

Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à Praia da Vagueira

Sancho, F. (1); Oliveira, F. S. B. F. (1); Fortes, C. J. E. M. (1); Baptista, P. (2); Roebeling, P. (2)

(1) Dep. de Hidráulica e Ambiente, LNEC, Av. Do Brasil, 101, Lisboa. fsancho@lneec.pt

(2) Departamento de Geociências e Centro de Estudos do Ambiente e do Mar, Univ. de Aveiro, Campus Univ. de Santiago, 3810-193 Aveiro.

Resumo: Apresenta-se neste trabalho um resumo do projeto “Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à Praia da Vagueira”, efetuado pelo LNEC-UAveiro-IST para a Agência Portuguesa do Ambiente. O estudo inclui as componentes de modelação matemática, modelação física em modelo reduzido, monitorização e aquisição de dados *in situ*, e análise custo-benefício da melhor solução técnica. Apresentam-se alguns dos resultados obtidos até ao presente, salientando os desafios e condicionantes locais hidro-sedimentares, e perspetivando algumas soluções.

Palavras-chave: galgamento, quebramar submerso, proteção costeira, saliente.

1. INTRODUÇÃO

Iniciou-se em dezembro de 2018 o “Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à Praia da Vagueira”, efetuado pelo LNEC-UAveiro-IST para a Agência Portuguesa do Ambiente (APA). O estudo tem como objetivo principal a definição e caracterização de parâmetros de dimensionamento e localização de um quebra-mar destacado (QMD) naquele litoral. Pretende-se que este QMD cumpra os seguintes objetivos, por ordem de prioridades: redução do risco de galgamentos costeiros; promoção do acréscimo do areal em frente à defesa aderente; e promoção de ondas de surf de referência, potenciando a economia associada a esta atividade. O estudo inclui as componentes de modelação matemática, modelação física em modelo reduzido, monitorização e aquisição de dados *in situ*, e análise custo-benefício da melhor solução técnica.

São vários os desafios associados à construção de um QMD na Praia da Vagueira, nomeadamente: i) a avaliação da dimensão, localização e configuração do quebra-mar; ii) a estimativa dos impactos que provoca na hidrodinâmica, na dinâmica sedimentar e na morfologia do trecho costeiro onde se insere; iii) a compatibilização de todas as funções/objetivos e iv) a definição dos materiais e da solução estrutural mais económica e com menor necessidade de operações de manutenção ao longo do tempo.

Na revisão bibliográfica efetuada (Sancho *et al.*, 2019a), reconhece-se que o dimensionamento de um QMD ou recife artificial (RA) para a melhoria das condições de surf é recente (duas últimas décadas), tendo a maioria dos projetos acabado por não atingir esse objetivo! Comparativamente com outras obras costeiras clássicas (e.g., esporões e molhes), a descrição e análise do desempenho, comportamento e sucesso dos RA está ainda nos seus primeiros passos. Assim, e face às características e condicionantes

locais, antecipa-se que a maior dificuldade para o projeto do QMD na Praia da Vagueira será a satisfação da função de criação de ondas para o surf.

Sobre o material de construção, face a frequentes falhas estruturais em muitos dos QMD/RA construídos em geossintéticos, ao forte clima de agitação marítima e à disponibilidade de enrocamentos, dar-se-á preferência a uma estrutura em enrocamento.

Sublinha-se que o QMD proposto visa proporcionar efeitos essencialmente locais, não substituindo intervenções que visem a correção de desequilíbrios sedimentares gerais. Havendo atualmente uma deriva litoral média significativa (da ordem de 200000 a 500000 m³/ano; Vicente e Climaco, 2016) nas praias a sul da Vagueira, pretende-se que o QMD resulte na formação de um saliente, com o intuito de assegurar continuidade às correntes longilitorais de transporte de sedimentos, minimizando o fenómeno erosivo a sotamar desta estrutura.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ZONA DE ESTUDO

2.1. Geomorfologia, dinâmica e evolução costeira

A Praia da Vagueira situa-se no extremo sul do trecho costeiro Barra-Vagueira, a sul do porto de Aveiro, com cerca de 10 km de extensão. Pertence ao litoral arenoso entre Espinho e Cabo Mondego, onde se registam graves problemas de erosão costeira. A proximidade à laguna de Aveiro e a zonas urbanas, as baixas cotas topográficas, as praias arenosas e o frágil cordão dunar, suscetível a galgamentos e inundações durante climas de agitação energéticos, fazem desta faixa costeira uma área vulnerável e exposta à erosão. Como resultado, há um risco iminente de rutura do cordão dunar e da barreira arenosa que separa a laguna de Aveiro do Oceano Atlântico.

Os problemas de erosão são essencialmente relacionados com o défice sedimentar que resulta do enfraquecimento das fontes aluvionares e da barreira

ao transporte sedimentar provocado por estruturas costeiras transversais de grande extensão. Em resultado, ocorreram (no último meio século) importantes recuos da posição da linha de costa nas praias a sul da Barra de Aveiro. Este recuo foi atenuado por obras de defesa na Costa Nova, e uma obra longitudinal aderente (com 620 m) e um esporão de pequena extensão (cerca de 130 m) na praia da Vagueira (Figura 1). Cerca de 1100 m a sul deste esporão está implantado o esporão da Praia do Labrego, também de pequeno comprimento (170 m).

A morfologia dos fundos adjacentes à praia da Vagueira é caracterizada por uma acentuada variabilidade espacial, onde se destaca a presença de um sistema complexo de barras submersas, com maior desenvolvimento entre as cotas -1 e -4 m (ZH). A comparação entre levantamentos locais mostra a migração de barras submersas nos sentidos transversal e longitudinal à linha de costa e elevada variabilidade da batimetria, em particular nas cotas -6 a -8 m (ZH) (Freire *et al.*, 2020).

A evolução dos fundos ao longo de perfil transversal (perfil total PT_PC6 do Programa COSMO) em frente à Praia da Vagueira (Figura 1), entre julho 2013 e fevereiro 2020, mostra uma variabilidade morfológica acentuada nos setores da praia emersa e submersa até cerca de 700 m da linha de costa (Figura 2). Na praia submersa a evolução é dominada pela dinâmica do sistema de barras, que inclui uma ou duas barras em simultâneo com alturas da ordem de 2 a 3 m, sendo a variabilidade do perfil transversal pouco acentuada em profundidades superiores a -8 m (ZH). Ambas as barras estão mais elevadas no final do inverno marítimo e a maiores profundidades no final de verão marítimo. A profundidade de fecho neste troço é próxima de -12 m (ZH).

Note-se que cota de implantação expectável do QMD é entre -3 e -7 m (ZH) (Sancho *et al.*, 2019b), ou seja, em zona parcialmente coincidente com aquela que mostra maior dinamismo do sistema de barras. Portanto, existe o muito provável conflito entre a implantação de um QMD (que se quer fixo) e a mobilidade natural das barras submersas.

A dimensão dos sedimentos na Praia da Vagueira corresponde a sedimentos médios a grosseiros na praia emersa (D_{50} médio igual a 0,5 mm) e sedimentos maioritariamente finos (D_{50} entre 0,125 e 0,25 mm) na parte submersa do perfil, onde possuem um teor da fração textural silto-argilosa da ordem de 5 a 25%, sendo assim classificadas como areias ligeiramente vasosas (Freire *et al.*, 2020).

2.2. Regime de maré e agitação marítima

No litoral de Aveiro, as marés são semidiurnas e regulares, com valores médios de amplitude em marés vivas e marés mortas de 2,8 e 1,2 m, respetivamente (Baptista *et al.*, 2019). Os níveis do mar locais variam entre 1,5 e 4,0 m (ZH) (Freire *et al.*, 2020). O nível de maré astronómica varia entre

0,2 e 3,8 m (ZH) e a sobrelevação devida à pressão atmosférica afeta o nível de maré entre -0,3 e +0,4 m.



Fig. 1. Fotografia aérea da zona de estudo (©Google Earth) e localização do perfil PT_PC6 (a verde)

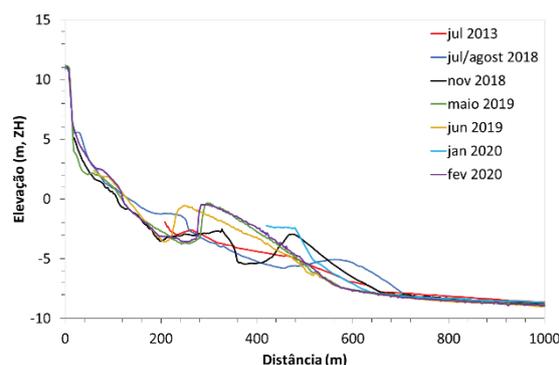


Fig. 2. Evolução de perfil transversal da praia da Vagueira

A agitação marítima local, à profundidade -20 m (ZH) em frente à Praia da Vagueira, foi determinada a partir da propagação de uma série de 39 anos (1979 a 2018) de dados ao largo provenientes do modelo de previsão WAM do Centro Europeu de Previsão Meteorológica a Médio Prazo (Freire *et al.*, 2020). Observou-se que a média da altura significativa de onda é 1,8 m, a gama mais frequente varia entre 1,0 e 2,0 m, mais de 95% dos valores são inferiores a 5,0 m, e o valor máximo é 9,0 m. Os períodos de pico apresentaram valores entre 3,5 e 20,3 s, com média de 10,9 s. A gama mais frequente das direções principais da agitação marítima está entre 270° a 330° (setor W-NWN), sendo o valor médio 300°.

3. MONITORIZAÇÃO E RECOLHA DE DADOS *IN SITU*

No âmbito deste projeto, instalou-se um sistema de vídeo-monitorização num edifício localizado ligeiramente a norte do alinhamento do esporão da Vagueira, com câmara estática e apontada na direção noroeste. Um exemplo da imagem coberta é

apresentado na Figura 3. A configuração do sistema de recolha de dados automático permitiu identificar diferentes tipos de imagens, nomeadamente imagens instantâneas, *Timex*, de variância da luminosidade e *Timestack* (Baptista *et al.*, 2019). O pós-processamento das mesmas tem-se focado na deteção da linha de costa e linha(s) de rebentação, potencial identificadora da posição da barra(s) de rebentação. A título de exemplo, na Figura 4 apresentam-se as linhas identificadas na imagem *Timex* obtida às 12h30 de 2019/06/07.

Além da monitorização contínua com o sistema de vídeo, efetuaram-se diversos levantamentos topográficos, um levantamento batimétrico e uma campanha intensiva de recolha de dados hidrodinâmicos e sedimentológicos (em 14-15 de outubro de 2019). A realização de campanhas de campo num litoral com estas características de agitação marítima é sempre um desafio, tendo-se conseguido atingir os objetivos propostos. Montaram-se e retiraram-se os equipamentos (2 ADCP, 6 sensores de pressão, 2 correntómetros eletromagnéticos e 3 sensores óticos de concentração de sedimentos em suspensão), tendo-se obtido um conjunto de dados hidro-morfodinâmicos e sedimentológicos (vide Silva *et al.*, 2020) para aferição dos modelos matemáticos a aplicar. Saliente-se também o uso de flutuadores lagrangeanos para medição de correntes de superfície.



Fig. 3. Imagem instantânea da área de estudo

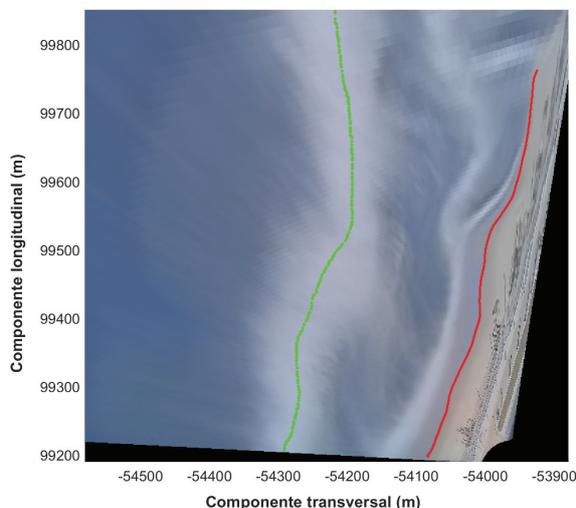


Fig. 4. Localização da linha de costa (vermelho) e da linha de rebentação (verde) (12h30, 7 de Junho de 2019)

4. PARÂMETROS DE DIMENSIONAMENTO

Na Tabela I listam-se as variáveis mais relevantes identificadas para o dimensionamento do QMD da Praia da Vagueira, sob vários aspetos funcionais, relativos a parâmetros da obra, hidrodinâmicos e morfológicos. Os trabalhos preliminares deste estudo permitiram definir os valores mais adequados para cada variável (3.^a coluna), na fase prévia de verificação do desempenho. Destacam-se o comprimento do quebramar, a distância à linha de costa e o bordo livre. Qualquer destes parâmetros afeta substancialmente a transmissão da agitação marítima para sotamar da estrutura, com papel determinante na redução do galgamento costeiro e na promoção do acréscimo do areal, que pode resultar no surgimento de um pequeno saliente até à formação de um tómbolo.

5. RESULTADOS DE MODELAÇÃO MATEMÁTICA

5.1. Efeito do QMD na redução dos galgamentos

A análise, em modelo matemático, do efeito das configurações de QMD na redução do galgamento da defesa aderente e diminuição do risco para a população foi realizada tendo em consideração as condições de agitação marítima e correspondente nível de mar entre 1979 a 2018 e a elevação do fundo arenoso em julho/2018 e junho/2019, através da utilização de oito perfis transversais localizados em frente à defesa aderente (Oliveira *et al.*, 2020). Concluiu-se que em termos de risco, as diferenças não são muito significativas entre as diversas configurações do QMD, dentro da gama das variáveis L_{qm} e L_d identificadas na Tabela I.

5.2. Efeito do QMD na promoção do acréscimo de praia

Simulou-se a evolução da linha de costa com a atual configuração de obras e para dez combinações distintas de L_{qm} e L_d (Oliveira *et al.*, 2020). Para cada uma destas configurações testou-se a evolução da linha de costa considerando dois modelos de linha de costa (LITMOD e LTC) e quatro métodos de cálculo do coeficiente de transmissão. Para comparação dos resultados recorreu-se a oito indicadores de eficiência do desempenho do QMD, extraídos das linhas de costa simuladas ao fim de 20 anos.

A avaliação quantitativa do desempenho das dez configurações preliminares do QMD e sem a obra, com base nos dois conjuntos de indicadores de eficiência usados na análise dos resultados de cada modelo permitiu concluir que as configurações de QMD com comprimentos entre 300 e 350 m e distâncias à linha de costa entre 400 e 500 m são as mais promissoras para o desenvolvimento de salientes e com menores impactos negativos no litoral a sul (pela retenção de sedimentos no saliente).

Tabela 1. Intervalo de valores para os parâmetros característicos de dimensionamento do QMD da Praia da Vagueira

Designação	Parâmetro	Valor(es) a ensaiar
L_{qm}	Comprimento do quebra-mar	200, 250, 300, 350 m
L_d	Distância à linha de costa	200, 300, 400, 500, 580 m (à cota +2,17 m ZH)
L_{qm}/L_d		0,6 a 1,0
R_c	Distância do nível de coroamento à superfície livre, ou bordo livre	-0,5 m, para o nível de baixa-mar de águas vivas média (+0,84 m ZH)
h_c	Cota de coroamento	+0,34 m ZH
K_t	Coefficiente de transmissão	0,4 a 0,7
B	Largura do coroamento	10 m
h_p	Cota de implantação	-3 a -7 m ZH
ϕ	Orientação do eixo longitudinal relativamente à linha de costa	-10°, 0°, +10°
β_b, β_s	Inclinação dos taludes (de barlamar e sotamar)	Barlamar: 1:10, 1:15 Sotamar: 1:2, 1:3
	Forma	Linear oblíqua ou delta assimétrico
	Material	Enrocamento
H_s	Altura de onda significativa	Surf: 1,5 a 3,0 m
T_p	Período de pico da onda	Surf: 8 a 12 s
	Peel angle	$30 < \alpha < 60^\circ$ *
ξ_b	Tipo de rebentação	Surf: $0,4 < \xi_b < 2,0$ *
	Comprimento linha de rebentação	≥ 55 m *
	Níveis de maré	BMAV (+0,84 m ZH); NMM (+2,17 m ZH); PMAV (+3,55 m ZH)
$W_{b,min}$	Largura de praia mínima	35 m, numa extensão igual à distância do extremo norte do QMD ao esporão da Vagueira, à cota de PMAV, em qualquer período do ano
	Erosão máxima no troço Vagueira – Areão	-4,44 m/ano

* durante, pelo menos, 20% das condições de agitação

5.3. Efeito do QMD dinâmica sedimentar

A análise do efeito do QMD na dinâmica sedimentar e morfologia adjacente, a curto e médio prazo, foi efetuada de forma qualitativa e comparativa para condições médias de onda e NMM, e para a configuração de QMD com $L_{qm}=300$ m e $L_d=400$ m (Oliveira *et al.*, 2020). Os resultados das simulações indicam que esta configuração promove a formação de um saliente e a geração de elevados gradientes de fundo, incluindo novos canais devidos às correntes divergentes que constroem o crescimento do mesmo saliente.

6. TRABALHOS FUTUROS

Presentemente, está em curso a modelação matemática da hidrodinâmica das condições para o surf, a construção de um modelo físico para análise

da dinâmica sedimentar em torno do QMD e das ondas para o surf, e a análise custo-benefício associada à construção do QMD e seu impacto no crescimento turístico.

Agradecimentos

Os autores agradecem a todos os elementos da equipa do projeto. Agradecem ainda o empenhamento dos técnicos da APA e a disponibilização de meios e apoio pela C.M. de Vagos.

REFERÊNCIAS

- Baptista, P.R., Barbosa, J.P., Silva, P.A., Andriolo, U., Santos, F., Carvalheiro, L., Sancho, F. (2019). Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à Praia da Vagueira; (T3) Monitorização contínua através de sistema de vídeo-monitorização: Instalação da estação de vídeo-monitorização – Relatório 3. Relatório 240/2019 – DHA/LNEC.
- Freire, P., Baptista, P.R., Capitão, R., Sancho, F., Fortes, C.J., Neves, M.G., Pinheiro, L. (2020). Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à praia da Vagueira. (T1) Caracterização da hidrodinâmica e da variabilidade morfo sedimentar. Relatório 7. Relatório conjunto 161/2020 DHA/NEC.
- Oliveira, F.S.B.F., Sancho, F., Neves, M.G., Coelho, C., Pinheiro, L., Fortes, C.J., Teixeira, S., Pombo, R., Reis, M.T. (2020). Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à Praia da Vagueira; (T1) Estudos em modelo matemático: Alternativas de quebra-mar destacado para proteção contra galgamentos e erosão costeira – Relatório 8. Relatório conjunto 231/2020 – DHA/LNEC.
- Sancho, F., Oliveira, F.S.B.F., Neves, M.G., Fortes, C.J., Coelho, C., Roebeling, P., Bicudo, P. (2019a). Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à Praia da Vagueira; (T0) Revisão do estado de arte – Relatório 2. Relatório 248/2019 – DHA/LNEC.
- Sancho, F., Neves, M.G., Fortes, C.J., Capitão, R. (2019b). Estudo de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à praia da Vagueira. (T1) Estudos em modelo matemático: Memória descritiva – Relatório 4. LNEC - Proc. 0604/121/21221. Relatório 408/2019 DHA/NEC.
- Silva, P.A., Baptista, P.R., Santos, F., Sancho, F., Freire, P. (2020). Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à Praia da Vagueira; (T3) Monitorização, aquisição de dados e trabalho de campo: Resultados da campanha – Relatório 6. Relatório 124/2020 – DHA/NEC.
- Vicente, C., Clímaco, M. (2016). Previsão do comportamento de um quebra-mar destacado, na costa da Vagueira. LNEC, Lisboa. (Não publicado).