

ESTUDO EXPERIMENTAL DE UM RECIFE ARTIFICIAL PARA SURF E DEFESA COSTEIRA EM MATERIAS GEOSSINTÉTICOS

Experimental Study of an Artificial Reef to Surf and Coastal Defense in Geosynthetics

JOÃO ALVES ⁽¹⁾ e FERNANDO VELOSO-GOMES ⁽²⁾

⁽¹⁾ Mestre em Engenharia Civil, FEUP,
Rua do Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, ec06152@fe.up.pt

⁽²⁾ Professor Catedrático, FEUP,
Rua do Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, vgommes@fe.up.pt

Resumo

A costa oeste portuguesa tem vindo a sofrer elevadas erosões em praticamente toda a sua extensão. Deste modo, urge encontrar soluções que travem este problema e que sejam, ao mesmo tempo, de fins múltiplos. É nesse âmbito que se inserem os recifes artificiais multifuncionais, solução que visa a protecção costeira e a criação de condições propícias à prática de desportos de ondas.

O presente trabalho pretende ser mais um passo em direcção à compreensão desta recente tecnologia, através da análise da modelação numérica já efectuada e da realização de modelação física, ensaiando várias formas de recife com diferentes condições de agitação e maré, típicas da costa portuguesa.

A análise de resultados centrou-se na avaliação da qualidade de onda obtida com os diferentes tipos de recifes e na influência destes na agitação, comparando-os de modo a encontrar as diferenças existentes entre elas.

Palavras-chave: Recife artificial, surf, defesa costeira, modelação física.

Abstract

The Portuguese west coast is ongoing erosion along almost its entire length. Thus, it is urgent to find solutions that block this problem and, at the same time, multi-purpose. It is in this context that multifunctional artificial reefs are included, as they aim at protecting the coast and at creating conditions for wave sports.

The goal of this work is to be a step towards full understanding of this new technology, through the analysis of numerical modeling done previously and the realization of physical modeling experiments, which included various reef layouts and different wave and tide conditions typical of the Portuguese coast.

The analysis of results is focused on the assessment of the quality of the obtained wave for the different types of reefs, and its influence on wave climate, and also on the comparison between types of reef.

Keywords: Artificial reefs, surf, coastal defense, physical modeling.

1. Introdução

Numa situação de ocorrência generalizada de fenómenos de erosão a uma escala mundial e em que a costa portuguesa não é excepção, é conveniente partir à procura de soluções mais abrangentes e de fins múltiplos, de modo a proteger e, ao mesmo tempo, potenciar essa zona de praia. É nesse âmbito que se inserem os Recifes Artificiais Multifuncionais (RAM).

Sendo esta uma tecnologia relativamente recente e sobretudo estudada para situações de agitação e amplitude de maré mais favoráveis em comparação com a existente na costa portuguesa, convém ser inserida e analisada para as realidades aqui existentes.

É importante saber que quando se fala em elevar o potencial da zona de instalação do RAM, não se está a referir apenas à criação de uma nova zona para a prática de surf. É verdade que um recife artificial proporciona condições estáveis para a prática de surf, algo que uma praia de fundos de areia não proporciona. Mas estes recifes poderão proporcionar outras vantagens, entre elas a melhoria das condições balneares, uma vez que são previstas acções na praia. Outra grande vantagem é o aumento de turismo na zona urbana adjacente à praia. Os surfistas investem muito em viagens à procura de melhores condições de surf, tanto a nível nacional como internacional. Exemplo disso é o turismo nas zonas da Ericeira e Peniche, zonas de eleição para a prática de desportos de ondas, em que uma boa parte desses turistas são surfistas.

Foi já feito um estudo prévio, por Laranjeira (2010), sobre esta temática, intitulado “Estudo de um recife artificial para surf e defesa costeira na praia de Espinho em materiais geossintéticos”, a que o presente trabalho pretende dar seguimento, incorporando a análise experimental. Inicialmente foi previsto que esta análise focasse a zona da praia de Espinho, mas seria impossível realizar um modelo em fundos móveis e reproduzir a batimetria deste local, quer por falta de tempo e de dados batimétricos recentes, quer por razões operacionais. Esta alteração ao programa inicial foi também realizada, uma vez que um dos principais aspectos a ter em conta nesta tecnologia é a estabilidade dos elementos geossintéticos, e, deste modo, seriam zonas mais abrigadas da agitação que reuniram melhores condições à sua implementação. Assim, foi considerada a praia de Matosinhos como outra opção de localização possível, uma vez que está abrigada da agitação vinda de Noroeste pelo quebramar Norte do Porto de Leixões. Porém, decidiu-se analisar vários tipos de RAM num contexto mais geral, não focando um local em particular.

2. Interpretação de Resultados da Modelação Numérica

A modelação numérica de uma hipótese de um RAM em Espinho foi realizada por Costa (2010), com o software MOPLA 2.0, em consequência da dissertação de Laranjeira (2010).

O principal objectivo foi analisar o recife no meio envolvente. A batimetria utilizada para reproduzir a zona ensaiada (praia de Espinho) é do ano de 1988, uma vez que não existem dados topo-hidrográficos mais recentes.

As características desse recife encontram-se no Quadro 1 e a representação em planta encontra-se na Figura 1.

Quadro 1. Características do recife.

Parâmetro	Valor de Projecto
Cota da crista	+ 0.5m (Z.H.)
Inclinação dos taludes	1:10
Inclinação do talude posterior	1:1
Orientação	11,9°
Ls	130m
Xst	146m
X	230m
α	66°

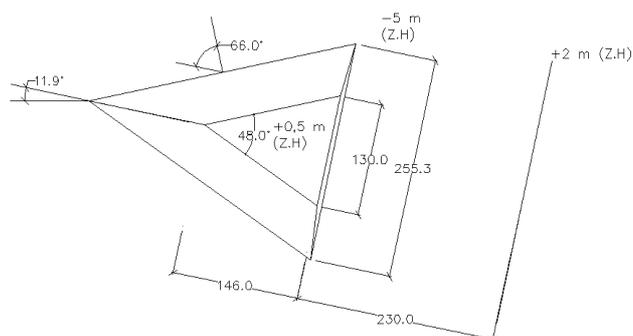


Figura 1. Representação em planta do recife.

A análise dos resultados centrou-se nos testes realizados com agitação regular, uma vez que é este tipo de agitação utilizada na modelação física. Dos resultados obtidos, apenas foram analisados os que influenciam o movimento dos sedimentos da praia, já que estes não foram obtidos nos ensaios em modelação física.

Deste modo, foram analisadas as condições hidrodinâmicas e hidromorfológicas para vários níveis de maré, altura de onda, período e rumo.

Como exemplo, a Figura 2 representa a variação da batimetria e a batimetria final com a presença de recife, para um ensaio com altura de onda de 3 m e período de 12 s, cota de maré de 2 m (Z.H.) e rumo de N67.5W. Neste caso, verifica-se que existe uma zona significativa de erosão a sul do recife. Quanto às zonas de acreção, situam-se principalmente do lado do tardez do recife até à praia e a norte do recife

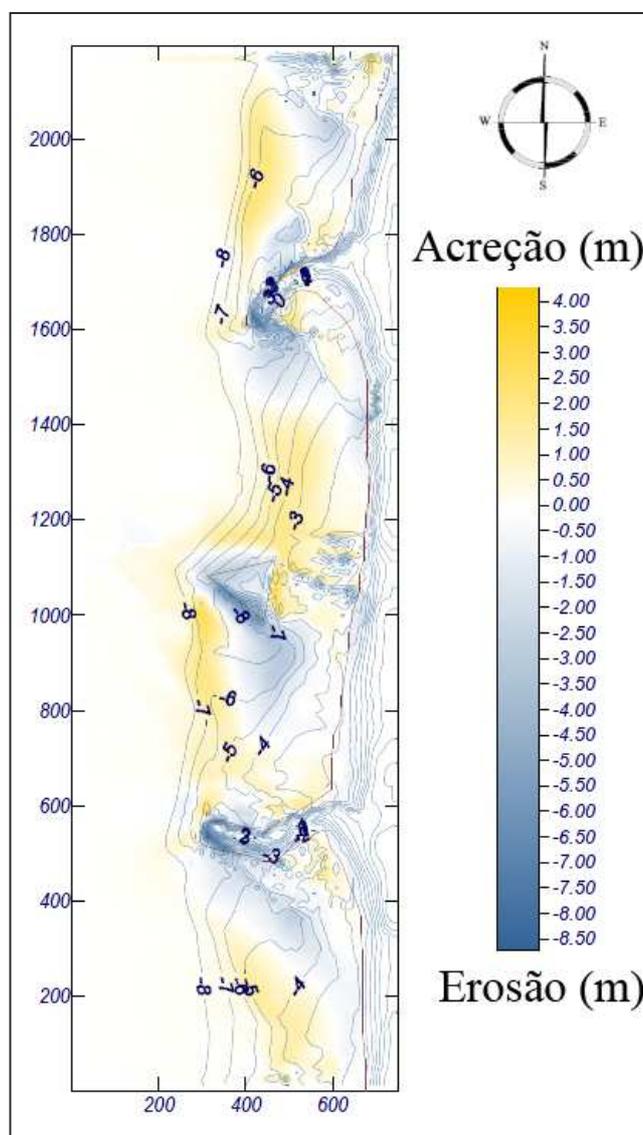


Figura 2. Representação em planta do recife.

Os resultados da modelação numérica evidenciam que o recife altera a batimetria, com efeitos favoráveis em termos de protecção costeira nas zonas onde ocorre acreção. Mas nos locais onde se prevê a ocorrência de erosões poderão verificar-se instabilidades estruturais.

As novas situações batimétricas alteram, por sua vez, o campo de vetores velocidades. Esta alteração pode induzir novas configurações batimétricas. A situação real torna-se complexa porque é interactiva: a agitação altera localmente a batimetria e esta altera localmente a agitação o que pode significar uma nova alteração da batimetria. Como os rumos e as alturas de onda incidentes variam, os resultados reais, associáveis ao clima de agitação, são os que resultariam de uma sucessão de estados de agitação e da sua interacção com os fundos móveis.

3. Modelação Física

3.1. Enquadramento

A modelação física foi realizada no Tanque de Ondas do Laboratório de Hidráulica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Figura 3.



Figura 3. Tanque de ondas.

O tanque tem como principais elementos: o sistema de geração de ondas, constituído por 16 batedores do tipo pistão, de 0,75 m de largura cada, accionados por servomotores eléctricos, com grande flexibilidade no seu funcionamento; a praia dissipadora, com a principal função de dissipar a energia das ondas, para que a reflexão destas seja o mínimo possível; o canal, que não será utilizado nestes ensaios e a zona de implantação do modelo físico. Para medir o nível de água durante os ensaios são usadas sondas de nível hidrodinâmicas. Neste estudo foram utilizadas sondas de 300 mm, uma vez que, para as alturas de ondas ensaiadas, não é necessário recorrer a sondas maiores. Foram realizados vários ensaios para diferentes tipos de configuração de recife e condições de agitação e maré. Todos os ensaios foram efectuados em fundos fixos, com uma escala geométrica de 1/30.

No estudo experimental, foram utilizados tubos cilíndricos Geotube®, da empresa TENCATE. Estes tubos foram fabricados em geotêxtil tecido a partir do polímero Polietileno (PE). No caso do protótipo, o polímero constituinte é o Polipropileno (PP).

As suas principais vantagens são:

- Flexibilidade e capacidade de adaptação à envolvente;
- Procedimentos de instalação fáceis;
- Fácil desmantelamento;
- Disponibilidade elevada;

- Impacte ambiental pouco significativo;
- Variadas dimensões dos geocilindros.

As dimensões dos geocilindros utilizados estão representadas na Figura 4.

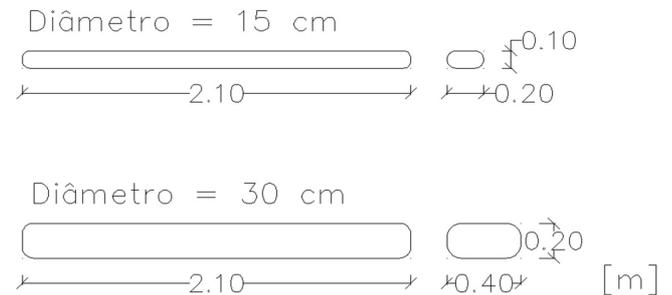


Figura 4. Dimensões dos geocilindros usados.

É de notar que, para dar a forma pretendida ao modelo, foram utilizados pequenos sacos no núcleo do recife. Estes sacos têm dimensões em planta de 13x26 cm e altura de aproximadamente 4 cm. O método de enchimento e costura foi idêntico ao relatado em das Neves (2010), em que os geocilindros foram colocados num fosso lateral do tanque e enchidos com areia existente no LH. Posteriormente foram cosidos com linhas e agulha especiais. Para a sua colocação no local do modelo físico, foi utilizada o pórtico móvel do LH.

3.2. Propostas de simulação

Foram testadas várias soluções de recifes artificiais, alterando principalmente a sua forma em planta. É de referir que todos os ensaios foram realizados com inclinação dos taludes de 1:10, pois é com este valor que se obtêm melhores condições de rebentação para várias condições. Assim, foram testadas quatro diferentes configurações, presentes no Quadro 2.

Quadro 2. Propostas simuladas.

Série I	Série II	Série III	Série IV
Perfil transversal 			
Delta preenchido, $\alpha=66^\circ$	Delta, $\alpha=45^\circ$	Delta preenchido, $\alpha=45^\circ$	Delta com dois corpos, $\alpha=66^\circ$

3.3. Ensaios laboratoriais no tanque de ondas

Como os ensaios decorreram em fundos fixos, os principais objetivos do estudo centraram-se em analisar a qualidade de onda e a influência na agitação dos vários tipos de recifes, para um variado leque de condições. Uma vez que os principais recifes existentes foram construídos em locais onde a amplitude de maré é reduzida, e na costa portuguesa a amplitude máxima é de cerca de 4 m, convém estudar a influência do nível de maré no funcionamento do recife. Deste modo, para todas as séries ensaiadas, foram realizados ensaios com níveis de maré definidos no Quadro 3.

Quadro 3. Níveis de maré ensaiados e respectivas alturas de água no tanque.

NÍVEL DE MARÉ (M) (Z.H.)	ALTURA DE ÁGUA NO TANQUE (M)
0.8	0.227
1.4	0.247
2	0.267
2.6	0.287
3.2	0.307

Para todos estes níveis de maré foram ensaiadas as condições de agitação presentes no Quadro 4.

Quadro 4. Condições de agitação ensaiadas.

Altura de onda no protótipo, Hp (m)	Altura de onda no modelo, Hm (m)	Período no protótipo, Tp (seg)	Período no modelo, Tm (seg)	Frequência no modelo, fm (Hz)
1.5	0.05	11	2.008	0.498
3.0	0.10	11	2.008	0.498

Para os níveis de maré de 2.6 e 3.2 m (Z.H.) foram ensaiadas alturas de onda de 4 m com períodos de 13 s, que equivale a valores de modelo de altura de onda, período e frequência de 0.133 m, 2.373 s e 0.421 Hz, respectivamente.

Na série I pretendeu-se estudar a influência do período no funcionamento do recife, e assim, para além das condições atrás referidas, foram ensaiados períodos de 13 e 8 s, para alturas de onda de 1.5 e 3 m, representadas no Quadro 5.

Quadro 5. Condições de agitação adicionais testadas na série I.

ALTURA DE ONDA NO PROTÓTIPO, Hp (m)	ALTURA DE ONDA NO MODELO, Hm (m)	PERÍODO NO PROTÓTIPO, Tp (s)	PERÍODO NO MODELO, Tm (s)	FREQUÊNCIA NO MODELO, fm (Hz)
1.5	0.05	8	1.461	0.685
3.0	0.10	8	1.461	0.685
1.5	0.05	13	2.373	0.421
3.0	0.10	13	2.373	0.421

Com esta variedade de condições ensaiadas, é possível estudar como é que as variações de altura de onda, período e nível de maré afectam o funcionamento do RAM.

3.4. Interpretação de resultados e avaliação global

A análise de resultados será feita de duas formas distintas: análise qualitativa e quantitativa.

A análise qualitativa incide na qualidade de onda, uma vez que o autor da presente dissertação é praticante de *Bodyboard* e possui vasta experiência em análise de condições de mar/ondas. É também possível realizar esta análise qualitativa, visto que foi o autor desta dissertação quem realizou e acompanhou a tarefa de investigação no LH.

Assim, durante os ensaios foi feito *in situ* uma avaliação da qualidade de onda, sendo esta também posteriormente verificada recorrendo às fotografias e vídeos captados.



Figura 5. Vista do tubo na Série I / Ensaio 1, Teste 56 (CM=0.8m (Z.H.), H=1.5m, T=11s).

Já a análise quantitativa foi realizada com base nos dados obtidos pelas sondas. Estas fornecem 40 leituras do nível de água por segundo, durante um período de 3 minutos. Desses dados, apenas serão analisadas algumas ondas. O início do ensaio é rejeitado por ainda haver crescimento da altura de onda. A partir de um certo tempo começam a ser verificadas reflexões no interior do tanque, que provocam leituras das sondas não correspondentes à realidade. Assim, o período do ensaio que será analisado está compreendido entre o fim da fase crescimento da altura de onda e o início das reflexões sentidas no tanque.

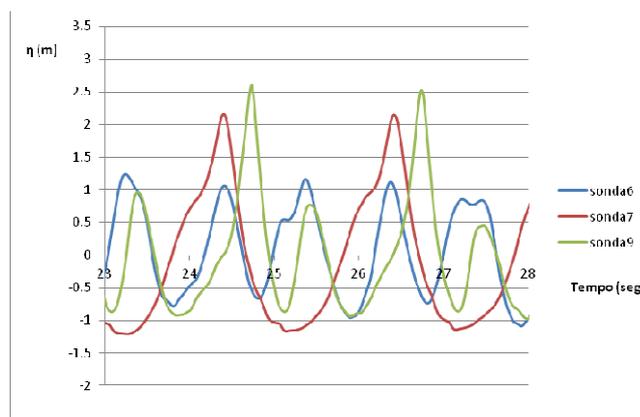


Figura 6. Leitura das sondas, Série IV / Ensaio 6, Teste 88 (CM=0.8m (Z.H.), H=3m, T=11s).

Comparando as várias séries ensaiadas, verifica-se que os modelos com plataforma à cota da crista do recife proporcionam condições favoráveis para a prática de surf para um intervalo maior de níveis de maré.

Analisando os dois ângulos de rebentação ensaiados, como seria de esperar, foi notório que para os recifes com ângulo de 45° a onda quebrava de forma mais rápida em relação aos recifes com ângulo de rebentação de 66°. Em termos qualitativos, o recife com 66° é o que proporciona melhores condições para um maior leque de surfistas, uma vez que as ondas neste verificadas são de qualidade (correcta formação de ondas tubulares) e com velocidade de rebentação de onda adequada.

A influência da geometria do recife em planta na qualidade de onda prende-se maioritariamente com a diferença dos recifes em delta e com dois corpos.

Verificou-se que o recife com dois corpos (Série IV) é o que apresenta mais vantagens: o comprimento de onda surfada é maior, devido às correntes de retorno realizarem-se mais pelo espaço entre os dois corpos em vez de se verificarem em torno do recife; criação de duas zonas distintas de surf, sendo mais fácil cada onda ser utilizada por dois surfistas; permite o acesso directo à zona de surf pelo canal central, visto que nessa zona existe uma corrente de retorno que facilita a viagem do surfista até a zona de “take-off”.

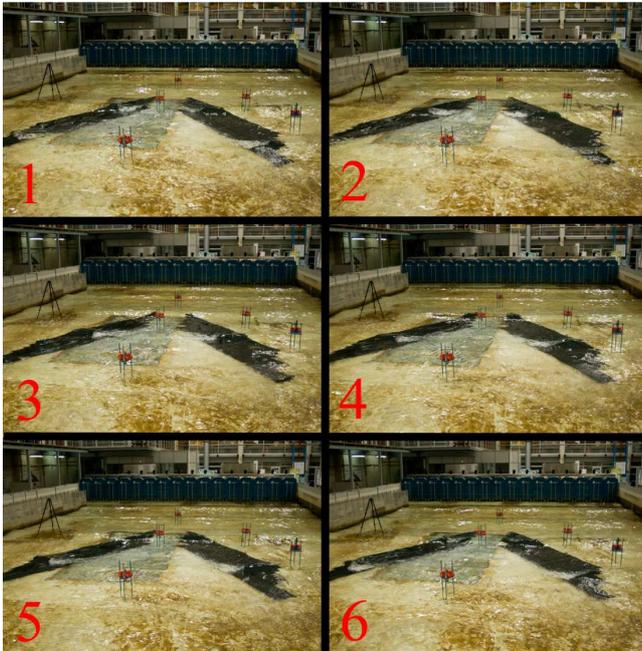


Figura 7. Sequência da Série IV / Ensaio 7, Teste 90 (CM=1.4m (Z.H.), H=3m, T=11s).

Sabendo que apesar das condições de agitação aqui ensaiadas serem bastante limitativas e não corresponderem à realidade, em termos globais foram obtidas ondas com qualidade em todas as séries de ensaio efectuadas.

4. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

4.1. Síntese de resultados e considerações finais

O presente trabalho pretende aumentar o conhecimento já existente em relação a esta nova tecnologia dos Recifes Artificiais Multifuncionais (RAM).

Em primeiro lugar, foi feita uma actualização do estado de arte e dos estudos realizados. Desde a realização da dissertação de Laranjeira (2010) não foi construído mais nenhum RAM. Verificou-se que os conhecimentos científicos nesta área são ainda insuficientes para um correcto dimensionamento duma estrutura deste tipo, principalmente para as condições verificadas na costa portuguesa, onde as condições de variação dos níveis de água associados às marés e a variabilidade das condições de agitação dificultam a optimização do funcionamento de uma estrutura.

Outro aspecto importante é a falta de estudos de monitorização de recifes já construídos, ou a sua não divulgação.

Este tema ainda se torna mais complexo, uma vez que o sucesso de um RAM depende muito da qualidade de onda gerada, e esse parâmetro é difícil de avaliar devido à sua subjectividade.

No que toca à eficiência da estrutura, verificou-se pela análise dos resultados da modelação numérica que, em termos de defesa costeira, a estrutura poderá ser uma boa alternativa às soluções convencionais.

Os resultados desta modelação evidenciam que o recife altera a batimetria, com efeitos favoráveis em termos de protecção costeira nas zonas onde ocorre acreção.

Estas zonas estão localizadas principalmente entre o recife e a linha de costa. Já nas imediações do recife prevê-se a ocorrência de erosões devido às grandes velocidades geradas sobre o recife, que poderão traduzir-se em instabilidades estruturais.

Em termos de qualidade de onda, foram exaustivamente analisadas as ondas produzidas nos vários tipos de recifes ensaiados. Nas quatro séries de ensaios realizadas, verificou-se a existência de ondas surfáveis em todas elas, com diferentes velocidades ou formas de rebentação.

O principal factor que influencia a existência, ou não, de ondas surfáveis é o nível de maré. Como a amplitude máxima de marés na costa portuguesa é de aproximadamente 4 m, é difícil optimizar uma estrutura que funcione para todos os níveis de água associáveis a esta amplitude e que seja imersa. Esse facto esteve bem patenteado nos ensaios realizados, uma vez que para cotas de maré mais elevadas, com ondas de 1,5 m, não existia rebentação.

Apesar disso, foi perceptível que a existência de uma plataforma à cota da crista do recife proporciona a rebentação de ondas para uma maior amplitude de níveis de maré.

Foram ensaiados vários tipos de geometrias de recife. A geometria para a qual se obtiveram melhores resultados foi a ensaiada na série IV, com o recife em delta com dois corpos.

Nesta série, o comprimento de onda surfável era maior do que nas outras séries, uma vez que a onda quebrava em toda a extensão do recife, devido às poucas correntes de retorno verificadas em torno deste.

Este tipo de recife apresenta outras vantagens em relação às demais geometrias ensaiadas, como por exemplo a criação de duas zonas distintas de surf, que permite que a mesma onda seja surfada por dois surfistas simultaneamente.

A existência de um canal onde circulem as correntes de retorno entre os dois corpos do recife, permite um fácil acesso dos surfistas à zona de surf.

Apesar destas vantagens, verificou-se que este recife seria favorável à prática de surf ainda para outros níveis de maré, caso fosse adicionado uma plataforma à cota da crista do recife.

Devido à falta de tempo, não foi possível ensaiar mais nenhum tipo de recife, mas em estudos futuros sugere-se a análise da configuração presente na Figura 8.

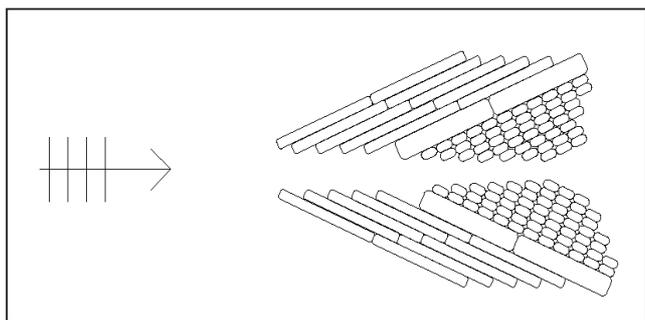


Figura 8. Recife com dois corpos, com plataforma à cota da crista.

Com esta geometria, este recife teria as mesmas vantagens do recife da série IV e ainda funcionaria para os mesmos níveis de maré ensaiados nas séries II e III, nas quais existe plataforma à cota da crista do recife.

Quanto aos ângulos de recife ensaiados, 45 e 66°, verifica-se que o menor ângulo proporciona ondas bastante rápidas, que provavelmente não serão acessíveis a todos os surfistas. Apenas os mais experientes e com um nível técnico superior poderão surfar estas ondas.

Assim, e como as ondas geradas nos recifes com um ângulo de 66° apresentam a mesma qualidade em termos de forma de rebentação (ondas tubulares) que as geradas no recife de 45°, admite-se que a melhor opção é um recife que proporcione um ângulo de rebentação de 66°.

Por razões de operacionalidade, existem efeitos de escala associados ao modelo, os quais não foram avaliados. As características da rebentação das ondas poderão estar afectadas por estes efeitos de escala.

4.2. Desenvolvimentos futuros

Para melhor compreender a influência deste tipo de estruturas em termos de defesa costeira, será necessário efectuar um estudo com fundos móveis.

É importante referir que em termos de prática de surf, a formação de um tómbolo é considerada prejudicial, uma vez que existe uma grande acumulação de areias que impede a correcta dinâmica de correntes junto ao recife.

Apesar de já existirem algumas formulações empíricas sobre a formação de saliência/tómbolo provocada por um recife, tal formação deverá ser estudada de acordo com as condições de agitação, maré e batimetria verificadas nos locais específicos em estudo.

Deverão ser ensaiadas as condições de agitação realizadas na presente tese, mas também sequências de estados de agitação que possam originar alterações morfológicas significativas.

A série de ensaios associada à configuração em relação à qual os resultados se assemelham como mais favoráveis deverá ser aperfeiçoada, tanto a nível de condições de teste, como da forma do recife.

Como para realizar o ensaio em fundos móveis é necessário reproduzir a batimetria de um determinado local, com dados actualmente não disponíveis, convém efectuar um estudo comparativo entre possíveis locais de implantação de uma estrutura deste género, como por exemplo o caso Espinho/Matosinhos.

Outro aspecto importante a ter em conta para estudos futuros é a estabilidade dos elementos constituintes do RAM, os geocilindros. Devido a limitações operacionais, foram utilizados geocilindros existentes no laboratório e sacos geossintéticos disponíveis. Por isso, não foi possível utilizar geocilindros com geometria à escala. Para estudar a estabilidade dos elementos constituintes do RAM é necessário que estes estejam à mesma escala geométrica do recife.

A realização de um modelo a uma escala geométrica maior e a repetição de pelo menos alguns ensaios, poderá permitir uma avaliação dos efeitos de escala presentes pela impossibilidade operacional de respeitar todas as leis de semelhança. Numa fase mais avançada do estudo, será necessário proceder a uma avaliação de custos de instalação e manutenção de um recife, avaliação essa necessária para realizar uma análise custo/benefício, para o apoio ao processo de decisão.

Referências

- Costa, G. (2010). *Modelação Numérica de um RAM na Praia de Espinho*. Relatório interno do Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos, FEUP
- das Neves, L. (2010). *Experimental Stability Analysis of Geotextile Encapsulated-sand Systems under Wave-loading*. Dissertação de Doutoramento, FEUP
- Laranjeira, A. (2010). *Estudo de um Recife Artificial para Surf e Defesa Costeira na Praia de Espinho em Materiais Geossintéticos*. Dissertação de Mestrado, FEUP.