

Caraterização da agitação marítima e das sobrelevações em torno das obras de expansão e requalificação do Porto Inglês (Ilha do Maio – Cabo Verde)

R. E. Soares (1), C.J.E.M. Fortes (1), M.G. Neves (1), R. Lemos (1), C. Costa (1), L.G. Silva (1), L. Pinheiro (1)

(1) NPE/DHA, LNEC, Av. Do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, rsoares@lneec.pt

Resumo: No âmbito do projeto das obras de expansão e requalificação do Porto Inglês, foram realizados no LNEC ensaios em modelo físico reduzido 3D que tiveram, entre outros objetivos, a caraterização da agitação marítima e das sobrelevações em torno das estruturas projetadas (quebra-mar destacado, ponte-cais e terraplino). O modelo físico foi construído e explorado à escala geométrica de 1:44. Foram realizados ensaios com três níveis de maré, simulando-se ondas irregulares, associadas a 2 direções, W10S e S10W, 4 períodos de pico, T_p , de 11 s, 14 s, 17 s e 20 s e várias alturas de onda significativa, H_s , entre 1.5 m e 3.0 m. Para medir a agitação marítima e a sobrelevação, utilizaram-se 16 sondas resistivas. O tratamento das séries temporais medidas nas sondas foi realizado através de análise espectral e temporal. Neste artigo, efetua-se a descrição dos ensaios realizados e carateriza-se a tranquilidade portuária em função dos resultados obtidos.

Palavras-chave: Porto Inglês, Agitação marítima, Sobrelevação, Análise temporal e espectral

1. INTRODUÇÃO

No âmbito do projeto das “Obras de Expansão e Modernização do Porto Inglês”, na ilha do Maio (República de Cabo-Verde), foram realizados ensaios em modelo físico tridimensional no LNEC, em 2020.

Este artigo descreve os ensaios, em modelo reduzido tridimensional, de sobrelevação e agitação realizados para a ampliação e requalificação do porto de Porto Inglês, Ilha do Maio, República de Cabo Verde. Foram realizados ensaios com três níveis de maré, simulando-se ondas irregulares com o espectro de Pierson-Moskowitz-Kitaigorodskii (PMK), associadas a duas direções (W-10-S e S-10-W) e quatro períodos de pico (entre 11 s e 20 s). Associados a cada direção, cada nível de maré e cada valor do período, foram reproduzidos vários valores de altura de onda significativa, H_s , compreendidos entre 1.5 m e 3.0 m. Neste trabalho, a discussão de resultados é feita para a direção de W-10-S e o período de pico de 17 s.

2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO MODELO

O modelo físico tridimensional foi construído nas instalações experimentais do Departamento de Hidráulica e Ambiente (DHA) do LNEC, num tanque de ondas do Pavilhão de Hidráulica Marítima com 30 m de comprimento, 19.6 m de largura, equipado com 2 geradores móveis de ondas irregulares com 6.0 m de comprimento cada, para profundidades de água até 0.75 m, Figura 1.

O modelo físico foi construído e explorado à escala geométrica de 1:44, de acordo com a Lei de

Semelhança de Froude. Os fundos do modelo foram reproduzidos até à batimétrica - 20 m(ZH), Figura 2.



Figura 1 - Aspeto das instalações experimentais do Pavilhão de Hidráulica Marítima do LNEC

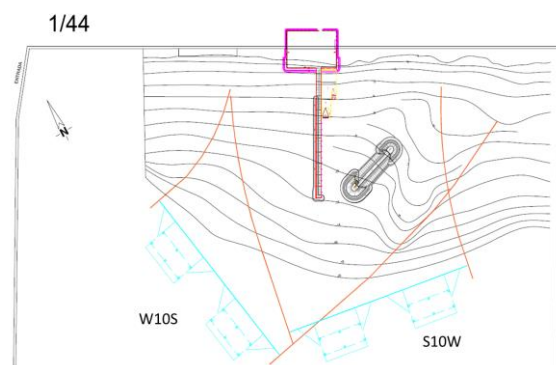


Figura 2 – Batimetria e esquema da implantação. Posição dos geradores de ondas

Foram reproduzidos no modelo:

- a ponte-cais existente sobre estacaria com 343 m de comprimento por 14.5 m de largura e coroamento a +4.0 m (ZH);
- a cortina de estacas-prancha vertical adjacente ao lado Poente e Sul, dotada de viga de betão no coroamento e tapete de proteção do pé em enrocamentos;

- o quebra-mar de taludes destacado (QMD), com fundação sensivelmente entre as cotas -12.0 m (ZH) e -6.0 m (ZH);
- duas rampas Ro-Ro sobre estacaria, com 40 m de largura e coroamento à +4,4 m(ZH), e as suas plataformas de acesso;
- a proteção marítima do terrapleno, em enrocamentos, com murete no coroamento.

Foram realizados ensaios para a solução inicialmente projetada (Fase 1) e para soluções semelhantes mas correspondentes a alterações sugeridas pela projetista no decurso dos ensaios (Fases 2 e 3).

Na Fase 2 foram alterados o peso do enrocamento do quebra-mar destacado e elevada a sua cota de coroamento, além de reduzida a distância entre blocos do pé do talude. Foi ainda aumentado o peso dos blocos de enrocamento de proteção da base da cortina de estacas-prancha e da proteção SW do terrapleno e aumentada a cota de coroamento da proteção SW do terrapleno e do murete exterior da ponte-cais.

Na Fase 3 foram realizados ensaios complementares sem cortina de estaca-prancha - Fase 3b (para comparação com a situação atual) e com cortina de estaca-prancha com aberturas - Fase 3a.

Os ensaios de agitação e de sobrelevação incluíram 2 direções de onda (W-10-S e S-10-W) e diferentes alturas de onda significativas e períodos de pico, T_p (11 s, 14 s, 17 s e 20 s), assim como três níveis de maré (ZH, +1.6 m ZH, +1.9 m ZH), Figura 3.



Figura 3 – Vista do modelo da ponte-cais e do quebra-mar destacado

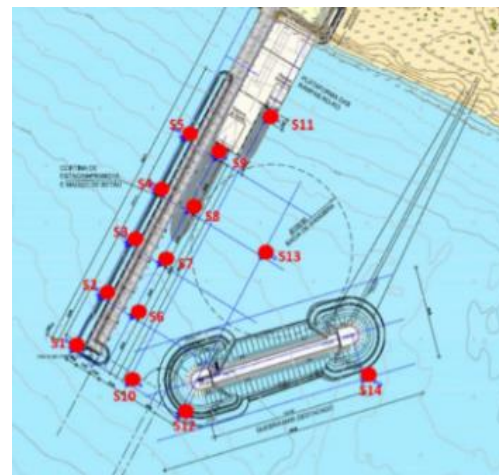


Figura 4 - Localização das sondas (adaptado de CONSULMAR, 2020) e imagem das sondas no modelo

3. ENSAIOS DE AGITAÇÃO

3.1. Condições gerais

Os ensaios de agitação tiveram como objetivo medir a agitação marítima em redor das duas estruturas do modelo, nomeadamente da cortina de estacas-prancha e do quebra-mar destacado. Pretendeu-se caracterizar nas 3 fases do trabalho, o abrigo fornecido pelas estruturas às condições de agitação incidente.

Nos ensaios de agitação, Figura 3, foi medida a série temporal da elevação da superfície livre utilizando sondas resistivas Wallingford colocadas em 14 pontos na proximidade das estruturas, bem como 2 sondas à saída dos geradores de ondas irregulares, Figura 4. O tratamento das séries temporais medidas nas sondas foi realizado através de análise espectral e temporal, calculando-se o período de pico, T_p , e a altura de onda significativa, H_s .

3.2. Resultados e discussão

Para analisar a agitação na proximidade das estruturas, calcularam-se índices de agitação dados pela relação entre os valores de altura de onda significativa, H_s registados em cada um dos pontos situados junto às obras e os valores de altura de onda significativa registados em frente aos geradores de ondas irregulares, H_0 .

Na Figura 6 apresenta-se, a título exemplificativo, os índices de agitação, H_s/H_0 , obtidos em cada uma das 14 sondas nos ensaios com W-10-S e $T_p=17$ s para diferentes níveis de maré e alturas de onda significativa incidente, da Fase 1 à Fase 3a. Na Figura 6 apresenta-se os valores correspondentes à Fase 3b, sem cortina.

Os resultados obtidos na Fase 3 (a e b) foram comparados entre si, isto é, foram comparados os índices de agitação obtidos sem cortina de estaca-prancha (Fase 3b), com cortina de estaca-prancha (Fase 2) e cortina de estaca-prancha com aberturas (Fase 3a). Na Figura 8 apresenta-se esta comparação para o nível de maré de +1.6 m (ZH), $T_p=17$ s e $H_s=2$ m.

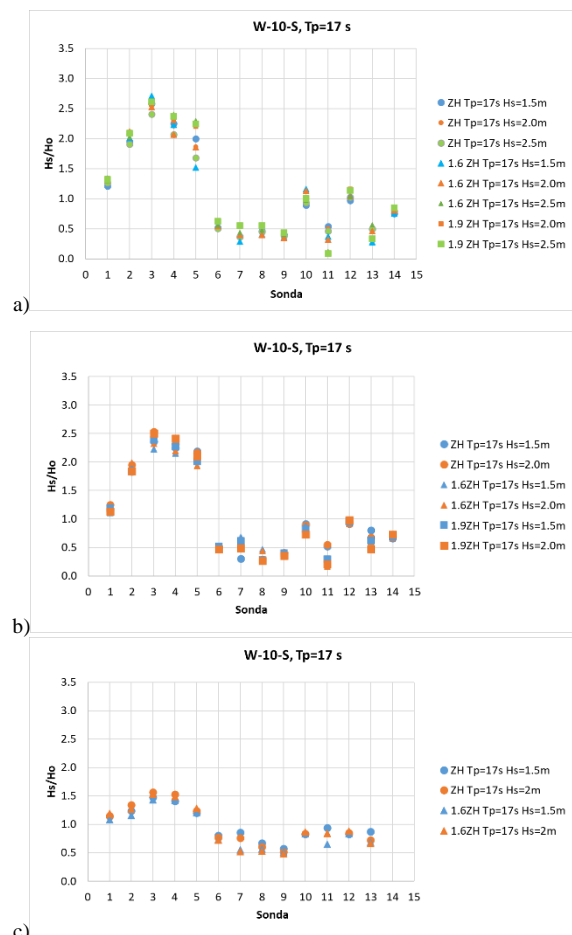


Figura 5 – Resultados dos ensaios de agitação para W-10-S e $T_p=17$ s, a) Fase 1; b) Fase 2; c) Fase 3a, com cortina com aberturas

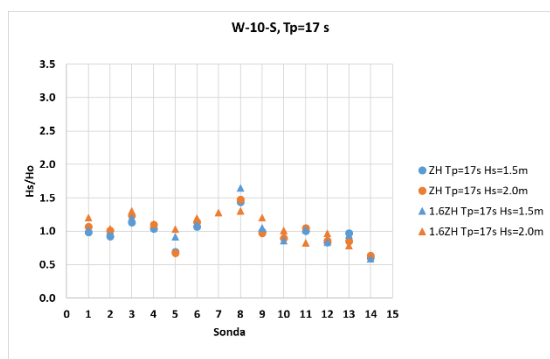


Figura 6 – Resultados dos ensaios de agitação para W-10-S e $T_p=17$ s, Fase 3b: sem cortina

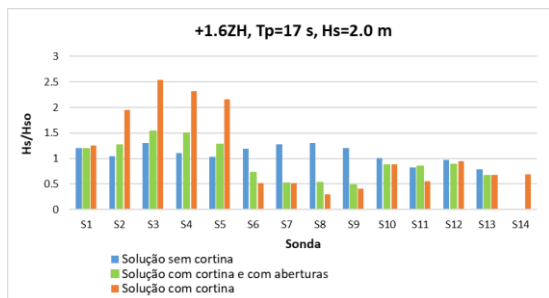


Figura 7 – Comparação de resultados dos ensaios de agitação para +1.62H, $T_p=17$ s e $H_s=2.0$ m, Fase 2, Fase 3 (a e b)

Da análise da Figura 5, conclui-se que com a direção de W-10-S e no caso das soluções das Fases 1 a 3a (com cortina de estacas pranchas e aberturas):

- A zona exterior da cortina de estacas-prancha encontra-se exposta a esta direção de agitação incidente, apresentando os maiores valores de H/H_o encontram-se nas sondas S1 a S5, superiores a 1.0. Em contrapartida, a zona no interior do porto (S6 a S9, S11 e S13) encontra-se mais abrigada, sendo que na maioria dos casos os H/H_o são da ordem de 1.0 ou inferiores;
- Para as sondas S1 a S5, há uma clara tendência de aumento dos índices de agitação da sonda S1 para a sonda S3, onde há empolamento da onda próximo à cortina de prancha, diminuindo em S4 e S5 devido à quebra devido à diminuição da profundidade. Em geral, os H/H_o na solução da Fase 3a (aberturas na cortina), são inferiores aos das outras soluções;
- Para as sondas S6 a S9, S11 e S13, os H/H_o estão em torno de 0.5, nas soluções com cortina sem aberturas (Fase 1 e 2) e um pouco superiores na Fase 3a devido à presença de aberturas na cortina, que permite que a agitação entre no interior do porto.
- Os valores em frente ao QMD em S10 e S12 são da mesma ordem de grandeza, ou seja, da ordem de 1.0. O S14 tem valores ligeiramente inferiores;
- O aumento da altura da onda incidente ou do nível da maré não se reproduz em tendência para os valores dos índices de agitação.

No caso da solução da Fase 3b (sem cortina), Figura 6 os valores dos índices são da ordem de 1.0 em praticamente todas as sondas, ocorrendo os valores mais elevados no interior do porto.

A comparação entre a solução sem cortina de estacas-prancha (Fase 3b), com cortina (Fase 2) e com cortina com aberturas (Fase 3a), mostra que a solução com cortina com aberturas leva a resultados inferiores à situação com cortina completa e superiores à situação sem cortina, na zona exterior da ponte-cais. O inverso é verdadeiro em pontos dentro do porto, especialmente nos pontos S11 e S13, ou seja, a solução com cortina de estacas-prancha com aberturas (Fase 3a) leva a índices acima da situação com cortina de estacas-pranchas (sem aberturas, fase 2) e abaixo da situação sem cortina de estacas-pranchas (Fase 3b).

4. ENSAIOS DE SOBREVILAÇÃO

4.1. Condições gerais

Os ensaios de sobrelevação tiveram como objetivo avaliar as condições de sobrelevação em pontos notáveis na proximidade das estruturas. As condições de agitação ensaiadas foram as mesmas dos ensaios de agitação (ver 3.1). Nos ensaios de sobrelevação foi utilizado o registo da série temporal da elevação da superfície livre utilizado nos ensaios de agitação, ou seja, em 14 pontos junto às estruturas, Figura 3.

4.2. Resultados e discussão

O tratamento das séries temporais medidas nas sondas foi realizado através de análise espectral, calculando-se o valor de H_s para períodos no protótipo superiores a 50 s e obtendo-se os valores da sobrelevação como valor de amplitude de crista (aproximadamente igual a $H_s/2$).

A Figura 8, apresenta-se, a título exemplificativo, os resultados de sobrelevação obtidos em cada uma das 14 sondas nos ensaios com W-10-S e para diferentes níveis de maré e alturas de onda significativa incidente, para diferentes níveis de maré e alturas de onda significativa incidente, da Fase 1 à Fase 3.

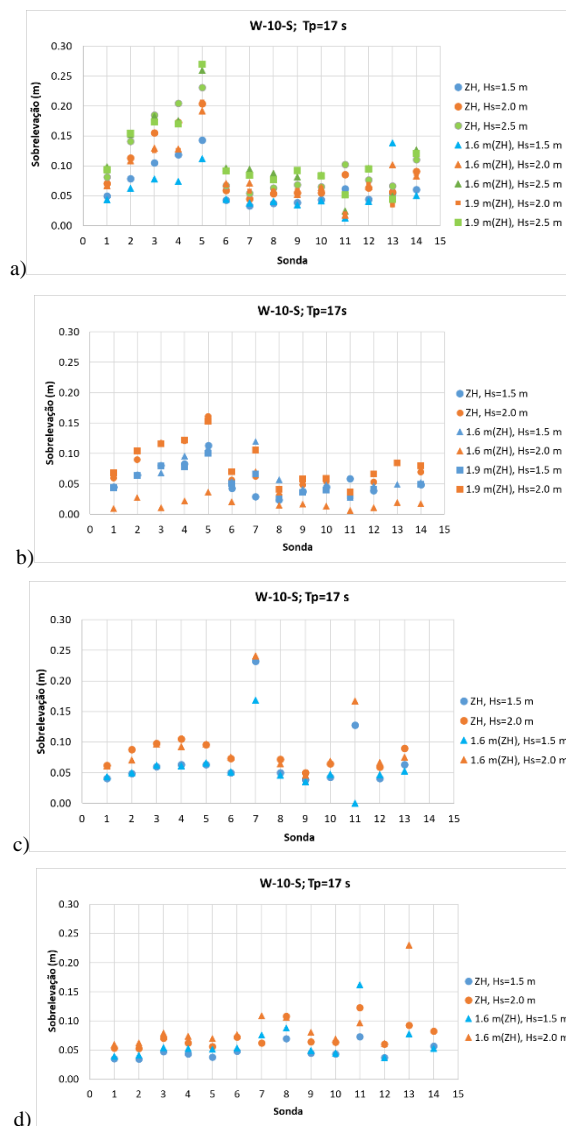


Figura 8 – Resultados dos ensaios de sobrelevação para W-10-S e $T_p=17$ s, a) Fase 1; b) Fase 2; c) Fase 3a, com cortina com aberturas; d) Fase 3b, sem cortina

4.3. Discussão

Da análise dos dados de sobrelevação provenientes do modelo físico de acordo com os resultados obtidos, as obras previstas introduzem a possibilidade de estabelecer sobrelevações, embora estejam a ocorrer atualmente, como mostram os resultados obtidos nos ensaios realizados sem estaca-prancha.

A ação da direção das ondas W-10-S induz sobrelevações mais evidentes na zona exterior da ponte cais, particularmente nos pontos S3, S4 e S5. A concentração de energia é visível ao longo da parte exterior do cais, que deverá ser o principal responsável pelas sobrelevações nesta zona, cujo valor máximo é de 0.27 m. Os valores de sobrelevações máximas obtidas foram sempre abaixo de 0.30 m.

Os testes para a solução com estacas-pranchas com aberturas (Fase 3a) apresentaram valores de sobrelevação mais baixos do que as outras soluções, com valores inferiores a 0.12 m, com exceção dos pontos S7 e S11, que apresentaram valores atingindo 0.24 m e 0.18 m, respetivamente. Os testes com a solução sem cortina de estacas-prancha (Fase 3b) apresentaram valores de sobrelevação inferiores a 0.15 m, com exceção dos pontos S11 e S13, que atingiram valores de 0.16 m e 0.23 m, respetivamente.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo descreve os ensaios, em modelo físico tridimensional, de agitação e sobrelevação realizadas para a ampliação e requalificação do Porto Inglês, Ilha do Maio, República de Cabo Verde.

Da análise dos resultados de agitação, verifica-se que para as soluções da Fase 1 a 3a, e para a direção W-10-S, a zona externa da ponte cais é claramente desprotegida à agitação incidente. Em contrapartida, o interior do cais (S6 a S9 e S13) já apresenta alguma proteção. Em S10 e S12, nenhuma tendência é evidente e os valores são semelhantes para ambas as direções.

A comparação entre a solução sem cortina de estacas-prancha (Fase 3b), com cortina de estacas-prancha (Fase 2) e com cortina de estacas-pranchas com aberturas (Fase 3a), mostra que, para pontos fora do cais, a solução de estacas-pranchas com aberturas leva a valores de índices de agitação intermédios entre os obtidos com cortina completa e sem cortina, verificando-se o inverso para pontos dentro da bacia portuária.

Da análise dos dados de sobrelevação provenientes do modelo físico verificou-se que as obras previstas poderão introduzir sobrelevações ligeiramente superiores às que ocorrem atualmente no local.

REFERÊNCIAS

- CONSULMAR (2020) - Travaux d'extension et Modernisation du Port Inglês, Île de Maio, Spécification des Essais sur Modèle Physiques Réduit 3D et Simulations sur Modèle Numérique.
- LNEC (2020) - Travaux d'expansion et requalification du port inglês, île de Maio, République du Cap Vert. Etudes sur modele réduit 3D et sur modelé numérique. Rapport final: études sur modèle réduit 3D. Relation /2020. Janeiro.