



PROJETO E CONSTRUÇÃO DO NOVO QUEBRA-MAR E CAIS DO PORTO DE CABINDA

Hugo Leite ⁽¹⁾; **João Melo** ⁽²⁾; **Paulo Elias** ⁽³⁾

⁽¹⁾ MSW, Estudos e Projetos de Obras Marítimas, Lda; WW Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, SA

hleite@msw-consultores.pt

⁽²⁾ Seth, Sociedade de Empreitadas e Trabalhos Hidráulicos, S.A.

joao.melo@seth.pt

⁽³⁾ Mota-Engil Angola

paulo.elias@mea.co.ao

Introdução

O Instituto Marítimo e Portuário de Angola (IPMA) e a Empresa Portuária de Cabinda (EPC) tomaram a decisão de construir um quebra-mar a este do cais flutuante existente no Porto de Cabinda e promoveram a execução dos estudos de base e do projeto necessário à construção da obra. A finalidade da obra será garantir as condições de abrigo que conduzam à melhoria da operacionalidade do atual cais flutuante. A construção do novo quebra-mar possibilitará ainda a criação de novos postos de acostagem no seu intradorso.

Em 2016, o consórcio Mota-Engil Angola / Seth Angola propôs uma solução alternativa para a construção do quebra-mar e do cais. A solução proposta por este consórcio consiste na construção de um aterro com o material resultante da dragagem do canal de acesso e bacia de manobra dos navios. A contenção do aterro será realizada com recurso a cortinas de estacas-pranchas metálicas.

A solução alternativa resulta em benefícios ambientais relevantes, pois promove o aproveitamento da areia de dragagem do canal e da bacia de manobra. Comporta ainda benefícios importantes do ponto de vista económico, por não implicar a utilização de enrocamento, material que não se encontra disponível nas proximidades da obra, e que, por este motivo, teria um custo de utilização muito significativo. A solução alternativa mereceu a aprovação do Dono de Obra. O consórcio adjudicou o projeto à WW, Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, SA.

Descrição do arranjo geral

O quebra-mar terá aproximadamente 660 m de comprimento e será composto por dois tramos com orientações distintas. O tramo inicial, de enraizamento, terá 295 m de comprimento e 12,25 m de largura e será disposto com uma direção sensivelmente perpendicular à linha de costa, estendendo-se deste a praia até à seção de inflexão. O tramo final terá 365m de comprimento e 40 m de largura e estender-se-á desde a secção de inflexão até à cabeça do quebra-mar, com uma direção que difere da direção do tramo inicial de 50º para NE. Ambos os tramos do quebra-mar serão acostáveis no seu intradorso. Serão criados postos de acostagem com fundos de -5,00 m LAT, e de -9,00 m LAT ao longo dos trocos inicial e final, respetivamente.

No intradorso do quebra-mar, na zona de inflexão, na transição entre os dois tramos do quebra-mar, será construída uma rampa *Roll-on Roll-off (Ro-Ro)*. A rampa terá 25 m de largura e 30 m de comprimento, e uma inclinação de 10%. O bordo da rampa localizar-se-á à cota +1,50 m (LAT).



Figura 1 – Planta da situação inicial (fonte *Google Earth*).

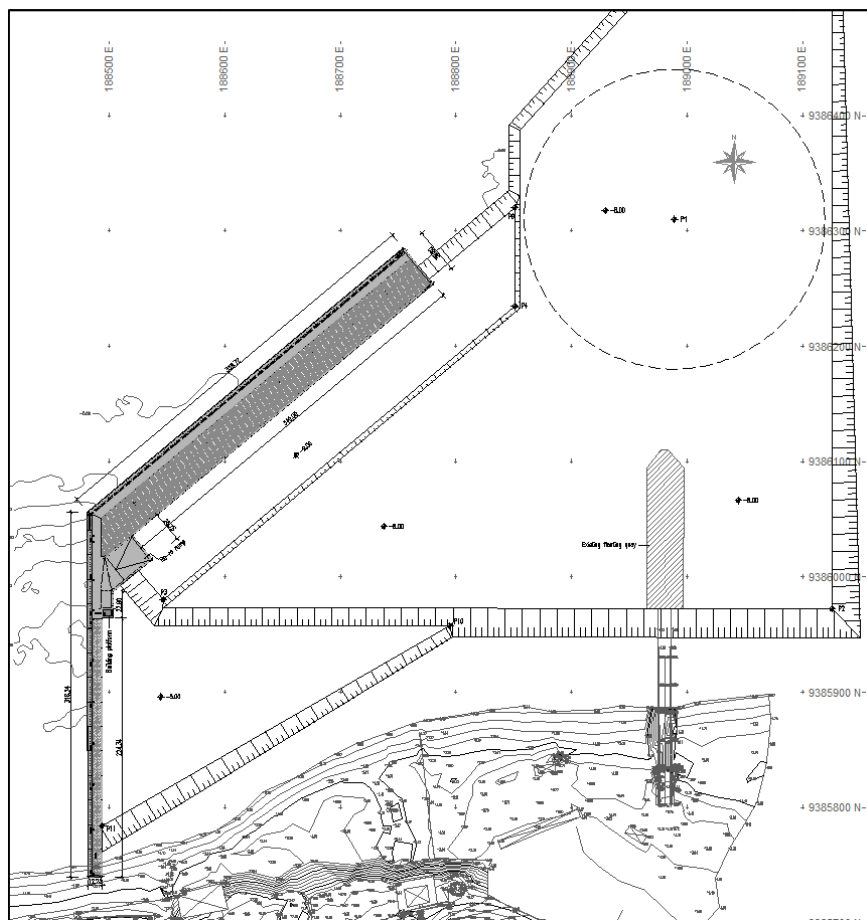


Figura 2 – Planta de arranjo geral.

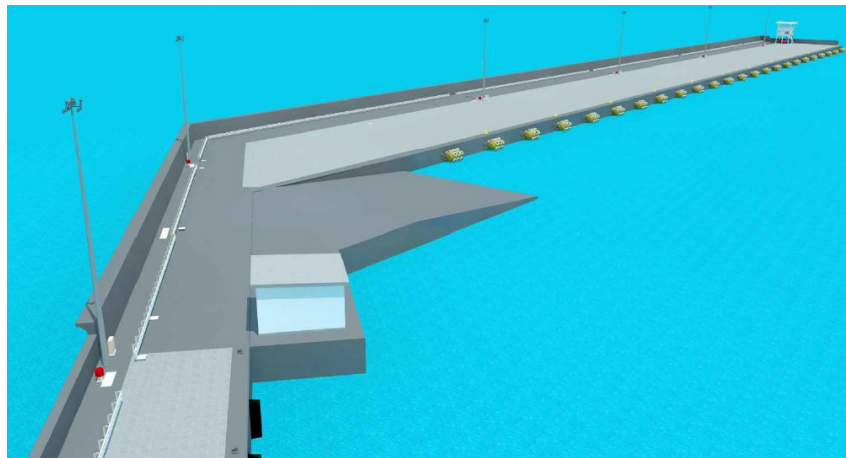


Figura 3 – Vista do quebra-mar (modelo tridimensional)

Descrição da solução

Solução estrutural

A estrutura de ambos os tramos do quebra-mar será composta por duas cortinas de estacas-prancha metálicas suportadas por tirantes metálicos. As cortinas de contenção do extradorso serão encabeçadas por um muro-cortina de grandes dimensões, construído em betão armado. As cortinas de contenção do intradorso serão encabeçadas por uma viga de coroamento de grandes dimensões, em betão armado, onde será instalado o equipamento de cais.

No tramo inicial, desde o enraizamento até ao ponto de inflexão, a estrutura será composta por duas cortinas de estacas-pranchas combinadas utilizando o sistema HZM, recorrendo à combinação de perfis HZ 880M A-12/AZ18-800, ancorados por tirantes $\Phi 52/M68$, colocados à cota +1.30 m (LAT) e com 2,127 m de espaçamento. A cota da ponta dos perfis é variável ao longo das cortinas, sendo estabelecida em função da posição altimétrica do fundo do mar e das condições geotécnicas do local.

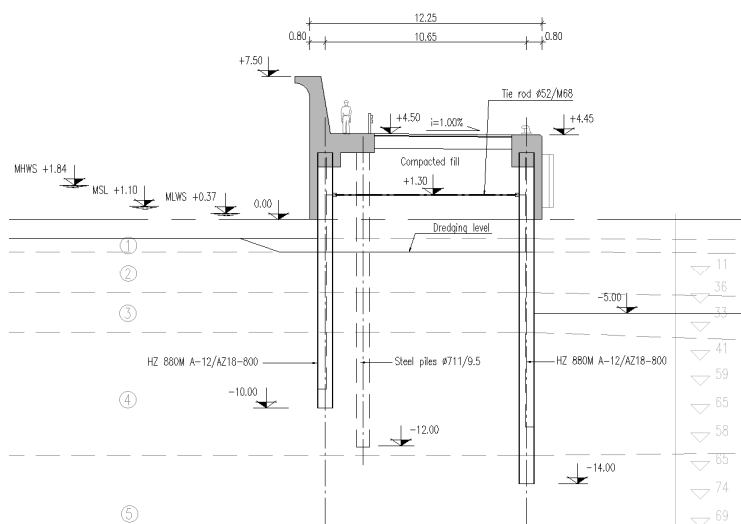


Figura 4 – Perfil tipo do tramo inicial, correspondente ao caminho de acesso.

Na restante extensão do quebra-mar, a estrutura será composta por duas cortinas de estacas-pranchas metálicas combinadas utilizando o sistema HZM, recorrendo à combinação HZ 880M A-12/AZ18-800 na cortina do lado do mar, e à combinação HZ 880M B-12/AZ18-800 na cortina interior, na contenção do aterro junto ao cais. A cortina de contenção do aterro do lado do cais

será reforçada localmente com conectores RH 16 com 8,00 m de comprimento, soldados no banzo interior dos perfis HZM. Os elementos de reforço serão instalados entre as cotas -2,00 m (LAT) e -10,00 m (LAT).

As cortinas de contenção do aterro serão ancoradas uma à outra com tirantes $\Phi 64/M76$ instalados à cota +1.80 m (LAT), dispostos com um espaçamento de com 2,127 m entre si. A cota da ponta dos perfis é variável ao longo das cortinas, sendo estabelecida em função da posição altimétrica do fundo do mar e das condições geotécnicas do local.

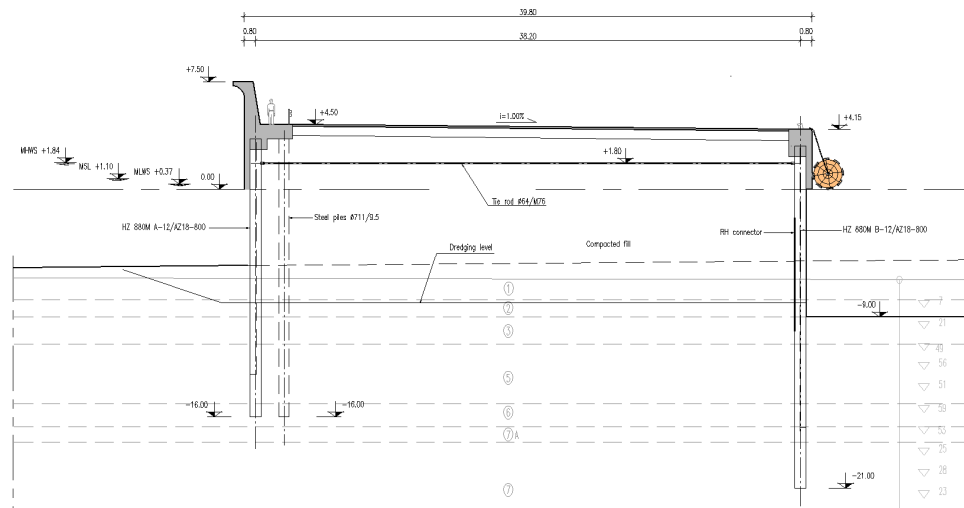


Figura 5 – Perfil tipo tramo do lado do mar.

Na transição entre ambos os tramos do quebra-mar, na zona de inflexão, a cortina exterior e a cortina interior serão travadas por cortinas de ancoragem em estacas-pranchas em perfil AZ 18-800, através a tirantes de ancoragem similares aos acima descritos. Solução semelhante será utilizada na cortina de fecho, na cabeça do quebra-mar.

Releva-se a conceção das ligações entre os diversos perfis nas zonas de inflexão e nas zonas de canto. A geometria irregular da estrutura e, particularmente, as singularidades geométricas a respeitar, como seja a zona da rampa *Ro-Ro*, implicou a utilização perfis metálicos especiais, de conexão, de vários tipos, bem como a necessidade de adaptar a geometria de determinadas estacas prancha.

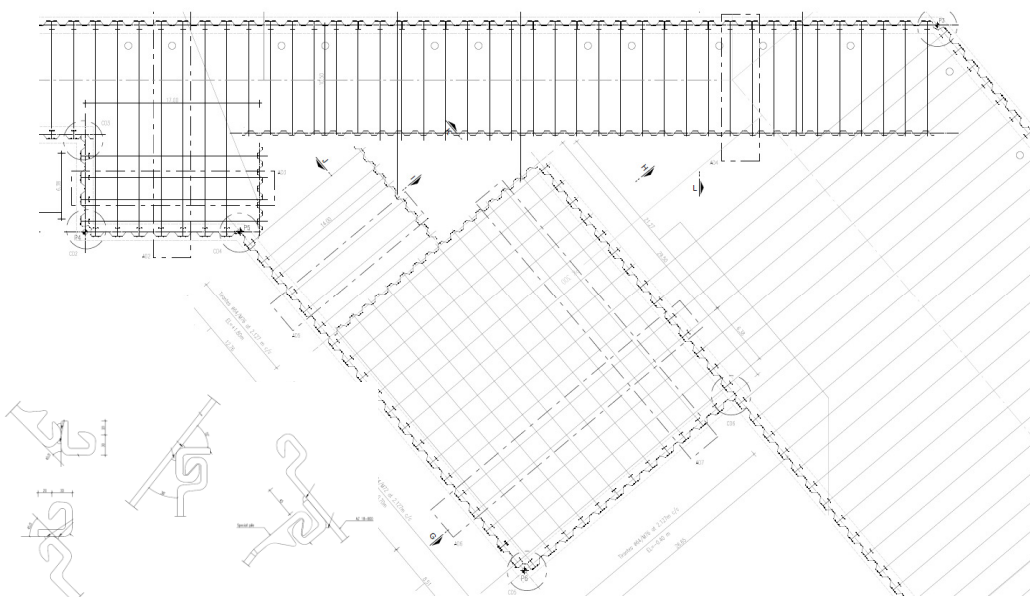


Figura 6 – Pormenorização das cortinas nas zonas de inflexão e nas zonas de canto.



A proteção contra a corrosão das cortinas de estacas-pranchas será assegurada pela sobre espessura dos perfis de estacas prancha e por um sistema de proteção catódica das faces expostas das estacas.

O aterro do quebra-mar será realizado por despejo de material selecionado resultante das obras de dragagem da bacia e do canal de acesso do porto. De modo a que o material de aterro atinja as propriedades de resistência e de deformabilidade especificadas no projeto será necessário proceder ao seu tratamento. Tendo em conta as características do material que será utilizado, realizar-se-á o tratamento por vibrocompactação da parte submersa e a compactação por meios e processos correntes da parte emersa.

O coroamento das cortinas interiores de contenção do aterro, as estruturas de contenção dos cais, será materializado por vigas de grande secção, em betão armado, as quais funcionarão como elementos de suporte e distribuição das cargas de acostagem e de amarração dos navios. A parte exterior das vigas de coroamento estender-se-á até à cota 0,00 m (LAT) de forma a conferir a proteção contra a corrosão na parte superior das cortinas de estacas-pranchas.

No coroamento das cortinas exteriores será construído um muro-cortina em betão armado. A função do muro-cortina será a de minimizar os galgamentos em situações de forte agitação marítima. A cota de coroamento do muro-cortina nos primeiros 130,50 m de comprimento do tramo inicial será +6,50 m (LAT). Na restante extensão do quebra-mar a cota de coroamento do muro-cortina será a cota +7.50 m (LAT).

Equipamento de cais

O cais principal, com cota de fundo de serviço -9.00 m (LAT), será equipado com 23 defensas pneumáticas com 2000 mm de diâmetro e 3500 mm de comprimento, com uma capacidade de dissipação de energia até 491 kN.m e espaçadas de 14 m. Este cais será também equipado com 14 cabeços de amarração de 80 t de capacidade, dispostos com um espaçamento de 29.72 m.

O cais secundário, com cota de fundo de serviço -5.00 m (LAT) será equipado com 25 defensas de borracha do tipo SX 600 (G3.0), ou equivalente, com 3,40 m de comprimento, espaçadas aproximadamente de 7 m. Este cais será equipado com 14 cabeços de amarração de 50 t de capacidade. Na viga de coroamento da rampa Ro-Ro serão instaladas defensas do tipo SX-P 600 (G3.0). Estas defensas terão 1.50 m de comprimento e serão instaladas horizontalmente.

Serão instaladas escadas de segurança em aço em ambos os cais.

Pavimento

A estrutura do pavimento da plataforma do quebra-mar será construída sobre o material de aterro de natureza arenosa, após a sua compactação. Na maioria da área da plataforma a estrutura do pavimento será composta por uma camada superficial de blocos de betão pré-fabricados com 0,08 m de espessura assentes sobre uma camada de areia com 0,03 m de espessura. A camada de base deste pavimento será realizada em agregado britado estabilizado com cimento (AGEC), com 0,65 m de espessura.

A camada superficial do pavimento na zona adjacente ao muro cortina, com uma largura de 7,25 m será distinta. Nesta área, em detrimento da camada de blocos de betão pré-fabricados, a camada superficial será composta por uma laje de betão não armado com 0,20 m de espessura, assente sobre uma camada de base em agregado britado estabilizado com cimento (AGEC), com 0,35 m de espessura. Com esta solução pretende-se conferir uma resistência adicional ao pavimento, particularmente no que respeita à estabilidade da camada superficial perante o efeito desfavorável provocado pela água resultante do galgamento do muro-cortina.

Condições naturais do local

Topografia e batimetria

A posição do fundo na zona de implantação da obra varia entre as cotas -1,00 m (LAT) e -



6,00 m (LAT). A inclinação do fundo é muito suave, variando de 0.5% (de -6,00 m (LAT) a -4,00 m (LAT)) a 1.2% (entre -4,00 m (LAT) e -1,00 m (LAT)).

Condições geológicas e geotécnicas

Foi efetuada uma campanha de prospeção geológica e geotécnica com o objetivo de permitir a caracterização das condições do local da obra, de forma a possibilitar a definição das soluções de fundação da estrutura do quebra-mar.

Foram realizadas 14 sondagens mecânicas na área em estudo, ao longo das quais foram realizados ensaios de penetração dinâmica (SPT) e recolhidas amostras que foram utilizadas na realização de um conjunto de ensaios laboratoriais.

Os resultados obtidos levaram à definição de um perfil de terreno composto por oito camadas de diferentes propriedades, conforme apresentado na tabela em baixo.

Tabela 1 – Definição das camadas de terreno identificadas.

Nº da camada	Designação	Cota da face superior da camada (LAT)		Espessura (m)	
		Min.	Máx.	Min.	Máx.
1	Silte	-6.60	-0.96	0.70	2.40
2	Areia Siltosa	-8.40	-2.00	1.10	5.10
3	Areia fina	-10.50	-1.66	1.20	5.40
3A	Arenito	-10.79	-7.06	0.70	0.70
4	Areia fina	-11.40	-5.90	2.00	6.50
5	Areia Siltosa	-13.80	-10.90	1.20	8.00
6	Areia Siltosa com blocos de rocha e arenito	-20.30	-14.30	0.50	3.50
7	Argila	-27.10	-17.40	0.50	8.60
7A	Areia fina Siltosa	-19.80	-16.20	0.70	4.80
8	Areia fina Siltosa	-28.10	-20.20	1.80	11.70

Os valores dos parâmetros geotécnicos adotados no dimensionamento da estrutura foram definidos a partir dos resultados dos ensaios de campo e dos ensaios laboratoriais utilizando correlações propostas em bibliografia de referência e em determinadas normas.

Marés e níveis da água do mar

O regime de marés no local é regular do tipo semidiurno. Segundo a tabela de marés disponibilizada pelo Instituto Hidrográfico, os níveis das marés no local são os seguintes:

- Preia-mar de águas vivas +1.84 m (LAT)
- Preia-mar de águas mortas +1.46 m (LAT)
- Nível médio +1.10 m (LAT)
- Baixa-mar de águas mortas +0.73 m (LAT)
- Baixa-mar de águas vivas +0.37 m (LAT)

Os níveis de maré de projeto foram estabelecidos com base nos valores indicados em cima e tendo em conta as flutuações resultantes das alterações climáticas.

- Nível extremo da preia-mar +2.7 m (LAT)
- Preia-mar +2.2 m (LAT)
- Nível extremo da baixa-mar +0.1 m (LAT)

Agitação marítima

Efetuu-se um estudo com o objetivo de caracterizar o regime de agitação no local da obra. O



objetivo deste estudo foi o de determinar as condições de agitação a considerar no projeto das obras marítimas. O estudo de agitação permitiu estabelecer os valores da altura, do período e direção das ondas de projeto utilizados no dimensionamento estrutural do quebra-mar. O estudo permitiu ainda avaliar as condições de operacionalidade dos postos de acostagem a cria na zona abrigada pelo quebra-mar.

A metodologia geral do estudo foi a seguinte:

- Definição do regime de agitação marítima ao largo;
- Propagação do regime de agitação marítima desde o largo até à costa, para:
 - definição da onda de projeto para o dimensionamento do novo quebra-mar;
 - definição das condições de agitação para os estudos de operacionalidade dos cais;
- Propagação do regime de agitação marítima obtido junto à costa, para avaliação das condições de agitação nos cais e nas docas flutuantes existentes.

Foram adquiridos 33 anos de dados de agitação ao largo provenientes de *hindcast* - desde 1 de Janeiro de 1979 a 31 de Dezembro de 2011, com vista à definição do regime de agitação marítima ao largo. Os dados de agitação foram obtidos num ponto com as coordenadas 11.5178 ° E, -6.4595 ° S, a uma profundidade de 420 m, a aproximadamente 125 km a sul de Cabinda.

O conjunto de dados continha uma série horária de vários parâmetros, num total de 289 273 registos, incluindo informação sobre *swell*, *sea* e *total waves* (conjugação de *sea* e *swell*).

O estudo dos dados obtidos ao largo permitiu concluir que as ondas provêm sobretudo do setor entre 190 ° e 230 ° (99 %). A maioria dos períodos de pico das ondas encontra-se entre os 9 s e os 15 s (88%). Embora existam alguns registos de alturas significativas de onda superiores a 3,6 m, as alturas de onda são inferiores a 2 m em aproximadamente 90% do tempo. Alturas significativas de onda superiores a 3,0 m estão associadas a períodos entre os 10 s e os 20 s e a direções entre os 190 ° e os 230 ° (que são os mais frequentes).

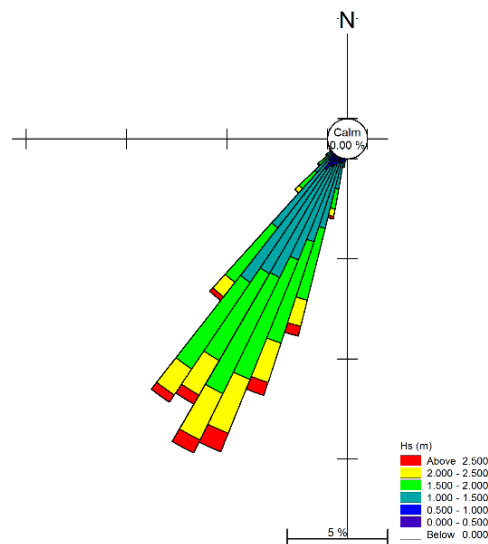


Figura 7 – Agitação ao largo. Distribuição de frequências – *Total Waves*.

A transformação das ondas desde o largo até à costa foi realizada com o modelo numérico MIKE21 SW (Spectral Wave Model FM) do *Danish Hydraulics Institute* (DHI). Foram utilizados os seguintes dados do regime ao largo para a propagação desde o largo até à costa: altura significativa da onda (H_s), período de pico da onda (T_p) e direção média da onda (MWD).

Extraíram-se do modelo numérico os resultados, em termos de H_s , T_p e MWD, de todas as simulações, para a definição das matrizes de transferência para:

- os pontos em que as ondas de projeto foram calculadas (definidos ao longo do novo quebra-mar);
- o ponto junto à costa utilizado para a definição das condições de onda para os estudos de agitação no interior do porto.

Junto à costa, as ondas provêm sobretudo do setor entre 250° e 270° (93 %), demonstrando a alteração na direção da onda provocada pela batimetria do local. A maioria dos períodos de pico das ondas está situada entre 10 s e 16 s (cerca de 90%). Embora existam alguns registos de alturas significativas de onda até 2,6 m, as alturas de onda são inferiores a 1,6 m em cerca de 97 % do tempo.

Alturas significativas de onda superiores a 2,0 m estão normalmente associadas a períodos entre os 14 s e os 20 s e provêm de direções entre 250° e 270° (que é o setor de direções mais frequentes).

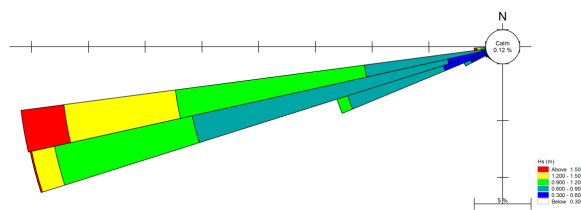


Figura 8 – Distribuição de frequências no ponto junto à costa – *Total waves*.

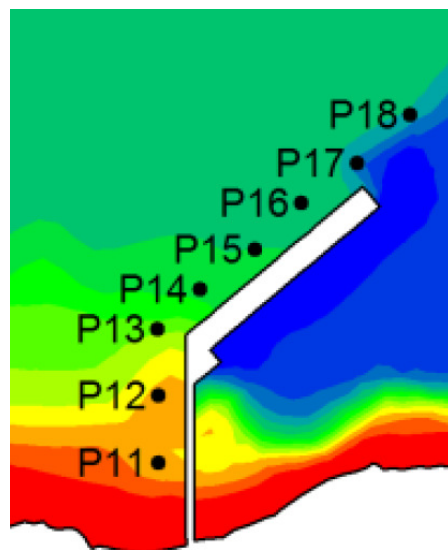


Figura 9 – Localização dos pontos para a definição das ondas de projeto.

Apresenta-se de seguida uma tabela na qual são apresentados, a título indicativo, os valores das alturas significativas correspondentes a diferentes períodos de retorno calculadas num ponto próximo da extremidade quebra-mar.



Tabela 2 – Valores significativos das alturas das ondas para vários períodos de retorno com indicação dos valores associados com um intervalo de confiança de 95% (ponto P18).

Ponto	Período de retorno (Anos)	EVA
		Hs (m)
P18	1	1.69±0.2
	5	1.95±0.4
	10	2.06±0.5
	20	2.17±0.7
	50	2.30±0.9
	100	2.40±1.2

Dimensionamento estrutural

Metodologia de verificação da segurança

As estruturas foram dimensionadas seguindo os critérios de segurança definidos na NP EN 1990 [1], e nos restantes eurocódigos estruturais aplicáveis, bem como em recomendações especificamente aplicáveis ao dimensionamento de obras marítimas e portuárias, utilizando o método semi-probabilístico aplicado por meio do método dos coeficientes parciais de segurança.

Os valores dos coeficientes parciais de segurança utilizados no dimensionamento da estrutura - tanto os valores aplicados às ações e como os valores aplicados às propriedades resistentes dos materiais – bem como os valores dos coeficientes de redução, foram os valores estabelecidos nos eurocódigos e em normas complementares dedicadas ao projeto de obras marítimas e portuárias.

O tempo de vida útil de projeto da estrutura do quebra-mar e cais é de 50 anos.

Bases do projeto - Propriedades dos materiais estruturais

Indicam-se as especificações dos materiais estruturais utilizados:

- Betão - C30/37 / XS3 (Pt) / CI 0,2 / D19 / S4 (EN 206-1:2000)
- Armaduras ordinárias - $f_{yk} = 500$ MPa Classe C (EN 10080:2011)
- Aço estrutural (estacas tubulares) - S 355 JOH (EN 10219)
- Aço estrutural (estacas-prancha) - S 430 GP / S 355 GP (EN 10248)
- Aço estrutural (tirantes) - S 460 (EN 10025).

Bases do projeto – Navios de projeto

As dimensões dos navios de projeto são apresentadas na tabela seguinte.



Tabela 3 – Características dos navios de projeto.

	Cais com fundo a -9.00 m (LAT)		Cais com fundo a -5.00 m (LAT)
	Maior navio	Menor navio	Maior navio
Tipo de navio	Navio porta-contentores	Navio de carga geral	Navio de carga geral
Tonelagem (DWT)	10 000	1 000	1 000 t
Comprimento (LOA)	141 m	67 m	67 m
Boca	22.4 m	10.8 m	10.8 m
Calado	8 m	3.9 m	3.9 m
Deslocamento	15 100 t	1 690 m	1 690 m

Bases do projeto – Ações relevantes – Sobrecargas de utilização

A estrutura foi dimensionada para suportar diferentes sobrecargas de utilização. Indicam-se em baixo as mais relevantes.

- Área de operação - 30 kPa
- Área de armazenamento (restante área) - 60 kPa
- Camião com atrelado com capacidade para 40t
- Empilhadores de contentores com capacidade para 40t
- Grua móvel portuária.

Bases do projeto – Ações relevantes – Ação das ondas

A ação das ondas nas estruturas é considerada através de diagramas de pressões equivalentes. Os valores das pressões das ondas são calculados recorrendo a metodologias desenvolvidas com base em resultados obtidos em ensaios em modelo físico.

Para estruturas verticais contínuas, como o quebra-mar, aplica-se a teoria da reflexão, calculando-se as ações das ondas pelas seguintes formas:

- Crista da onda (onda rebentada ou onda não rebentada) – utilizada a formulação de *Goda (1974)*
- Cava da onda (onda não rebentada) – utilizado o método de *Sainflou*.

As pressões provocadas pelas ondas foram calculadas tendo em conta os parâmetros de agitação determinados no estudo de agitação para vários pontos ao longo do quebra-mar.

Modelação da estrutura

A análise estrutural foi realizada recorrendo a modelos numéricos de elementos finitos (FEM), construídos no *software* de cálculo PLAXIS 2D 2016, desenvolvido pela empresa PLAXIS B.V.

Todos os elementos estruturais foram simulados como materiais com comportamento elástico linear. O solo foi modelado recorrendo ao modelo constitutivo *Hardening Soil Model*. A rotura do solo foi realizada recorrendo ao critério de rotura de *Mohr-Coulomb*.

Os modelos de cálculo utilizados permitem a simulação das diferentes fases do processo de construção e de serviço da estrutura incluindo, em cada uma das fases, a aplicação de diversos tipos de carregamento. Permitem, igualmente, a análise das tensões e das deformações do terreno e dos elementos estruturais em cada uma das fases de estudo e a verificação dos Estados Limites de Utilização relevantes. Através da adoção dos valores de cálculo das propriedades do terreno e das ações, os modelos de cálculo permitem ainda a verificação dos Estados Limites Últimos relacionados com a rotura do terreno ou dos elementos estruturais.

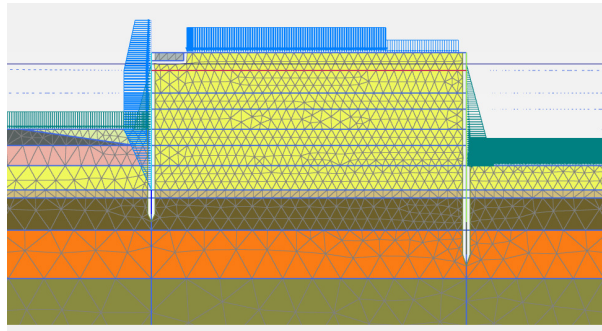


Figura 10 – Exemplo de um dos modelos de cálculo utilizados.

Construção da obra

A empreitada de construção do quebra-mar encontra-se em curso. Os trabalhos de aterro e de cravação das cortinas de contenção foram já finalizados, encontrando-se em curso os trabalhos de construção das estruturas de coroamento; os muros-cortina e as vigas de coroamento. Seguir-se-ão os trabalhos de pavimentação e de acabamentos.

De seguida abordam-se alguns aspetos de interesse relativos à construção do quebra-mar.

Dificuldades na cravação de estacas e sistemas adotados

As sondagens efetuadas durante a fase de execução permitiram detetar camadas de material arenoso de elevada densidade relativa e zonas nas quais o material arenoso se encontrava cimentado. Os resultados das sondagens permitiam assim antever algumas dificuldades na cravação dos perfis HZ e das estacas prancha AZ.

Foram adquiridos dois martelos para a cravação das estacas HZM e das estacas-prancha AZ; um martelo vibrador e um martelo de impacto.

Logo na fase inicial, no arranque dos trabalhos de cravação no enraizamento do quebra-mar, tomou-se contacto com uma camada de arenitos localizada próxima da cota -7,00 m LAT. Esta camada de terreno, pelas suas características, originou bastantes dificuldades na cravação das estacas. Para além de um rendimento muito baixo, durante a cravação das primeiras estacas, verificaram-se danos nas extremidades de várias estacas HZM.

De forma a melhorar rendimento do processo de cravação, bem como de forma a minimizar os danos nas estacas, foi adotado um sistema de reforço e corte especial nas extremidades dos perfis HZ. Estas medidas permitiram o atravessamento das camadas que ofereciam maior resistência à cravação.



Figura 11 – Danos nas pontas das estacas em perfil HZ.

Uma vez atingida metade extensão da 1^a fase do quebra-mar e com o aumento do comprimento dos perfis e estacas prancha a cravar, começaram-se a experimentar dificuldades no atravessamento de camadas de areia muito densas. Para atravessar estas camadas foi



necessário utilizar a máxima potência do martelo de impacto, situação que originou o sobreaquecimento do “*cushion*” (amortecedor do impacto). Por este motivo, foi adquirido um novo martelo de impacto com uma diferente conceção, (sem amortecedor) o qual se revelou muito eficaz na cravação dos perfis HZ para atravessamento destas camadas muito densas de areia.

Contudo, permaneceram as dificuldades na cravação das estacas prancha AZ, as quais, pela sua menor espessura, não permitem a cravação com martelos de impacto. Face a esta dificuldade, adotou-se um sistema de injeção de água na ponta das estacas *jetting-assisted pile driving*. Este sistema consiste na instalação de 2 a 4 tubos perdidos soldados ao longo de cada par de estacas AZ, com a finalidade de injetar água a alta pressão na ponta de cravação de forma a desagregar as areias densas. Este método revelou-se bastante eficaz, resultando num aumento muito significativo do rendimento de cravação (superior a 500%). Este processo passou a ser utilizado também na cravação dos perfis HZ, obtendo-se rendimentos muito elevados, permitindo que todo o perfil fosse cravado apenas com recurso à utilização do martelo vibrador, sem necessidade de trocar para o martelo de impacto.



Figura 12 – Sistema de injeção de água utilizado.

Conceção de estruturas auxiliares para a cravação

Para a cravação dos perfis ao longo da secção mais estreita do quebra-mar (1^a fase) foi concebida uma plataforma metálica modular que apoiava em ambas as cortinas já cravadas e sobre a qual se deslocava a grua. Esta estrutura modular permitia avanços sucessivos de aproximadamente 10 metros.

Para apoio à frente de cravação foi utilizada uma plataforma *jack-up* de pequena dimensão, na qual foram posicionados todos os equipamentos e meios auxiliares. Nesta fase, o enchimento com areia no interior das cortinas foi efetuado com uma bomba de dragagem de alta capacidade.



Figura 13 – Construção da secção mais estreita do quebra-mar.

Para a execução da segunda fase do quebra-mar, o troço com 40 metros de largura, foi

adquirida uma draga estacionária com a finalidade de criar um aterro com o coroamento à cota +4,50, aterro este executado com areias provenientes da zona de dragagem. Foi sobre esta plataforma que foram cravadas as estacas.



Figura 14 – Construção da secção mais larga do quebra-mar.

Execução das vigas de coroamento e do muro cortina

Foi concebida uma cofragem metálica especial para a execução das vigas de coroamento. Esta cofragem foi concebida para ser fixada aos perfis HZ com um sistema de engate simples a ser operado por uma equipa de mergulhadores. Contudo, durante a 1^a fase da cravação de estacas do quebra-mar, verificou-se um significativo assoreamento do lado oeste, não tendo sido necessária a utilização de mergulhadores. A cofragem foi alterada para ser instalada a seco.

No lado este foi executado um dique em terra que permitiu, igualmente, a montagem do sistema de cofragem a seco.

As armaduras foram efetuadas no estaleiro sobre uma estrutura com a configuração da cortina de estacas-prancha combinada. Esta estrutura permitiu que as armaduras fossem transportadas para a sua posição final, sobre as cortinas de estacas-prancha, com uma configuração próxima da definitiva.



Figura 15 – Construção de uma viga de coroamento (à esquerda) e do muro-cortina (à direita).



Figura 16 – Vista da frente de trabalho aproximando-se da extremidade do quebra-mar.