



PROLONGAMENTO DO MOLHE LESTE DO PORTO DE SINES ENSAIOS EM MODELO FÍSICO

Rosa Soares¹, Rute Lemos¹, Conceição J.E.M. Fortes¹, Luis Gabriel Silva¹, Cesar Costa¹, Rui Reis¹, Joana Simão¹, Lucília Luís², Aparício Fernandes³

¹Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Avenida do Brasil 101, ²Consulmar – Projetistas e Consultores

³APS - Administração dos Portos de Sines e do Algarve, SA

resoares@lnec.pt, rlemos@lnec.pt, jfortes@lnec.pt, lgsilva@lnec.pt, ccosta@lnec.pt, rreis@lnec.pt, jsimão@lnec.pt, lucilia.luis@consulmar.pt, aparicio.fernandes@apsinesalgarve.pt

Resumo

Esta comunicação descreve os estudos em modelo reduzido tridimensional de estabilidade hidráulica e de galgamentos para o prolongamento do molhe leste correspondente à 3^a Fase de Expansão do Terminal XXI, do Porto de Sines.

Introdução

O porto de Sines tem em curso a empreitada da 3^a Fase de ampliação do molhe leste do Porto de Sines em 750 m, a qual irá conferir a esta estrutura um comprimento total de 1850 m.

No LNEC foram efetuados ensaios em modelo físico à escala 1:65 dos 350 m finais do prolongamento do molhe. O objetivo foi a verificação da estabilidade da cabeça e tronco adjacente do prolongamento do quebra-mar, através da quantificação e da qualificação das quedas e dos movimentos dos cubos Antifer constituintes dos mantos e pé do talude. Quanto aos galgamentos, procedeu-se à classificação qualitativa dos mesmos ao longo da obra. Foi ainda efetuada a caracterização das condições de agitação em alguns locais do modelo físico. Complementarmente, foram também efetuados levantamentos tridimensionais de cada troço do quebra-mar com recurso a um sensor Kinect®, no início e fim de cada série de ensaios (atuação de um conjunto de alturas de onda significativas, associados a um período de onda, uma direção de onda e um nível de maré).

Nesta comunicação, descrevem-se os ensaios realizados e apresentam-se os principais resultados obtidos, no que diz respeito à caracterização do dano verificado.

Modelo físico

Solução adotada

A solução adotada (Consulmar, 2019) para esses 350 m do prolongamento do molhe consiste num quebra-mar de taludes galgável, replicando conceptualmente a solução já existente, com coroamento à cota +12.55 m (ZH). Esta solução é caracterizada por mantos resistentes compostos por blocos de betão artificiais do tipo Antifer de 27.5 m³ em betão de alta densidade, variando-se a densidade do betão para obter blocos de maior peso. Utilizaram-se blocos Antifer com 4 pesos distintos – 675 kN, 712 kN e 843 kN no talude e pé de talude do tronco, assim como 843 kN e 847 kN na cabeça do molhe. Os blocos são aplicados em camada dupla no extradorso do tronco e na totalidade da cabeça e em camada única no intradorso do tronco com diferentes densidades de colocação, Figura 1.

Construção do modelo físico

O modelo foi construído e explorado de acordo com a lei de semelhança de Froude a uma escala geométrica de 1/65. A construção do modelo físico incluiu a reprodução do fundo fixo entre as cotas -20 m (ZH) e -42 m (ZH) nas faixas de interesse, tendo em conta as direções da agitação marítima previstas e a reprodução dos 350 m terminais do prolongamento do molhe leste do Porto de Sines. O esquema do modelo físico é apresentado na Figura 2a).

As principais etapas para a construção do modelo físico foram: i) construção dos fundos do modelo (Figura 2b); ii) construção da cabeça e uma extensão de 350 m do corpo do quebra-mar: colocação dos filtros, Figura 2c), colocação dos blocos artificiais Antifer, Figura 2d); construção da cabeça e tronco adjacente, Figura 2e).

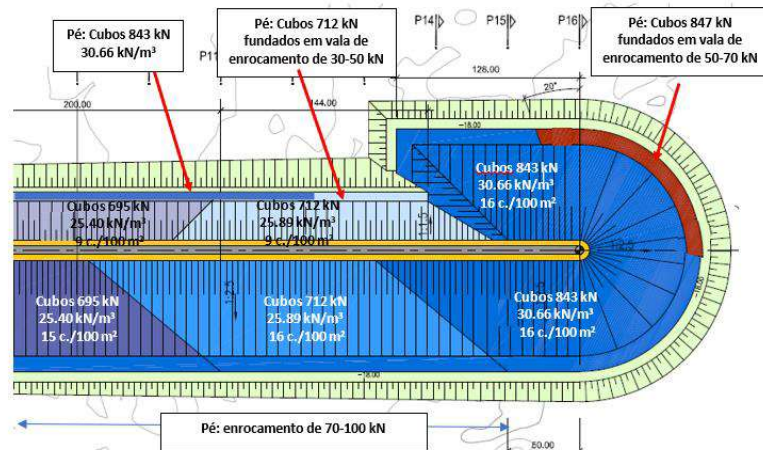


Figura 1. Configuração Alternativa 5. Pesos e densidades de colocação

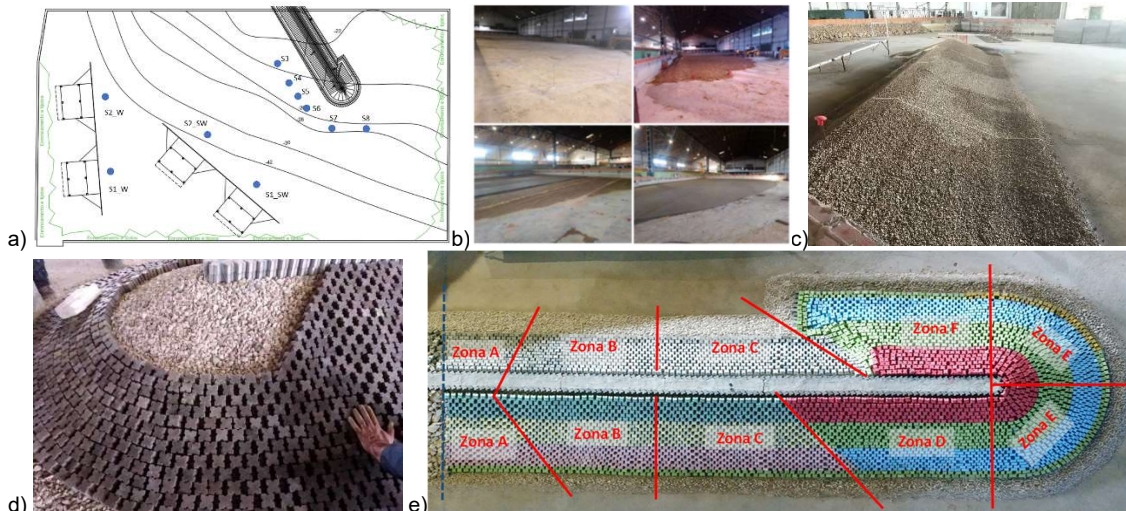


Figura 2. a) Esquema do modelo físico; b) Implantação da batimetria; c) Colocação dos filtros; d) Colocação dos blocos artificiais; e) Quebra-mar final e troços

Equipamento experimental

Os ensaios foram realizados com duas direções da agitação marítima, tendo sido reproduzidos os rumos de W e de SW, com recurso a dois geradores de ondas irregulares de 6.0 m de comprimento e 1.30 m de altura que proporcionavam uma frente de onda com 12.0 m de comprimento, Figura 2a). Para registo da elevação da superfície livre foi colocado um conjunto de 8 sondas resistivas, sendo 6 delas colocadas em redor do quebra-mar, Figura 2a), Figura 3a).



Figura 3. a) Sondas resistivas (à esq.); b) Camaras Fotográficas (centro); c) Sensor Kinect (dir.)

De modo a realizar a cobertura fotográfica de todo o modelo, foram instaladas 3 câmaras fotográficas fixas (A, B e C), Figura 3b), disparadas através de controlo remoto, as quais fotografaram, respetivamente, a zona exterior da cabeça e trecho do tronco a ela adjacente; a vista frontal da cabeça; o remate do intradorso do tronco adjacente. Os restantes trechos do tronco (exterior e interior) foram fotografados com uma câmara fotográfica móvel com zoom fixo.



No início e no final de cada série de ensaios foram realizados levantamentos tridimensionais de cada troço da obra com recurso a um sensor Kinect®, o qual utiliza a tecnologia “Time of Flight”, Figura 3c. Esta tecnologia estima a posição de um ponto relativamente ao sensor, medindo o tempo que o feixe infravermelho demora a percorrer a distância entre o sensor e o objeto e a regressar, considerando a velocidade da luz. Os parâmetros utilizados nos levantamentos foram: resolução do volume do Voxel nas três direções: 512 para os três eixos; Voxel por metro: 256; intervalo de aquisição: entre 0.5 m e 8 m.

Agitação marítima e níveis de maré

Os ensaios foram realizados com dois níveis de maré constantes: 0.0 m (ZH) e +4.0 m (ZH), correspondentes a baixa-mar mínimo e preia-mar máximo, respetivamente. As condições de agitação contemplaram valores de alturas de onda significativa crescentes de 6 m a 9 m em escalões de 0.5 m, para o rumo SW e de 6 m a 13 m em escalões de 1 m para o rumo W, associadas a períodos de pico de $T_p=12$ s e 20 s.

Ensaio de estabilidade

Metodologia

Foram estudadas a configuração inicial e 5 configurações alternativas da obra. Neste trabalho, apenas se apresentam os resultados relativos à última configuração ensaiada, Figura 1.

Para efeitos de observação do modelo da obra e caracterização dos estragos ocorridos no decurso dos ensaios procedeu-se ao seccionamento do modelo do molhe em 6 troços: A, B, C (tronco), D (trecho adjacente ao setor exterior da cabeça), E (cabeça) e F (trecho adjacente ao setor interior da cabeça e transição de duas para uma camada), Figura 2e).

No que respeita à estabilidade da obra, procedeu-se à quantificação e à qualificação das quedas e dos movimentos dos cubos Antifer constituintes do manto e do pé do talude para cada ensaio (considerando-se um ensaio a associação de uma direção de agitação, um nível de maré, um período de pico do espetro e uma altura de onda significativa). No que diz respeito ao talude em dupla camada (extradorso das zonas A, B e C e zonas D, E e F), os resultados foram apresentados em termos de percentagens de quedas (relativamente ao número total de blocos) e de movimentos (relativamente ao número de blocos da camada exterior) e de graus dos critérios de classificação de quedas e de movimentos em uso no LNEC. Quanto aos blocos do pé do talude e ao talude em camada única (intradorso das zonas A, B e C), os resultados foram apresentados apenas em termos de percentagens de quedas e de movimentos.

Para melhor caracterização dos danos, efetuaram-se levantamentos tridimensionais com o sensor Kinect®, para cada troço da obra no início e no final das séries de ensaio e construíram-se as nuvens de pontos respetivas. Com base nessas nuvens e para avaliar a erosão de cada troço, foram extraídos perfis com um intervalo de 0.3 m (modelo), correspondente a 19.5 m (protótipo).

Resultados

Para a solução final adotada em termos de geometria e densidade de colocação dos cubos, Figura 1, o máximo grau do critério de classificação de quedas do LNEC atingido foi o **grau 1** (Ligeiras - Removidos menos de 1 % do número total de blocos) e apenas para as seguintes condições e zonas do modelo:

- Rumo W; PM; $T_p=20$ s; $H_s>8.0$ m - Zonas B, C e E;
- Rumo SW;
 - BM; $T_p=20$ s; $H_s>8.0$ m - Zona B;
 - PM; $T_p=20$ s; $H_s>6.5, 6.0$ m e 7.5 m - Zonas B, C e D respetivamente.

No que diz respeito aos movimentos, apenas foi atingido o **grau 4** do critério de classificação de movimentos na zona B (Muitos - Têm movimentos 5-15 % do número de blocos da camada exterior ou movimentos de conjunto de vários grupos de blocos) com o rumo W associado a condições de ensaios algo severas:

- BM; $T_p=20$ s; $H_s>12.0$ m;
- PM; $T_p=20$ s; $H_s>10.0$ m.

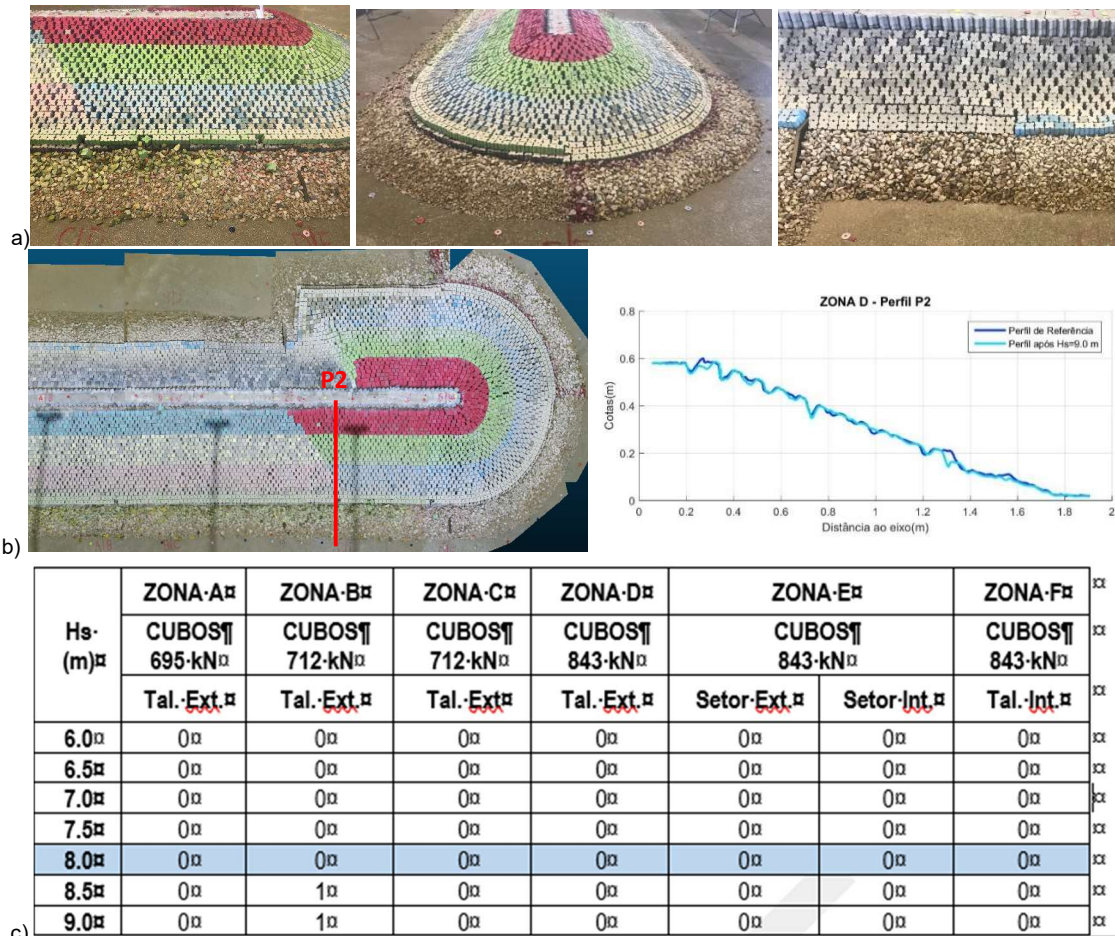


Figura 4. Configuração Alternativa 5. Resultados do rumo SW, após ensaios com Hs=9 m e Tp=20 s e nível de BM: a) Fotos; b) Fusão das nuvens de pontos parciais e Perfil 2 na Zona D; c) Grau de classificação de quedas

Conclusões

Do estudo realizado, considera-se que a solução que cumpre os requisitos funcionais da obra, nomeadamente através das condições reproduzidas na Configuração Alternativa 5- Esta solução ensaiada é estável para as condições de agitação marítima consideradas no projeto, podendo considerar-se que, na sua globalidade, que a estrutura dispõe de uma reserva de segurança, que, obviamente, irá decrescendo ao longo do tempo e vida útil da obra e dependerá de diversos fatores, de que se salientam: a fadiga própria dos materiais envolvidos na construção, a distância temporal decorrida entre o final da construção e a ocorrência de uma tempestade violenta (que nem precisa ter a intensidade admitida no projeto), a ocorrência ou não de danos durante a fase construtiva, a eventual ocorrência de galgamentos superiores aos reproduzidos no modelo devidos a diversos fatores, ao rigor construtivo e muitos outros.

Agradecimentos

Agradece-se à APS - Administração dos Portos de Sines e do Algarve, SA a autorização para publicação dos resultados apresentados.

Referências Bibliográficas

CONSULMAR (2020) - Projeto de Execução da 3ª fase de ampliação do molhe leste do porto de Sines. Ensaio em modelo físico reduzido. Especificações.

Lemos, R.; Silva, L.G; Fortes, C.J.E.M. (2022). "3ª Fase de Ampliação do Molhe Leste do Porto de Sines – Ensaio em Modelo Reduzido - Ensaio tridimensionais de estabilidade e galgamentos". Relatório 12/2022- DHA/NPE, LNEC, janeiro.