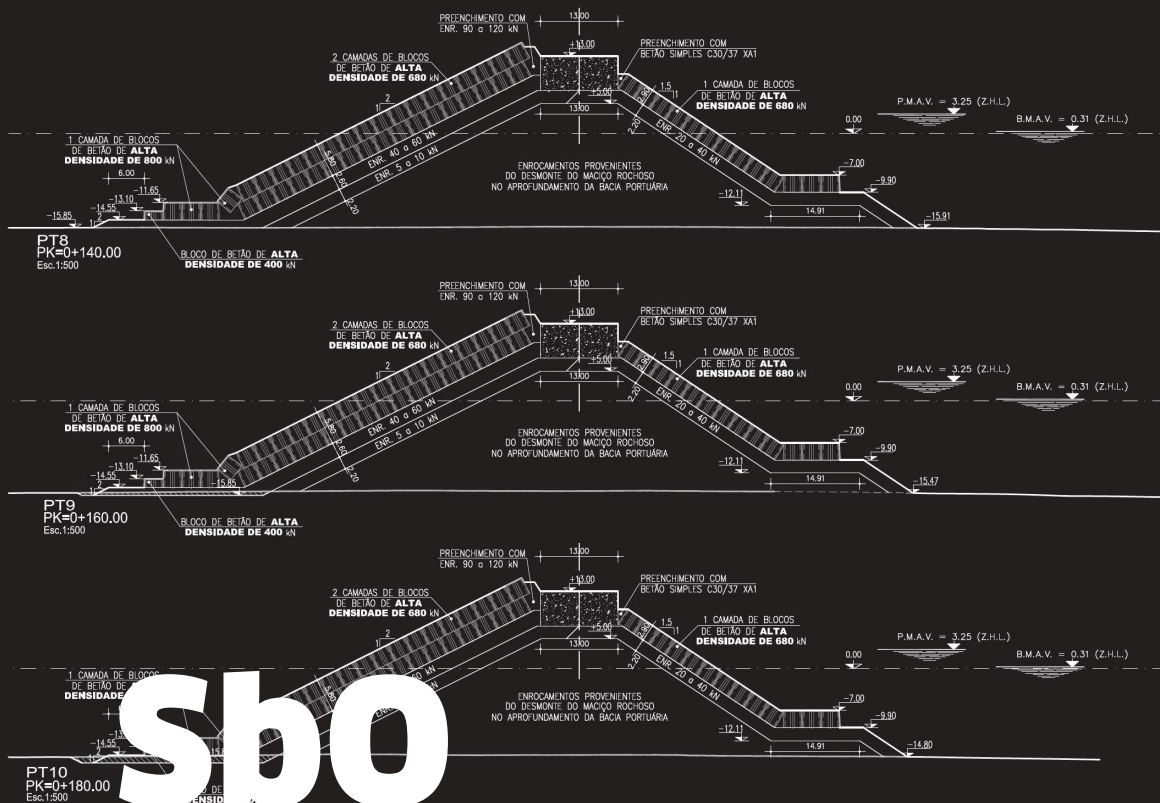




Sbo

Sebentas d'Obra Ciclo de construção, do projeto à obra

#33, janeiro 2024

**Prolongamento do Quebra-Mar Exterior
do Porto de Leixões**
Matosinhos

Francisco Taveira Pinto

Editor

Cadernos d'Obra

Diretor

Bárbara Rangel

Coordenação Editorial

Bárbara Rangel

Iniciativa e produção

Departamento de Engenharia Civil da FEUP

Com o apoio de

Universidade do Porto

Câmara Municipal do Porto

Ordem dos Engenheiros Região Norte

Conceção Gráfica

Teresa Seródio

Texto

Francisco Taveira Pinto (com base no Estudo Prévio do IHRH-FEUP, 2012 e EIA da NEMUS, 2018)

Impressão

Rainho e Neves

Janeiro 2024

Depósito legal: 336727/11

ISSN 2184-6065

Tiragem: 500 exemplares

Publicação periódica

n.º 33. Ano XIII, janeiro 2024

Propriedade

FEUP/DEC

R. Dr. Roberto Frias s/n

4200-465 Porto

Portugal

Tel./fax: + 351 22 508 19 40

cdo@fe.up.pt

É proibida a reprodução sem a autorização escrita dos autores e do editor.

A exatidão da informação, os copyrights das imagens, as fontes das notas de rodapé, bem como a bibliografia, são da responsabilidade dos autores dos artigos, razão pela qual a direção da revista não pode assumir nenhum tipo de responsabilidade em caso de erro ou omissão.

A iniciativa “Fora de Portas engenharia civil à mostra”, resulta da colaboração entre o Departamento de Engenharia Civil da FEUP, a Mostra da UP e o Município do Porto. Realiza-se no contexto da iniciativa Porto Innovation Hub (PIH), que pretende envolver os cidadãos e visitantes da Invicta na descoberta da inovação que transformou a cidade nos últimos séculos. Através da visita a locais históricos e infraestruturas emblemáticas do Porto, procura-se demonstrar o impacto direto da inovação na melhoria da qualidade de vida dos cidadãos. O PIH é uma iniciativa do Município do Porto que pretende ser uma plataforma para o fortalecimento do ecossistema de inovação e empreendedorismo da cidade, contribuindo desta forma para que o Porto se possa destacar no panorama nacional e internacional como uma cidade inovadora e criativa. O PIH propõe a criação de um espaço de experimentação e laboratório vivo, potenciando cenários e oportunidades de desenvolver novos produtos, métodos ou conceitos à escala urbana, contribuindo, assim, para a cultura de transformação para a inovação.

Prolongamento do Quebra-Mar Exterior do Porto de Leixões

O estudo prévio

O Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos (IHRH), da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), realizou em 2012 vários estudos para o “Projeto de Criação de um novo Terminal para Contentores no Porto de Leixões”, que incluía a questão do prolongamento do quebramar Norte. Esse novo terminal situar-se-ia na zona do terminal multiusos e do porto de pesca e ao seu projeto está também associada a uma nova *configuração do porto de pesca (distinta da considerada posteriormente no EP do Novo Terminal)*. O IHRH colaborou na definição do *layout* das intervenções e desenvolveu as seguintes atividades:

Impactes na agitação marítima

A implantação de novos cais e terraplenos no porto de Leixões e a possível alteração das cotas dos fundos tem implicações na agitação marítima no interior do porto. Estas alterações poderão ter ou não implicações significativas nas condições de operacionalidade e segurança pelo que foi necessário avaliar previamente as novas condições, compará-las com as existentes e tentar minimizar os impactos negativos. A avaliação, com o recurso a modelação numérica, permitiu avaliar as alternativas de layout e as soluções técnicas a adotar nos paramentos dos novos cais.

Foram considerados estados de agitação marítima representativos do clima de agitação através da adoção de combinações de alturas de onda, períodos, rumos e níveis de maré adequadas. Foi ainda analisada a eventual necessidade de desenvolvimento de estudos laboratoriais, a executar posteriormente, e que poderiam incluir a análise 2D da reflexão em paramentos especiais de cais para os quais não existam dados na bibliografia da especialidade.

Foram comparados cinco cenários com algumas variantes. O cenário 0 corresponde à situação atual antes da construção do Novo Terminal para Contentores (NTC) e do Novo Porto de Serviços e antes de ser efetuada qualquer dragagem, Fig. 01.

Outros **cenários** contemplaram as dragagens dos fundos, Fig. 01 e incluem o **prolongamento do quebramar norte** do Porto de Leixões, numa extensão de 300 m, com uma rotação de 20° em relação ao alinhamento do quebramar atual, aumentando a abertura da entrada.

Prolongamento do quebramar

O estudo do prolongamento do quebramar norte de Leixões (também designado de quebramar exterior ou oeste) tem uma relevância e especificidades próprias que justificam um tratamento direcionado.

As questões da eficácia da proteção em relação à agitação marítima na manobra de aproximação ao porto de Leixões e no terminal petroleiro, o estudo de alternativas (i.e., comprimentos, diretriz, seção transversal, cotas de coroamento, configuração da cabeça), o impacto paisagístico, o impacto no trânsito sedimentar, as exetáveis dificuldades em termos de estabilidade e construtivas e os custos previsíveis, justificaram um estudo especial.

O estudo foi iniciado com a realização de simulações numéricas da propagação da agitação marítima para o porto de Leixões. Foi ainda advertido que quando fossem selecionadas as “soluções mais promissoras”, muito provavelmente seria necessário recorrer à modelação física em tanque de ondas para validação. O desenvolvimento desses estudos laboratoriais deveria incluir modelação 3D do comportamento hidráulico e impacto na zona adjacente, de soluções de prolongamento do quebramar existente e modelação 2D do comportamento hidráulico e estrutural de alternativas de seções transversais.

As preocupações ambientais estiveram presentes desde o início da conceção das soluções. Para além da elaboração de termos de referência, o IHRH deu contributos no sentido de avaliar aspetos ambientais associáveis às diversas alternativas que foram sendo consideradas para que a solução final de projeto fosse orientada para uma avaliação favorável em termos de Estudo de Impacte Ambiental.

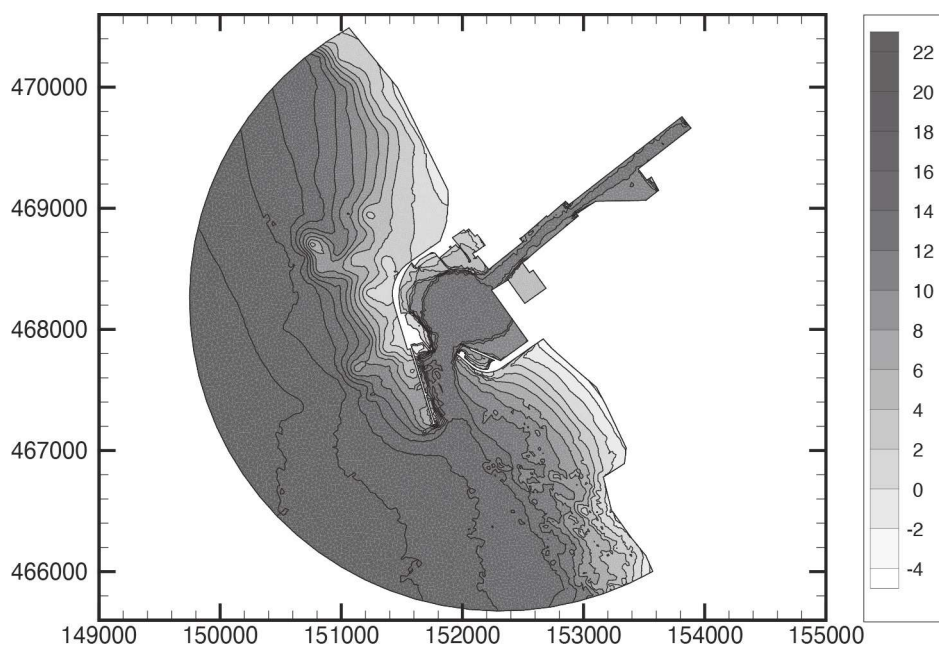
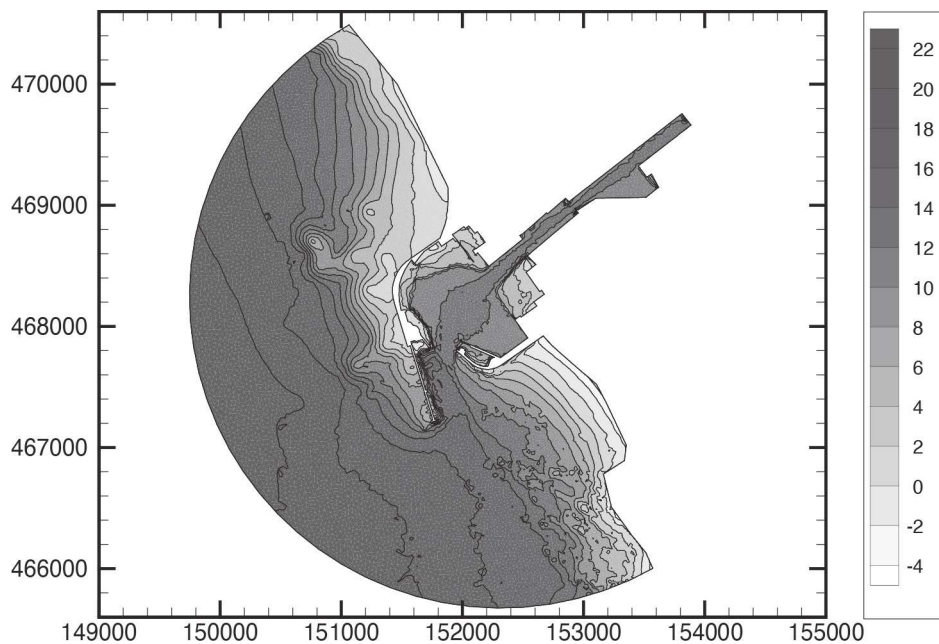


Fig. 01. Profundidades de água (em m) consideradas no cenário atual (esquerda) e no cenário com fundos a -14.0 m ZHL (direita)

Na conceção das diferentes soluções para o prolongamento do quebramar norte de Leixões, foram adotados os seguintes pressupostos, Fig. 02:

• **Implantação e extensão:** Inicialmente haviam sido consideradas duas alternativas de extensão (200m e 300m) e duas alternativas de implantação da diretriz (alinhada e oblíqua em relação à diretriz da extensão terminal do quebramar existente). O layout ficou estabilizado em função de resultados de simulações de manobrabilidade de navios na aproximação, mas suscetível de pequenos ajustes. Assim, como hipótese de trabalho foi adotado um aumento do comprimento do quebramar de 300 m em relação ao existente e uma diretriz não-alinhada com a atualmente existente.

• **Fundos:** O último levantamento disponível evidenciava cotas até aos -18 m ZHL junto da futura cabeça do quebramar, com batimétricas quase perpendiculares à diretriz.

• **Cota de fundação:** Existe evidência nos levantamentos hidrográficos de que ocorreu uma assinalável acumulação de areias no local da implantação da extensão do quebramar, em resultado da corrente de deriva litoral, de norte para sul. Tal situação deverá ser ponderada na adoção da cota de fundação da extensão do quebramar. Foram adotadas como hipóteses de trabalho, cotas entre -18 m e -20 m ZHL na nova cabeça.

• **Cotas de coroamento:** Para a fixação das cotas de coroamento devem ser tidos em consideração aspetos

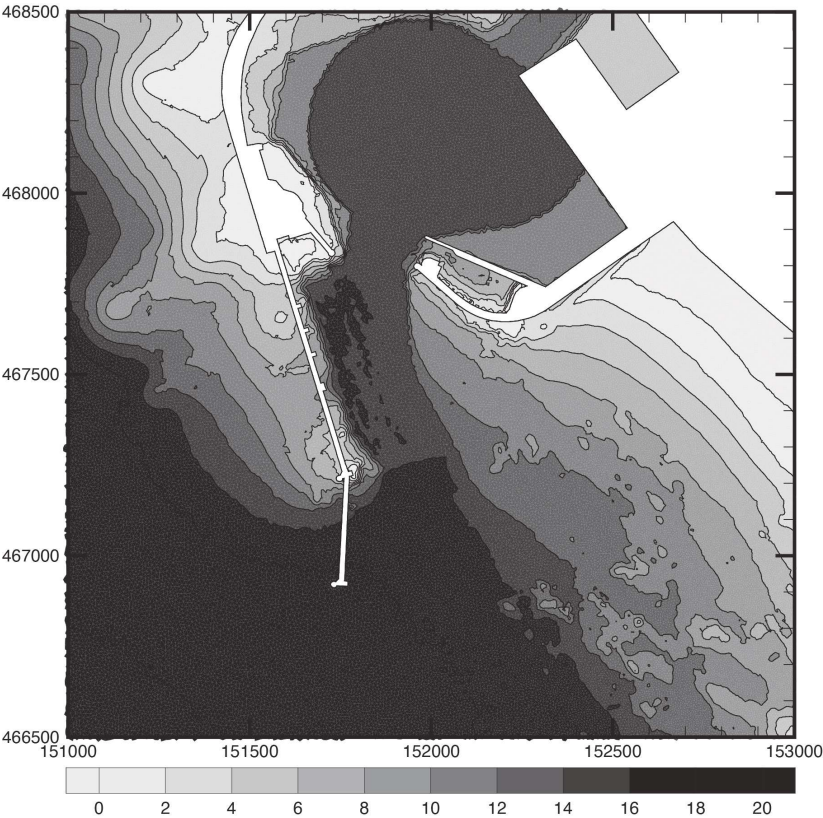


Fig. 02. Profundidades de água (em m) consideradas nos cenários com prolongamento do quebramar norte



fundamentais como: o impacto paisagístico, a segurança em relação aos galgamentos e a acessibilidade através do quebramar existente para efeitos de construção e de manutenção. Quanto mais elevada for a cota do coroamento da estrutura, maiores serão os impactos paisagísticos (para um observador localizado na marginal sul de Matosinhos), mas maior será a segurança em relação aos galgamentos. A cota da plataforma do quebramar existente constitui uma referência para que seja viável o acesso terrestre à nova extensão do quebramar.

- **Tipo e peso de blocos:** Face à experiência existente e à análise de quebramares recentemente executados em condições energéticas idênticas (casos de Sines, Ponta Langosteira, Bilbao, Gijón e Ferrol), apenas se admitiu como hipótese de trabalho a utilização de blocos cúbicos (eventualmente cubos modificados, e.g., Antifer), fabricados com betão de densidade normal ou de alta densidade, colocados em duas camadas, com pesos unitários entre 600 e 1000 kN.
- **Secções transversais tipo:** Foram equacionadas diferentes alternativas de secções transversais alternativas preliminares, nomeadamente, quebramares em taludes, verticais e mistos.

Depois de efetuar o levantamento e a análise das soluções adotadas em vários quebramares construídos em ambientes muito energéticos, foram apresentadas secções transversais e plantas das várias alternativas equacionadas para o prolongamento do quebramar norte do porto de Leixões, com diferentes cotas de coroamento e plataformas, bem como inclinações dos taludes, que conduziram a várias variantes, para as quais foram efetuadas estimativas preliminares de volumes.

A cota da plataforma de circulação, em qualquer uma das soluções estudadas, foi fixada em +7.20 m (ZHL), valor que corresponde à cota da plataforma do quebramar norte do porto de Leixões, evitando-se assim a criação de desníveis entre as duas estruturas e a eventual criação de rampas de acesso. Esta cota foi aumentada no projeto da Consulmar por apresentar uma cota de trabalho (abaixo da superestrutura) muito baixa o que limitava o processo construtivo sempre que existisse alguma agitação marítima.

A construção e a posterior manutenção da extensão

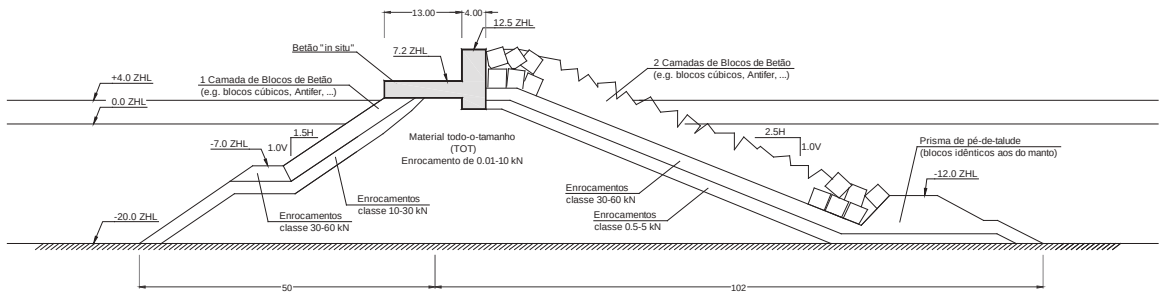
do quebramar, em particular do seu manto resistente, requerem a instalação de um guindaste, que terá de se movimentar, sem restrições, na plataforma existente no coroamento da estrutura. Esse guindaste, terá, previsivelmente, uma largura da ordem dos 12.0 a 12.5 m, o que implicará o alargamento da plataforma do novo trecho de quebramar para 13.0 m. Sendo a largura da plataforma do atual quebramar norte de aproximadamente de 10.0 m, a utilização de um guindaste com as características indicadas irá implicar, possivelmente, a necessidade de realizar modificações no quebramar atual, no guindaste (a adquirir) ou em ambos.

A zona de transição, entre a cabeça do quebramar norte existente e a zona do prolongamento, necessita de uma abordagem mais pormenorizada, assim como a nova cabeça do quebramar, que deverá ser objeto de uma conceção e dimensionamento muito específicos.

As soluções desenvolvidas para o prolongamento do quebramar norte de Leixões devem ser estudadas em modelo físico reduzido (modelo bidimensional), tendo em vista a seleção das duas ou três soluções mais promissoras. As soluções selecionadas deverão ser otimizadas num estudo em modelo físico tridimensional.

Na sua análise o IHRH considerou necessário que nos estudos em modelo físico referidos seria fundamental ter em consideração vários aspetos:

- galgamentos e estabilidade das estruturas e dos blocos que as constituem;
- número de camadas de blocos e disposição dos mesmos em camadas arrumadas, semi-arrumadas ou sem qualquer arrumação, e suas implicações em termos de estabilidade e níveis de galgamento;
- estudo do perfil final (completo) da obra e do perfil da secção corrente e da cabeça do quebramar durante a fase construtiva, na qual a obra se apresenta bastante vulnerável, ou seja, nas fases em que o quebramar ainda não está protegido pelos mantos exterior e interior e não dispõe de superestrutura;
- estabilidade da extremidade do atual quebramar norte durante a fase construtiva do prolongamento;
- efeitos dos galgamentos no talude interior (questão da cota do coroamento da estrutura);
- possibilidade de aligeiramento da solução, abaixo de determinada cota;
- estudo do trecho de transição do perfil do atual



quebramar norte para o perfil do prolongamento que, apresentando uma configuração côncava em planta, é um local de provável concentração da energia da agitação.

A Fig. 03 apresenta o perfil corrente de uma das soluções em taludes considerada para o prolongamento do quebramar norte. A barlarar foi considerado um prisma de pé de talude a partir da cota -12.0 m (ZHL). A cota de fundação da estrutura é de -20.0 m (ZHL) na extremidade sul. Na proximidade da cabeça do atual quebramar norte, essa cota poderá, numa primeira aproximação, ser reduzida para valores da ordem dos -18.0 m (ZHL). A solução apresenta um talude exterior com uma inclinação 2.5H:1V e um manto resistente composto por blocos cúbicos de betão, dispostos em duas camadas. O talude interior tem inclinação de 1.5H:1.0V e é de camada única. A estrutura tem o coroamento à cota +12.5 m (ZHL).

De forma a minimizar a área de implantação da solução a utilizar no prolongamento do quebramar norte do porto de Leixões, foram também estudadas soluções mistas com utilização de caixotões, preenchidos com areia e/ou betão.

Fig. 03. Perfil corrente do quebramar: coroamento à cota 12.5 m ZHL e talude externo com uma inclinação 2.5H:1.0V

Do Projeto à Obra

Esta obra tem como objetivo principal, como foi referido, melhorar as condições de segurança e de navegabilidade da barra do Porto de Leixões. A melhoria servirá o tráfego marítimo atual, permitindo uma acessibilidade mais segura e facilitada, numa mais ampla gama de condições meteorológicas e marítimas, o que melhorará a operacionalidade do porto. Adicionalmente, criará condições para acesso de navios de carga de maior dimensão, nomeadamente com 300 m de comprimento, 40 m de boca e 13,5 m de calado, ou seja, rondando os 5 000 TEU de capacidade.

A evolução observada no tráfego marítimo de contentores nas últimas duas décadas tem-se traduzido num crescimento significativo do número de contentores movimentados nos portos mundiais, nacionais e também no porto de Leixões, e, simultaneamente, num aumento da dimensão e capacidade dos navios porta-contentores.

As condições atuais de acesso marítimo já não permitem a utilização do porto de Leixões por quase metade da frota mundial de navios porta-contentores, tanto em termos de fundos como de largura do canal de entrada, situação que tenderá a agravar-se no futuro.

Face a estes constrangimentos, a APDL estudou as soluções técnicas que permitem aumentar a capacidade do porto, condicionadas pelas possibilidades admitidas pelas atuais infraestruturas portuárias e pelo variado leque de valências e mercados que o porto tem que satisfazer.

Neste contexto, o prolongamento do quebra-mar exterior justifica-se como uma obra indispensável à concretização dos objetivos globais de modernização do Porto de Leixões, atuando a montante, na melhoria das acessibilidades marítimas e da segurança da navegação. Sem essa intervenção, outros possíveis investimentos no porto, tanto do lado mar (cais) como do lado de terra (terraplenos), ficariam desde logo significativamente condicionados (ou mesmo inviabilizados) do ponto de vista da operacionalidade.

A APDL promoveu ao longo dos últimos anos um conjunto variado de estudos (estudo prévio do IHRH,

modelação física e numérica pelo LNEC, navegabilidade/manobra a 2D (EGIS/BCEOM) e 3D (centro JOVELLANOS).

Após o Estudo Prévio do IHRH foram ainda desenvolvidos vários estudos pelo LNEC em simultâneo com o desenvolvimento do projeto e EIA pela CONSULMAR e NEMUS, tendentes a analisar o problema e a definir possíveis soluções técnicas, sempre com o imprescindível foco na segurança. Deste conjunto de estudos efetuados resultou sucessivamente mais claro que a opção por um prolongamento do quebra-mar exterior em cerca de 300 m e com uma rotação do alinhamento de 20º para oeste seria a solução mais adequada para alcançar os objetivos definidos e, muito importante, a única capaz de garantir eficazmente a segurança da manobra de aproximação ao porto nos cenários meteo-marítimos mais desfavoráveis e mesmo no caso de falha de funcionamento do rebocador de apoio.

Esta intervenção permitirá melhorar significativamente as condições de segurança na receção de navios e efetuar uma adaptação à evolução do perfil das frotas mundiais de navios de carga, constituindo um investimento imprescindível para a perspetivada excelência no desempenho do Porto de Leixões, com elevada importância regional e nacional.

O projeto compreende o prolongamento do Quebra-Mar exterior existente no Porto de Leixões, numa extensão de 300 m. O Porto de Leixões caracteriza-se por ser do tipo artificial, cujo abrigo é conseguido por dois molhes enraizados na linha de costa e que formam o anteporto [Fig. 04]. O porto estende-se para montante da foz do rio Leça, onde confronta com as localidades de Leça da Palmeira (a norte) e com Matosinhos (a sul).

O projeto do prolongamento do quebra-mar exterior, numa extensão de 300 m e orientação rodada 20º para o largo (oeste) em relação ao alinhamento atual, Fig. 05, consiste num quebra-mar de taludes convencional, com núcleo composto por material rochoso, em princípio a recuperar parcialmente da dragagem dos fundos da bacia oceânica, o qual será protegido por



Fig. 04. Porto de Leixões (vista aproximadamente de Oeste para Este, com o quebra-mar exterior e o anteporto em primeiro plano) (João Ferrand - Fotografia; Lda, 2014)

Fig. 05. Prolongamento do quebra-mar exterior: implantação, acessos e áreas de apoio à construção

filtros de enrocamentos selecionados. O talude exterior (extradorso) e interior (intradorso) serão protegidos por mantos compostos por blocos artificiais de betão de alta densidade, do tipo *Antifer*, como os existentes no quebra-mar destacado (sul) da foz do Douro. O topo do quebra-mar é constituído por uma superestrutura contínua em betão simples, a qual não inclui muro-cortina (como no caso do existente).

O manto de proteção do extradorso do tronco do quebra-mar é composto por duas camadas de blocos de betão do tipo *Antifer*, com características distintas consoante a zona (680 kN no tronco e 800 kN na cabeça e pé de talude), Fig. 06. A espessura total do manto será de 5,8 m, até uma cota máxima de +14,75 m (ZHL), no topo do manto. O manto de proteção no intradorso do

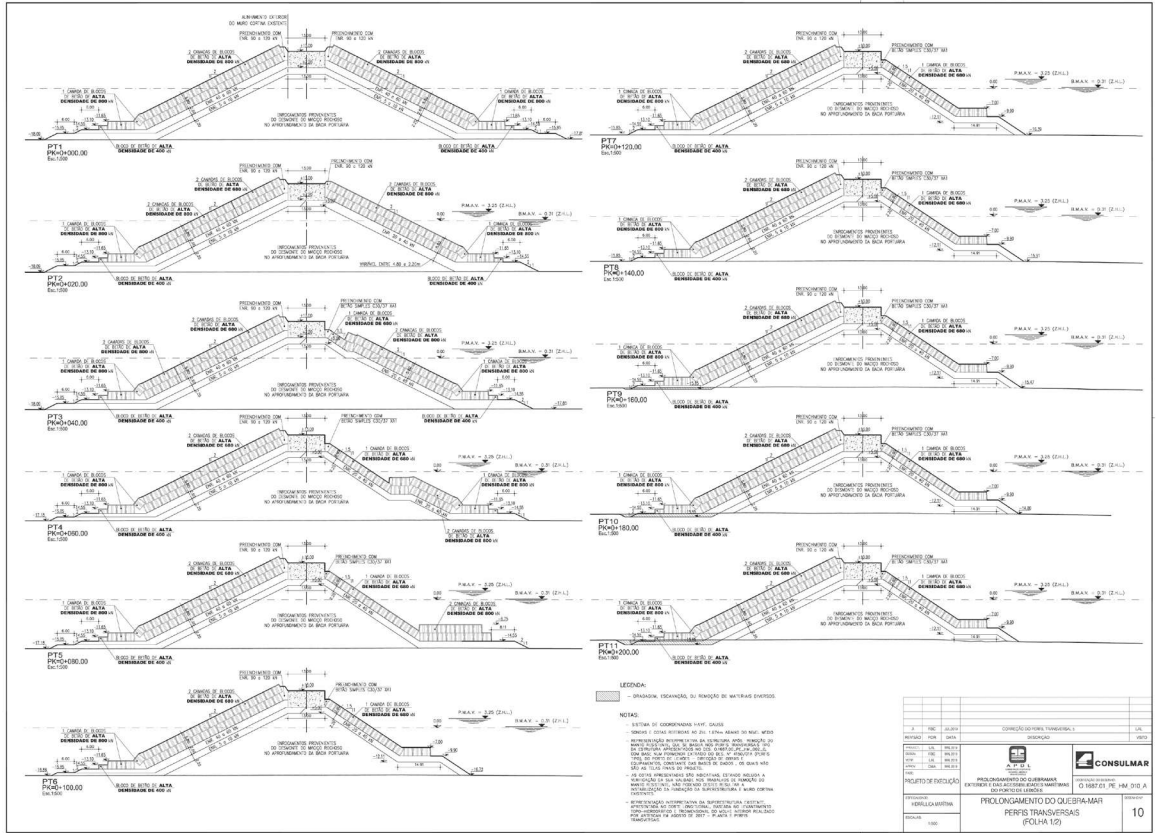
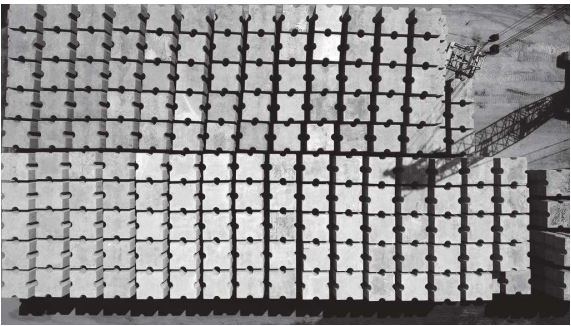


Fig. 06. Perfis do tronco do quebra-mar (CONSULMAR, 2017)

Fig. 07. Blocos Antifer a serem aplicados no quebra-mar

> Fig. 08. Planta do quebra-mar (CONSULMAR, 2017)

tronco é composto por uma camada única de blocos *Antifer*, de igual peso. O perfil de rotação da cabeça do quebra-mar é na totalidade protegida por blocos *Antifer*, em duas camadas. A altura dos blocos ronda os 2,9 m. Serão colocados um total de cerca de 6217 blocos de betão do tipo *Antifer* em toda a estrutura, Fig. 07.

O prolongamento do quebra-mar é encimado por uma superestrutura em betão simples, com 13 m de largura, e topo à cota +13 m (ZHL). A nova superestrutura interliga-se diretamente com a superestrutura da cabeça existente, alinhando-se com o do muro-cortina existente, na zona de contacto, Fig. 08. Prevê-se ainda a construção de um farol para o assinalamento marítimo da extensão do quebra-mar exterior, o qual figurará na superestrutura da nova cabeça.

As principais ações construtivas da empreitada (colocação do enrocamento e dos blocos de betão) deverão ser executadas em período de verão marítimo (abril a outubro) de forma a aproveitar as condições meteo-marítimas mais favoráveis. Neste sentido, está prevista a execução desses trabalhos em dois verões marítimos, num total de 24 meses, desde o início da empreitada até à finalização de todas as atividades (duração já ultrapassada). Durante o inverno (dezembro a março) as obras marítimas ficam suspensas, mantendo-se apenas a pré-fabricação dos blocos de betão, no estaleiro, Fig. 09.



Fig. 09. Prolongamento do quebra-mar e proteção de Inverno









O estaleiro principal está instalado na área da Plataforma Logística do Porto de Leixões. Nesta zona serão fabricados os blocos artificiais em betão (tipo *Antifer*) que constituirão o manto de proteção do quebra-mar, Fig. 10.

O acesso terrestre ao quebra-mar, para fornecimento de materiais de construção, nomeadamente betão-pronto e uma parte dos enrocamentos (30% do volume do núcleo), será efetuado através da Av. Antunes Guimarães, em Leça da Palmeira, desde o nó da A28, uma vez que não existe ligação física desta zona do porto à VILPL/Via de Cintura Portuária. Para acesso à área de stock do enrocamento para colocação por via marítima (70% do volume do núcleo e 100% do volume do sub-manto), a localizar na zona do terminal cimenteiro (zona sul do porto), será usada a VILPL/Via de Cintura Portuária, pelo interior do porto.

Os maiores fluxos de materiais serão os enrocamentos (600 000 m³) e o betão-pronto (176 200 m³), a chegar ao porto por via terrestre.

Alternativamente, e caso as empreitadas possam coincidir, como será provável, o núcleo do prolongamento do quebra-mar poderá ser inteiramente construído com material rochoso reaproveitado da dragagem dos fundos do porto, que está prevista pela APDL, Fig. 11-13. Nesse cenário, que corresponde a uma medida desejável do ponto de vista ambiental, evitando o consumo de recursos e o respetivo transporte, a colocação do enrocamento poderá ser direta e inteiramente feita por via marítima, o que evitaria um total de cerca de 26 800 viagens de camião, necessárias para abastecimento do enrocamento a partir do exterior (pedreiras licenciadas da região).

A fase de exploração da obra implicará intervenções de manutenção (que se estima sejam muito reduzidas no futuro, já que a obra está dimensionada para um período de retorno de 100 anos) e a operação do porto com o quebra-mar exterior prolongado. Neste último item, espera-se que, acompanhando a tendência mundial, se verifique um aumento da dimensão média dos navios

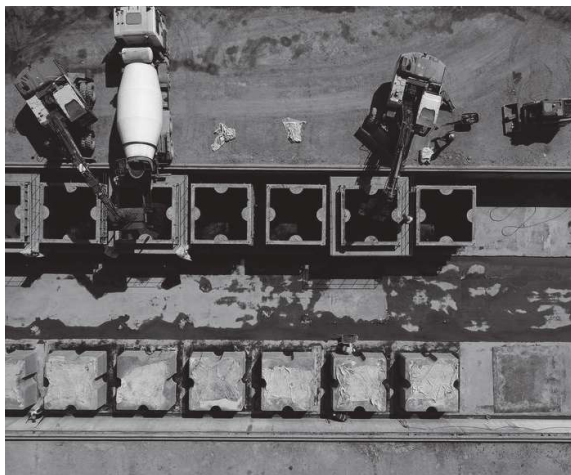


Fig. 10. Imagens do estaleiro no quebramar existente e na plataforma logística



que escalam o Porto de Leixões, especialmente motivado pelos navios de transporte de contentores.

Este projeto tem como projeto associado o das acessibilidades marítimas, que compreende a dragagem de aprofundamento da bacia de rotação (para -15,50 m ZHL) e do canal de entrada no porto (para -16,85 m ZHL) e áreas limítrofes, envolvendo a remoção de

rocha e sedimentos dos fundos. A obra de dragagem de aprofundamento da bacia de rotação e do canal de acesso ao porto será feita ao mesmo tempo, pelo menos em parte, com a obra de prolongamento do quebra-mar exterior, de forma a reaproveitar o material oriundo do quebramento de rocha dos fundos para formar o núcleo do quebra-mar.

< Fig. 11. Plano de dragagens da obra

Fig. 12, 13. Imagens da draga utilizada

Nota: texto baseado no "Estudo de Impacto Ambiental do Prolongamento do Quebra-Mar Exterior do Porto de Leixões. Resumo não Técnico", NEMUS, abril 2018.



