

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO HIDROMORFOLÓGICO DO QUEBRAMAR DA AGUDA Analysis of Aguda's Detached Breakwater Hydromorphological Phenomena

RUI PIMENTA FREIRE ⁽¹⁾ e FRANCISCO TAVEIRA PINTO ⁽²⁾

⁽¹⁾ Eng.º Civil, Afaplan,
Cais do Lugan, 224, 1º, 4400 - 492 Vila Nova de Gaia, rui.pimenta@afaplan.com

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

Resumo

A praia da Aguda situa-se numa pequena Vila piscatória, a Aguda, na freguesia de Arcozelo, Concelho de Vila Nova de Gaia. De forma a implementar melhores condições para a sua principal actividade, a pesca, foram propostas e estudadas desde a década de 80 algumas soluções de defesa costeira.

Dos projectos apresentados, e após vários anos de análise e discussão, foi decidido no ano de 2001, qual a solução final a adoptar, um quebramar destacado, com 340 m de comprimento, largura de coroamento com 6m e cota de coroamento de +5,5m (ZH).

O estudo elaborado teve como base a aplicação da modelação numérica, utilizando o "software" SMC, ao quebramar da Aguda após a sua execução e com a topografia actualmente existente com a finalidade de avaliar os seus comportamentos e impactos hidromorfológicos.

Por fim, aplicou-se o mesmo modelo a um prolongamento da estrutura actualmente existente, avaliando, assim, a sua viabilidade como possível solução para os impactos hidromorfológicos que actualmente existem.

Palavras-chave: Modelação numérica, software SMC, Aguda.

Abstract

The Aguda beach lies in a small fishing village, the Aguda, in the parish of Arcozelo, Vila Nova de Gaia County. In order to implement better conditions for their main activity, fishing, some solutions were studied and proposals were made about coastal defense structures, since the 80's.

After several years analyzing and discussing the submitted projects, the final solution was completed in the year 2001, a detached breakwater with 340 meters long, crest width of 6 meters and a Quota crowning of 5,5 meters (ZH).

The study was based on the application of numerical modeling, applying SMC software to the Aguda breakwater after its implementation and with the existing topography in order to evaluate its hydromorphological behaviors and impacts.

Finally, the same model was applied in an extension of the existing structure, in order to evaluate its viability and trying to find a possible solution to the currently existing hydromorphological impacts.

Keywords: Numerical modelling, SMC software, Aguda.

1. Introdução

A intensa acção do Homem sobre as áreas adjacentes à linha de costa, das quais se destacam a construção de barragens, a extracção de inertes, a destruição de sistemas dunares, associado à acção de factores naturais como tempestades, tsunamis, degelo e consequente aumento do nível médio da água do mar, tornam a orla costeira cada vez mais vulnerável, assistindo-se a fenómenos com graves riscos associados, como a erosão costeira e consequentes alterações hidromorfológicas.

A linha de costa, que corresponde à faixa de interacção dinâmica natural entre o mar e a terra, tem sofrido grandes alterações nos últimos decénios, verificando-se um recuo generalizado da costa litoral Portuguesa.

Vários estudos efectuados apontam não só para um agravamento da situação actual, mas também para a propagação a zonas que se encontram actualmente em equilíbrio dinâmico. Actualmente, 20% da costa europeia encontra-se em erosão, sendo que igual percentagem da população vive em municípios litorais (EUROSION, 2006).

Em Portugal, esta percentagem é certamente muito superior, sendo por isso de consensual interesse o estudo dos motivos, impactos e soluções a adoptar na defesa da orla costeira. Neste trabalho analisou-se, de uma forma mais específica, a situação existente na zona litoral da Aguda, na cidade de Vila Nova de Gaia, nomeadamente a avaliação do comportamento hidromorfológico. Para o efeito foi aplicado o Software "Sistema Modelado Costeiro (SMC)".

2. O Quebramar da Praia da Aguda

2.1. Caracterização geral

2.1.1. Morfologia local

A Aguda é uma vila da freguesia de Arcozelo, pertencente ao Concelho de Vila Nova de Gaia, que se localiza na zona litoral, a aproximadamente 10km a Sul da embocadura do Rio Douro. A sua praia, conjuntamente com as praias de Lavadores, Madalena, Valadares, Francelos, Miramar, Granja e Espinho, integra a faixa costeira a Sul do Rio Douro, do distrito do Porto.

A população da Aguda é constituída por sensivelmente 1500 pessoas residentes, tendo um acréscimo significativo durante o período estival, derivado da população flutuante. A principal actividade da população residente é a pesca, onde ainda se utilizam técnicas e equipamentos artesanais.

Relativamente à caracterização geológica, a praia da Aguda caracteriza-se pela existência de formações e afloramentos rochosos naturais, destacados da praia e dispostos paralelamente a esta, proporcionando uma protecção natural em relação à agitação marítima, o que motivou a fixação das primeiras famílias de pescadores durante os finais do século XIX.

Um desses afloramentos, devido às suas características pontiagudas, deu o nome ao local, a "Aguda". A figura 1 apresenta duas fotografias onde se observam os afloramentos rochosos referidos, antes da construção do quebramar.

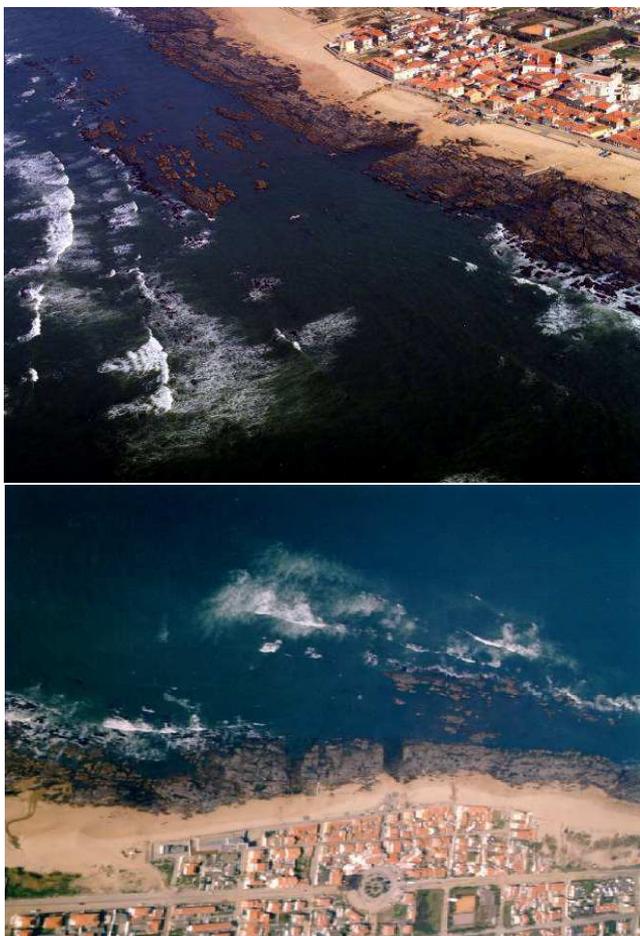


Figura 1. Afloramentos rochosos da praia da Aguda (IHRH, 2000).

A configuração desta "protecção natural", que se estende para as praias a Sul e frequentemente com cotas acima do Zero Hidrográfico, tem obstado a que o importante processo erosivo na faixa litoral não assuma os níveis notórios que ocorrem a sul deste sector.

Nas décadas anteriores à construção do quebramar verificou-se uma redução do areal da praia da Aguda, e uma diminuição do recobrimento do manto rochoso, particularmente até à cota +4m (Z.H), com perda de valor balnear e aumento dos níveis de espraiamento das ondas, sendo frequente o galgamento da rua marginal (Rua do Mar), cujo pavimento está implantado entre as cotas +9m (Z.H.) e +8m (Z.H.). Diversos testemunhos e fotografias referem que, há 40 ou 50 anos, a paisagem desfrutada do arruamento marginal à Aguda era significativamente diferente da actual, sendo muito menos notória a presença dos afloramentos rochosos já que os mesmos se encontravam parcialmente "camuflados" por areia. Esta configuração foi fundamental neste estudo e tida em consideração na aplicação do programa SMC.

2.1.2. Sedimentos

Para a aplicação do software SMC foram consideradas as características existentes nas praias da Costa Nova, Vagueira, Areão, Poço da Cruz e Mira, praias que pertencem ao distrito de Aveiro, ou seja, a menos de 50 quilómetros do local de estudo (Silva *et al.*, 2009). Para os valores de d_{50} foi considerado nas simulações o valor de 0,45mm e para d_{90} o valor de 0,75mm.

O valor da porosidade, parâmetro de difícil quantificação, foi considerado igual a 0,4 (Soulsby, 1997). Como peso volúmico dos sedimentos foi admitido o valor de 26,5 kN/m³, e como ângulo de atrito de repouso 32°. Estes valores são os mais comuns para sedimentos marinhos de praias do tipo do caso de estudo.

2.1.3. Ventos

A figura 2 representa a observação da direcção dos ventos durante 23 anos, a partir do farol da Boa Nova, junto ao Porto de Leixões. Verifica-se que na costa ocidental Portuguesa o vento é predominantemente da direcção Norte, representando 31,7% das ocorrências observadas. Os ventos com a direcção SW e W ocorrem com a máxima frequência em Março (15% SW e 6,9% W) e na transição do Inverno para Verão.

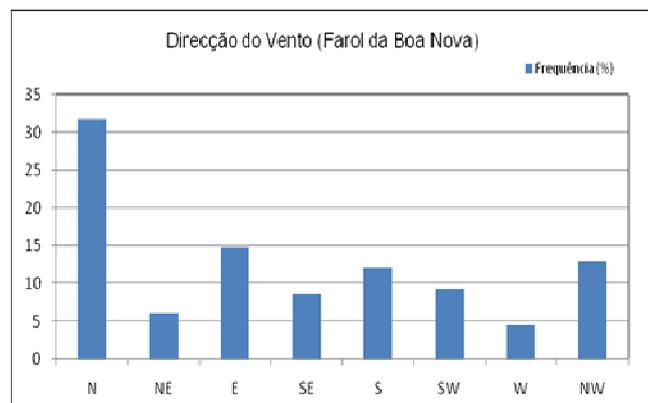


Figura 2. Direcção do vento a partir do farol da Boa Nova (IHRH, 1993).

2.1.4. Agitação marítima

Analisando dados obtidos a partir da Bóia ondógrafo de Leixões (figura 3), verifica-se que existiram 3 fases distintas durante o último ano. A primeira de Junho a Outubro de 2009, onde a altura de onda significativa oscila entre 1 e 3m atingindo por uma vez os 4m, com a altura máxima a atingir os 8m. A segunda fase compreendida entre os meses de Novembro de 2009 e Abril de 2010 caracterizada por alturas de onda significativas entre 1 e 6m, chegando a atingir os 7m. A altura máxima neste período chegou a atingir os 13m. Em meados do mês de Abril de 2010 os valores baixaram para os verificados durante a primeira fase.

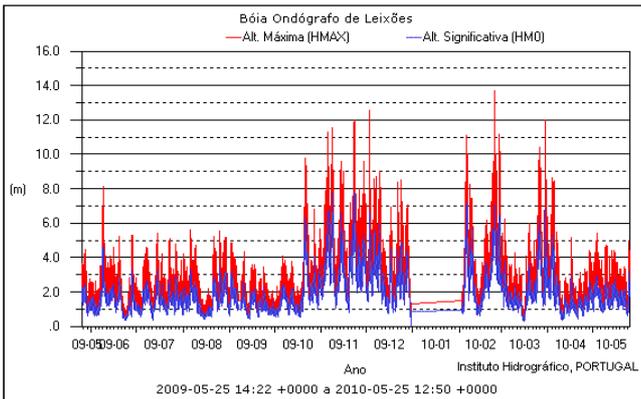


Figura 3. Dados relativos às alturas de onda a partir da bóia ondógrafo de Leixões (IH, 2010).

A figura 4 representa os valores do período de onda médio e máximo, obtidos a partir da bóia ondógrafo de Leixões. Analisando o gráfico, e contrapondo com o gráfico relativo às alturas de onda, verifica-se que os períodos médios mais curtos, que variam sensivelmente entre 5s e 8s, estão associados à fase mais “calma” no que se refere à ondulação, podendo atingir valores de período máximo de 18s. Os períodos médios mais longos, compreendidos sensivelmente entre 7s e 12s, referem-se à época mais “agitada”. Neste caso, os períodos de onda máximos chegam a atingir valores compreendidos entre os 20s e 23s, estando associados a alturas de onda que variam entre 10 a 13m.

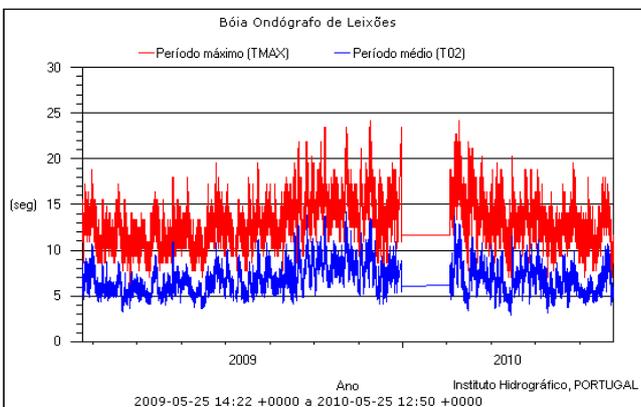


Figura 4. Dados relativos aos períodos de onda a partir da bóia ondógrafo de Leixões (IH, 2010).

Relativamente à direcção da agitação, apresenta-se na figura 5 o gráfico representativo das direcções das ondas, observadas a partir da bóia ondógrafo de Leixões.

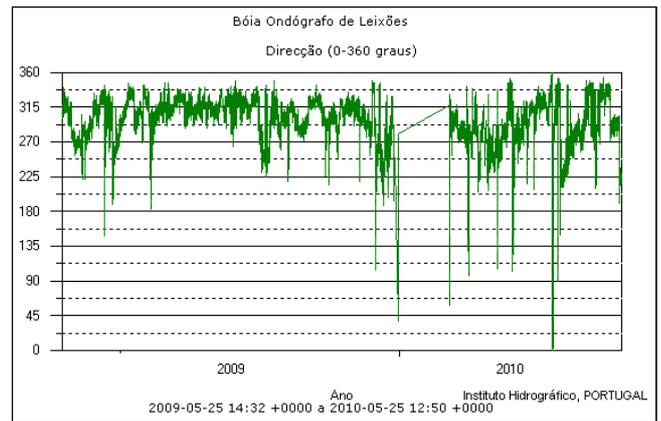


Figura 5. Dados relativos à direcção da agitação marítima a partir da bóia ondógrafo de Leixões (IH, 2010).

Analisando os registos, verifica-se que, durante o último ano, a direcção predominante foi 315 graus, ou seja, direcção NW. No período de tempo relativo à época de maior agitação, verifica-se que o rumo dominante está compreendido entre os 270 e os 315 graus, ou seja, entre SW e W. Verifica-se de igual modo que existem “picos” da agitação de SW, que correspondem a alturas de onda elevadas.

2.1.5. Marés

Relativamente às marés da praia da Aguda, consideram-se os dados obtidos para Leixões (quadro 1) referidas ao Zero Hidrográfico (ZH), (sensivelmente 2 m abaixo do nível médio da água do mar). Analisando os valores do quadro, verifica-se que a amplitude das marés na zona que abrange a Praia da Aguda não ultrapassa os 4 m, sendo do tipo semidiurno. O seu período é de 12,42 horas solares, equivalendo a meio dia lunar, ocorrendo duas preia-mares e duas baixa-mares por cada dia lunar.

Quadro 1. Valores característicos das marés em Leixões (IHRH, 1988)

	Águas Vivas			Média	Águas Mortas		
	Máx.	Méd.	Min.		Máx.	Méd.	Min.
Preia-mar	4,04	3,42	2,96	2,96	2,92	2,5	2
Baixa-mar	0,8	0,5	-0,2	0,9	2	1,3	0,85

Aos valores da elevação da maré, há ainda a considerar as sobrelevações associadas a fenómenos meteorológicos, como as pressões atmosféricas e as vagas de vento (marés meteorológicas), não ultrapassando, em geral, 0,3m a 0,4m. No âmbito deste estudo efectuaram-se simulações para amplitudes de maré de 0, 2 e 4 m.

2.2. Soluções propostas

No ano de 1999 foi apresentado o estudo prévio, onde foram equacionadas e discutidas 9 hipóteses de intervenção, que tiveram como base um estudo elaborado pelo IHRH, em Abril de 1988, para a praia da Aguda:

- Esporão (Câmara Municipal de Vila Nova de Gaia, Gabinete de Planeamento Urbanístico, 1987);
- Esporões (Direcção Geral de Portos, 1981);
- Quebramar destacado (Direcção Geral de Portos, 1981);

- Quebramar destacado (Direcção Geral de Portos, 1981);
- Esporão em L (IHRH);
- Esporão curvilíneo (IHRH);
- Esporão rectilíneo (IHRH);
- Esporão em "L" (IHRH);
- Quebramar destacado (POOC).

Na figura 6 estão representadas as soluções apresentadas em fase de estudo prévio.



Figura 6. Propostas para execução do quebramar da Aguda apresentadas em fase de Estudo Prévio (IHRH, 1999)

2.3. Solução final

O projecto de concepção do quebramar (IHRH, 2000), conforme previsto, preconizava uma estrutura destacada da costa de forma e minimizar as retenções de sedimentos a barlar com conseqüente interrupção do transporte litoral e agravamento da erosão a sotamar. Desenvolve-se, em cerca de metade do seu comprimento, paralelamente à costa, convergindo depois para a praia a Norte, com uma cota de coroamento de +5,5m.

A solução final adoptada é materializada por um perfil vertical composto por blocos maciços de betão ciclópico, betonados "in situ", com perfil trapezoidal constituído por núcleo em TOT, filtro e manto exposto. A cota de coroamento tem o valor de +5,5m e 6m de largura.

Nos 2 taludes laterais foi considerada uma protecção de enrocamento de pedra natural até à cota de +3,5m e +4,5m (ZH), de forma a reduzir o efeito de reflexão.

Para a construção da estrutura foram aplicados 15 000 m³ de betão no núcleo e 11 700 m³ de pedra nos taludes de enrocamento (IHRH, 2000). A figura 7 representa a solução final executada.

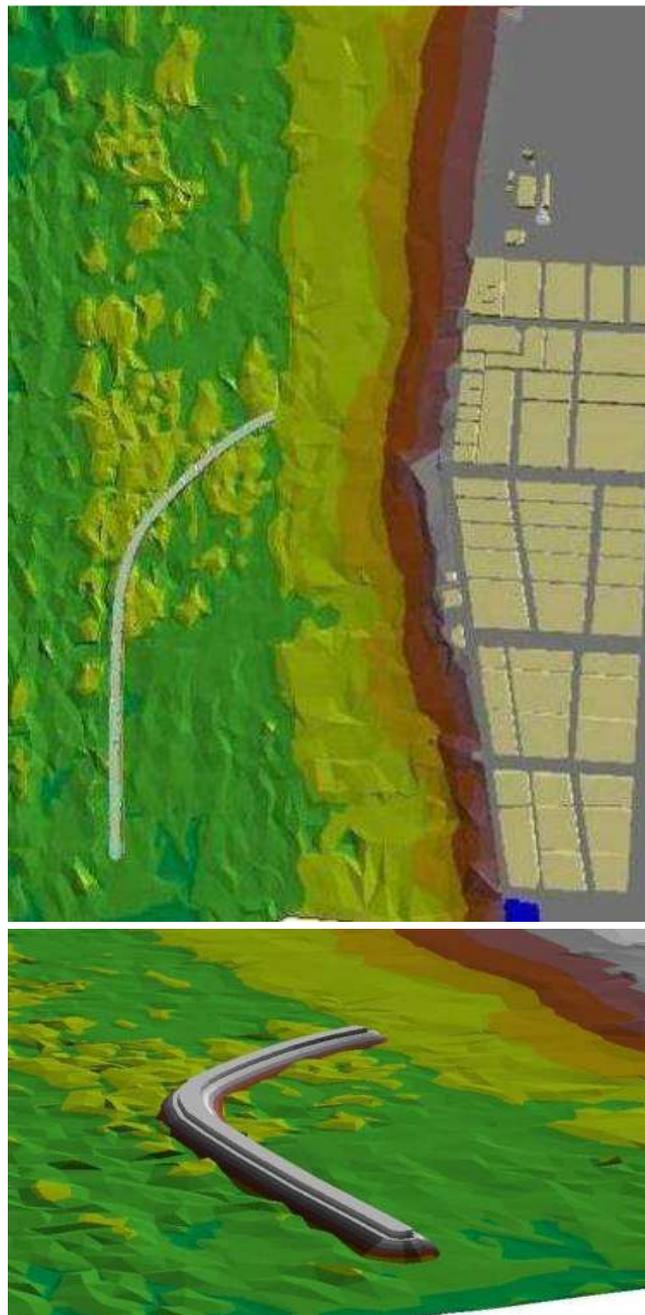


Figura 7. Vista em planta, perspectiva e corte transversal da Solução Final (IHRH, 1999).

2.4. Impactos provocados

Após a construção do quebramar da Aguda, iniciaram-se estudos no sentido de avaliar os impactos hidromorfológicos provocados pela estrutura.

Da análise dos resultados obtidos, verificou-se logo após o final da construção do quebramar, uma grande acumulação de sedimentos a Norte do quebramar que pode ser explicada pela presença do esporão provisório construído, que interceptou o transporte de sedimentos de Norte para Sul durante o período de execução da obra. Esta forte acumulação motivou diversas operações de transposição de areias, de Norte para Sul realizadas pelo empreiteiro. Actualmente, a acumulação de areias a Norte do quebramar é tão acentuada que parte da estrutura se encontra completamente coberta por uma camada de areia.

A figura 8 ilustra a acumulação de sedimentos que se regista actualmente na zona envolvente ao quebramar destacado da Aguda, com especial relevo para a acumulação de sedimentos no seu interior.



Figura 8. Vistas gerais do assoreamento do quebramar da Aguda (2010).

A acreção de sedimentos verificada a barlamar da estrutura e o volume do tómbolo foram estimados em 20 000 m³/ano desde o início da obra até ao final de 2004 (Baptista, 2006).

A partir do momento em que o tómbolo atingiu a saturação, os sedimentos foram-se acumulando na zona exterior do quebramar, desenvolvendo-se na direcção sul, atingindo o topo sul do quebramar em Julho de 2006. A partir dessa altura a areia começou a entrar para o interior da baía em grandes quantidades pelo efeito da difracção.

A zona a Sul, sobretudo entre a Estação Litoral da Aguda e a praia da Granja, sofreu um elevado processo erosivo, consequência da acreção de sedimentos na zona do quebramar da Aguda. Em alguns locais a areia foi completamente removida, sendo o recuo médio das dunas perto das piscinas da Granja de cerca de 10 m. No ano de 2003 foi feita a reposição da areia desde a praia da Aguda Sul até à Granja através de alimentação artificial. Durante os anos seguintes, continuou a fazer-se a reposição de sedimentos através do mesmo processo, no entanto somente na praia da Granja, de forma a permitir a utilização balnear durante a época de Verão e a minimizar situações de erosão grave junto da foz da Ribeira e piscinas da Granja.

3. O Software SMC

3.1. Batimetria

Para este estudo foram utilizados dados existentes em suporte digital relativos a levantamentos topográficos de 1977 e 1999.

O primeiro, apesar de desactualizado, poderá ser considerado como representativo da área envolvente ao quebramar, uma vez que abrange cerca de 1400m ao longo da costa e 700m ao largo da costa, sem terem ocorrido alterações significativas da batimetria ao largo e a profundidades maiores até à data da construção do quebramar.

O segundo levantamento, de 1999, foi feito na altura de estudo prévio do projecto, abrange uma área de 600m de linha de costa e 400m ao largo e contém 3266 pontos, sendo por isso, mais minucioso, em termos de número de pontos levantados, do que o levantamento de 1977, no entanto, mais limitativo em termos de área abrangida. Outro aspecto que importa realçar neste levantamento é a representação pormenorizada dos afloramentos rochosos existentes na zona envolvente ao quebramar.

De forma a obter resultados fiáveis era necessário, por um lado, ter uma área considerável da zona envolvente ao quebramar, por outro, obter o máximo de precisão na zona específica da construção do quebramar. Neste sentido, efectuou-se a junção destes dois levantamentos, através do tratamento de dados em Excel e documento de texto, com a finalidade de criar um ficheiro único, do tipo (.xyz), de entrada de dados para batimetrias no software SMC, obtendo-se assim a segunda batimetria aplicada nas simulações.

A terceira batimetria utilizada surgiu através do aperfeiçoamento da segunda batimetria, adicionando à mesma todos os afloramentos rochosos existentes nas imediações do quebramar e da linha de costa, através da aplicação das ferramentas disponíveis no programa SMC.

Desta forma, esta última batimetria tenta reproduzir com a maior fidelidade possível a situação existente, entrando em linha de conta com um aspecto bastante importante neste tipo de estudos, a mobilidade dos fundos, ou seja, a disponibilidade que estes têm para se deslocarem quando sujeitos a correntes e a agitação.

Utilizando as mesmas ferramentas do SMC, adicionou-se o quebramar destacado executado no ano de 2002 às batimetrias-base existentes.

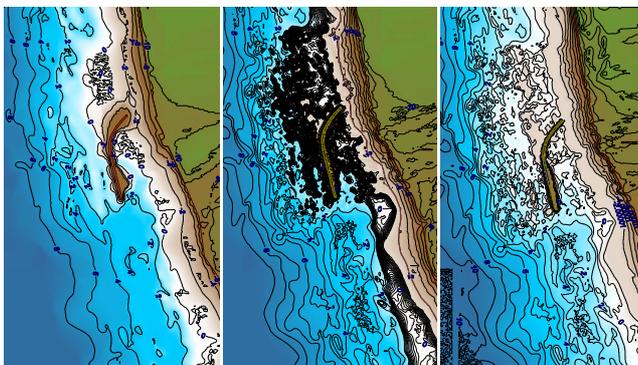


Figura 9. Representação gráfica do SMC: a) Levantamento de 1977. b) Levantamento final (1977+1999), c) Levantamento final (1977+1999) com representação dos afloramentos rochosos.

3.2. Agitação marítima e maré

Todas as simulações foram efectuadas com agitação regular, tendo sido aplicadas as variáveis representadas no quadro 2.

Quadro 2. Dados considerados nas simulações utilizando agitação regular.

Nível de Maré (m)	Altura de Onda (m)	Período (s)	Orientação da agitação
+ 4,0 (ZH)	1	7	NW
+ 2,0 (ZH)	2	10	W
0,0 (ZH)	4	15	-

Nestas simulações foram tomadas algumas opções quanto ao modelo de agitação e de correntes, tendo sido escolhidas as opções por defeito propostas pelo programa. Para a agitação foi considerado um modelo do tipo composto, dissipação por camada limite turbulenta, e contornos laterais abertos. No caso das correntes, foram consideradas simulações com duração de 500 s, rugosidade de Chezy de $10\text{m}^{1/2}/\text{s}$, e viscosidade turbulenta de 7m^2 .

3.3. Representação gráfica dos resultados

Serão apresentados, para cada caso específico, as seguintes representações:

- Gráfico com a representação da variação espacial das alturas de onda e de frentes de onda. Esta apresentação sobreposta, visa verificar a relação que existe entre os dados correspondentes;
- Gráfico “vectors velocidade-módulo da velocidade”. Este “output” apresenta um vector em cada ponto da malha de cálculo, representando a direcção, sentido e valor da velocidade de corrente em cada ponto.

A escala aplicada na representação gráfica utilizada foi de $1\text{cm}=0,5\text{m/s}$, sendo a densidade de vectors aplicada de 1 por cada 2 pontos de cálculo, quer na direcção x, quer na direcção y;

- Gráfico “Vectors transporte potencial-módulo dos vectors”. Esta representação é muito semelhante em termos gráficos à anterior, apresentando também um vector por cada ponto da malha de cálculo. O seu significado físico pode ser definido como o volume transportado (erosão ou acreção), por hora e por metro linear que existe em cada ponto de cálculo. Neste caso, face às grandezas obtidas, optou-se por três escalas distintas, em função da altura de onda de cálculo. Assim, para alturas de 1m, a escala considerada foi de $1\text{cm}=1.000\text{m}^3/\text{h}/\text{ml}$, para alturas de onda de 2m foi de $1\text{cm}=10.000\text{m}^3/\text{h}/\text{ml}$ e para alturas de 4m foi de $1\text{cm}=100.000\text{m}^3/\text{h}/\text{ml}$;
- Gráfico com a representação topográfica final, com a indicação da variação de cotas sofrida em cada ponto, após a execução da simulação, e respectiva movimentação sedimentar.

3.4. Resultados após a construção do quebramar

Apresenta-se na figura 10 uma simulação que, de uma forma geral, retrace as principais consequências ocorridas na construção do quebramar da Aguda. Foram aplicados neste caso os valores característicos de uma situação de preia-mar com média intensidade, direcção da agitação de W, maré de +4,0m (ZH) e altura de onda igual a 2m.

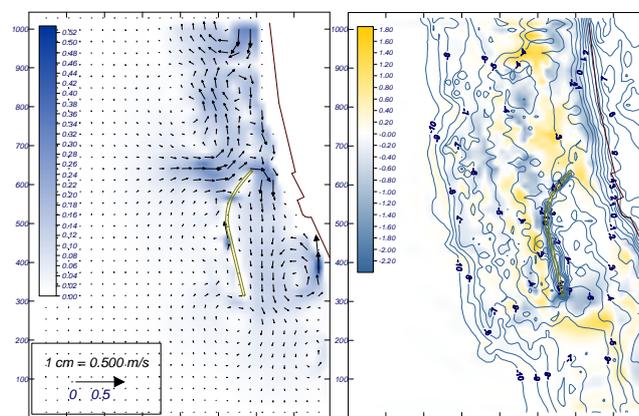


Figura 10. a) Vectors corrente-magnitude, b) Topografia final e variação da topografia, para um evento de 12 h com nível de maré de +4.0m (ZH), $H=2\text{m}$, $T=10\text{s}$ e direcção W.

Analisando o gráfico de vectors corrente-magnitude, verifica-se a existência de correntes intensas ao longo de toda a linha de costa, sofrendo um acréscimo de intensidade na extremidade Norte, devido à sua proximidade à linha de costa.

Por outro lado, é notória a existência de correntes de difracção bem definidas na extremidade Sul do quebramar que atingem o valor de $0,5\text{m/s}$. Estas correntes geradas a Norte e Sul do quebramar, induzem a acumulação de sedimentos a montante da estrutura e na sua extremidade Norte. Após saturação, estes sedimentos circundam todo o talude exterior, entrando e acumulando-se na zona abrigada através das correntes de difracção geradas na extremidade Sul do quebramar.

Para se comprovar esta teoria, apresentam-se na figura 11 os resultados obtidos resultantes de uma simulação com a duração de 72 horas, considerando uma altura de onda de 1m, nível de maré de +4.0m (ZH) e orientação da agitação de NW. Os gráficos apresentados representam a topografia inicial e a topografia final após 12, 48 e 72 horas de evento.

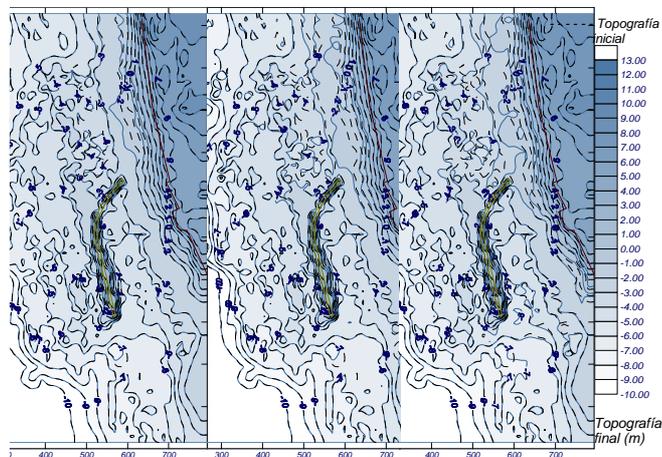


Figura 11. Topografia inicial e final para o evento de a) 12h, b) 48h e c) 72 h com nível de maré de +4.0m (ZH), H=1m, T=7s e direcção NW.

Se, para 12 horas de simulação, apesar das poucas alterações das batimétricas, se inicia uma tendência, essencialmente a barlar do quebramar destacado, de rotação das batimétricas para uma orientação perpendicular às frentes de onda, nas simulações seguintes, pode verificar-se esta crescente tendência, indiciando a junção deste ponto do quebramar com a linha de costa. Na simulação de 72 h a curva de nível de cota -2m (ZH) já une com a extremidade Norte do quebramar, formando um pequeno tómbolo, concluindo-se desta forma, que este ponto específico poderá considerar-se como a origem da acumulação sedimentar verificada. De referir que a duração dos eventos é reduzida relativamente ao tempo que estes fenómenos demoram a concretizar-se na realidade.

Com os resultados alcançados após todas as simulações efectuadas, pode-se concluir que, apesar da solução executada prever uma zona de livre acesso para as embarcações, não foi suficientemente eficaz para travar o tómbolo formado na extremidade norte, e que levou ao posterior assoreamento de grande parte da zona a sotamar. Por outro lado, também se poderá concluir que, atingindo a saturação na zona norte, os movimentos hidrodinâmicos gerados induziram ao arrastamento e acumulação dos sedimentos no talude exterior do quebramar, entrando posteriormente no seu interior através das correntes de difracção geradas na extremidade Sul da estrutura.

As condições de agitação marítima que favorecem os efeitos hidrodinâmicos referidos são agitação de W e NW, níveis de maré superiores ou iguais a +2,0 m (ZH) e alturas de onda que variam entre 1m e 2m. Para alturas de onda superiores a 2m as simulações indicam fenómenos de erosão e para simulações com níveis de maré inferiores a 2 m os resultados indicam que os fenómenos ocorrem ao largo da estrutura, tendo por isso apenas uma influência indirecta no comportamento hidromorfológico do quebramar da Aguda.

De referir ainda que simulações com alturas de onda de 4 m e níveis de maré de +4,0 m (ZH) favorecem o arrastamento sedimentar para o interior do quebramar através do galgamento da estrutura.

4. Aplicação do Software SMC à Situação Actual

4.1. Batimetria

Após análise da situação à data da construção do quebramar, foi útil estudar e analisar a situação actualmente existente no terreno. Conforme descrito e retratado fotograficamente no ponto 2.4, grande parte do quebramar está assoreado, existindo um tómbolo formado a partir da extremidade norte do quebramar que se estende até à linha de costa. Interessa portanto, por um lado, ter conhecimento sobre a hidrodinâmica actualmente existente, por outro, tentar encontrar uma solução que conduza de novo aos objectivos iniciais propostos para este projecto.

Para o efeito, foi utilizada a batimetria original seleccionada (batimetria de 1977 e de 1999 com afloramentos rochosos), com as alterações morfológicas entretanto ocorridas, de forma a tentar retratar o actual levantamento topográfico da zona. Não existindo batimétricas actualizadas dos fundos, houve a necessidade de simular curvas de nível na zona emersa visível, de acordo com fotografias aéreas e visita ao local, tendo como referenciais principais as cotas de coroamento do quebramar, +5.5m (ZH) e da marginal da Aguda, +8m (ZH). Face à acumulação de areia existente, foram retirados os afloramentos rochosos existentes na zona envolvente ao quebramar, tornando assim todo o material constituinte dos fundos homogéneo, ou seja, material não coesivo, com ângulo de atrito igual a 32°. A figura 12 representa a configuração actual existente na praia da Aguda, segundo a representação gráfica do programa SMC.

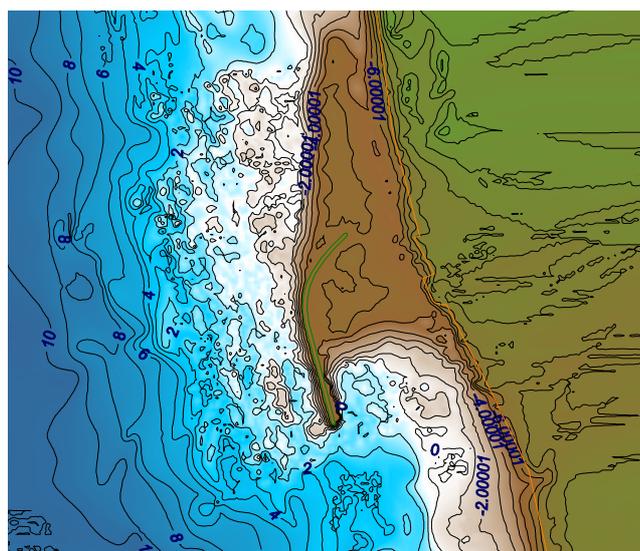


Figura 12. Representação topográfica do quebramar da Aguda, ano de 2010.

4.2. Agitação marítima e marés

No seguimento das simulações efectuadas para o quebramar na altura da sua execução, foram efectuadas nesta fase, simulações com agitação regular com os dados descritos no quadro 3, totalizando 8 simulações.

Quadro 3. Dados considerados nas simulações com agitação regular.

Nível de Maré (m)	Altura de Onda (m)	Período (s)	Orientação da agitação
+ 4,0 (ZH)	1	7	MW
+ 2,0 (ZH)	2	10	W

4.3. Resultados obtidos

A figura 13 apresenta os resultados obtidos para a simulação em que se tenta reproduzir uma situação com a orientação W, em regime de preia-mar, +4.0m (ZH) e altura de onda igual a 2m. Da análise efectuada verifica-se que, mesmo para fenómenos de fraca intensidade, marés intermédias e direcção NW, existe uma tendência para acumulação de sedimentos, quer ao longo de toda a zona a barlar da estrutura, quer no interior da mesma. Neste último caso, deve-se salientar as ondas de difracção e as correntes geradas entre o quebramar e a linha de costa, que induzem o arrastamento de areias para o seu interior, chegando a atingir velocidades de 1m/s.

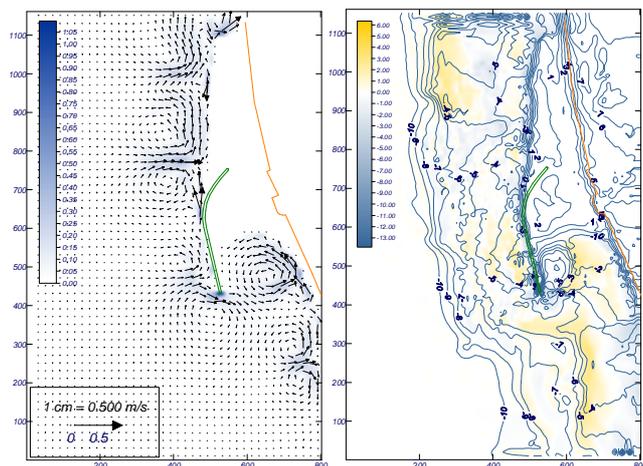


Figura 13. a) Vectores corrente-magnitude, b) Topografia final e variação da topografia, para um evento de 12 h com nível de maré de +4.0m (ZH), H=2m, T=10s e direcção W.

Como conclusão, e considerando estes resultados como representativos da realidade, poderá assumir-se que a acumulação de sedimentos deverá continuar até atingir a área total definida entre o quebramar e a linha de costa. A acreção de sedimentos por difracção é uma evidência, no entanto também há a considerar a acreção sedimentar por galgamento da estrutura na zona norte, visível nas fotos apresentadas no ponto 2.4 e possível transporte eólico.

5. Aplicação do Software SMC a uma Solução Proposta

5.1. Batimetria

Na sequência do ponto anterior, é apresentada uma possível solução de forma a minimizar os impactos actuais e interromper o processo hidromorfológico que actualmente ocorre no quebramar da Aguda. Neste estudo preliminar são apenas aplicadas numérico as ferramentas do software SMC.

Neste sentido, face aos resultados anteriormente demonstrados, será prioritário interromper o fenómeno de acumulação de areias por difracção na extremidade sul do quebramar. Tendo como base este objectivo, testou-se uma solução com um prolongamento de 150 m para SW, conforme ilustra a figura 14.

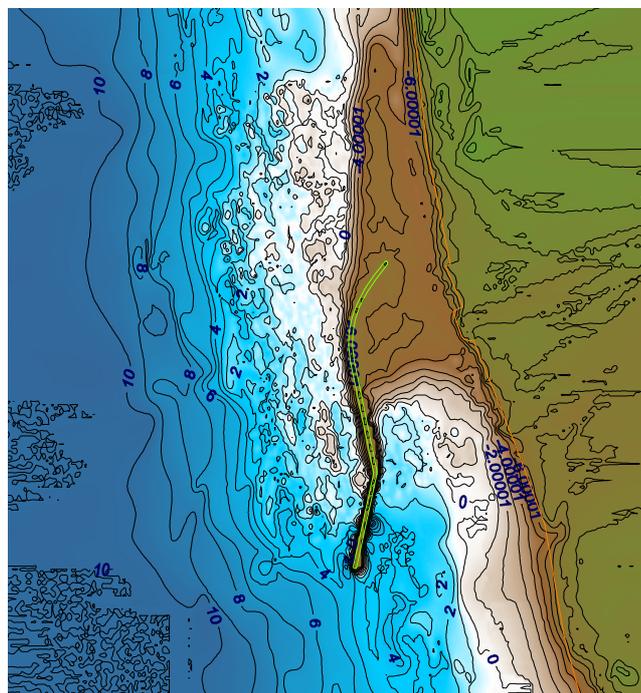


Figura 14. Representação da proposta de prolongamento do quebramar da Aguda.

5.2. Agitação marítima e marés

As simulações efectuadas seguiram os mesmos critérios das anteriores, considerando agitação regular, de NW e W, níveis de maré de +4m (ZH) e +2m (ZH) e alturas de onda de 1 e 2m.

5.3. Resultados obtidos

A apresentação dos resultados é feita conjuntamente com a apresentação dos resultados do modelo anterior (quebramar destacado actual), de forma a que se possam observar as diferenças de comportamento entre as duas estruturas, para as mesmas condições de agitação e batimétricas.

A Figura 13 apresenta os gráficos comparativos das correntes geradas, para a situação de maré +2.0m (ZH), com alturas de onda de 2m e direcção da agitação NW, situação considerada muito frequente.

Conforme se verifica, existe uma redução significativa da intensidade das correntes de difracção a sotamar da estrutura, sofrendo simultaneamente uma translação para jusante, ou seja, afastando-se da zona crítica de entrada e saída das embarcações.

Observa-se também, que o prolongamento do quebramar para SW origina a criação de uma zona de menor intensidade de agitação entre a linha de costa e a extremidade Sul do quebramar, permitindo desta forma a saída e entrada mais segura das embarcações.

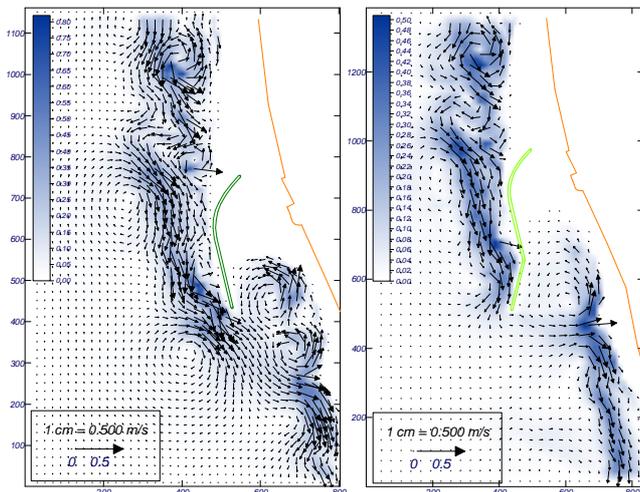


Figura 15. Vectors corrente-magnitude: a) Quebramar actual, b) Prolongamento do quebramar, para um evento de 12 h com nível de maré de +2.0m (ZH), H=2m, T=10s e direcção NW.

Na figura 16 estão representados os gráficos com as alturas e frentes de onda para as duas estruturas, considerando uma situação de preia-mar, +2.0m (ZH), altura de onda de 2m e direcção da agitação NW.

Confirma-se a existência de uma zona mais calma a sotamar da estrutura, factor de grande importância no que se refere aos objectivos iniciais do projecto.

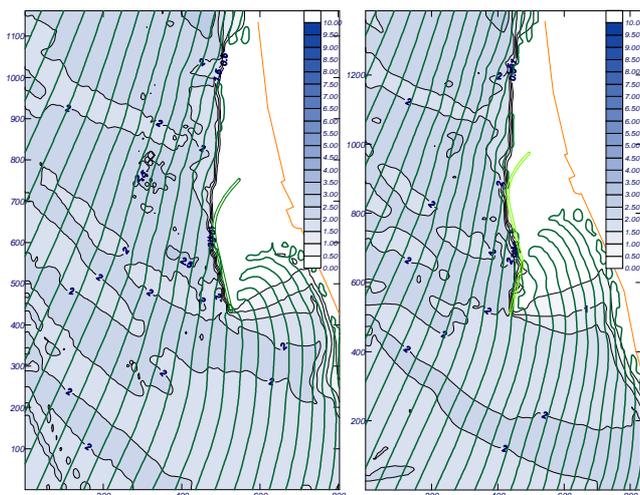


Figura 16. Alturas e frentes de onda: a) Quebramar actual, b) Prolongamento do quebramar, para um evento de 12 h com nível de maré de +2.0m (ZH), H=2m, T=10s e direcção NW

Relativamente aos impactos morfológicos, apresenta-se na figura 17 os resultados referentes ao transporte potencial, considerando uma simulação de orientação W, mais gravosa em termos de difracção na extremidade sul, com nível de maré +2.0m (ZH) e altura de onda de 1m.

Observa-se, em conformidade com os resultados anteriores, uma diminuição significativa do transporte potencial, de aproximadamente 2m³/h/ml para valores próximos do 0, na zona interior do quebramar.

Como conclusão, de forma sucinta, e tendo apenas por base as simulações do programa SMC, tudo indica que o prolongamento do quebramar apresentado, melhoraria de forma significativa as condições de acesso e reduziria de forma substancial a acreção que se verifica actualmente.

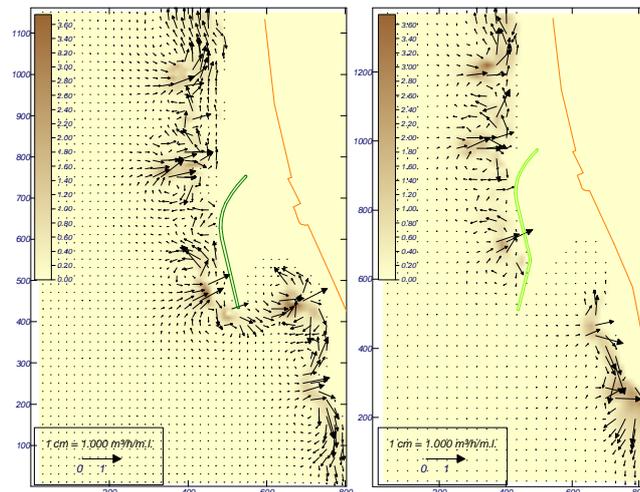


Figura 17. Vectors transporte potencial-magnitude: a) Quebramar actual, b) Prolongamento do quebramar, para um evento de 12 h com nível de maré +2.0m (ZH), H=1m, T=7s e direcção W.

Claro que este prolongamento teria que ser complementado com o aumento da cota de coroamento da estrutura e a dragagem do excesso de areia que entretanto ocorreu.

6. Considerações Finais

Tal como outros programas de modelação numérica, o SMC é uma ferramenta poderosa, servindo de complemento à modelação física e às medições de campo, visto que nunca poderá reproduzir fenómenos de tamanha complexidade baseando-se apenas em dados de agitação, características de sedimentos, levantamentos batimétricos e modelos numéricos, por muito avançados que sejam. Serve no entanto de primeira análise para problemas costeiros, tal como foi o caso estudado neste trabalho, essencialmente em termos hidrodinâmicos e morfodinâmicos.

Um aspecto que seria importante para este estudo e que foi impossível simular, é a distribuição dos sedimentos que vêm de norte, oriundos essencialmente do rio Douro, para as diversas simulações usadas. Este input de sedimentos vindos do rio Douro é um dado essencial para a previsão de uma possível acumulação de sedimentos, formando uma saliência ou tómbolo, ou também, a manutenção de uma alimentação artificial. Associado a este aspecto, também teria sido interessante a simulação a longo prazo dos fenómenos estudados, ou seja, meses ou até anos, com as variações habituais de condições de agitação, nível de maré e recarga de sedimentos associadas a estes intervalos de tempo mais extensos.

Outro aspecto a referir, e que neste caso particular se revelou como uma dificuldade acrescida, é a caracterização do material constituinte dos fundos, uma vez que o programa assume sempre o mesmo tipo de material, não coesivo e com um determinado ângulo de atrito. Ou seja, deturpa um levantamento batimétrico, assumindo que uma rocha é um material não coesivo e móvel.

Conforme já foi mencionado, todas as análises, comentários, e conclusões efectuadas tiveram como base o resultado das simulações do programa SMC, com todas as potencialidades e limitações inerentes ao programa.

Uma sugestão para o estudo do quebramar da Aguda seria a simulação em modelo reduzido, através da execução do quebramar e envolvente num tanque de ondas, onde se poderiam verificar e contrapor os resultados obtidos no programa, com as diversas soluções apresentadas.

A validação dos resultados obtidos no programa, é outro aspecto que importa salientar e, se possível, executar no futuro. Poderia ser feito através do modelo referido no parágrafo anterior, ou até, através da leitura de velocidades de corrente em determinados pontos específicos nas imediações do quebramar.

Face às dificuldades encontradas com a batimetria existente, e limitações do programa, seria interessante executarem-se simulações com os mesmos parâmetros utilizados neste estudo, utilizando no entanto, uma batimetria que abrangesse uma área mais alargada, e que fosse mais pormenorizada em termos de pontos levantados ao largo, permitindo, desta forma, simulações que entrassem em consideração com a propagação da agitação desde grandes profundidades até ao local do quebramar.

Como já foi referido, as simulações efectuadas no decorrer deste estudo, tiveram como base as ferramentas do módulo de análise de curto prazo, tendo sido apenas utilizado o programa de morfodinâmica de praias, o Mopla. Neste contexto, em termos de uma possível continuação do estudo, poderiam ser testadas outras ferramentas do programa SMC, como simulações com agitação irregular, entrando assim em linha de conta com outros aspectos não contemplados neste estudo, como variações de direcção da agitação, velocidades e alturas de onda não regulares.

Referências

- Baptista, P. (2006). *O Sistema de Posicionamento Global Aplicado ao Estudo de Litorais Arenosos*. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências.
- <http://www.ih.pt/> . Maio de 2010
- IHRH (1988). *Estudo Prévio das Obras de Protecção da Praia da Aguda*. Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto.
- IHRH (1993). *Plano de Aproveitamento da Zona entre o Molhe Sul e a ponta - Cais nº3. Estudos de Agitação no Porto de Leixões, Vol. 1*. Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto.
- IHRH (2000). *Quebramar destacado da Aguda – Projecto de Concepção*. Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto.
- Silva, R., Baptista, P., Veloso-Gomes, F., Coelho, C. and Taveira-Pinto, F. (2009). *Sediment Grain Size variation on a coastal stretch facing the North Atlantic (NW Portugal)*. Journal of Coastal.
- Soulsby, R. (1997). *Dynamics of marine sands: a manual for practical applications*. Thomas Telford.