



NOVO PORTO DE DAKHLA ATLÂNTICO

Estudo em modelo físico das pressões induzidas pela agitação marítima em pilares da ponte de acesso ao porto

Luís Gabriel Silva¹, Rute Lemos¹, Conceição J.E.M. Fortes¹, Eric Didier¹, Cesar Costa¹, Rui Reis¹, Joana Simão¹, Diogo Fonseca², Diogo Mendes², José Oliveira Pedro³, Rita Correa³

(1) Laboratório Nacional de Engenharia Civil, lgsilva, rlemos, jfortes, edidier, ccosta, rreis, jsimao @lnec.pt

(2) HAEDES, diogo.fonseca, diogo.mendes@haedes.eu

(3) GRID, jose.pedro, rita.correa@grid.pt

Resumo

Esta comunicação descreve os ensaios de pressões efetuados para a caracterização das pressões máximas exercidas nos pilares de secção circular da ponte que liga o porto de Dakhla à costa bem como dos perfis verticais de pressões associadas.

Introdução

Dakhla Atlantique é um futuro porto comercial de águas profundas ao norte de Dakhla, Marrocos.

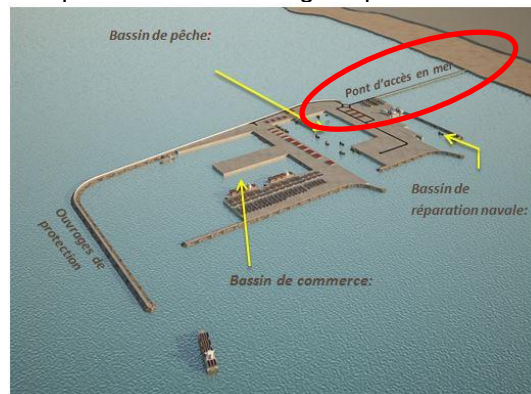


Figura 1. Novo porto de Dakhla-Atlantique (<http://www.equipement.gov.ma>)

No âmbito do projeto de execução do viaduto de acesso ao porto de Dakhla Atlantique (Marrocos), o LNEC e a GRID/HAEDES colaboraram no estudo, em modelo físico, da caracterização das pressões máximas exercidas nos pilares de secção circular da ponte que liga o porto à costa bem como dos perfis verticais de pressões associados (Lemos et al., 2023).

O objetivo foi determinar as pressões induzidas por três diferentes condições de agitação irregular e dois níveis de maré em pilares de seção circular de 1.5 m de diâmetro. Estes pilares foram testados com duas inclinações (vertical e inclinação de 7.5 graus em relação à onda incidente) em três profundidades diferentes (A, B, C). Os ensaios foram realizados num canal de ondas irregulares do LNEC. O modelo foi construído segundo a semelhança de Froude à escala geométrica de 1:22, por exigência da SGTM, entidade promotora do estudo.

Os estudos efetuados destinaram-se a fornecer resultados que auxiliaram o projetista a definir o seu modelo de dimensionamento estrutural, tendo em conta a especificidade e a frequência das ações induzidas pela agitação marítima nos pilares da ponte de acesso ao porto.

Nesta comunicação descrevem-se os ensaios efetuados e apresenta-se o resumo dos principais resultados obtidos. Dá-se especial atenção aos valores máximos de pressão obtidos nos três pilares ensaiados para as diferentes condições de agitação e maré consideradas.

Modelo físico

Os ensaios foram efetuados num canal de ondas irregulares com cerca de 60 m de comprimento, 3 m de largura e que permite a realização de ensaios com 2 m de altura de água. No interior deste canal foi efetuado um outro com 1.8 m de largura no qual se construíram os fundos e se realizaram os ensaios propriamente ditos, Figura 2.

Tendo em conta a escala geométrica do modelo (E), a escala do tempo foi $E^{1/2}$ e a escala de pressões $E*1.03$ para ter em conta a relação entre a massa volúmica da água do mar (1030 kg/m^3) e a água doce do modelo físico.



Figura 2. Modelo físico após a construção dos fundos e em plena exploração

A fotografia central da Figura 2 mostra o fundo fixo que obedeceu a um perfil fornecido pela GRID/HAEDS. Em detalhe, os fundos são caracterizados por:

- Rampa com 2 m de desenvolvimento entre a cota -18.00 m(ZH) (cota de funcionamento do gerador de ondas irregulares) e a cota -11.3 m(ZH);
- Plataforma horizontal com um comprimento de 21.41 m, à cota -11.3 m(ZH);
- Rampa com 22 m de comprimento, entre as cotas -11.3 m(ZH) e +3.5 m(ZH).

A Figura 3 mostra o perfil longitudinal dos fundos reproduzidos no canal, bem como as três localizações dos pilares. Foi construído um dispositivo de absorção passiva na extremidade do canal com a função de reduzir ao máximo as reflexões na zona em estudo.

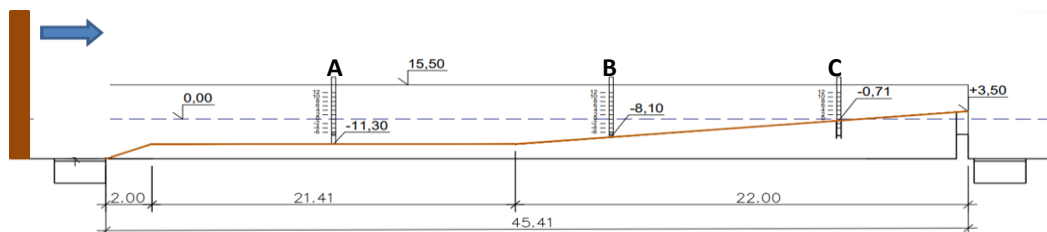


Figura 3. Perfil longitudinal dos fundos, com distâncias correspondentes a valores de modelo e com cotas correspondentes a valores de protótipo

Foi assegurado o encastramento dos pilares no fundo fixo através de dispositivos concebidos para o efeito. A base dos pilares situava-se a cotas de -11.3 m(ZH) (A), -8.1 m(ZH) (B) e -0.71 m(ZH) (C). Em cada uma destas posições foram colocados dois pilares, um vertical e outro inclinado a 7.5° na direção do bater de ondas. Os pilares foram igualmente fixados superiormente (Figura 4). Os eixos dos pilares, vertical e inclinado, encontravam-se espaçados de 0.8 m e cada um deles tinha um afastamento de 0.5 m das paredes do canal, dimensões que foram consideradas convenientes a fim de minimizar eventuais perturbações laterais.

Equipamento experimental

A agitação marítima foi medida por 5 sondas resistivas, uma colocada na entrada do canal interior (agitação marítima nominal dos ensaios), outra a meio da plataforma horizontal à cota -11.3 m(ZH) e as restantes três em cada uma das posições dos pilares (Figura 4).

Para a medição das pressões usaram-se sensores Honeywell (mod. ABH015PGC1B3), com sinal não amplificado e compensação de temperatura, saída variável entre $0 \text{ e } 100 \text{ mV} \pm 1 \text{ mV}$

e tempo de resposta inferior a 0.5 ms. A precisão do equipamento é inferior a 0.1 m de coluna de água (0.98 kPa), no protótipo. O comprimento da tubagem de conexão foi reduzido ao mínimo a fim de não serem introduzidos amortecimentos excessivos nas flutuações do sinal registado. Foram utilizados 10 sensores em cada pilar, com um espaçamento de 2.0 m em altura, no protótipo. A frequência de aquisição dos sensores de pressão e das sondas resistivas foi de 2000 Hz, a fim de permitir a melhor caracterização possível de forças impulsivas nos pilares.

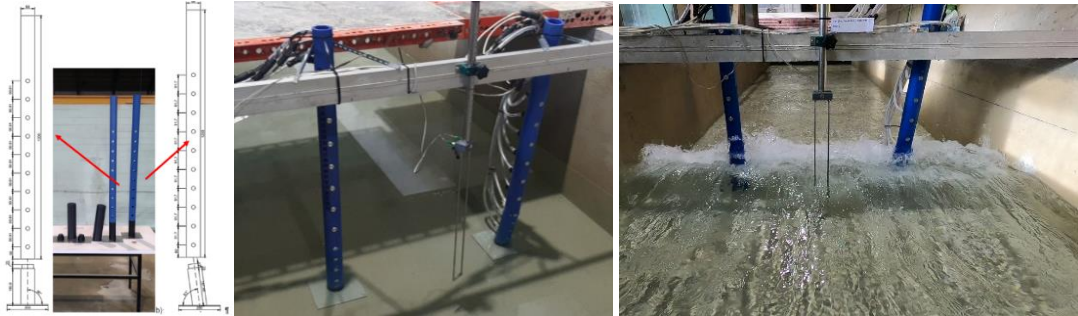


Figura 4. Disposição dos sensores de pressão nos pilares e posicionamento dos pilares no canal de ondas

Agitação marítima e níveis de maré

Os ensaios foram realizados com três condições de agitação marítima irregular, definidas pela GRID/HAEDS: a) $H_{m0}=5.2$ m com $T_p=14.7$ s; $H_{m0}=4.8$ m com $T_p=19$ s; $H_{m0}=3.7$ m com $T_p=10$ s. Foram utilizados espectros de frequência empíricos de JONSWAP associados aos períodos de pico ensaiados (10, 14.7 e 19 s) com, respetivamente, $\gamma=3.3$, $\gamma=1.2$ e $\gamma=10$. Foram usados 2 níveis de maré: +4.21 e 0.00 m(ZH). A duração da atuação das ondas foi a correspondente a 500 ondas. Todos os ensaios foram repetidos, pelo menos, duas vezes.

Ensaio de pressões

Metodologia

Foram realizadas três séries de ensaios correspondentes a cada posição dos pilares. Os pilares inclinados e verticais foram ensaiados simultaneamente (Figura 4).

A avaliação das características da agitação foi efetuada através de registos da elevação da superfície livre. Procedeu-se a uma análise espectral dos dados obtidos em cada sonda, resultando na obtenção dos valores de H_{m0} e do respetivo período de pico.

Nos ensaios para a obtenção das pressões foram efetuados registos temporais das pressões presentes em cada um dos vinte sensores, 10 no pilar vertical e 10 no pilar inclinado. Os resultados dos ensaios (após análise no domínio temporal considerando o método do zero ascendente) foram a amplitude das pressões, em kPa (positiva e negativa): a) Média dos picos registados, P_{med} ; b) Média de 1/3 e 1/10 dos picos com valores mais elevados, respetivamente, $P_{1/3}$ e $P_{1/10}$; c) e pressão máxima, P_{max} .

Resultados

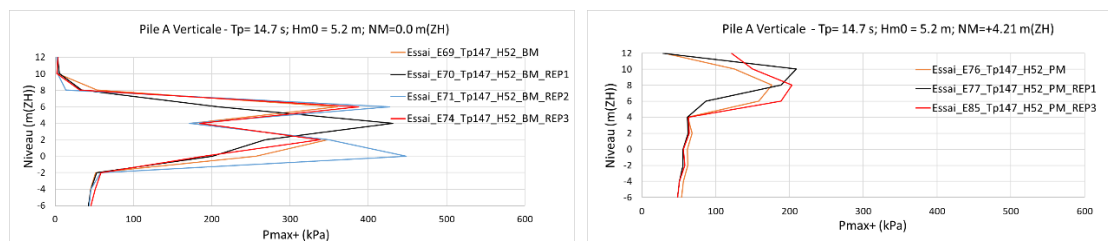


Figura 5. Pilar A vertical. $T_p=14.7$ s e $H_{m0}=5.2$ m. Valores máximos de $P_{1/3+}$ e P_{max+} obtidos para cada sensor de pressão, situados entre as cotas -6.0 m(ZH) e +12.0 m(ZH)



Na Figura 5 são apresentados gráficos que ilustram os valores máximos de pressões positivas obtidos (P_{max+}) para o caso do pilar A vertical e em cada um dos sensores localizados entre as cotas -6.0 m(ZH) e +12.0 m(ZH). É importante frisar que este tipo de figura representa um envelope das pressões máximas ao longo do pilar.

A Tabela 1 apresenta os intervalos obtidos da pressão (P_{max+}) e da pressão significativa ($P_{1/3+}$) registados durante os ensaios e repetições, para o pilar vertical e para o pilar inclinado.

Tabela 1 – Pressões máximas para os pilares A, B e C, verticais e inclinados, para as diferentes condições de agitação marítima

Maré (m ZH)	Tp (s)	Hm0 (m)	Pmax+ (kPa)		P1/3+ (kPa)	
			vertical	inclinado	vertical	inclinado
A						
0.0	10	3.7	82.7	116.2	9.2	24.3
	14.7	5.2	448.4	289.2	45.1	46.8
	19	4.8	386.0	287.7	59.9	47.6
4.21	10	3.7	36.6	39.3	8.1	21.2
	14.7	5.2	209.5	195.8	13.9	35.7
	19	4.8	376.0	209.0	19.8	39.7
B						
0.0	10	3.7	341.1	292.9	17.8	23.1
	14.7	5.2	425.3	294.7	34.9	44.0
	19	4.8	292.9	294.2	27.0	36.8
4.21	10	3.7	64.7	135.9	15.7	21.7
	14.7	5.2	77.7	91.3	27.5	33.3
	19	4.8	61.7	63.0	23.4	35.5
C						
0.0	10	3.7	112.6	225.7	5.5	22.3
	14.7	5.2	440.3	156.2	4.8	28.8
	19	4.8	143.1	200.6	6.0	26.5
4.21	10	3.7	371.4	231.4	28.1	46.1
	14.7	5.2	455.6	255.3	57.6	79.5
	19	4.8	511.0	284.2	70.5	90.8

Análise de resultados

- Para os pilares A e B, as maiores solicitações, em termos de P_{max+} , foram obtidas com o nível de maré de +0.0 m(ZH), entre as cotas +0.0 m(ZH) e +6.0 m(ZH). Para o pilar C, as maiores solicitações foram obtidas para o nível de maré de +4.21 m(ZH), entre as cotas +2.0 m(ZH) e +10.0 m(ZH);
- Os valores de P_{max+} mais reduzidos foram obtidos para o caso do pilar B com o nível de maré de +4.21 m(ZH), devido à ausência de rebentação e, logo, de pressões impulsivas;
- Para o caso do pilar C, foi observado que os maiores valores de P_{max+} se registaram na vizinhança da base do pilar, entre as cotas +0.0 m(ZH) e +2.0 m(ZH);
- Em geral, as pressões registadas no pilar vertical foram superiores às obtidas no pilar inclinado.

Agradecimentos

Agradece-se à SGTm – Société Générale des Travaux du Maroc a autorização para publicação dos resultados desta comunicação.

Referências Bibliográficas

Lemos, R.; Silva, L.G; Fortes, C.J.E.M.; Didier, E. (2023). "Nouveau Port de Dakhla Atlantique. Détermination en modèle physique et numérique de la distribution verticale de pressions induites par l'agitation maritime sur des piliers de pont. Etude en modèle physique". Rapport 120/2023-DHA/NPE, LNEC, mars.