

DESENVOLVIMENTO DE UM BLOCO INOVADOR PARA PROTEÇÃO COSTEIRA

Pedro Gomes ⁽¹⁾, Francisco Taveira-Pinto ⁽²⁾, Paulo Rosa-Santos ⁽²⁾

⁽¹⁾ Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Rua do Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, Portugal

⁽²⁾ Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental e
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Rua do Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, Portugal

pedromiguelgomes94@gmail.com, fpinto@fe.up.pt, pjrsantos@fe.up.pt

RESUMO

O aumento da frequência e da intensidade das tempestades a que se tem assistido nas últimas décadas resulta, pelo menos em parte, das alterações climáticas que se começaram a verificar no século passado e que trazem novos desafios à engenharia costeira. Com efeito, os estragos provocados pelas tempestades ocorridas nos últimos anos em diversas regiões do mundo são demonstrativos do poder destrutivo que estas podem ter nas zonas costeiras. Estes fatores, aliados a uma crescente preocupação e consciencialização da opinião pública acerca destes problemas, e às suas pretensões do ponto de vista da salvaguarda da paisagem natural das zonas costeiras, gerou a necessidade de se procurarem novas soluções, que sejam uma alternativa viável às medidas já existentes.

Assim, neste trabalho, é apresentado o estudo de desenvolvimento de um bloco inovador que possa ser uma solução alternativa e menos dispendiosa do que as soluções tradicionais de proteção costeira, mas que ao mesmo tempo seja capaz de responder às novas exigências ambientais e sociais, o *SWED - Block - Submerged Wave Energy Dissipating Block*.

Numa primeira fase foi definida uma secção transversal para o bloco que servisse de ponto de partida para a introdução de elementos adicionais, tendo em vista aumentar a eficiência desta solução na dissipação da energia das ondas. Deste modo, partindo de uma solução maciça e lisa, foram criadas soluções com rugosidade, porosidade e permeabilidade. A esta fase seguiu-se a realização de um estudo em modelo físico, à escala geométrica 1:15, de modo a analisar a eficiência do *SWED-Block* na proteção da praia a sotamar, para diferentes condições de agitação marítima.

No estudo experimental, realizado no tanque de ondas do Laboratório de Hidráulica da Secção de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, foram testados dois níveis de maré, correspondentes ao nível de baixa-mar e de preia-mar de águas-vivas, associados a diferentes graus de exigência em relação ao comportamento do bloco. O plano de ensaios incluiu testes com ondas irregulares com alturas de onda significativas variáveis (0.90, 1.20 e 1.50 m, para ambos os níveis e 1.95 m, para o nível de preia-mar), a que correspondiam diferentes períodos de onda de pico (9, 11 e 13 s, para ambos os níveis e 16 s, para o nível de preia-mar). A eficiência do bloco foi estudada através da análise do coeficiente de reflexão e das alterações do perfil transversal da praia.

Os resultados obtidos mostram que as várias configurações do *SWED-Block* desenvolvidas apresentam desempenhos diferentes. De referir, também, que algumas soluções agravaram os problemas de erosão localizada, enquanto outras se mostraram eficientes na mitigação desses problemas. Na sequência deste estudo foram propostas algumas modificações ao *SWED-Block* tendo em vista o melhoramento do comportamento global desta solução de proteção costeira, as quais deverão ser analisadas e otimizadas em estudos posteriores.

Palavras-chave: erosão costeira, proteção costeira, modelação física, estruturas modulares, recifes artificiais.

1. INTRODUÇÃO

A adoção de medidas de proteção costeira continua a ser bastante importante em muitas regiões do mundo, entre as quais Portugal. As alterações climáticas que atualmente se podem observar têm diversos impactos no meio ambiente, dos quais se podem destacar (Agência Europeia do Ambiente, 2017a,b): a subida da temperatura média global de 0.8°C nos últimos 150 anos, a mudança dos padrões de pluviosidade, o degelo dos glaciares e da neve e o aumento do nível médio da água do mar.

Outros fenómenos verificados nas últimas décadas, cuja causa se atribui, parcialmente, às alterações climáticas, são a ocorrência de situações meteorológicas extremas, incluindo ondas de calor, secas, inundações e tempestades marítimas, bem como o agravamento dos episódios de galgamento e de erosão. Apesar da existência de evidências da possível ocorrência de um aumento da frequência e da intensidade das tempestades no futuro, não existe ainda um consenso global sobre esta matéria, pelo que a origem dos fenómenos referidos não pode ser imputada total e diretamente às alterações climáticas.

O aumento do nível médio da água do mar e da frequência e intensidade das tempestades terão, naturalmente, diversas consequências nos territórios mais expostos aos seus efeitos, como são as regiões costeiras. Com efeito, as várias tempestades ocorridas nos últimos anos, tanto em Portugal como na Europa, provocaram estragos, que demonstram o poder destrutivo que estas podem ter nas zonas costeiras.

As estruturas de proteção costeira usadas ao longo dos últimos séculos, como por exemplo, os esporões, podem ter impactos negativos nas regiões vizinhas, sendo, por vezes, necessário adotar medidas de proteção complementares. Outro fator que gerou a necessidade de se procurarem soluções viáveis que constituíssem alternativas às medidas já existentes, foi a crescente preocupação e consciencialização da opinião pública acerca destes problemas, e as suas pretensões do ponto de vista da salvaguarda da paisagem natural das zonas costeiras.

Soluções como os quebramares submersos, são uma dessas hipóteses, cuja execução prática carece, no entanto, de meios e recursos mais dispendiosos, fazendo sentido o desenvolvimento de novas soluções alternativas cuja implementação seja mais fácil, rápida e económica.

As estruturas destacadas materializadas com o bloco inovador de proteção costeira *SWED-Block*, constituem uma alternativa previsivelmente menos dispendiosa, no entanto, pretende-se que constituam uma solução inovadora capaz de responder às novas exigências ambientais e sociais, mas que não descuidem o seu objetivo principal, que continua a ser o de proteger as regiões costeiras da ação do mar.

2. O SUBMERGED WAVE ENERGY DISSIPATING BLOCK – SWED-BLOCK

2.1. INTRODUÇÃO

O *Submerged Wave Energy Dissipating Block (SWED-Block)* é uma estrutura modular de proteção costeira que teve como principal motivação para a sua criação e desenvolvimento a necessidade de contrariar o fenómeno da erosão costeira, bem como os efeitos associados à sua ocorrência nas áreas expostas à agitação marítima. Pretendia-se, portanto, que este bloco constituísse uma solução eficiente na mitigação desses efeitos.

Para a definição do novo bloco foi realizado um trabalho de pesquisa sobre as soluções de blocos de proteção costeira atualmente existentes (e.g. Pilarczyk e Zeidler, 1996), com especial destaque para as suas características geométricas, funcionamento hidráulico e estrutural, condições de implantação e testes em protótipo e modelo físico reduzido a que foram sujeitos e respetivos resultados e conclusões obtidas.

Com base na informação recolhida nessa pesquisa, foram enumeradas as características positivas e negativas de cada um dos blocos analisados, para que se pudessem considerar os pontos positivos na definição do novo bloco, e melhorar as deficiências (i.e., as características negativas) registadas nos blocos já existentes.

2.2. CONCEÇÃO DO BLOCO

Uma vez seleccionados os blocos que iriam servir de base para o desenvolvimento do *SWED-Block*, através da análise dos aspetos positivos e negativos de cada bloco, foi definida a geometria inicial da secção transversal, Fig.1.

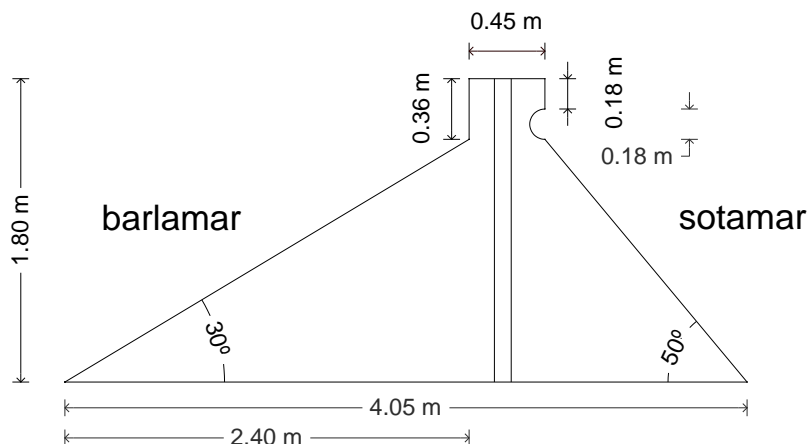


Fig. 1 – Secção transversal inicial do *SWED-Block* (valores no protótipo).

Tendo por base as características principais dos blocos existentes (e.g., peso, dimensões, submersão, modo de fundação, modo de dissipação da energia de onda, interligação entre blocos adjacentes, modo de colocação e implantação, eficiência na dissipação da energia das ondas, eficiência na retenção dos sedimentos mobilizados por ação das ondas e características especiais), foram acrescentados à secção transversal inicial do *SWED-Block* elementos que pretendiam melhorar o funcionamento global do bloco.

A introdução de elementos adicionais, como a interligação lateral entre blocos adjacentes e a definição de uma base irregular para conferir maior estabilidade à estrutura, bem como a introdução de rugosidade, porosidade e permeabilidade no paramento de barlamar, permitiu o desenvolvimento de três variantes distintas do *SWED-Block*. Foram concebidas duas soluções maciças com o paramento de barlamar liso e rugoso, respetivamente, e uma solução perfurada com um paramento poroso. Os três modelos do bloco desenvolvidos foram designados por modelo liso, rugoso e poroso, respetivamente, Fig. 2.

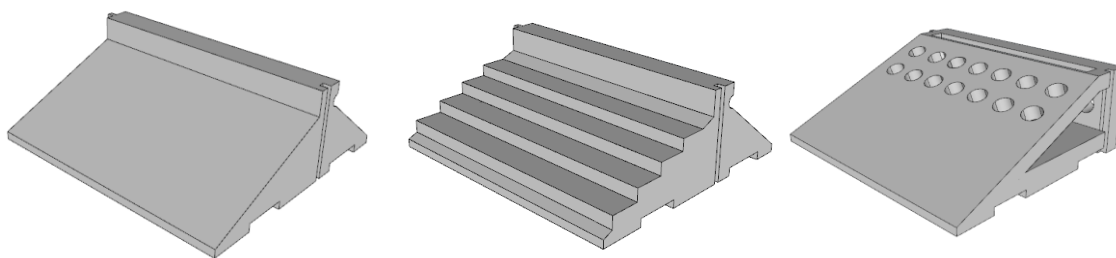


Fig. 2 – Vista de barlamar e lateral esquerda do modelo liso (esquerda), rugoso (centro) e poroso (direita).

2.3. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Existem atualmente diversas medidas de mitigação da erosão costeira, sendo a construção de recifes artificiais (Bleck, 2006), constituídos por estruturas modulares, uma das soluções utilizadas. Estas estruturas modulares são constituídas por blocos pré-fabricados de betão armado, que são dispostos ao largo e têm um duplo objetivo: num primeiro momento pretende-se que ajudem a dissipar parte da energia das ondas incidentes, nomeadamente promovendo a sua rebentação e, numa fase posterior, que sirvam de barreira física ao movimento para o largo de sedimentos mobilizados durante as tempestades, para que estes não se afastem das praias de origem e, posteriormente, possam regressar às mesmas.

Do ponto de vista do funcionamento hidráulico, essas são as duas principais finalidades destas estruturas, no entanto, há outros objetivos que devem ser cumpridos do ponto de vista estrutural e ambiental. A nível estrutural é muito importante efetuar a análise da estabilidade da estrutura, visto que esta deverá ser capaz de resistir às ações do mar, sem que ocorram danos significativos ou a sua destruição. Para tal, terão de ser analisados os principais modos de rotura globais:

- Deslizamento;
- Derrube;
- Assentamento da fundação, com deslizamento e rotação a barlamar;
- Assentamento da fundação, com deslizamento e rotação a sotamar.

Em relação à questão do impacto visual, este tipo de soluções apresenta outras vantagens, nomeadamente pelo facto de se tratarem, maioritariamente, de estruturas submersas, sendo, portanto, invisíveis a partir da linha de costa, o que faz com que não tenham um impacto negativo na paisagem.

2.4. INSTALAÇÃO

O local de instalação do bloco depende das características físicas da praia onde se pretende que este seja utilizado. Uma vez que se pretende que o bloco permaneça a maior parte do tempo submerso, o local de implantação terá de ser aquele que garanta que, para o nível de baixa-mar, o bloco cumpre aproximadamente esta condição. A distância a que o bloco se localiza da costa é naturalmente influenciada pela inclinação do perfil transversal da praia onde se pretende que seja colocado. Na Fig.3 é apresentado o esquema de implantação do bloco na praia.

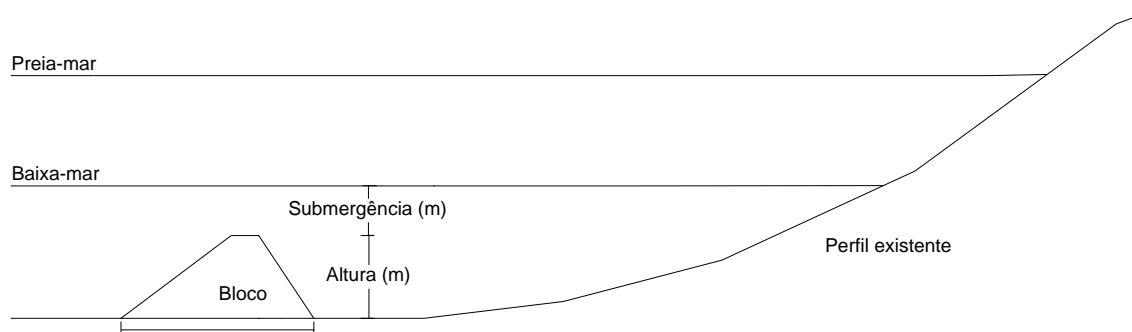


Fig. 3 – Esquema de implantação do bloco.

3. MODELO FÍSICO DO BLOCO

O modelo físico estudado é uma representação, à escala, do protótipo idealizado para o bloco. A escala geométrica escolhida para o estudo foi de 1:15, uma vez que permite ter uma representação conveniente das dimensões do bloco, como um todo, quer dos seus elementos especiais, como a ligação entre blocos, a base irregular e os elementos que conferem ao bloco propriedades de rugosidade, porosidade e permeabilidade.

A versão rugosa do *SWED-Block* (Fig. 2) apresenta o paramento de barlamar em forma de degraus, sendo estes os elementos que irão conferir rugosidade ao paramento. O número e o tamanho dos degraus tem naturalmente influência no grau de rugosidade do paramento, tendo essa escolha sido feita tendo em conta que se pretendia construir um modelo físico à escala 1:15 para o estudo experimental, sendo que as dimensões destes elementos deveriam ser suficientemente grandes para que tivessem expressão no modelo físico. O mesmo pensamento esteve na base do desenvolvimento da versão porosa do bloco, pelo que, para a escala 1:15, o espaçamento entre as aberturas teria de ter uma dimensão suficientemente grande para que o bloco fosse minimamente resistente e não quebrasse nem durante o processo de descofragem, nem durante a realização dos ensaios laboratoriais, uma vez que no caso do modelo físico, estes elementos não teriam armadura.

Os modelos físicos do *SWED-Block* foram construídos respeitando a geometria definida para o protótipo. Na Fig.4 apresentam-se os modelos físicos de duas das três versões testadas após a construção.



Fig. 4 – Modelos físicos do bloco à escala 1:15 – modelos poroso e rugoso.

4. ESTUDO EXPERIMENTAL

4.1. INTRODUÇÃO

O estudo experimental dos modelos do *SWED-Block* foi realizado no tanque de ondas do Laboratório de Hidráulica da Secção de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente (SHRHA) do Departamento de Engenharia Civil (DEC) da FEUP. Para o efeito foi criado dentro do tanque de ondas um canal com aproximadamente 0.80 m de largura, que corresponde, sensivelmente, à largura de uma pá do sistema de geração de ondas e às folgas entre a pá e as paredes laterais do canal. A localização deste canal no tanque de ondas está representada na Fig.5.

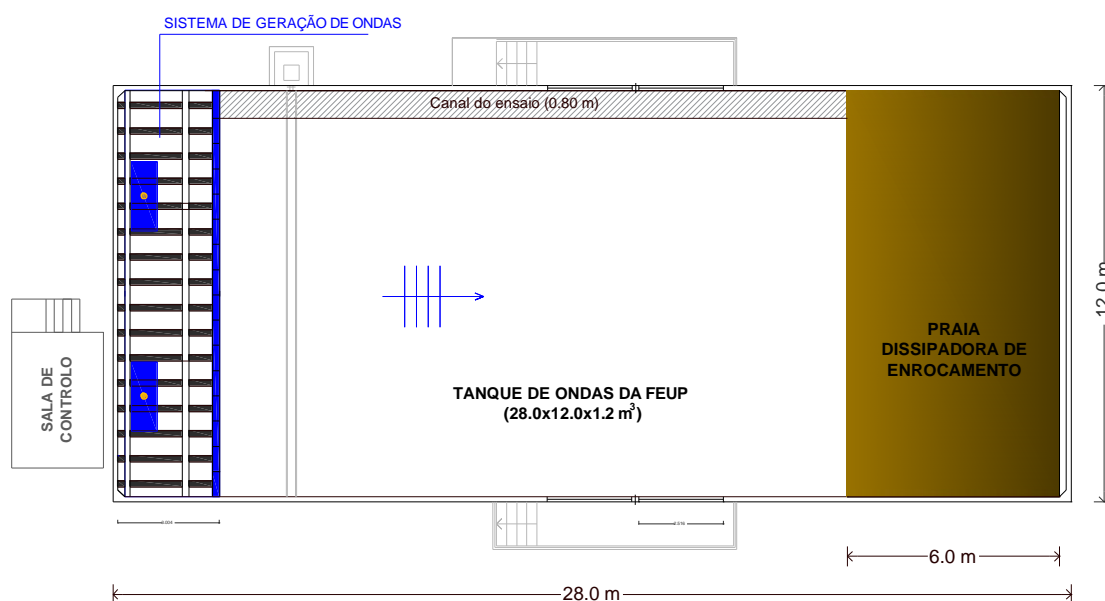


Fig. 5 – Esquema do tanque de ondas da SHRHA da FEUP, com o canal de 0.80 m de largura, onde se realizaram os ensaios experimentais.

Os ensaios laboratoriais foram planeados de forma a permitir analisar a eficiência hidráulica e a estabilidade de cada um dos três modelos do *SWED-Block*, quando sujeitos a diferentes condições de agitação marítima. Os modelos foram submetidos a testes com estados de mar de intensidade crescente, para avaliar o comportamento da estrutura para essas condições. A agitação utilizada foi do tipo irregular, tendo como base o espectro de JONSWAP.

4.2. EQUIPAMENTOS DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Para a aquisição da elevação instantânea da superfície livre da água, foram usadas quatro sondas de níveis hidrodinâmicos alinhadas, instaladas ao longo do canal. Essas quatro sondas adquirem séries temporais de valores de voltagem que são, posteriormente, convertidos em registros instantâneos de elevação da superfície livre da água, permitindo assim determinar as características da agitação no interior do canal.

Dado que o principal objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um bloco de proteção costeira, era importante perceber e analisar a influência deste nos processos de erosão ou acreção ao longo de uma praia. Para isso foi realizado o levantamento do perfil da praia com o auxílio de um perfilador 2D (Fig. 6), antes e depois dos vários testes experimentais, para que se possam traçar os diferentes perfis transversais desta, e comparar a sua evolução ao longo dos ensaios.



Fig. 6 – Carril por onde se desloca o elemento de suporte do perfilador (esquerda) e elemento de suporte (azul) e haste vertical (direita).

4.3. MODELO FÍSICO

No canal foi construída uma praia de areia com duas inclinações diferentes ao longo da sua extensão. Na maior parte do seu comprimento, a praia estava assente sobre o fundo do tanque de ondas. Esta extensão da praia, com cerca de 8.90 m, tinha uma inclinação constante de 5%, e começava a cerca de 7.20 m dos batedores, terminando no local onde se encontra com a praia dissipadora de enrocamento com 8.35 m de comprimento. Neste local, a praia tinha uma espessura de areia de cerca de 0.45 m, sendo esta a espessura máxima de areia em toda a extensão da praia.

Por cima da praia dissipadora, procurou-se que a praia de areia acompanhasse a inclinação existente, mantendo sempre uma espessura mínima entre 0.20 e 0.25 m, Fig. 7. Esta foi a espessura considerada adequada para que, quando ocorresse erosão da praia, por exemplo por efeito da rebentação das ondas, não se perdesse a totalidade da areia, ficando o geotêxtil utilizado como elemento de separação entre a praia de areia e a de enrocamento a descoberto.

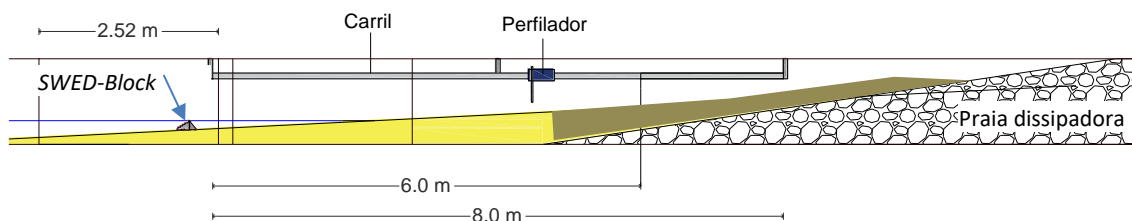


Fig. 7 – Ilustração esquemática da instalação da praia de areia e do perfilador 2D no canal de ensaios.

O local de instalação dos modelos do *SWED-Block* estudados está também representado na Fig. 7, bem como o posicionamento da estrutura metálica de suporte do perfilador utilizado no levantamento do perfil da praia de areia.

4.4. CONDIÇÕES DE TESTE

Os três modelos do *SWED-Block* foram testados para dois níveis de maré distintos: +0.0 m (Z.H.) e +4.0 m (Z.H.), que correspondem, respetivamente, aos níveis característicos de Baixa-Mar (BM) e de Preia-Mar (PM) para a costa ocidental portuguesa.

De forma a que as condições de agitação marítima fossem semelhantes para os dois níveis de maré, os valores do período de pico, T_p , e de altura de onda significativa incidente, H_{si} , foram, em geral, os mesmos para os níveis de BM e de PM. Sendo o nível de PM aquele que permite que se desenvolvam condições de agitação mais desfavoráveis junto à estrutura, no que concerne, quer ao comportamento hidráulico, quer à sua estabilidade, para esse nível de água, foi considerada uma altura de onda significativa incidente adicional, mais gravosa que as anteriores. No Quadro 1 apresentam-se as condições de agitação utilizadas nos ensaios, para os dois níveis de maré, em valores de protótipo e de modelo físico.

Quadro 1 - Condições de agitação consideradas no estudo experimental.

PROTÓTIPO			MODELO FÍSICO		
Nível (m)	T_p (s)	H_{si} (m)	Profundidade de água (m)	T_p (s)	H_{si} (m)
+0.00 (Z.H.)	9.00	0.90	0.33	2.32	0.06
	11.00	1.20		2.84	0.08
	13.00	1.50		3.36	0.10
+4.00 (Z.H.)	9.00	0.90	0.60	2.32	0.06
	11.00	1.20		2.84	0.08
	13.00	1.50		3.36	0.10
	16.00	1.95		4.13	0.13

A sequência de ensaios definida para o estudo experimental teve por base as condições presentes no Quadro 1 e compreendeu as seguintes séries de testes:

- Praia desprotegida, sem blocos de proteção;
- Praia protegida por dois blocos do modelo liso com 0.40 m de comprimento;
- Praia protegida por dois blocos do modelo rugoso com 0.40 m de comprimento;
- Praia protegida por dois blocos do modelo poroso com 0.40 m de comprimento;
- Praia protegida com o modelo liso, tendo sido utilizados dois blocos com 0.20 m e um bloco com 0.40 m de comprimento.

Nos ensaios com ondas irregulares foi utilizada uma sequência aleatória de ondas com um comprimento de 2^{13} , que corresponde a aproximadamente 1024 ondas. O comprimento da

sequência aleatória foi determinado de forma a assegurar que os ensaios tinham uma duração suficientemente grande, para garantir que os estados de agitação irregular eram reproduzidos na instalação experimental com rigor. Deste modo é possível garantir a correta representação da realidade na avaliação do comportamento hidráulico e da estabilidade dos blocos.

4.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.5.1. Introdução

Através dos equipamentos de medição instalados ao longo do canal de ensaios foi possível obter dados relativos à elevação da superfície livre da água, à interação das ondas com as diferentes estruturas dissipadoras de energia existentes ao longo do canal (*i.e.*, os blocos e a praia), e às ondas refletidas por essas estruturas.

Foram ainda analisadas as alterações do perfil transversal da praia a sotamar dos *SWED-Blocks*, com recurso às medições efetuadas com o perfilador 2D e às filmagens realizadas na zona envolvente ao bloco.

4.5.2. Análise da Reflexão

Todas as estruturas que interagem com a agitação marítima, não só dissipam uma parte da energia das ondas incidentes, como também refletem para o largo parte dessa energia. Assim, dependendo de parâmetros como a permeabilidade, a rugosidade, a porosidade e a inclinação do talude da estrutura sobre a qual a onda incide, uma maior ou menor quantidade de energia é refletida.

O coeficiente de reflexão de uma estrutura depende, também, das características da própria onda, tais como a declividade e a altura de onda relativa, que correspondem, respetivamente, ao quociente entre a altura de onda, H , e o comprimento de onda, L , e ao quociente entre a altura de onda, H , e a profundidade de água local, d . No caso da agitação irregular considerar-se-ia a altura de onda significativa incidente, H_{si} , e o comprimento de onda que está associado ao período de onda de pico, T_p .

Na Fig. 8 é apresentada a variação dos coeficientes de reflexão para o nível de baixa-mar, devido ao aumento da altura de onda significativa e do período da onda de pico, para todos os ensaios laboratoriais realizados.

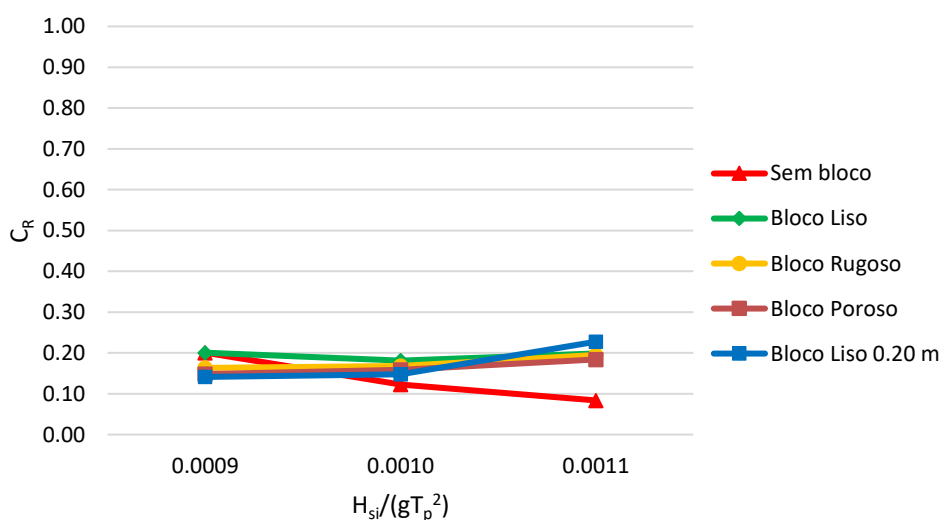


Fig. 8 – Variação do coeficiente de reflexão para o nível de maré de BM.

Os resultados apresentados na Fig. 8 permitem concluir que a presença do bloco provoca um aumento ainda que ligeiro do coeficiente de reflexão. Estes resultados eram já expectáveis tendo em conta que, apesar de se tratar de uma estrutura cujo principal objetivo é a dissipação da energia das ondas incidentes, esta também reflete parte dessa energia para o largo, facto

esse que poderá ser explicado pela sua incapacidade de absorver ou dissipar a totalidade da energia incidente. Assim, aquando da interação da onda com a estrutura, parte da energia incidente é transmitida e propaga-se em direção à praia, outra parte é dissipada na própria estrutura, sendo que a restante energia é refletida para o largo, o que é favorável.

Na Fig. 9 é apresentada a variação do coeficiente de reflexão para o nível de preia-mar, com o aumento do período da onda de pico e da altura de onda significativa, para todos os ensaios realizados.

Os resultados apresentados na Fig. 9 mostram que a influência do *SWED-Block* no valor do coeficiente de reflexão para o nível de preia-mar é muito pequena e consideravelmente menor que para o nível de baixa-mar (Fig. 8). Verifica-se, também, que para quase todas as alturas de onda significativa testadas, e qualquer que seja o modelo utilizado, o coeficiente de reflexão é ligeiramente mais baixo quando os blocos são utilizados na proteção da praia.

Por último, pode também referir-se que o coeficiente de reflexão é significativamente menor para o nível de baixa-mar ($C_R \sim 0.08$ a 0.23) do que para o nível de preia-mar ($C_R \sim 0.33$ a 0.42). Estes resultados podem, em parte, ser explicados pelo aumento da inclinação do perfil de praia na sua parte emersa. Por outro lado, a eficácia do bloco é previsivelmente menor para o nível de água mais elevado.

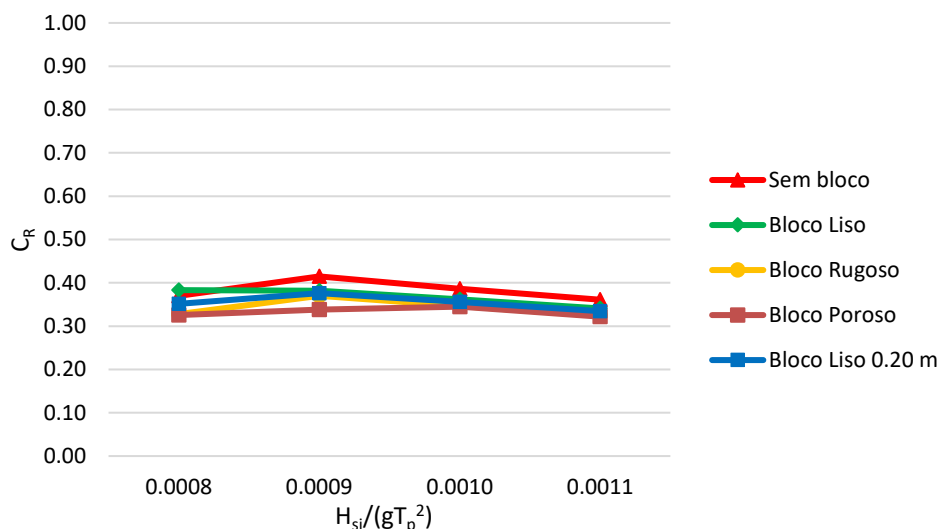


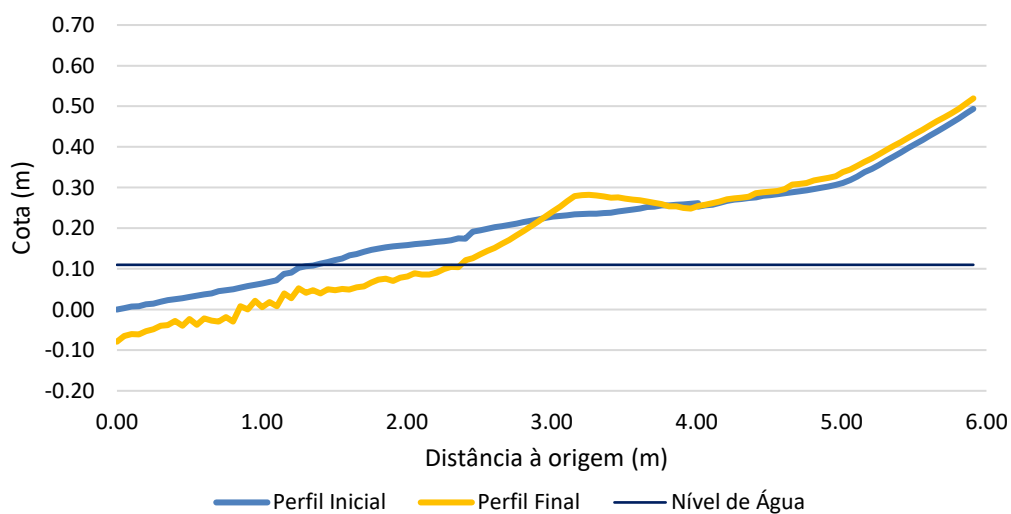
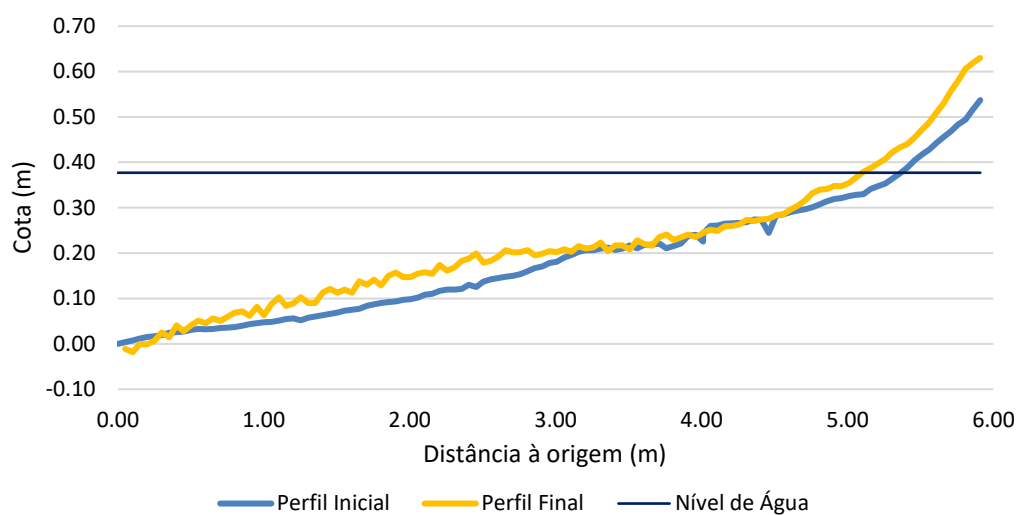
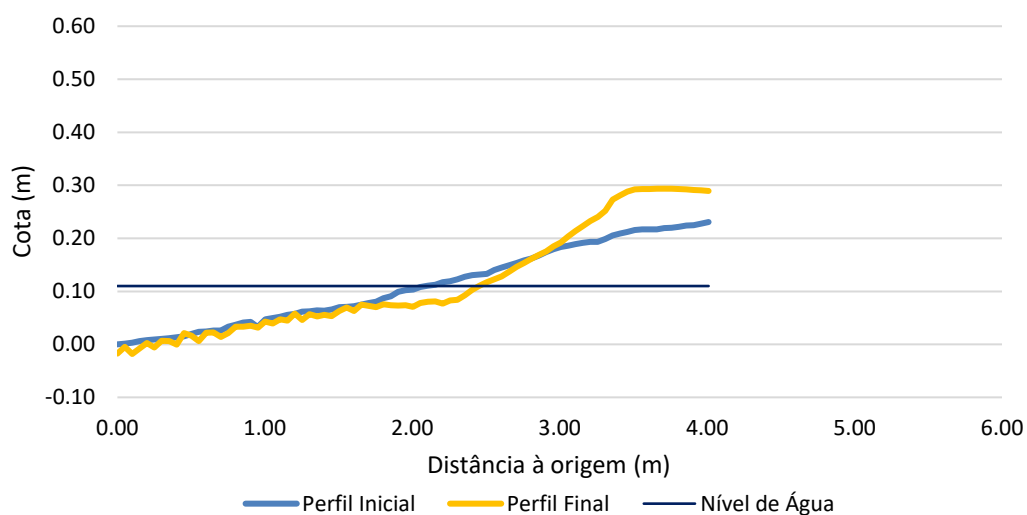
Fig. 9 – Variação do coeficiente de reflexão para o nível de maré de PM.

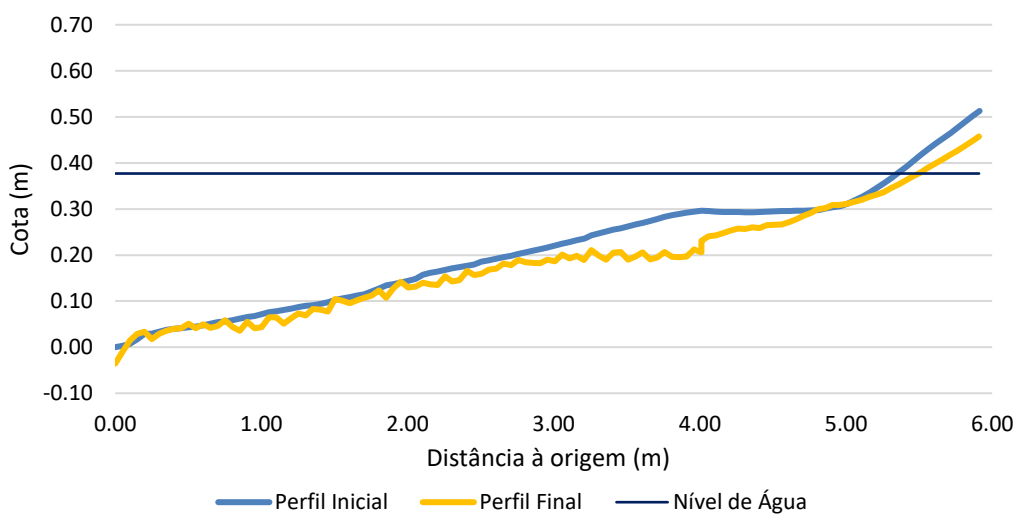
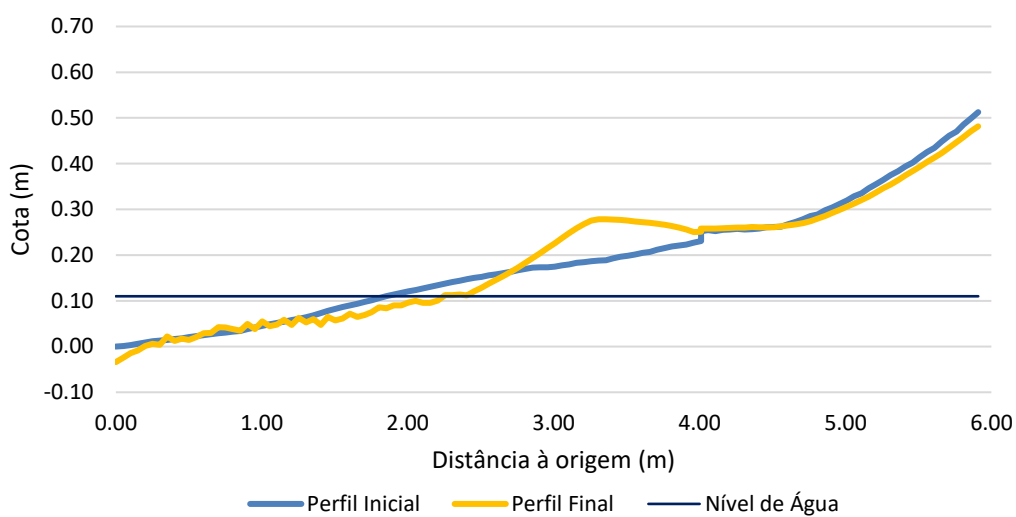
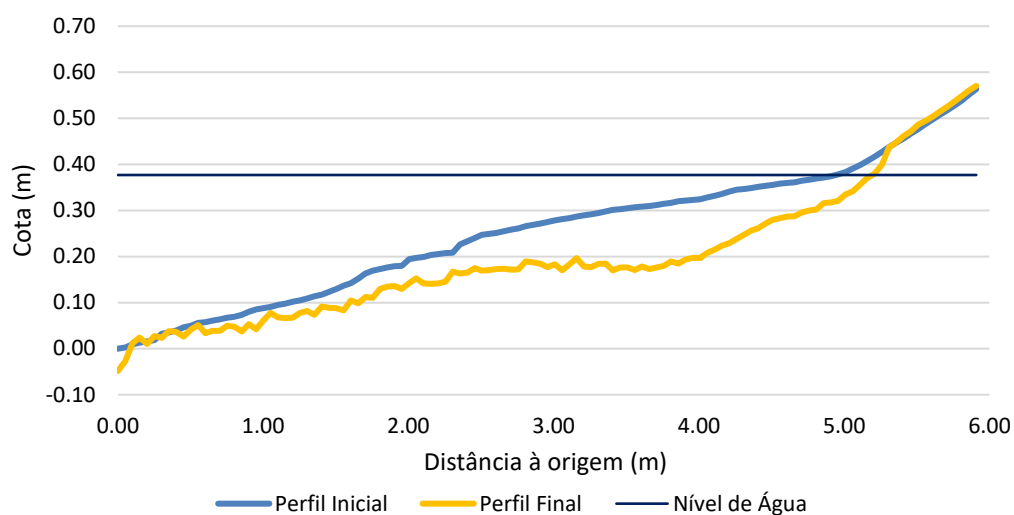
4.5.3. Análise das alterações do perfil transversal da praia

A avaliação das alterações ao perfil transversal da praia foi realizada por comparação entre os levantamentos 2D antes e depois dos testes. Para tal, os ensaios relativos a cada um dos níveis de maré e tipo de blocos começaram sempre com um perfil de praia regular e intacto, com as inclinações referidas na secção 4.3. Antes do início dos ensaios era então realizada uma medição do perfil inicial da praia e, após a conclusão de cada um dos ensaios, para um dado nível de maré, era novamente efetuada uma leitura do perfil da praia resultante da ação das ondas.

Com este trabalho pretendia-se avaliar a influência da presença dos blocos de proteção na praia e comparar com o que acontecia no cenário em que a praia estava desprotegida. Para além disso, pretendia-se também comparar os resultados obtidos para os diferentes modelos do *SWED-Block* considerados, de forma a averiguar qual era o mais eficiente na mitigação dos problemas de erosão.

Nas Fig. 10 a 19 apresentam-se os perfis transversais antes e depois da realização dos vários ensaios para os dois níveis de maré, baixa-mar e preia-mar, e para as situações de praia desprotegida e protegida com cada uma das três geometrias de bloco de proteção. Os valores apresentados referem-se ao modelo físico.





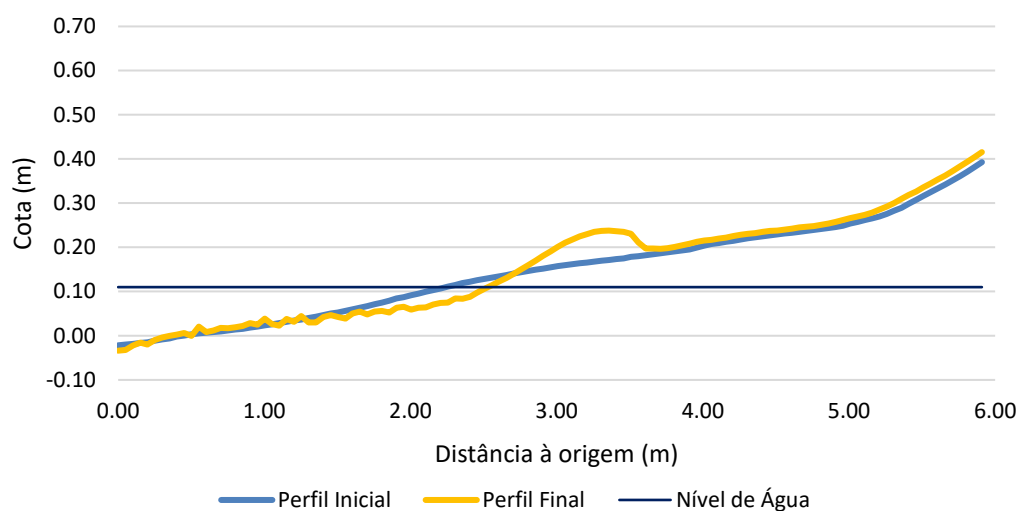


Fig. 16 – Perfil transversal da praia protegida pelo modelo poroso para o nível de BM.

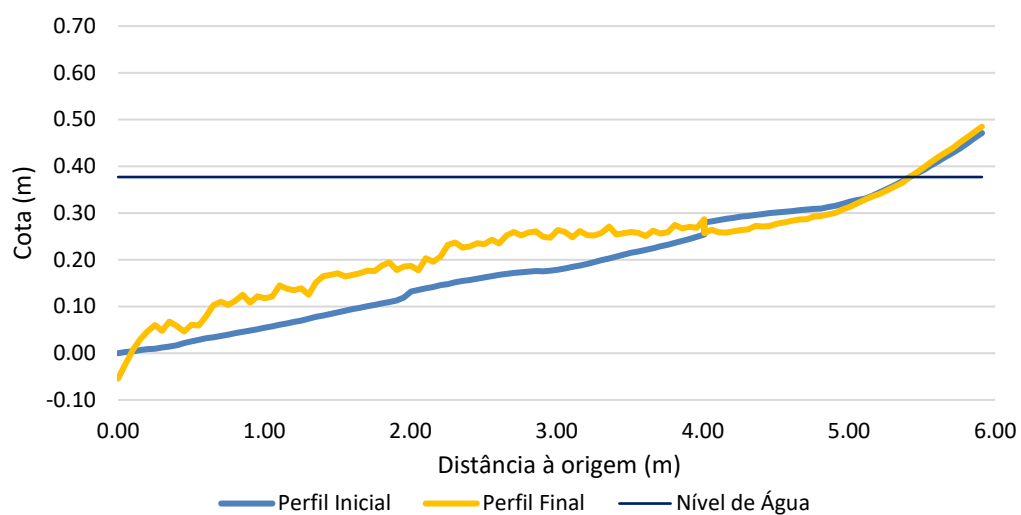


Fig. 17 – Perfil transversal da praia protegida pelo modelo poroso para o nível de PM.

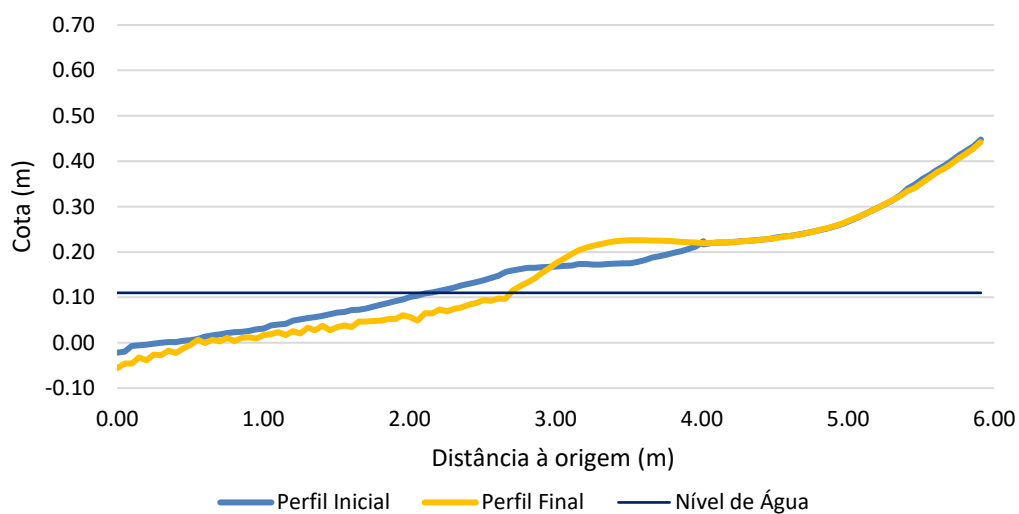


Fig. 18 – Perfil transversal da praia protegida pelo modelo liso (0.20 m) para o nível de BM.

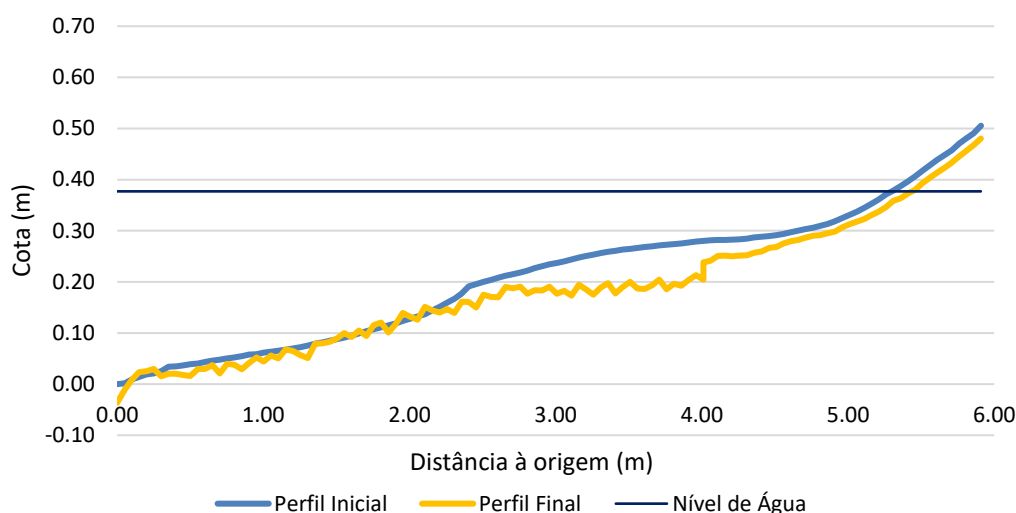


Fig. 19 – Perfil transversal da praia protegida pelo modelo liso (0.20 m) para o nível de PM.

Após a análise do comportamento hidráulico e estrutural para os cinco cenários anteriores, é possível perceber qual dos modelos foi mais eficiente no cumprimento dos objetivos que se pretendiam atingir.

Através da análise dos levantamentos obtidos para o cenário de praia desprotegida, para os dois níveis de maré, pode-se concluir que as condições de teste não foram tão desfavoráveis como se desejava. De facto, para o nível de baixa-mar as alterações na maior parte do perfil da praia são apenas ligeiras, verificando-se um aumento da inclinação do perfil de praia na zona da rebentação e espreamento da onda, com alguma acumulação de areia na parte emersa do perfil. Para o nível de preia-mar, registou-se acreção em grande parte da extensão da praia na proximidade da linha de água, quer na zona emersa, quer na zona imersa (Fig. 11).

Analisando agora os vários modelos e configurações do *SWED-Block*, a solução com o pior comportamento foi a que apresentava um paramento de barlamar liso na configuração de dois módulos com 0.40 m de comprimento. Contudo, importa referir que as condições de teste neste caso não foram exatamente iguais às dos restantes modelos, pois a estrutura não estava confinada à largura do canal. Para os dois níveis de maré, na presença do modelo liso, ocorreu erosão do perfil da praia (Fig. 12 e 13).

O modelo rugoso apresentou algumas melhorias em relação ao liso, ainda assim limitou-se praticamente a não permitir grandes alterações batimétricas na maior parte do perfil da praia, havendo, no entanto, formação de um banco de acreção para o nível de baixa-mar na zona de espreamento e uma situação de erosão na zona de rebentação para o nível de preia-mar (Fig. 14 e 15).

Os melhores resultados foram obtidos com o modelo poroso, que na situação de baixa-mar, e na maior parte do perfil, conseguiu que não ocorressem grandes alterações da cota da praia, embora havendo uma situação de erosão na zona de rebentação. Para o nível de preia-mar, este modelo foi o único capaz de provocar uma acreção significativa de areia no perfil da praia, cumprindo assim um dos principais objetivos do desenvolvimento deste bloco, já que este era o nível de maré que apresentava as condições de teste mais desfavoráveis (Fig. 16 e 17).

O modelo liso, materializado pela associação de dois blocos com 0.20 m e um com 0.40 m de comprimento devidamente confinados à largura do canal, teve um comportamento similar a outros modelos para o nível de baixa-mar. Já para o nível de preia-mar, as alterações ao perfil da praia foram mínimas em parte da extensão medida, contudo não impediu o processo de erosão na zona de rebentação das ondas (Fig. 18 e 19).

Na Fig. 20 e 21 apresenta-se a sobreposição de todos os perfis finais obtidos, para os níveis de baixa-mar e de preia-mar, respetivamente. Apesar de não se conseguir visualizar de igual

forma todos os perfis, é possível verificar os diferentes resultados obtidos para as diferentes soluções testadas.

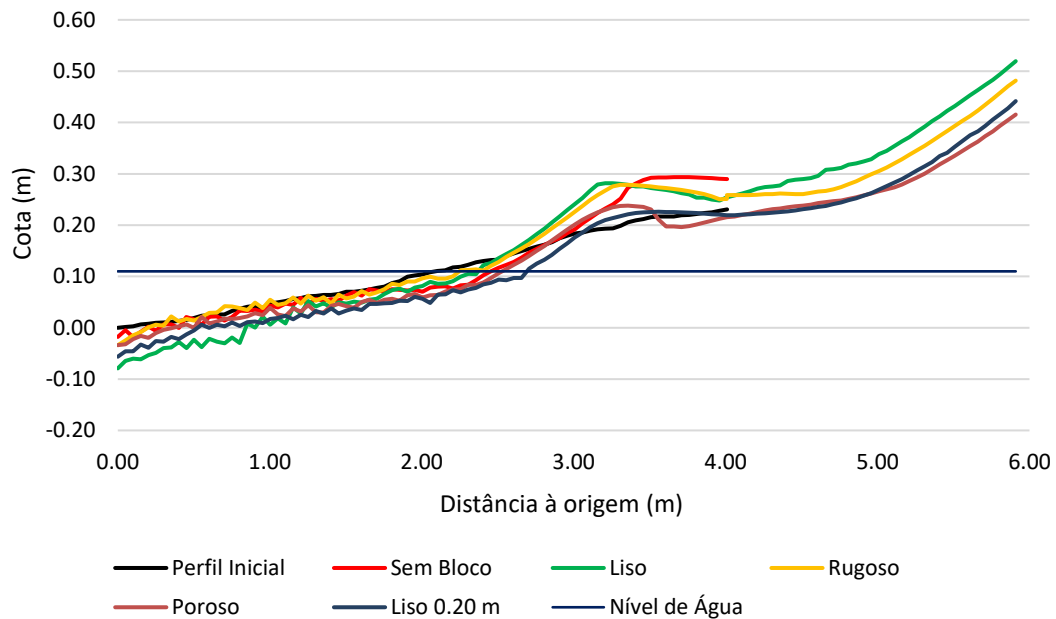


Fig. 20 – Comparação entre o perfil inicial da praia e todos os perfis finais obtidos, para o nível de BM.

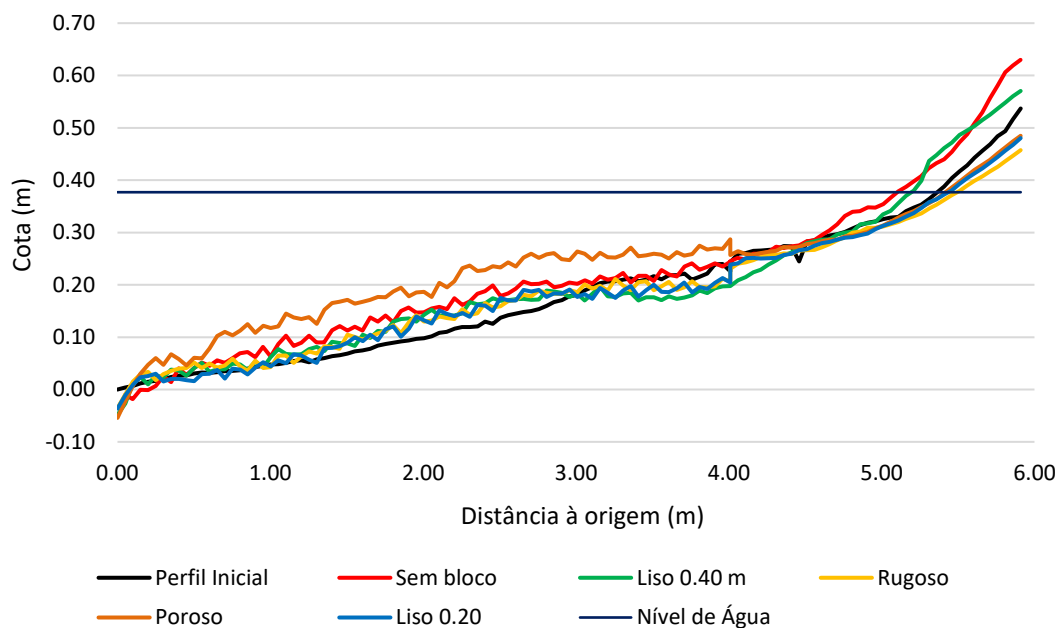


Fig. 21 – Comparação entre o perfil inicial da praia e todos os perfis finais obtidos, para o nível de PM.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi estudado experimentalmente um bloco inovador de proteção costeira, que procura ser uma solução alternativa às soluções mais tradicionais, mas menos dispendiosa e ao mesmo tempo capaz de responder às novas exigências ambientais e sociais – o *Submerged Wave Energy Dissipating Block*.

Os resultados obtidos para os dois níveis de maré estudados, correspondentes ao nível de baixa-mar e de preia-mar, foram diferentes, quer em termos de comportamento à reflexão, quer

ao nível da alteração do perfil transversal da praia e da estabilidade estrutural dos blocos. Das várias conclusões obtidas é possível destacar que:

- A eficiência dos blocos relativamente à reflexão melhorou para as alturas de onda mais elevadas, sendo o coeficiente de reflexão maior para o nível de preia-mar;
- A estabilidade estrutural dos blocos, ao nível do assentamento da sua fundação, que se caracteriza pelo deslizamento e rotação a sotamar do bloco, é maior para o nível de preia-mar. Com efeito, o nível de baixa-mar corresponde a condições bastante desfavoráveis na medida em que há rebentação das ondas sobre a estrutura;
- As alterações do perfil batimétrico da praia, devido à ocorrência de processos de erosão e acreção, foram também distintas para os dois níveis de maré. Relativamente a este aspeto, a presença do bloco é determinante para as alterações ocorridas. A influência do nível de maré no processo acretivo e erosivo verificava-se, essencialmente, nas zonas de rebentação e de espraçamento;
- O bloco com um paramento frontal perfurado apresentou um coeficiente de reflexão menor que os blocos maciços. Por outro lado, o paramento vertical a sotamar parece ter uma influência positiva na estabilidade do bloco para o nível de preia-mar, não se verificando o assentamento da estrutura devido à ocorrência de erosão a sotamar da mesma.

O trabalho desenvolvido permitiu testar e validar experimentalmente o *SWED-Block*, tendo sido também propostas algumas modificações para melhorar o comportamento global desta solução de proteção costeira, as quais deverão ser analisadas e otimizadas em futuros estudos.

REFERÊNCIAS

Bleck, M. (2006). Wave Attenuation by Artificial Reefs. Am Sulzbogen 80; Fürstenfeldbruck; Germany, 33.

Pilarczyk, K. W., Zeidler, R. B., (1996). Offshore breakwaters and shore evolution control. A. A. Balkema Rotterdam, Roterão, Países Baixos. ISBN 90-5410-627-1.

Agência Europeia do Ambiente (2017a). Sobre as alterações climáticas. [online]. Disponível: <https://www.eea.europa.eu/pt/themes/climate/about-climate-change>

Agência Europeia do Ambiente (2017b). Mitigação dos efeitos das alterações climáticas. [online]. Disponível: <https://www.eea.europa.eu/pt/themes/climate/intro>