, traduz as profundidades em que as ondas marítimas se propagam e, por isso, pode ser considerada como a peça mais importante do modelo. A Figura 5 representa a batimetria de aproximação utilizada.

Esta batimetria, obtida a partir da digitalização de cartas hidrográficas do IH, consiste numa grelha computacional de 0-300 x 0-150 pontos, de malha rectangular com as dimensões $\Delta x = 100$ m e $\Delta y = 250$ m. Assim, a área total abrangida pelo modelo é de 1125 km², correspondendo a um rectângulo de 30 km x 37,5 km.

A batimetria utilizada avança para o largo até profundidades máximas da ordem de 350 m, o que é suficiente para simular ondas com períodos até 21 segundos. Como se sabe, a refacção inicia-se em profundidades intermédias, o que ocorre para profundidades próximas de meio comprimento de onda. Assim, para o período máximo utilizado neste estudo (19 s), os efeitos de refacção começam a manifestar-se, de acordo com a Teoria Linear da onda, apenas a partir da profundidade $h = L_0/2 = 280$ m.

As condições de exploração do modelo foram:

- fronteira oeste: características das ondas ao largo (alturas, períodos e rumos);
- fronteiras norte e sul: fronteiras abertas;
- nível do mar: constante e igual a +4 mZH, valor pessimista, acima da PMmáx (item 3.6);
- velocidade do vento igual a 10 m/s (medido 10 m acima do nível da água), soprando de W.

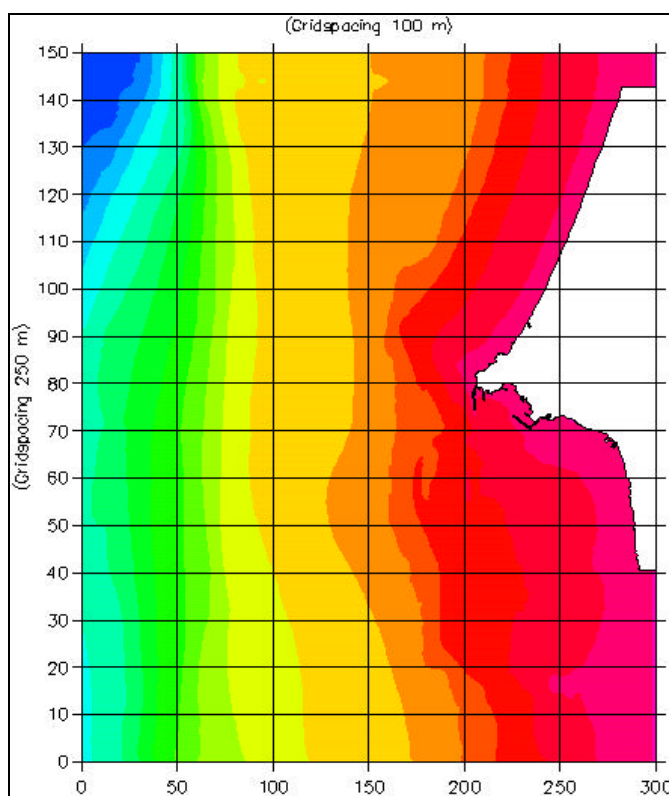


Figura 5 – Batimetria do modelo de transposição das ondas ao largo
(Profundidades: $-400 \text{ mZH} \leq d \leq 0 \text{ mZH}$)

A análise dos resultados obtidos junto à obra, com fundo à cota -19 mZH, permitiu tirar as seguintes conclusões principais:

- no que respeita às direcções de propagação da agitação marítima, os resultados mostram que o leque de 90° considerado para as direcções ao largo, entre os rumos SW e NW, se reduz junto à obra, por efeito da refacção, para um leque muito fechado, da ordem dos 50° de abertura, entre os rumos 220° e 270°;
- as ondas provenientes do SW atingem a obra com rumos locais que variam entre 235° e 245°, isto é, os raios de onda tendem a curvar à direita; para o maior período, 19 s, a rotação é de 20,4° e para o menor, 10 s, é de 9,7°;
- as ondas provenientes do W atingem a obra com rumo local praticamente inalterado, isto é, os raios de onda sofrem um desvio mínimo relativamente ao rumo oeste, mesmo para os maiores períodos;
- devido às menores profundidades nesta área, o fenómeno de refacção manifesta-se com maior intensidade, em especial para as ondas com maior período associado;
- o índice de agitação, que representa o quociente entre as alturas de onda local (à entrada da bacia) e ao largo, para as ondas consideradas, situa-se usualmente no intervalo 0,41 a 0,93, tomando o valor médio de 0,73.

Com base nos estudos de modelação matemática da propagação da agitação marítima até à zona do projecto, concluiu-se que, para os estudos de penetração da agitação na bacia portuária, seria suficiente tomar como representativos os rumos locais entre 220° e 240° e os períodos de 8s e 12s.

Verificou-se ainda que as ondas com períodos superiores a 12s atingem, por efeito da refacção, a zona do molhe com rumos perto dos 260°, fazendo portanto um ângulo de aproximadamente 130° com o alinhamento do molhe. Por este motivo, os coeficientes de agitação no interior da bacia serão muito reduzidos.

5.2.2 – 2ª Fase: nível do mar variável, de +2,0 a +5 mZH

Com vista a aprofundar o conhecimento das características de propagação das ondas até ao molhe, foram realizados ensaios adicionais em modelo matemático. Procurou-se melhor compreender o efeito da variação dos parâmetros de propagação sobre a altura de onda local (junto à obra), nomeadamente no que respeita ao efeito da variação do nível do mar.

Para tal, realizaram-se diversos ensaios de transposição das ondas, do largo para o local da obra. As hipóteses simuladas consideraram diferentes combinações possíveis de alturas de onda ao largo H_0 (10 m e 15 m), períodos T (8s, 16s e 20s) e níveis do mar N (2m, 2,5m, 3m, 3,5m, 4m, 4,5m e 5m). O rumo ensaiado foi o rumo oeste ($R_0=270^\circ$).

Os resultados (alturas de onda e rumos) respeitam à posição de implantação do novo molhe. Repete-se que o objectivo mais importante era a avaliação dos efeitos, sobre a altura de onda local (junto à obra), da variação do nível do mar, no intervalo atrás indicado.

Para uma onda com $H_0=15$ m, $T_m=20$ s e $R_0=270^\circ$ e nível do mar $N = 3,8$ mZH, a altura de onda significativa junto à obra obtida na fase anterior tinha sido de 11,5 m; para a mesma onda, mas com um nível do mar $N=+4,5$ mZH, a altura de onda local subiu para 11,9 metros. Estes e outros resultados relativos a diferentes combinações de parâmetros (R_0 , T_m , H_0) permitiram concluir que, para níveis do mar no intervalo +2 mZH a +5 mZH, a altura de onda local cresce, em média, cerca de 0,4 metros por cada metro incrementado naquele nível.

Também se verificou que, como seria de esperar, os índices de agitação diminuem com o aumento da altura da onda significativa, pois o efeito da rebentação é relativamente maior. Esta conclusão foi obtida a partir de um ensaio em que se fez variar a altura de onda significativa, ao largo, no intervalo de 9 a 18 metros, mantendo constantes os outros parâmetros ($T=20$ s, $N=+4,5$ mZH e $R_0=270^\circ$). Verificou-se que o índice de agitação diminui, em média, cerca de 0,05 por cada metro incrementado na altura de onda ao largo.

Da análise dos resultados obtidos no modelo matemático, com um nível $N=+4,5$ mZH, conclui-se ainda que, no caso de a altura de onda significativa ao largo crescer sucessivamente até 18 metros, a altura de onda significativa local nunca ultrapassa o limite de 12 metros. Obviamente, neste resultado o fenómeno da rebentação parcial desempenha um papel determinante.

Note-se que o nível do mar agora considerado se situava cerca de 0,6 metros acima da preamar máxima de águas-vivas do porto de Sines (ver item 3.6, Quadro 1). Este acréscimo de nível do mar pretende contabilizar fenómenos atmosféricos (depressões e ventos usualmente associadas às tempestades) e também a tendência verificada nos últimos anos para a subida do nível médio da água do mar (devido a fenómenos complexos tais como o “efeito de estufa”).

Também se realizaram simulações com vista a compreender melhor o efeito da variação do período da onda ao largo sobre a altura de onda local. Assim, fez-se variar o período num intervalo de 11 a 20 segundos, mantendo-se constantes as outras variáveis ($H_b=15$ m; $N=+4,5$ mZH).

Verificou-se que a variação do período tem um efeito relevante sobre a altura de onda local: para cada segundo incrementado, a altura de onda local aumenta, em média, cerca de 0,25 m e o índice de agitação aumenta, em média, cerca de 0,02.

Como síntese final dos resultados desta fase do estudo, destacam-se as seguintes conclusões principais, aplicáveis apenas ao domínio das situações modeladas:

- uma onda ao largo com período $T=20$ s, rumo oeste e com uma altura significativa menor ou igual a 18 metros, atinge o local da obra com uma altura sempre inferior a $H_s=12$ m;
- a altura de onda local cresce, em média, cerca de 0,4 metros por cada metro incrementado no nível da água do mar (para $T=20$ s e $R_0=270^\circ$);
- o índice de agitação diminui, em média, cerca de 0,05 por cada metro incrementado na altura de onda ao largo (para $T=20$ s, $N=+4,5$ mZH e $R_0=270^\circ$);
- a altura de onda local aumenta, em média, cerca de 0,25 m por cada segundo incrementado no período de onda (para $T=20$ s, $N=+4,5$ mZH e $R_0=270^\circ$);
- o índice de agitação aumenta, em média, cerca de 0,02 por cada segundo incrementado no período de onda (para $H_b=15$ m, $N=+4,5$ mZH e $R_0=270^\circ$).

5.3 – Simulação da Agitação no Interior da Bacia Portuária

O modelo matemático utilizado foi o MIKE21BW (Boussinesq Wave Module), o qual permitiu simular os seguintes fenómenos presentes: difracção, reflexão parcial, empolamento e refracção. O modelo não reproduz a rebentação.

Estes ensaios foram realizados para as ondas $H = 1$ m e $H = 3$ m, para os períodos 8 s e 12 s e para os rumos locais 220° e 240° . Destas 8 combinações possíveis apenas uma delas ocasiona inoperacionalidade, isto é, origina uma altura de onda no posto de acostagem (ponto de controlo) superior ao valor máximo de 0,5 m admitido pelo navio de projecto em operação. Esta onda tem as seguintes características na fronteira do modelo: $H_s = 3$ m, $T_p = 12$ s e $R = 220^\circ$.

Segundo a estatística da distribuição das ondas pelos diferentes rumos e períodos com que ocorrem, é possível afirmar que a probabilidade de ocorrência desta onda é inferior a 1 %, pelo que se deverá esperar uma inoperacionalidade inferior a 4 das/ano. Este valor nunca seria atingível pois os postos de acostagem nunca estão ocupados durante todo o ano. Nestas condições, a ocorrência de inoperacionalidade do cais, devido à agitação marítima, deverá considerar-se quase nula.

Deve, por último, referir-se desde já que, segundo a estatística de fechamento completo do porto de Sines por razões de mau tempo, verifica-se que ele tem de encerrar, em média, durante cerca de 7 dias/ano. Isto corresponde a uma ocorrência de cerca de 2 % do tempo do ano, que equivale a uma altura significativa das ondas da ordem dos 5 m ao largo.

Efectivamente, é para ondas desta ordem de grandeza que os pilotos e reboques referem ser impraticável efectuar a manobra de entrada dos navios.

É importante ter presente que a navegação à entrada do porto de Sines faz-se numa área de grande vastidão e em águas profundas (não existe canal de acesso), pelo que não existem constrangimentos na entrada e saída dos navios. Apenas serão necessários 2 rebocadores, disponíveis no trem naval da APS, para movimentar o navio desde a zona de manobra até ao posto de acostagem.

6 – IMPLANTAÇÃO E CONCEPÇÃO ESTRUTURAL DA OBRA

6.1 – Geometria em Planta

A geometria em planta foi determinada, como já referido, para atender às necessidades de abrigo e de manobra dos navios porta-contentores que se prevê venham a ser recebidos no Terminal de Contentores.

Recorda-se que o leito do mar é rochoso em toda a zona envolvida no projecto, e daí a "obrigatoriedade" do aproveitamento dos fundos naturais, ou seja, da minimização do aprofundamento por quebraamento de rocha. Tendo a frente acostável sido implantada sobre fundos naturais de -15 a -18 mZH, a posição da obra de abrigo ficou encontrada face à necessidade de assegurar à bacia portuária, por razões de manobrabilidade dos navios, uma largura de 600 m. Na realidade, o eixo da superestrutura do novo quebra-mar, no trecho principal, dista 640 m do alinhamento do cais.

Foram inicialmente encaradas duas soluções alternativas para o molhe, diferindo apenas no comprimento total: alternativa A com 1100 m de comprimento, e alternativa B com 1420 m. O desenvolvimento em planta dum e doutra era o seguinte (ver Figura 6):

Alternativa A (molhe com 1100 m):

- troço recto inicial de 460 m de comprimento, contado a partir do enraizamento no extremo SE do Molhe Leste existente, fazendo com o alinhamento deste um ângulo de 16,8 graus (no sentido dos ponteiros do relógio);
- troço restante de 640 m até ao centro de rotação da cabeça, igualmente rectilíneo, segundo um alinhamento paralelo ao do actual Molhe Leste (rumo 130°).

Alternativa B (molhe com 1420 m):

- troço recto inicial igual ao considerado na alternativa A;
- troço restante de 960 m até ao centro de rotação da cabeça, rectilíneo e paralelo ao alinhamento do actual Molhe Leste.

Foi já referido que a opção final, na sequência do concurso público para a construção da obra, recaiu sobre a alternativa A.

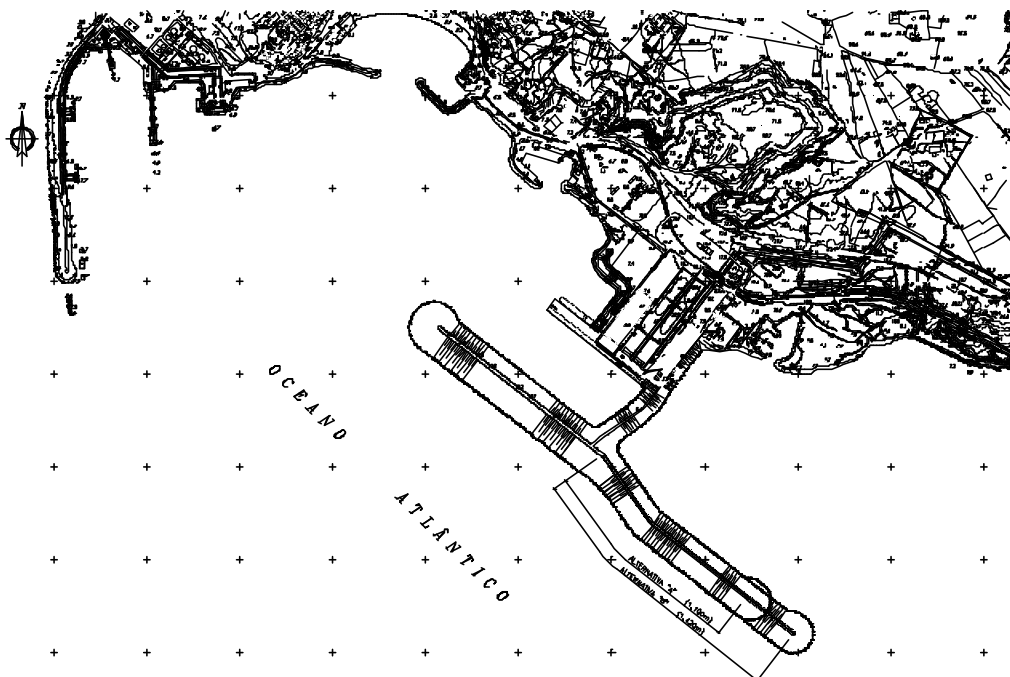


Figura 6 – Planta geral da obra do molhe (Alternativas A e B)

6.2 – Perfil Corrente

Repete-se que a constituição estrutural do novo quebra-mar se inspira, em larga medida, na do Molhe Leste existente. O perfil corrente adoptado é o que se ilustra na Figura 7.

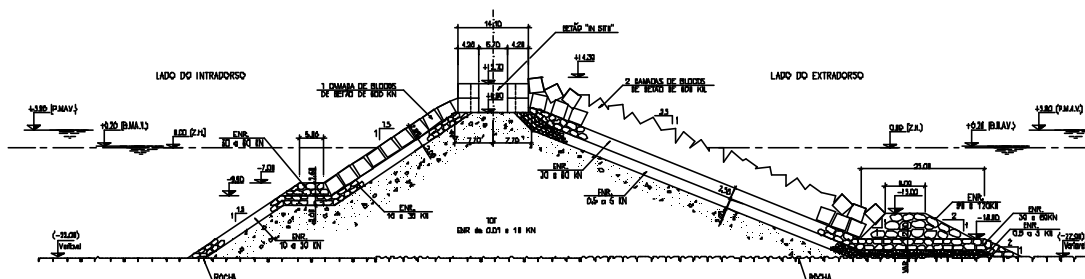


Figura 7 – Ampliação do Molhe Leste de Sines: perfil corrente.

O manto de protecção do tronco da obra é constituído por blocos de betão de 600 kN, do tipo utilizado em Antifer, também já aplicados no porto de Sines, no actual Molhe Leste e na reconstrução do Molhe Oeste. Dada a boa experiência adquirida com a utilização deste tipo de elementos, optou-se por uma solução de continuidade (decidiu-se manter o mesmo peso dos blocos utilizados na obra adjacente e confirmar a validade dessa opção nos ensaios em modelo físico efectuados no LNEC). As suas características são as indicadas no Quadro 5.

As inclinações adoptadas para os taludes (V:H) são de 1:2,5 no extradorso e de 1:1,5 no intradorso. A inclinação mais suave adoptada em toda a face do extradorso (lado mais vulnerável à agitação marítima) tem por objectivo permitir uma maior dissipação da energia das ondas.

No que respeita à espessura do manto de protecção, este compreenderá no extradorso 2 camadas de blocos e, no intradorso, uma única camada.

Quadro 5 – Tronco: características dos blocos de 600 kN

Peso dos blocos [kN]	Peso Volúmico [kN/m ³]	Volume [m ³]	Largura na base [m]	Largura no topo [m]	Altura [m]
P	γ	V	X	0,926 X	0,92 X
600	25,6	23,4	3,06	2,84	2,82

Nota: $V = 0,8081 X^3$.

O arranjo dos blocos, na zona mais exposta à agitação, será de tipo "irregular". Esta colocação não é de forma alguma aleatória pois deverá respeitar a densidade mínima de colocação, sendo o seu posicionamento orientado por uma "malha de implantação" a propor pelo empreiteiro.

Os sub-mantos são constituídos por enrocamentos, com as seguintes dimensões e correspondentes espessuras de camada:

- no extradorso: uma camada da classe 30 a 60 kN, com espessura de 2,5 m, sob o manto de protecção; uma outra camada de 0,5 a 5 kN, com espessura de 2 m, fazendo a transição entre a anterior e o núcleo;
- no intradorso: uma camada da classe 10 a 30 kN, com espessura de 2 m.

O núcleo do quebra-mar será constituído por pedra de todo o tamanho (TOT), estando garantida a condição de filtro entre esse núcleo e as camadas de sub-mantos que a ele suprajazem.

O prisma de pé-de-talude, que correrá ao longo de toda a face de extradorso, e também do perfil de rotação da cabeça do molhe, será realizado em enrocamentos de 90 a 120 kN.

6.3 – Perfil de Rotação da Cabeça

A estrutura da cabeça do molhe será gerada pela rotação de 180 graus do correspondente perfil, com o que esta adquirirá uma configuração tronco-cónica. O seu talude terá uma inclinação de 1:2,5, ou seja, idêntica à do perfil corrente. O manto de protecção deverá ser constituído por blocos de 710 kN, mas de características geométricas idênticas às do perfil corrente, portanto com igual volume. A diferença de peso (710 kN <> 600 kN) será obtida com o adensamento do betão utilizado: o betão dos blocos da cabeça será cerca de 18% mais denso que o dos blocos do tronco.

Num troço intermédio, de 50m, no extradorso, imediatamente antes de se iniciar o perfil de rotação da cabeça, o revestimento do manto será também realizado com blocos de 710 kN (ao invés de 600 kN).

Os blocos de 710 kN actualmente existentes na cabeça sul do Molhe Leste, onde se fará o enraizamento do novo molhe, deverão ser retirados e armazenados para posterior reutilização.

6.4 – Zona de Transição

A zona de transição, situada no intradorso e com um comprimento de 50m, permitirá fazer a compatibilização entre perfis com diferentes inclinações de talude e com mantos e sub-mantos de diferente número de camadas. Nesta zona, o talude evolui gradualmente de uma inclinação de 1:1,5 para uma inclinação mais suave de 1:2,5, a qual se mantém depois em toda a cabeça e ao longo de todo o talude do extradorso (talude mais exposto).

Nesta zona também se dá a transição de espessuras das camadas do manto de protecção. Dado que no talude do intradorso o revestimento é simples (uma única camada), e que em toda a cabeça e ao longo de todo o talude do extradorso o revestimento é duplo, também esta compatibilização deverá ser feita na zona de transição.

6.5 – Densidade de Colocação dos Blocos do Manto

A densidade de colocação dos blocos deve ser uniforme em cada uma das zonas da obra, para o que deverá ser garantida a aplicação de um número correcto de unidades por unidade de área de talude. Este número segue as indicações do Quadro 6.

Quadro 6 – Densidade de colocação dos blocos no manto

Zona do molhe	Peso dos blocos de betão	Processo de colocação
Perfil corrente, lado de extradorso	600 kN, 2 camadas	16 blocos / 100m ² de talude colocação clássica, "irregular"
Perfil corrente, lado de intradorso	600 kN, 1 camada	9 blocos / 100m ² de talude arrumação regular
Cabeça do molhe	710 kN, 2 camadas	16 blocos / 100m ² de talude colocação clássica, "irregular"

6.6 – Maciço de Coroamento (Superestrutura)

O maciço de coroamento, a executar com betão *in situ*, desenvolve-se ao longo de todo o comprimento da obra. Em secção, este maciço terá uma altura aproximada de dois blocos e uma largura de 5,7m situando-se entre as cotas +6,9 mZH e +12,7 mZH.

No processo construtivo do maciço deverá prever-se uma betonagem por troços de aproximadamente 15 m e segundo camadas, com vista a evitar o forte calor de hidratação que se produz durante as betonagens de grande volume. Refira-se que a cofragem lateral do maciço será realizada com os próprios blocos de betão, colocados justapostos em duas fiadas a duas alturas. A largura da superestrutura indicada acima (5,7 m) é, assim, a largura mínima da "vala" definida por estas duas paredes laterais construtivas. Significa isto que, considerando a dimensão em planta dos blocos que ficarão incorporados na superestrutura, a largura efectiva desta será sensivelmente superior.

O maciço comporta uma caleira de tubos, provida de tampa e de caixas de visita, que servirá para a passagem dos cabos eléctricos que irão alimentar postes de iluminação ao longo do molhe e o farol que será instalado na cabeça do mesmo.

7 – ENSAIOS EM MODELO FÍSICO

Os ensaios em modelo físico, em canal e em tanque, realizados no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), permitiram caracterizar o comportamento estrutural do molhe para diferentes acções (ondas), com diferentes características (altura, período e direcção) e diversas situações de nível do mar. Em todos os ensaios, o clima de agitação foi gerado a partir de um espectro empírico do tipo JONSWAP, caracterizado por um período de pico T_p e uma altura significativa H_s .

Qualquer dos modelos foi construído à escala 1:53,8 "seleccionada tendo em atenção a disponibilidade de modelos reduzidos de blocos, a minoração dos efeitos de escala e as dimensões do canal de ondas irregulares que melhores condições apresentava para a realização dos ensaios" (LNEC, 1997).

Estes ensaios estão descritos nos relatórios do LNEC cujas referências são 232/97/NPP, 241/97/NPP e 99/99/NPP.

Os ensaios em canal (ver Figura 8) incidiram não só sobre o perfil corrente completo, como é normal, mas também sobre uma fase construtiva em que a obra se apresenta bastante vulnerável, ou seja, quando o perfil ainda não está protegido pelos mantos dos taludes exterior e interior de blocos de betão, e não dispõe de superestrutura.



Figura 8 – Ensaios do perfil-tipo em modelo físico bidimensional
(canal de ondas do LNEC)

Na referida fase construtiva a função de "manto de protecção" será desempenhada pelo submanto de enrocamentos de 30 a 60 kN do talude exterior e de 10 a 30 kN do talude interior - Figura 7. Os níveis extremos considerados foram, respectivamente, de +3,8 mZH (máximo) e de +0,2 mZH (mínimo). Os estados de agitação simulados tinham um período de pico $T_p = 8$ s e alturas significativas crescentes até próximo da ruína do talude exterior. As conclusões principais desta fase de ensaios foram as seguintes:

- *o enrocamento de 30 a 60 kN de protecção do talude exterior [que nesta fase construtiva corresponderá ao manto de protecção] apresentou um comportamento perfeitamente estável até que, durante o período de exposição directa à agitação marítima, não foi excedido o valor $H_s = 4$ m associado a $T_p = 8$ s;*
- *para valores de altura de onda superiores, ocorreram alguns estragos, traduzidos pela escavação de uma vala, mas que se localizaram numa zona do talude situada acima da cota - 5 mZH.*

Para os ensaios bidimensionais do perfil completo, os níveis máximo e mínimo foram ainda +3,8 e +0,2 mZH, respectivamente, mas os períodos de pico passaram a ser $T_p = 12$ s e 20 s, associados a alturas significativas crescentes e apenas limitadas ou pela rebentação dentro do canal ou pela capacidade do equipamento experimental. Observa-se que estes ensaios vieram de certo modo reforçar o valor adoptado para a onda de projecto ($H_s = 12$ m) pois, para o nível máximo de maré de +3,8 mZH, a rebentação na zona de aproximação à obra impõe à altura da onda um valor limite de cerca de 12 m. Os principais resultados desta fase dos ensaios foram os seguintes:

- *tanto a protecção do talude exterior como a do talude interior apresentaram comportamento estável para todas as condições de agitação reproduzidas;*
- *o comportamento do perfil leva a crer na existência de uma significativa reserva de resistência, para a eventualidade de ocorrência de valores de H_s superiores a 12m;*
- *os galgamentos observados, embora intensos para as condições de agitação marítima mais desfavoráveis, não provocaram estragos significativos no talude interior do perfil.*

Os ensaios em tanque de ondas (ver Figura 9) foram desenvolvidos nas três fases a seguir descritas.



Figura 9 – Ensaio modelo físico tridimensional
(tanque de ondas do LNEC; modelo em fase de construção)

Numa primeira, os níveis extremos, períodos de pico e alturas significativas foram os da fase anterior (em canal, perfil completo). Refira-se que a altura significativa, limitada pela rebentação ou/e pela capacidade do equipamento experimental, atingiu os valores máximos (obviamente para o nível máximo +3,8 mZH) de 12,5 m e de 13,0 m, respectivamente para os períodos de pico $T_p = 12s$ e 20 s. Destes primeiros ensaios em bacia, resultaram as seguintes conclusões principais:

- *para as condições de projecto, a solução ensaiada apresentou-se globalmente estável;*
- *os resultados dos ensaios efectuados com condições de agitação marítima para além das consideradas no projecto da obra mostraram que esta dispõe de uma reserva de resistência que se pode considerar suficiente, por forma a evitar a ruína da obra mesmo que aquelas condições de agitação ocorram;*
- *não foi observado qualquer sinal evidente de instabilidade do manto resistente abaixo da cota -10 mZH pelo que será de admitir o aligeiramento do pé de talude, o qual deverá ser devidamente confirmado com a realização de ensaios em modelo reduzido.*

Numa segunda fase, o aspecto fundamental objecto de avaliação foi a redução da estabilidade do manto ao longo dos anos como resultado do previsível desgaste dos blocos de betão. Com efeito, os movimentos e choques dos elementos do manto com os seus vizinhos no decurso dos grandes temporais, leva ao arredondamento das arestas e à perda de peso. Os ensaios incidiram portanto sobre o perfil corrente completo, mas com a camada exterior do manto executada com blocos previamente boleados (com betoneira) que implicou uma redução do seu peso nominal da ordem de 10 a 20%. As restantes condições de ensaio foram as da fase anterior. Os resultados principais foram os seguintes:

- *o manto de protecção ficará de facto fragilizado com o boleamento das arestas e com a perda de peso, como seria de esperar; as situações mais adversas corresponderão à associação de ondas de período elevado com níveis máximos de maré;*
- *no entanto, a 2ª camada do manto não chegou a ser afectada durante as 3 horas (protótipo) de duração de cada ensaio, mesmo para ondas de altura $H_s=13$ m;*
- *foi por isso considerado não se justificar o aumento do peso dos blocos a aplicar no manto por forma a compensar as perdas que, no decorrer da sua vida útil, poderão vir a ocorrer.*

Finalmente, numa terceira fase de ensaios em tanque (tridimensionais) pretendeu-se avaliar os efeitos, em especial sobre o comportamento da cabeça e do talude interior do molhe, da

ocorrência dos grandes temporais marítimos associados a um nível excepcional do mar de +4,5 mZH. As restantes condições de ensaio foram as da fase anterior, nomeadamente o boleamento e perda de peso dos blocos. As principais conclusões foram as seguintes:

- *"do ponto de vista da estabilidade do manto resistente do troço final do corpo do molhe e do perfil de rotação da cabeça, os resultados destes ensaios confirmaram, na generalidade, os obtidos nos ensaios anteriormente efectuados com cubos boleados";*
- *o galgamento da extremidade da superestrutura do molhe foi, nestes ensaios, um pouco superior ao anteriormente observado sem que, contudo, tenham sido registados estragos na zona interior do perfil de rotação da cabeça;*
- *a disposição dos blocos em duas camadas arrumadas mostrou-se, do ponto de vista da estabilidade, mais eficaz do que a semi-arrumação dos blocos em três camadas;*
- *embora no final do ensaio fossem visíveis estragos consideráveis, não se adivinhavam indícios de rotura da obra, tendo-se mesmo observado uma ligeira estabilização dos estragos.*

Em suma, os ensaios em modelo físico do LNEC permitiram confirmar que, para as condições de projecto, a estrutura da obra é globalmente estável e que, mesmo para condições acima das de projecto, dispõe de uma reserva de estabilidade que evitaria a sua ruína.

8 – CONCLUSÕES

A obra de Ampliação do Molhe Leste, constituindo uma das mais importantes componentes do vasto empreendimento que se pretende realizar no porto de Sines, o Terminal de Contentores, teve por base um vasto conjunto de estudos que constituem um dos mais completos trabalhos de índole portuário realizados no país para efeitos de implantação de um terminal especializado.

A presente comunicação descreve sumariamente os seus aspectos de concepção e dimensionamento, nomeadamente no que respeita aos estudos em modelo físico e matemático e de dimensionamento estrutural.

Importará salientar que a solução estrutural adoptada não pode ser considerada uma mera cópia da que foi executada no Molhe Leste existente.

O facto de se reconhecer que esta obra tem tido um excelente comportamento desde a sua construção há cerca de 14 anos, poderia ter levado à decisão apressada de fazer a sua ampliação executando "mais do mesmo". É no entanto sabido que as condições naturais, nomeadamente a morfologia do fundo na zona de aproximação, podem determinar regimes de agitação sensivelmente distintos entre pontos relativamente próximos. Por outro lado, a observação contínua da agitação na área de Sines no período entretanto decorrido, permitiu melhorar o conhecimento do respectivo clima de agitação e afinar o seu regime de extremos.

Daí que, tomando como ponto de partida uma solução estrutural inspirada no molhe existente, esta tenha sido objecto dum extenso e profundo programa de estudos visando a sua afinação e adaptação às condições locais.

A obra de Ampliação do Molhe Leste do Porto de Sines encontra-se actualmente (Junho / 2001) na sua fase inicial de construção. Uma vez finalizada, possibilitará o pleno desenvolvimento do Terminal de Contentores, que constituirá uma das mais importantes infra-estruturas para o porto de Sines e para o desenvolvimento do país.

BIBLIOGRAFIA

- [1] "TERMINAL DE CONTENTORES DO PORTO DE SINES: PROJECTO DE AMPLIAÇÃO DO MOLHE LESTE", PROMAN – Centro de Estudos e Projectos (2000)
- [2] "TERMINAL DE CONTENTORES DO PORTO DE SINES: PROJECTO DAS OBRAS DE ACOSTAGEM E TERRAPLENOS", PROMAN – Centro de Estudos e Projectos (2000)
- [3] "MOLHE DE PROTECÇÃO DO TERMINAL DEFINITIVO DE CARGA GERAL DO PORTO DE SINES: ENSAIOS ADICIONAIS TRIDIMENSIONAIS DE ESTABILIDADE E GALGAMENTOS", Relatório 99/99/NPP, LNEC (Mai., 1999)
- [4] "MOLHE DE PROTECÇÃO DO TERMINAL DEFINITIVO DE CARGA GERAL DO PORTO DE SINES: ENSAIOS TRIDIMENSIONAIS DE ESTABILIDADE E GALGAMENTOS", Relatório 241/97/NPP, LNEC (Nov. 1997)
- [5] "MOLHE DE PROTECÇÃO DO TERMINAL DEFINITIVO DE CARGA GERAL DO PORTO DE SINES: ENSAIOS BIDIMENSIONAIS DE ESTABILIDADE E GALGAMENTOS", Relatório 232/97/NPP, LNEC (Out. 1997)
- [6] "TERMINAL DEFINITIVO DE CARGA GERAL DO PORTO DE SINES: ESTUDO DE IMPACTE AMBIENTAL", AGRI-PRO (1997)
- [7] "TERMINAL DEFINITIVO DE CARGA GERAL DO PORTO DE SINES: RELATÓRIO DOS ESTUDOS PREPARATÓRIOS", PRET (1997)
- [8] "ESTUDO DO MERCADO DO HINTERLAND DO PORTO DE SINES", PROMAN – Centro de Estudos e Projectos (Jan. 1997)
- [9] "ESTUDO DO TRÁFEGO DE CONTENTORES NO PORTO DE SINES: RELATÓRIO FINAL", PRET (Set. 1994)
- [10] "FINAL REPORT OF SUB-PROJECT A: WIND WAVE CLIMATOLOGY OF THE PORTUGUESE COAST", NATO, PO-WAVES, LNEC/IH (1994)
- [11] "VALORES EXTREMOS DA AGITAÇÃO MARÍTIMA: PASSAGEM AO LARGO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA EM SINES", NATO, PO-WAVES (Set. 1993)
- [12] "VALORES EXTREMOS DA AGITAÇÃO MARÍTIMA - SINES: ACTUALIZAÇÃO DO REGIME DE EXTREMOS LOCAL E EVOLUÇÃO DAS ONDAS DOS T ANOS", Relatório 260/98 - NPP, LNEC (Out. 1998)
- [13] "MASTER PLAN - PORT OF SINES, EVALUATION OF SITE CONDITIONS & PORT PLANNING CRITERIA", PRC Harris Inc., Consulting Engineers (1985).
- [14] "GEOTECHNICAL INVESTIGATION AND ENGINEERING ANALYSIS: PORT OF SINES", D'Appolonia (Set. 1982)
- [15] "CARTA HIDROGRÁFICA Nº 84 - PORTO DE SINES", Escala 1/7.500, 2ª Edição (1986)
- [16] "ROTEIRO DA COSTA DE PORTUGAL", 2ª Edição, Instituto Hidrográfico (1990)
- [17] "TABELAS DE MARÉS DE PORTUGAL CONTINENTAL", Instituto Hidrográfico (1998)
- [18] "NORMAIS CLIMATOLÓGICAS", correspondentes a 1951-1980, INMG (1991)
- [19] "ANUÁRIO CLIMATOLÓGICO DE PORTUGAL", Observações de Superfície, INMG
- [20] "SHORE PROTECTION MANUAL", CERC (1984)