



PROLONGAMENTO DO TROÇO NW DO MOLHE LESTE DO PORTO DE SINES ESTUDO PRÉVIO

Lucília Luís¹, Eduardo Moutinho², Rubén Gonçalves²
¹Consulmar-Projetistas e Consultores, Lda.; ²APS, S.A.

lucilia.luis@consulmar.pt, eduardo.moutinho@apsinesalgarve.pt, ruben.goncalves@apsinesalgrave.pt.

Resumo

Refere-se a presente comunicação ao Estudo Prévio do Prolongamento do Troço NW do Molhe Leste do Porto de Sines, a realizar com o objetivo de criar as condições de abrigo necessárias ao funcionamento do novo Terminal de Carga Geral, estudo que é parte integrante dos estudos que se encontram inseridos no programa de financiamento CEF-T-2022-MILMOB – Studies for the development of Port of Sines Dual Project, no Work Package 4 – Operational and engineering studies for the East Breakwater extension.

Introdução

O principal objetivo deste Estudo Prévio foi determinar o **tipo de solução estrutural do prolongamento do molhe**, principalmente a constituição dos mantos resistentes do tronco e cabeça, ou seja, o tipo de bloco, volume, massa e tipo de colocação, tendo sido o comprimento final determinado em função do resultado dos estudos de modelação matemática do Novo Cais de Carga Geral.

Os estudos do Novo Cais de Carga Geral, decorreram em paralelo, e à semelhança do prolongamento do molhe, estão inseridos no mesmo programa de financiamento, correspondendo ao Work Package 3 – Design and engineering studies for the General Cargo Quay and the Associated Operations.

No âmbito do Estudo Prévio do Prolongamento do Molhe, foram analisadas 8 alternativas, das quais foram pré-selecionadas 4, e que diferem entre elas no peso dos blocos dos mantos resistentes (entre 50 e 60 ton); a densidade do betão adotada (não mais que 2,7 ton/m³) e inclinação do talude exterior.

Limitações/condicionantes à conceção do prolongamento do molhe

Dado tratar-se de um prolongamento de uma estrutura já existente, uma das condicionantes consiste na geometria do perfil do prolongamento dar ou não continuidade à geometria do existente. Não sendo imperativo, mas dado tratar-se de um prolongamento de apenas 400 m, não se justificará estar a fazer transições para perfis distintos, pelo que se optou pelo perfil transversal existente.

Outra condicionante, consiste na classe de enrocamento a aplicar nos submantos. Neste caso, não por que não exista disponibilidade da pedra, mas porque se torna difícil a colocação, especialmente nas partes mais profundas do molhe, opta-se por não exceder a classe de enrocamento de 30 a 60 kN, correspondendo esta também à colocada em 1988 no molhe existente.

Por outro lado, apesar do recurso a betão de densidade melhorada, ter vindo a ser uma prática recorrente nas obras de proteção do porto de Sines, também desde 1988, e a experiência mais recente ter demonstrado que é fácil conseguir betões até 30-31 kN/m³ de peso específico, e não muito mais caro, mas como os concorrentes manifestam habitualmente preferência por betões de densidade normal (24kN/m³), neste estudo analisou-se também esta suposta condicionante, pois betões menos densos obrigam a blocos de maior volume e peso e conseqüentemente a gruas de maior capacidade e alcance.



A condicionante mais importante do dimensionamento de qualquer molhe ou quebra-mar é habitualmente o clima de agitação que assola o local em questão. Neste caso, e apesar da costa Oeste de Portugal ser uma das mais expostas a climas de agitação severos, logo depois da costa norte de Espanha, o prolongamento deste molhe já se encontra na zona de sombra do Molhe Oeste, mas ainda assim sujeito a alturas de onda consideráveis.

A hidrografia e natureza dos fundos são também uma condicionante importante. Para a realização deste trabalho foi contratado a realização de um levantamento topo-hidrográfico e de um levantamento de reflexão sísmica para prospeção geotécnica, levantamentos estes que revelaram que o prolongamento do molhe se implantará sobre fundos que variam entre -25 e -28 m (ZH) e os fundos serão de natureza rochosa existindo algumas bolsas de sedimentos de reduzida espessura.

A análise das condicionantes indicadas e o estudo de alternativas justifica-se pelos expressivos reflexos, quer nos custos de construção relativamente fáceis de contabilizar, quer nos custos ambientais, embora estes menos tangíveis.

Uma outra condicionante muito importante, serão as limitações impostas pelo LNG, que se repercutirão nos processos construtivos, embora já tenha sido clarificado que o prolongamento poderá ser construído por via terrestre, dependendo apenas da existência de gruas com a capacidade e alcances necessários.

No que se refere ao acesso à obra, quer por via terrestre quer por via marítima, o mesmo não será uma condicionante, na medida em que as generalidades dos trabalhos serão feitos por via terrestre e o acesso será o mesmo que foi utilizado para o prolongamento do troço SE do molhe leste.

Caracterização do troço NW do Molhe Leste

O molhe existente, construído há cerca de 37 anos, é do tipo molhe de taludes, cujos mantos resistentes são compostos por blocos do tipo Antifer, fabricados com betão de densidade melhorada e, apesar do severo clima de agitação a que está sujeito e da sua idade, apresenta-se generalizadamente em bom estado de conservação.

Este troço do molhe apresenta uma extensão de 1050 m e implanta-se sobre fundos da ordem dos -23 m (ZH), em média. A sua seção transversal encontra-se ilustrada na figura seguinte e caracteriza-se por apresentar:

- Núcleo em tot de 0,0001 a 1 ton, assente num filtro, à cota de fundo variável média -23 m(ZH) e cota de coroamento +12,5 m(ZH);
- Talude do **extradorso** inclinado a 1:2.5 e manto resistente de dupla camada formada por blocos **Antifer de 60 ton (peso específico 2,83 ton/m³)**;
- Talude da **cabeça** inicialmente inclinado a 1:2.5 passando gradualmente para 3:2 e manto resistente de dupla camada formada por blocos Antifer de 71 ton (peso específico **3,04 ton/m³**);
- Submanto de enrocamento de **3 a 6 ton**;
- Submanto de tripla camada formado por enrocamento de 0.1 a 0.5 ton
- Prisma de pé de talude em blocos iguais aos dos mantos;
- Talude do **intradorso** inclinado a 1:1.5 e manto de resistente de dupla camada formada por blocos **Antifer de 60 ton (peso específico 2,83 ton/m³)**;
- Submanto em enrocamento de 1 a 3 ton;
- Prisma de pé de talude em enrocamento de 3 a 6 ton colocado entre a cota -7 e -5 m(ZH);

- Coroamento à +12,5 m(ZH) formado por um maciço constituído por Antiferes argamassados, assentes à cota 6,9 m(ZH).

Trata-se de um molhe que, por dispor, no seu interior, um cais para navios de LNG, os galgamentos têm que ser muito limitados, tendo por isso os seus mantos uma superfície rugosa. Para o efeito foi colocada a primeira camada de forma regular e a segunda de forma quase aleatória, de acordo com PRC Harris Inc.(1988).

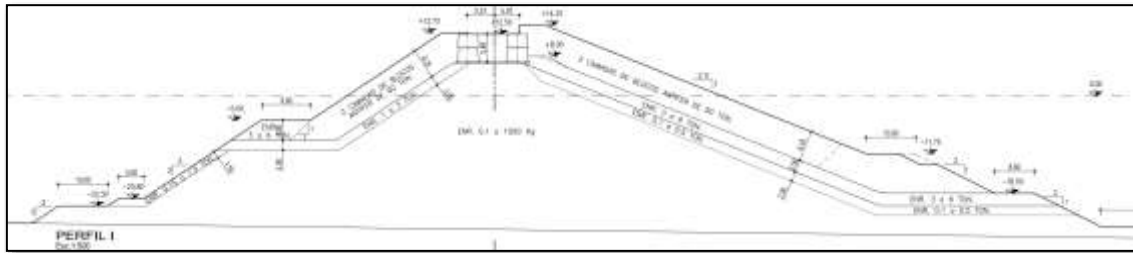


Figura 1. Perfil Transversal Tipo do Tronco do Molhe Leste existente (extensão NW)

Caracterização do prolongamento do troço NW do Molhe Leste

A APS, S.A. pretende que o prolongamento seja realizado com uma estrutura semelhante, mas com os mantos resistentes adaptados às condições de agitação, que são ligeiramente menos gravosas do que as que incidem sobre o troço existente, pois o prolongamento beneficia mais da proteção conferida pelos destroços do molhe oeste existente, como se ilustra na figura seguinte.

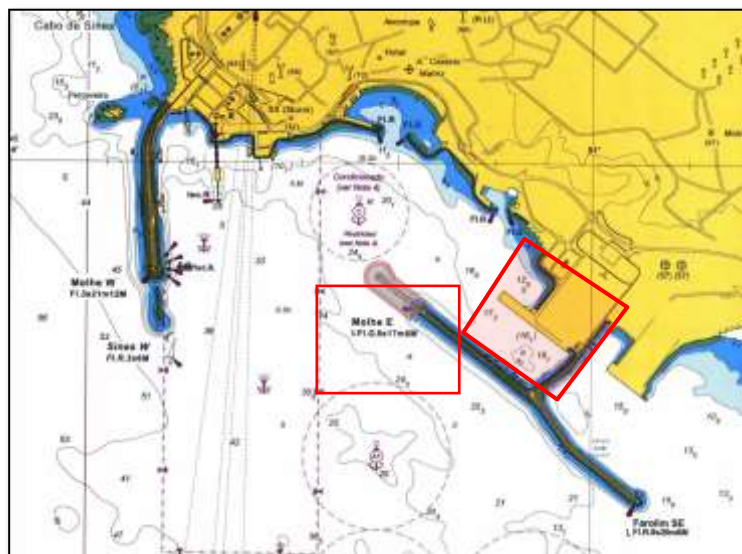


Figura 2. Prolongamento do troço NW do Molhe Leste e localização do Terminal de Carga Geral

No Estudo Prévio foram analisados vários comprimentos para a sua extensão (desde 300 até 500m), recorrendo a modelação matemática de propagação das ondas, usando o Mike 21, para avaliação das condições de operacionalidade junto às novas frentes de acostagem do novo Terminal de Carga Geral.

Os estudos de modelação indicaram que, de um ponto de vista técnico, um prolongamento de apenas 300 m era ineficaz para assegurar condições mínimas de operacionalidade na bacia portuária. A análise de sensibilidade e de avaliação do custo benefício do prolongamento revelou, por outro lado, que um prolongamento de adicional de 100 m em relação aos 400 m “base” tem



pouca eficiência económica, pelo que o prolongamento adotado será de 400m.

Onda de projeto

Com base no estudo de agitação realizado, selecionaram-se as ondas para o tronco e para a cabeça associadas a um período de retorno de 100 a 200 anos. Dado tratar-se de uma estrutura semi-flexível, para onda de dimensionamento considerou-se $H_{1/10}$. Dado que o prolongamento disfruta do abrigo proporcionado pelo Molhe Oeste, ao contrário do que é habitual, a altura de onda de dimensionamento da cabeça é menor que a do tronco.

- (i) Altura $H_{1/10} = 8,5$ e $9,5$ m, na cabeça e tronco, respetivamente
- (ii) Período de pico $T_P = 20$ s

Peso dos elementos do manto resistente

Entre as diferentes fórmulas de cálculo existentes para pré-dimensionamento do peso dos elementos do manto de proteção, a mais utilizada nas últimas décadas tem sido a fórmula de Hudson (1959). No caso dos blocos do tipo Antifer assumiu-se que o coeficiente K_D toma os valores 7 a 6 no tronco de e 3 a 4 na cabeça, seguindo as recomendações dos estudos de Macineira et al, 2016, bem como a nossa experiência obtida com os ensaios tridimensionais dos prolongamentos dos molhes de Sines e Leixões. Resumidamente, para o tronco, da estimativa preliminar dos blocos dos mantos resistentes resultaram nos seguintes valores:

Soluções	Inc. taludes	Bloco	Troco	Cabeça
			Peso / densidade	Peso / densidade
1A	2,5:1	Antifer	50ton / 2,48ton/m ³	55ton / 2,6ton/m ³
1B	2,5:1	Antifer	57ton / 2,40ton/m ³	70ton / 2,4ton/m ³

Resumo das soluções alternativas

- **Solução 1A** – Manto resistente em blocos Antifer de 50 ton; inclinação do talude de 2,5:1; betão de densidade ligeiramente melhorada (2,48 ton/m³), custo por metro linear - 102700€/ml, custo total - 60,5 m€;
- **Solução 1A'** – Igual à alternativa 1A, mas manto interior em camada dupla, custo por metro linear - 113600€/ml, custo total - 65,3 m€;
- **Solução 1B** – Manto resistente em blocos Antifer de 57 ton; inclinação do talude de 2,5:1; betão de densidade normal (2,4 ton/m³), custo por metro linear - 103300€/ml, custo total - 65 m€;
- **Solução 2** – Exatamente igual ao molhe existente, com manto resistente em blocos Antifer de 60 ton; inclinação do talude de 2,5:1; betão de densidade melhorada (2,83 ton/m³), custo por metro linear - 140800€/ml, custo total – 78,6 m€.

Estas soluções foram sujeitas a uma análise comparativa multicritério, tendo sido analisados os seguintes principais critérios: i) continuidade com a estrutura existente; ii) estabilidade e galgamentos; iii) volume de materiais extraídos à natureza/impactes ambientais; iv) processo construtivo; v) custo de construção/manutenção, tendo sido selecionada a **Solução 1A**, que vai ser ainda submetida a ensaios em modelo reduzido tridimensionais, no LNEC, e otimizada.

O seu perfil transversal será muito semelhante ao ilustrado na figura 1, deferindo apenas no peso dos blocos e espessuras das camadas e subcamadas.

Referências Bibliográficas

- PRC Harris Inc. / Consulmar – Projetistas e Consultores Lda. (1983), “Porto de Sines – Porto de Carga Geral e Terminal de Carvão – trabalhos marítimos, Volume 3 – peças escritas”
- Consulmar – Projetistas e Consultores Lda. (2025). “Estudo Prévio do Prolongamento do Troço NW do Molhe Leste do Porto de Sines”.