

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

JOÃO ADÉRITO ADREGO ALVES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM HIDRÁULICA

Orientador: Professor Doutor Fernando Francisco Machado Veloso Gomes

JULHO DE 2011

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2010/2011

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

A meus Pais,
À Catarina

Homem livre, tu sempre gostarás do mar.

Charles Baudelaire

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador, Professor Veloso Gomes, pelo tema proposto, que veio de encontro ao meu sonho de testar um recife artificial para a prática de surf no tanque de ondas. Pelas reuniões semanais, que proporcionaram um fio condutor à realização desta dissertação, bem como todo o interesse demonstrado durante toda a fase do projecto, acompanhando-o sempre com uma boa orientação, com crítica construtiva e os seus sábios conselhos.

Gostaria também de agradecer ao Eng. José Cabral os fundamentais ensinamentos para o manuseamento dos softwares de geração de ondas e de aquisição de dados, bem como o contínuo apoio durante a fase experimental no laboratório. Um obrigado especial à Eng. Luciana das Neves pela ajuda prestada para a aquisição dos geossintéticos e pela disponibilidade demonstrada. Também não poderia deixar de agradecer ao Sr. Nelson o apoio prestado no enchimento dos sacos, na construção e várias reconstruções do modelo. Gostaria de prestar também o meu agradecimento ao Eng. Hugo Lopes e ao Prof. Paulo Santos pelas dúvidas esclarecidas em vários aspectos técnicos.

À Dona Paula e à Dona Esmeralda, um agradecimento pela simpatia e pela disponibilidade demonstrada sempre que precisei.

Um profundo agradecimento pelos materiais oferecidos pela TENCATE e obrigado ao Dr. Filinto Oliveira e ao Eng. Jorge Vasconcelos da GEOSIN (representantes da TENCATE em Portugal), pela disponibilidade e interesse no projecto.

Por fim, mas não em último, o meu agradecimento especial é dirigido aos meus pais, por todo o apoio, acompanhamento e aconselhamento prestado durante todo o curso, e à Catarina, que sempre me ajudou, principalmente nos momentos mais difíceis.

Um sincero obrigado a todos.

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.

Foram realizadas quatro séries de ensaios em fundos fixos, sendo que entre elas varia o tipo e a geometria do recife. Em todas as séries foram ensaiados cinco cotas de maré: +0.8m, +1.4m, +2.0m, +2.6m e +3.2m (Z.H.). Com estas variações de cota de maré pretendeu-se estudar a influência destas no funcionamento do recife, uma vez que este tipo de tecnologia está mais estudado para ser inserido em zonas com amplitudes de maré baixas (2 metros).

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. Foi então possível perceber que, entre os cenários equacionados, o recife em delta com dois corpos, tipo o recife de Narrowneck, com um ângulo de rebentação de 66°, foi o que apresentou mais vantagens.

Salienta-se que os resultados apresentados devem ser encarados como parte de um estudo contínuo que deverá ser prosseguido numa fase posterior. Nesse sentido, são indicados aspectos que deverão ser modificados e melhorados em estudos futuros.

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 .

Four series of experiments were carried out in fixed bed, with variations of type and geometry of the reef. In all four series the following five tide elevations were tested: +0.8m +1.4m +2.0m +3.2m +2.6m (CD). The change in tidal elevation aimed at studying its influence on the functioning of the reef, as this type of technology is typically more indicated for use in areas with low tidal amplitude (up to 2 meters).

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. Further, it was possible to conclude that within the tested series, the reef with two bodies, like Narrowneck's reef, with a 66° peel angle, was the most advantageous one.

It should be noted that the achieved results must be looked at as a part of an ongoing study to be continued in following stages. In this sense, aspects to be modified and improved in future studies are given here.

KEYWORDS: artificial reefs, surf, coastal defence, physical modeling.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS	1
2. FUNDAMENTOS RELATIVOS À PRÁTICA DE DESPORTOS DE ONDAS	3
2.1. ENQUADRAMENTO	3
2.2. LINHAS DE CONCEPÇÃO DE RECIFES ARTIFICIAIS CONTEMPLANDO A PRÁTICA DE SURF	3
2.2.1. ÂNGULO DE REBENTAÇÃO	3
2.2.2. PROPAGAÇÃO DE ONDA E ALTURA DE ONDA LOCAL, H	5
2.2.3. TIPO DE REBENTAÇÃO, ξ	6
2.2.4. GEOMETRIA DO RECIFE	7
2.3. DESPORTOS DE ONDAS	9
2.4. TERMOS ASSOCIADOS À PRÁTICA DO SURF	12
3. RECIFES ARTIFICIAIS MULTIFUNCIONAIS – REVISÃO DA LITERATURA	15
3.1. ENQUADRAMENTO	15
3.2. PERSPECTIVA DE ESTUDOS REALIZADOS	16
3.2.1. TRABALHOS DE IVÁN CÁCERES E COLABORADORES	16
3.2.2. TRABALHO DE BORRERO E COLABORADORES	17
3.2.2.1. Recife de Narrowneck	17
3.2.2.2. Recife de Pratte's	19
3.2.2.3. Recife de Mount	19
3.2.2.4. Conclusões	20
3.3. ACTUALIZAÇÃO DO ESTADO DE ARTE	21
3.3.1. ENQUADRAMENTO	21
3.3.2. DESCRIÇÃO DE CASOS	21
3.3.2.1. Recife de Kovalam	21
3.3.2.2. Recife de Boscombe	22

3.3.2.3. Recife de Cables	25
3.3.2.4. Recife de Narrowneck	26
3.3.2.5 Recife de Mount.....	27
3.3.2.6. Recife do Estoril.....	28

4. INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS DA MODELAÇÃO NUMÉRICA.....

4.1. ENQUADRAMENTO	29
4.2. CARACTERÍSTICAS DO RECIFE ENSAIADO	30
4.3. ANÁLISE DE RESULTADOS.....	32
4.3.1. HIDRODINÂMICA, H=1,5M E T=6 SEG	32
4.3.2. HIDRODINÂMICA, H=3 M E T=12 SEG	32
4.3.3. HIDROMORFOLOGIA , H=3 M E T=12 SEG.....	35
4.3.4. SÍNTESE DOS RESULTADOS	35

5. MODELAÇÃO FÍSICA.....

5.1. ENQUADRAMENTO	39
5.2. ANÁLISE DA PROPOSTA JÁ DESENVOLVIDA A NÍVEL DE ESTUDO PRÉVIO	39
5.3. MATERIAL USADO PARA A CONSTRUÇÃO DO MODELO	40
5.3.1. GEOSSINTÉTICOS	40
5.3.2. DIMENSÕES DOS GEOCILINDROS.....	41
5.3.3. ENCHIMENTO DOS GEOCILINDROS.....	42
5.4. ESCALA	43
5.4.1. CONCEITO DE SEMELHANÇA	43
5.4.2. DEFINIÇÃO DA ESCALA	44
5.5. EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS À REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS.....	45
5.5.1. ENQUADRAMENTO	45
5.5.2. TANQUE DE ONDAS	45
5.5.3. SISTEMA DE GERAÇÃO DE ONDAS	46
5.5.4. SALA DE CONTROLO.....	47
5.5.5. DISPOSITIVOS DE CONTROLO DA ENTRADA E SAÍDA DE ÁGUA NO TANQUE	48
5.5.6. MEDIDORES DE ALTURA DE ONDA	48
5.5.7. EQUIPAMENTOS PARA OBTENÇÃO DE IMAGENS	49
5.6. PROPOSTAS DE SIMULAÇÃO	51
5.6.1. ENQUADRAMENTO	51

5.6.2. PERFIL TRANSVERSAL.....	51
5.6.3. SÉRIE I – DELTA PREENCHIDO, $\alpha=66^\circ$	52
5.6.4. SÉRIE II – DELTA, $\alpha=45^\circ$	52
5.6.5. SÉRIE III – DELTA PREENCHIDO, $\alpha=45^\circ$	53
5.6.6. SÉRIE IV – DELTA COM DOIS CORPOS, $\alpha=66^\circ$	53
5.7. CONDIÇÕES DE ENSAIO	54
5.8. ENSAIOS LABORATORIAIS NO TANQUE DE ONDAS	55
5.8.1. ENQUADRAMENTO	55
5.8.2. TESTES 1 A 31 - ENSAIOS INICIAIS	55
5.8.3. TESTES 32 A 43 - SÉRIE II	57
5.8.4. TESTES 44 A 55 - SÉRIE III	58
5.8.5. TESTES 56 A 86 - SÉRIE I	59
5.8.6. TESTES 87 A 98 - SÉRIE IV	60
5.9. INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS	61
5.9.1. ENQUADRAMENTO	61
5.9.2. ANÁLISE QUALITATIVA	62
5.9.2.1. Série I	62
5.9.2.2. Série II	65
5.9.2.3. Série III	66
5.9.2.4. Série IV.....	68
5.9.3. ANÁLISE QUANTITATIVA	70
5.9.3.1 Série I	70
5.9.3.2. Séries II e III	73
5.9.3.3. Série IV.....	75
5.10. AVALIAÇÃO GLOBAL	77
6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	79
6.1. SÍNTESE DE RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	81
BIBLIOGRAFIA.....	83

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 – Ângulo de rebentação, α , velocidade de rebentação, V_p e velocidade experimentada pelo surfista, V_s (Laranjeira, 2010; fonte: surfmag.com, Sean Davey).....	3
Fig. 2.2 – Ábaco representando a mesma relação que a tabela 2.1, de acordo com Hutt <i>et al.</i> , 2001 (Laranjeira, 2010)	5
Fig. 2.3 – Variação teórica da altura de onda em função da profundidade relativa (Velooso Gomes, 2011)	6
Fig. 2.4 – Onda “tubular” no ensaio em modelo físico (Laboratório de Hidráulica, FEUP).....	7
Fig. 3.1 – Modelo físico do recife ensaiado. (Cáceres <i>et al.</i> , 2010).....	16
Fig. 3.2 – Campo de velocidades superficiais, no caso de agitação regular, para os vários espaçamentos ensaiados. Da esquerda para a direita: 0,64 m, 1,2m e 1,8m, respectivamente. (Cáceres <i>et al.</i> , 2010).....	17
Fig. 3.3 – Secção longitudinal do recife de Narrowneck usada na análise de estabilidade no modelo numérico e campos de velocidades com indicação dos contentores críticos da segunda e terceira camada. (Borrero <i>et al.</i> , 2010)	18
Fig. 3.4 – Resultados numéricos das forças actuantes nos sacos da segunda e terceira camadas, respectivamente. (Borrero <i>et al.</i> , 2010).....	18
Fig. 3.5 – Evolução dos perfis transversais do recife de Mount (Borrero <i>et al.</i> , 2010)	20
Fig. 3.6 – Exemplo das “surfadas” medidas por GPS sobrepostas na batimetria do recife, as estrelas correspondem ao início de surfada e os círculos ao fim da mesma.	23
Fig. 3.7 – Recife em Boscombe a ser utilizado pelos surfistas (www.surftoday.com).....	24
Fig. 4.1 – Vista 3D da configuração aproximada do recife (representação esquemática, com escala vertical distorcida) (Laranjeira, 2010)	30
Fig. 4.2 – Representação em planta do recife	31
Fig. 4.3 – Vectores velocidade das correntes sem recife (Cota de maré=2m (Z.H.);H=3m;T=12seg;Rumo=-22.5°), (Costa, 2010).....	33
Fig. 4.4 – Vectores velocidade das correntes com recife (Cota de maré=2m (Z.H.);H=3m;T=12seg;Rumo=-22.5°), (Costa, 2010).....	34
Fig. 4.5 – Topografia final e variação de topografia sem recife (Cota de maré=2m (Z.H.);H=3m;T=12seg;Rumo=-22.5°), (Costa, 2010).....	36
Fig. 4.6 - Topografia final e variação de topografia com recife (Cota de maré=2m (Z.H.);H=3m;T=12seg;Rumo=-22.5°), (Costa, 2010).....	37
Fig. 5.1 – Dimensões dos geocilindros usados.....	41
Fig. 5.2 – Dimensões dos sacos pequenos.	41
Fig. 5.3 – Aspectos do enchimento e costura dos Geotubos® (Das Neves, 2010).....	42
Fig. 5.4 – Representação esquemática do tanque de ondas	45
Fig. 5.5 – Tanque de ondas	46

Fig. 5.6 – Sistema de geração de ondas.....	46
Fig. 5.7 – Sala de controlo e respectivos computadores	47
Fig. 5.8 – Sondas utilizadas no estudo experimental.....	48
Fig. 5.9 – Máquina Canon EOS 400D, Lente: EF-S 18-55mm f/3.5-5.6	49
Fig. 5.10 – Máquina Sony DSC-HX5.....	50
Fig. 5.11 – Máquina GoPro HD Hero	50
Fig. 5.12 – Disposição física do investigador para a captação de vídeo com a máquina Sony	51
Fig. 5.13 – Perfil transversal dos taludes de todas as soluções de recifes ensaiados.....	51
Fig. 5.14 – Esquema do recife em delta preenchido com $\alpha=66^\circ$	52
Fig. 5.15 – Esquema do recife em delta com $\alpha=45^\circ$	52
Fig. 5.16 – Esquema do recife em delta preenchido com $\alpha=45^\circ$	53
Fig. 5.17 – Esquema do recife em delta com dois corpos com $\alpha=66^\circ$	53
Fig. 5.18 – Planta esquemática do recife nos testes iniciais.....	56
Fig. 5.19 – Vista superior do recife nos testes iniciais	56
Fig. 5.20 – Onda obtida nos testes iniciais.....	56
Fig. 5.21 – Planta esquemática do tanque com o modelo da série II	57
Fig. 5.22 – Vista do modelo da série II em fase de testes	58
Fig. 5.23 – Planta esquemática do tanque com o modelo da série III	58
Fig. 5.24 – Vista do modelo da série III.....	59
Fig. 5.25 – Planta esquemática do tanque com o modelo da série I	59
Fig. 5.26 – Vista do modelo da série I em fase de enchimento do tanque com água	60
Fig. 5.27 – Planta esquemática do tanque com o modelo da série IV.....	60
Fig. 5.28 – Vista do modelo da série IV em fase de ensaios	61
Fig. 5.29 – Série I / Ensaio 1, Teste 56 (CM=0.8m (Z.H.), H=1.5m, T=11seg).....	62
Fig. 5.30 – Série I / Ensaio 4, Teste 74 (CM=2.6m (Z.H.), H=1.5m, T=11seg).....	62
Fig. 5.31 – Sequência da Série I / Ensaio 27, Teste 84 (CM=3.2m (Z.H.), H=3m, T=8seg).....	63
Fig. 5.32 – Vista do tubo na Série I / Ensaio 1, Teste 56 (CM=0.8m (Z.H.), H=1.5m, T=11seg)	64
Fig. 5.33 – Vista frontal da onda na Série I / Ensaio 7, Teste 65 (CM=1.4m (Z.H.), H=3m, T=11seg).....	64
Fig. 5.34 – Série II / Ensaio 2, Teste 34 (CM=1.4m (Z.H.), H=1.5m, T=11seg).....	65
Fig. 5.35 – Série II / Ensaio 7, Teste 35 (CM=1.4m (Z.H.), H=3m, T=11seg).....	66
Fig. 5.36 – Vista da praia dissipadora, Série III / Ensaio 1, Teste 54 (CM=0.8m (Z.H.), H=1.5m, T=11seg).....	67

Fig. 5.37 – Vista do interior do tanque, Série III / Ensaio 1, Teste 54 (CM=0.8m (Z.H.), H=1.5m, T=11seg)	67
Fig. 5.38 – Vista do interior do tanque, Série III / Ensaio 7, Teste 54 (CM=1.4m (Z.H.), H=3m, T=11seg)	68
Fig. 5.39 – Série IV / Ensaio 1, Teste 87 (CM=0.8m (Z.H.), H=1.5m, T=11seg)	68
Fig. 5.40 – Sequência da Série IV / Ensaio 7, Teste 90 (CM=1.4m (Z.H.), H=3m, T=11seg)	69
Fig. 5.41 – Posicionamento das sondas na série I	70
Fig. 5.42 – Empolamento, Série I / Ensaio 23, Teste 60 (CM=0.8m (Z.H.), H=3m, T=8seg)	70
Fig. 5.43 – Onda secundária entre ondas principais, Série I / Ensaio 19, Teste 64 (CM=1.4m (Z.H.), H=1.5m, T=13seg)	71
Fig. 5.44 – Gráfico truncado da tensão medida nas sondas	72
Fig. 5.45 – Evolução do perfil de uma onda solitária em propagação num canal de profundidade variável (Veloso Gomes, 1995, citando Seabra Santos, 1985)	72
Fig. 5.47 – Agitação antes e depois do recife, Série I / Ensaio 3, Teste 68 (CM=2m (Z.H.), H=1.5m, T=11seg)	73
Fig. 5.48 – Posicionamento das sondas na série II	73
Fig. 5.49 – Posicionamento das sondas na série III	74
Fig. 5.50 – Agitação antes e depois do recife, Série II / Ensaio 1, Teste 32 (CM=0.8m (Z.H.), H=1.5m, T=11seg)	74
Fig. 5.51 – Agitação antes e depois do recife, Série III / Ensaio 1, Teste 54 (CM=0.8m (Z.H.), H=1.5m, T=11seg)	75
Fig. 5.52 – Posicionamento das sondas na série IV	75
Fig. 5.53 – Leitura das sondas, Série IV / Ensaio 6, Teste 88 (CM=0.8m (Z.H.), H=3m, T=11seg)	76
Fig. 6.1 – Recife com dois corpos, com plataforma à cota da crista	80

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Altura e ângulo de rebentação “surfáveis” em função das aptidões técnicas dos praticantes segundo a classificação de Hutt <i>et al.</i> , 2001 (Laranjeira, 2010).	4
Tabela 2.2 – Classificação do tipo de rebentação.	6
Tabela 2.3 – Geometrias tipo de recifes artificiais.	8
Tabela 2.4 – Vários desportos de ondas.	9
Tabela 2.5 – Termos associados à prática de desportos de ondas.	12
Tabela 3.1 – Trabalhos referidos em Laranjeira (2010).	15
Tabela 3.2 – Recife de Kovalam.	21
Tabela 3.3 – Recife de Boscombe.	22
Tabela 3.4 – Recife de Cables.	25
Tabela 3.5 – Recife de Narrowneck.	26
Tabela 3.6 – Recife de Mount.	27
Tabela 3.7 – Recife do Estoril.	28
Tabela 4.1 – Condições ensaiadas em modelação numérica.	29
Tabela 4.2 – Valores utilizados no modelo numérico.	30
Tabela 4.3 – Características do recife.	31
Tabela 5.1 – Tipos de semelhança.	43
Tabela 5.2 – Critérios de semelhança.	43
Tabela 5.3 – Escalas do modelo.	44
Tabela 5.4 – Níveis de maré ensaiados e respectivas alturas de água no tanque.	54
Tabela 5.5 – Condições de agitação ensaiadas.	54
Tabela 5.6 – Condições de agitação adicionais testadas na série I.	55

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

c – celeridade da onda [m/s]

C – coeficiente de Chezy [$m^{1/2}/s$]

D_{50} – diâmetro mediano dos sedimentos [m]

H – altura de onda [m]

H_0 – altura de onda ao largo [m]

H_b – altura de onda na zona de rebentação [m]

L – comprimento de onda [m]

L_0 – comprimento de onda ao largo [m]

L_s – extensão longitudinal de quebramar/recife artificial [m]

s – inclinação normal das secções do talude de um recife

\vec{V}_s – velocidade experimentada pelo surfista (*downline velocity*) [m/s]

\vec{V}_p – velocidade de rebentação (*peel ratio*) [m/s]

X – distância da estrutura à linha de costa (medida desde o eixo longitudinal em quebramares, e desde a base da estrutura para um recife artificial em delta) [m]

X_{st} – extensão de um recife em delta segundo a direcção normal à costa, medida do vértice à base [m]

α – ângulo de rebentação (*peel angle*) [°]

ε_v – viscosidade de vórtice [m^2/s]

ξ_b - número de Iribarren na zona de rebentação

η – nível de água instantâneo

DEC - Departamento de Engenharia Civil

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

LH – Laboratório de Hidráulica

RAM – Recife Artificial Multifuncional

1

INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

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 acreções 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.

Com a presente dissertação pretendem-se atingir os seguintes principais objectivos:

- Pesquisa bibliográfica de novos estudos e actualização do estado de arte sobre recifes artificiais multifuncionais;
- Análise da modelação numérica já realizada;
- Enquadramento nas actividades experimentais no tanque de ondas do Laboratório de Hidráulica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto;
- Realização de modelação física de vários tipos de RAM em fundos fixos e consequente análise preliminar de resultados.

Esta está organizada em seis capítulos, sendo que o primeiro constituído pela introdução.

No 2º capítulo são explicados os principais conceitos de recifes artificiais e de surf. Este capítulo é de principal interesse para quem estes assuntos são novos, pois tratam-se apenas algumas noções essenciais para a sua compreensão.

Por sua vez, o terceiro capítulo aborda a revisão da literatura e actualização do estado de arte dos RAM. Estes pontos foram analisados para o período de tempo que decorre após a realização da dissertação de Laranjeira (2010) e a presente dissertação.

No capítulo 4 é apresentada a modelação numérica da proposta sugerida em estudo prévio. Esta modelação foi realizada por Costa (2010), no âmbito de um relatório interno do Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos. São analisados os resultados obtidos para as várias situações modeladas, sendo que o principal aspecto a estudar é a localização e quantificação das novas zonas de erosão e acreção provocadas pelo recife, uma vez que este aspecto não é analisado em modelação física.

O 5º capítulo, intitulado “*Modelação física*”, apresenta todos os aspectos relacionados com o seu título, desde a descrição das instalações experimentais até à análise de dados. Aqui é analisada a proposta do estudo prévio, é feita uma pequena caracterização dos geossintéticos, são descritas as propostas de simulação e as condições de ensaio. São também descritos os ensaios realizados e posterior tratamento de dados e interpretação de resultados.

Por último, no capítulo 6, são apresentadas as considerações finais sobre os resultados obtidos e apontados vários caminhos a seguir em trabalhos futuros.

2

FUNDAMENTOS RELATIVOS À PRÁTICA DE DESPORTOS DE ONDAS

2.1. ENQUADRAMENTO

Neste capítulo serão expostos os fundamentos dos RAM e dos desportos de ondas que nesses se podem praticar. Estes fundamentos ajudarão a perceber as exigências dos desportos de ondas, bem como as principais características dos recifes, e como estas influenciam a qualidade de onda. Estes aspectos serão descritos resumidamente uma vez que se encontram já explicados, de forma mais aprofundada, na dissertação de Laranjeira (2010).

2.2. LINHAS DE CONCEPÇÃO DE RECIFES ARTIFICIAIS CONTEMPLANDO A PRÁTICA DE SURF

2.2.1. ÂNGULO DE REBENTAÇÃO, α

O ângulo de rebentação (*peel angle*), α , é o parâmetro que está associado à velocidade de propagação da onda. Assim sendo, este é um dos parâmetros de maior importância em termos das características de rebentação de ondas para o surf. Este ângulo está compreendido entre o vector velocidade de rebentação, \vec{V}_p (*peel ratio*), paralelo à crista da onda, e o vector da velocidade experimentada pelo surfista ao longo da linha de rebentação, \vec{V}_s (*downline velocity*), tal como esquematizado na figura 2.1. a relação entre α e a velocidade do surfista é dada pela equação 2.1.

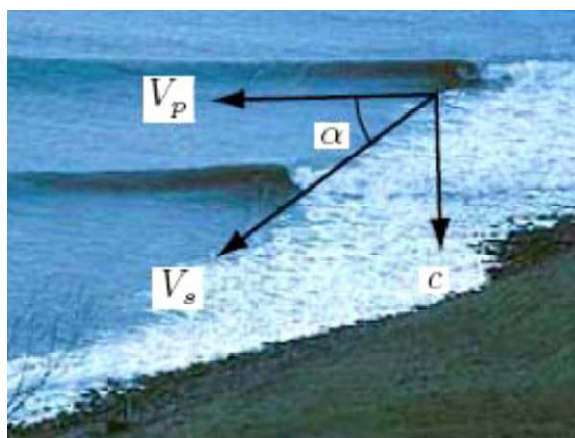


Fig. 2.1 – Ângulo de rebentação, α , velocidade de rebentação, V_p e velocidade experimentada pelo surfista, V_s (Laranjeira, 2010; fonte: surfmag.com, Sean Davey).

$$|\vec{V}_s| = \frac{|\vec{c}|}{\sin \alpha} \quad (2.1)$$

Percebe-se assim, que quanto mais pequeno for α , maior é a velocidade experimentada pelo surfista, significando um maior nível de aptidão técnica requerida ao surfista. Por outro lado, um α maior significa velocidades mais pequenas e adequadas a surfistas com nível técnico não tão elevado.

Assim, Hutt *et al.* (2001), citado em Laranjeira (2010), investigaram a relação entre o ângulo de rebentação, α , e a altura de onda, H, para diferentes níveis de aptidão técnica dos surfistas (classificados de 1 a 8, consoante o nível crescente de aptidões). Na tabela 2.1 e na figura 2.2 encontram-se, sucintamente, as suas conclusões.

Tabela 2.1 – Altura e ângulo de rebentação “surfáveis” em função das aptidões técnicas dos praticantes segundo a classificação de Hutt *et al.*, 2001 (Laranjeira, 2010).

Classificação	Descrição de Aptidões	α [°]	H [m]
1	Surfistas iniciados, ainda inaptos a surfar a face da onda, movendo-se simplesmente com o avanço da rebentação.	0	0,70 - 1,00
2	Surfistas aprendizes, capazes de surfar lateralmente ao longo da crista da onda.	70	0,65 - 1,50
3	Surfistas que já desenvolveram a aptidão de gerar velocidade através de impulsão na face da onda.	60	0,60 - 2,50
4	Surfistas capazes de iniciar e executar manobras standard pontualmente.	55	0,55 - 4,00
5	Surfistas capazes de executar manobras standard consecutivamente numa única onda.	50	$\geq 0,50$
6	Surfistas capazes de executar manobras standard consecutivamente. Executam manobras avançadas pontualmente.	40	$\geq 0,45$
7	Surfistas amadores de topo, capazes de executar manobras avançadas consecutivamente.	29	$\geq 0,40$
8	Surfistas profissionais, capazes de executar manobras avançadas consecutivamente.	27	$\geq 0,35$

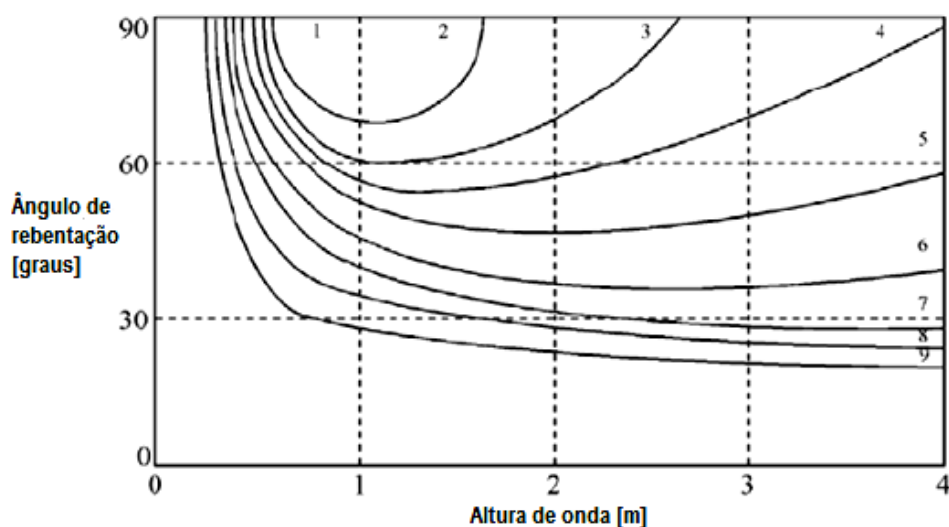


Fig. 2.2 – Ábaco representando a mesma relação que a tabela 2.1, de acordo com Hutt *et al.*, 2001 (Laranjeira, 2010).

Verifica-se que, para uma determinada altura de onda, quanto maior for o ângulo de rebentação, maior o número de surfistas com capacidade para surfar essa onda; mas, por outro lado, os surfistas com níveis de aptidão técnica mais elevados preferem ondas com velocidades mais elevadas, ou seja, com ângulos de rebentação mais reduzidos.

Outro aspecto a ter em conta é que o ângulo do recife é diferente do ângulo de rebentação. Estes dois só coincidem quando a orientação da ondulação é perpendicular à orientação do recife. Para casos diferentes deste, o ângulo de rebentação varia consoante a orientação da ondulação.

2.2.2. PROPAGAÇÃO DE ONDA E ALTURA DE ONDA LOCAL, H

Hoje em dia, os regimes de ondas surfáveis são muito variados. Um *longboarder* é capaz de surfar ondas com menos de 0,30 metros, enquanto o recurso a novas técnicas de abordagem à onda, como o *tow-in*, potenciam a realização de surf em ondas cada vez maiores, havendo registos que indicam que foram surfadas ondas com alturas superiores a 20 metros.

No caso em estudo, para um recife artificial, os valores de altura de onda mais adequados, referidos por Ten Voorde (2010), encontram-se no intervalo de 1 a 3 metros.

Convém referir que, devido ao fenómeno de empolamento, a altura de onda, H, sobre o recife, será superior à altura de onda ao largo, H₀. Este fenómeno ocorre em pequenas profundidades antes de a onda rebentar. A relação teórica entre estas duas alturas de onda, admitindo que a onda pode atingir a altura H sem rebentar, está presente na equação 2.2 e representada na figura 2.3.

$$\left(\frac{H}{H_0}\right)^2 = \frac{\cosh^2\left(\frac{2\pi d}{L}\right)}{\sinh\frac{2\pi d}{L} \cosh\frac{2\pi d}{L} + \frac{2\pi d}{L}} \quad (2.2)$$

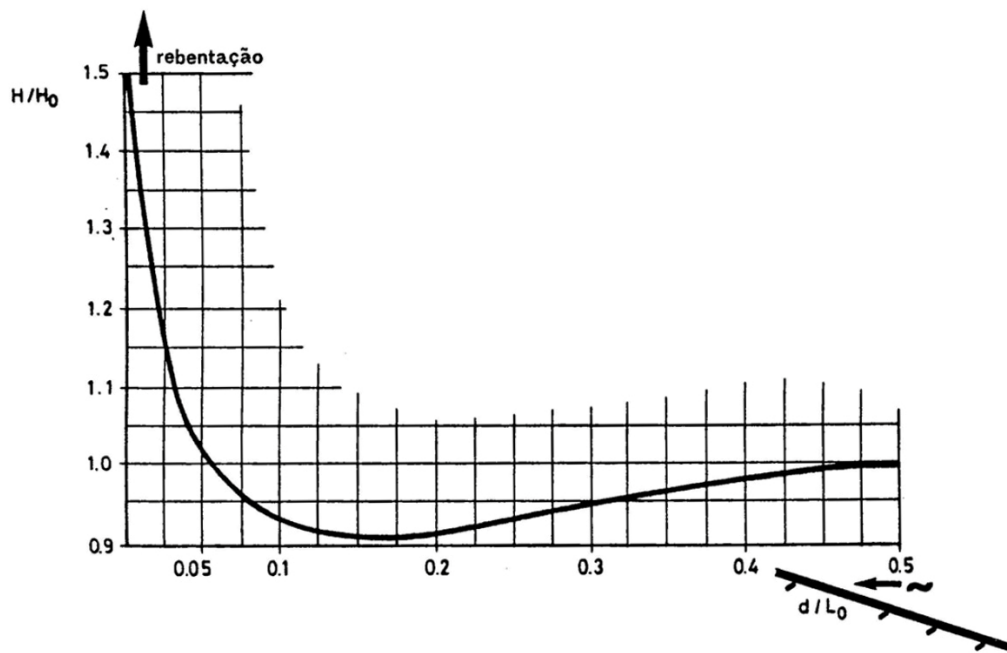


Fig. 2.3 – Variação teórica da altura de onda em função da profundidade relativa (Veloso Gomes, 2010).

2.2.3. TIPO DE REBENTAÇÃO, ξ

Battjes (1974), utilizou o parâmetro de semelhança de surf, número de Iribarren, ξ , para descrever o tipo de rebentação. Este parâmetro, na zona de rebentação, é dado pela equação 2.3.

$$\xi_b = \frac{i}{\sqrt{H_b/L_0}} \quad (2.3)$$

Os regimes frequentes de rebentação podem ser classificados em função de ξ_b , de acordo com a tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Classificação do tipo de rebentação.

ξ_b	Tipo de rebentação
$\xi_b < 0,4$	Progressiva
$0,4 < \xi_b < 2,0$	Mergulhante
$\xi_b > 2,0$	Colapsante

Convém referir que o tipo de rebentação adequada à prática de desportos de ondas é o tipo mergulhante. Este tipo de rebentação proporciona os chamados “tubos”. São estas ondas “tubulares” que mais agradam aos surfistas, uma vez que proporcionam a realização de uma variada gama de manobras.



Fig. 2.4 – Onda “tubular” no ensaio em modelo físico (Laboratório de Hidráulica, FEUP).

2.2.4. GEOMETRIA DO RECIFE

A geometria de um recife pode ser variável. Existem várias configurações dos RAM e a diferença entre elas está descrita na dissertação de Laranjeira (2010), mas serão aqui resumidamente apresentadas as configurações mais relevantes para o presente estudo.

De acordo com Van Ettinger (2005), o recife em forma de delta separado proporciona um aumento da linha de percurso do surfista, atenuando as correntes em torno do recife (*rip currents*), uma vez que é criada uma corrente de retorno no centro do recife. Outra vantagem que este tipo de recife apresenta é a existência de duas zonas distintas de surf. Apesar dos três tipos de recifes apresentarem esquerdas e direitas, nos recifes em delta e em delta preenchido, a zona de “*take-off*” é a mesma e pode provocar interferências entre surfistas. Este tipo de recife deve ainda ter principal relevo, uma vez que foi obtido um sucesso apreciável, tanto na protecção costeira como na qualidade de ondas, no caso de Narrowneck.

Já quanto às configurações em delta e delta preenchido, a única diferença entre estas é a existência de uma plataforma à cota da crista do recife, na última. Ainda não existem estudos que esclareçam a influência desta plataforma na qualidade da onda nem na agitação a tardoz do recife. Estes parâmetros também serão analisados no capítulo de modelação física.

As geometrias de recifes atrás referidas encontram-se esquematicamente resumidas na tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Geometrias tipo de recifes artificiais.




Tipo de recife	Designação	Planta esquemática
Delta preenchimento	É o tipo de recife que tem sido mais estudado ultimamente. A sua forma triangular em planta proporciona uma única zona de surf, mas com esquerdas e direitas.	
Delta	Recife tipo "bumerangue".	
Delta separado	É idêntico ao recife do tipo delta preenchido, mas com um canal ao centro de dois corpos distintos.	

2.3. DESPORTOS DE ONDAS

É importante referir que a utilização neste trabalho do termo “surf”, corresponde aos vários desportos de ondas e não ao desporto singular normalmente conhecido. É sabido que o surf em shortboard é o mais popular e reúne maior número de praticantes, mas não se devem excluir os outros desportos, que ganham cada vez maior notoriedade e número de praticantes. Exemplo disto é o bodyboard, o segundo desporto de ondas com maior número de praticantes e com bastante expressão no panorama nacional. Este facto pode ser comprovado nos inquéritos realizados por Laranjeira (2010), no âmbito da sua dissertação.

Na tabela 2.4 são descritos os vários desportos que poderão ser praticados no RAM.

Tabela 2.4 – Vários desportos de ondas.

Desporto	Descrição	Fotografia
Body surf	“Surfar” apenas com o corpo, sem ajuda de qualquer prancha.	 www.olhares.com
Surf	Desporto de ondas mais popular, em que se “surfa” em pé com uma prancha.	 www.pt.wikipedia.org
Longboard	Desporto idêntico ao “surf” mas com uma prancha maior.	 www.pt.wikipedia.org

Bodyboard

Consiste em surfar deitado em pranchas mais curtas que as do "surf". Para apanhar as ondas, os "bodyboarders" recorrem à ajuda dos "pés de pato".



www.vert-mag.com

Kayaksurf

Deslizar nas ondas com um "kayak".



www.kayaksurf.net

Paddlesurf

Idêntico ao longboard, mas com uma prancha maior e mais larga que permita ao surfista andar sempre em pé, com ajuda de um remo para se mover.



www.paddlesurf.net

Windsurf

Surfar com uma prancha à vela.



www.sportsville.com

Kitesurf

“Surfar” com o auxílio de um “kite”(pára-quadras).



(www.pt.wikipedia.org)

Tow-in

Apanhar as ondas com auxílio de uma mota de água. Pode ser usado no surf e no “bodyboard”.



(www.surfholidays.com)

Tow-out

Consiste em ser puxado por uma mota de água na direcção contrária às ondas, para efectuar manobras aéreas. Mais utilizado no “bodyboard”.



(www.vert-mag.com)

Mergulho e snorkeling

Não são desportos de ondas, mas podem ser realizados na zona do RAM quando a agitação é pequena.







(www.pt.wikipedia.org)

2.4. TERMOS ASSOCIADOS À PRÁTICA DO SURF

Este subcapítulo apresenta os termos técnicos associados à prática de surf. Como provavelmente estes termos não são muito conhecidos, decidiu-se expô-los de forma simples e clara na tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Termos associados à prática de desportos de ondas.

Termo	Designação	Ilustração
Take-off	É a manobra realizada para “entrar” na onda.	 www.bbelsblog.com
Bottom-turn	É a manobra realizada na base da onda, depois do “take-off”, para o surfista se “encostar” à parede da onda.	 www.blogdipraia.blogspot.com
Close-out	A onda quebra simultaneamente em toda a sua extensão.	 www.flickr.com
Back-wash	Este fenómeno ocorre quando duas ondas, deslocando-se em direcções opostas, colidem.	 www.forum.pt

Parede

Zona vertical da face da onda onde se realizam as manobras.



(www.vert-mag.com)

Tubo

Manobra realizada pelo surfista quando se consegue posicionar no cilindro do interior da onda provocado pelo fenómeno de rebentação.



(www.mtn-photo.com)

Esquerda

Para quem está na costa de frente para o mar, onda que quebra da esquerda para a direita.



(www.mtn-photo.com)

Direita

Para quem está na costa de frente para o mar, onda que quebra da direita para a esquerda.



(www.mtn-photo.com)

Flat

Quando não há agitação.



(www.flickr.com)

3

RECIFES ARTIFICIAIS MULTIFUNCIONAIS – REVISÃO DA LITERATURA

3.1. ENQUADRAMENTO

Após extensa pesquisa relacionada com a temática dos recifes artificiais, foram encontrados alguns trabalhos publicados desde a realização da dissertação de Laranjeira (2010). Destes trabalhos, apenas um deles incide sobre a monitorização de um recife, que será explanado na actualização do estado de arte. Os restantes estudos analisados abordam temas transversais a vários recifes. Na tabela 3.1 encontram-se os principais estudos referidos na dissertação de Laranjeira (2010).

Tabela 3.1 – Trabalhos referidos em Laranjeira (2010).

Autor (data)	Título	Breve descrição
Black e Andrews (2001)	<i>A Review of Existing Multi-Purpose Artificial Surfing Reefs and the Physical Properties Behind their Function.</i>	Formulação de uma previsão empírica da resposta morfodinâmica da costa a sotamar de recifes submersos.
Black e Mead (2001)	<i>Wave rotation for Coastal Protection</i>	Estudo da influência de um RAM na rotação da crista da onda.
Ranasinghe e Turner (2006)	<i>Shoreline response to submerged structures</i>	Análise de como as variáveis influenciam a resposta da linha de costa a quebramares submersos.
Ranasinghe et al (2006)	<i>Shoreline response to multi-functional artificial surfing reefs: A numerical and physical modeling study</i>	Análise da resposta da linha de costa a um RAM para várias situações. Ensaios físicos e numéricos.
Pilarczyk (2003)	<i>Alternative Systems for Coastal Protection. An Overview</i>	Reformulação de relações da resposta da linha de costa a quebramares emersos.
Stauble e Tabar (2003)	<i>The Use of Submerged Narrow-Crested Breakwaters for Shoreline Erosion Control</i>	Monitorização do desempenho de seis instalações de dois tipos de unidades de betão pré-fabricadas.

3.2. PERSPECTIVA DE ESTUDOS REALIZADOS

3.2.1. TRABALHOS DE IVÁN CÁCERES E COLABORADORES

Este estudo (Cáceres *et al*, 2010), intitulado “*Wave and flow response to an artificial surf reef: laboratory measurements*”, publicado em *Journal of Hydraulic Engineering*, aborda o tema das correntes geradas em torno de um recife artificial para a prática de surf, bem como a sua influência na qualidade da onda.

Foi utilizado como modelo físico o recife que se encontra na figura 3.1. Este recife é constituído por dois módulos com um espaçamento entre eles, tal como o recife de Narrowneck. Este espaçamento tem a função de eliminar as interferências entre as duas zonas de “largada”, de fornecer um comprimento de crista de onda suficiente para proporcionar uma boa zona de “largada” e de funcionar como canal de fácil acesso à zona de surf.



Fig. 3.1 – Modelo físico do recife ensaiado. (Cáceres *et al*, 2010).

Em termos de geometria, este recife apresenta uma inclinação variável entre 1:7 a 1:9, sendo a inclinação dos taludes interiores de 1:1. O ângulo de rebentação é de 55° e a cota da crista do recife é de 0,1 m (Z.H.).

Este recife foi ensaiado com base nas condições de agitação da costa dos Países Baixos, com uma altura de onda significativa de 1,5 metros e um período de 8 segundos. Este modelo foi representado à escala, $N_1=15$, com ondas monocromáticas, bicromáticas e irregulares (espectro de Jonswap).

Para estudar a influência do espaçamento no interior do recife, este foi ensaiado com 3 valores: 0,64 m, 1,2 m e 1,8 m.

Os equipamentos utilizados para medição dos dados pretendidos foram 5 resistências medidoras do nível de água (WHM), 5 EMF's e uma câmara de filmar de alta resolução.

De acordo com os dados obtidos, as principais diferenças entre os três ensaios, com espaçamentos diferentes, são a ocorrência de um vórtice e uma corrente de retorno menos intensa com o aumento desse espaçamento. A formação de vórtice está associada a uma ligeira assimetria na distribuição de alturas de onda ao longo do tanque e é visível na figura 3.2, que representa os resultados dos ensaios efectuados para vários espaçamentos.

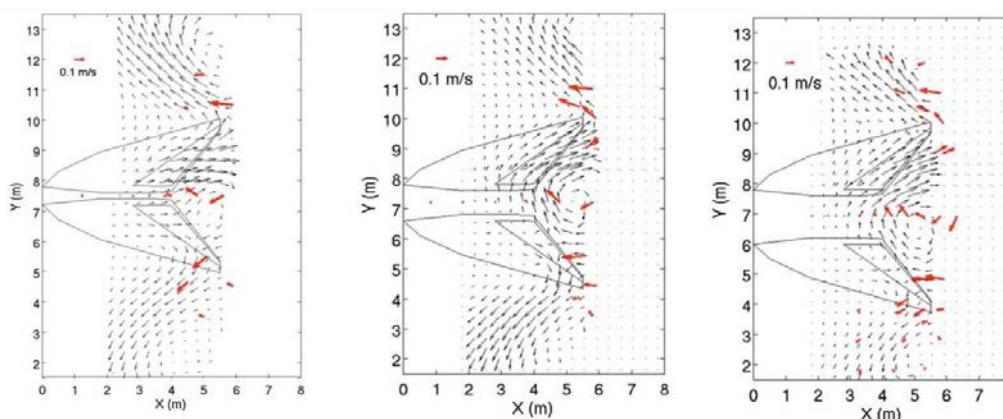


Fig. 3.2 – Campo de velocidades superficiais, no caso de agitação regular, para os vários espaçamentos ensaiados. Da esquerda para a direita: 0,64 m, 1,2m e 1,8m, respectivamente. (Cáceres *et al*, 2010).

3.2.2. TRABALHO DE BORRERO E COLABORADORES

Borrero *et al* (2010) publicaram um documento que consiste na análise da estabilidade dos sacos geossintéticos utilizados na construção dos recifes artificiais. Para este fim, utilizaram um modelo numérico e fórmulas de estabilidade empíricas. Neste documento são descritas as lições aprendidas em casos de estudo de quatro diferentes exemplos de recifes construídos com geossintéticos.

É importante referir que o estudo da estabilidade dos sacos geossintéticos não faz parte dos principais objectivos do estudo em curso, mas é necessário conhecer o comportamento destes elementos, uma vez que dele depende o bom funcionamento da estrutura.

Os casos de estudo foram: o recife de Narrowneck, na Gold Coast, Austrália, o recife de Pratte's, na Califórnia, o recife de Mount na Nova Zelândia e o recife de Boscombe em Inglaterra.

3.2.2.1. Recife de Narrowneck

Começando pelo recife de Narrowneck, no que se refere à estabilidade dos sacos geossintéticos, o estudo revela que o recife teve um bom comportamento, uma vez que resistiu a elevadas ondulações ($H_{m\acute{a}x} > 10m$) com poucas instabilidades nos sacos. Estas instabilidades podem dever-se à não colocação dos sacos nos locais de acordo com o projecto, ao não correcto enchimento dos mesmos, a pequenos rasgos causados pelas âncoras de embarcações ou a actos de vandalismo.

Para avaliar a estabilidade destes sacos no recife de Narrowneck, foi utilizado o modelo numérico COBRAS (Liu *et al.*, 1997, Recio, 2007). A secção do recife em estudo foi simplificada para diminuir o tempo de resolução do modelo.

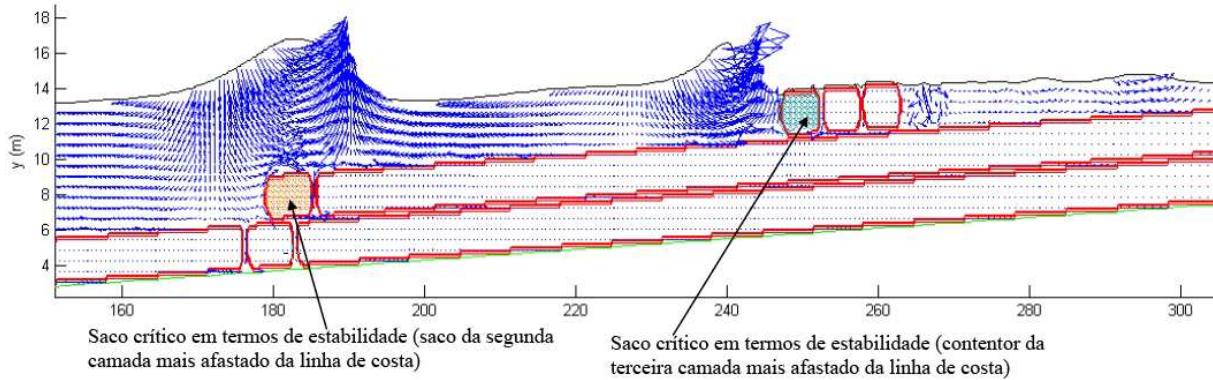


Fig. 3.3 – Secção longitudinal do recife de Narrowneck usada na análise de estabilidade no modelo numérico e campos de velocidades com indicação dos contentores críticos da segunda e terceira camada. (Borrero *et al.*, 2010).

O saco mais afastado de terra, na segunda camada, é o mais crítico em termos de estabilidade, mesmo assim, os resultados obtidos prevêem que este seja estável, uma vez que o saco vizinho restringe o seu deslocamento horizontal, pois nesse saco as forças ascendentes são inferiores ao seu peso. Para o contentor mais crítico da terceira camada, a simulação numérica mostra que o pior cenário acontece quando a onda rebenta directamente nesse saco, mas, mais uma vez, é previsível que o contentor se mantenha estável pelas mesmas razões do contentor da segunda camada. Esta análise de estabilidade está representada nos gráficos da figura 3.4.

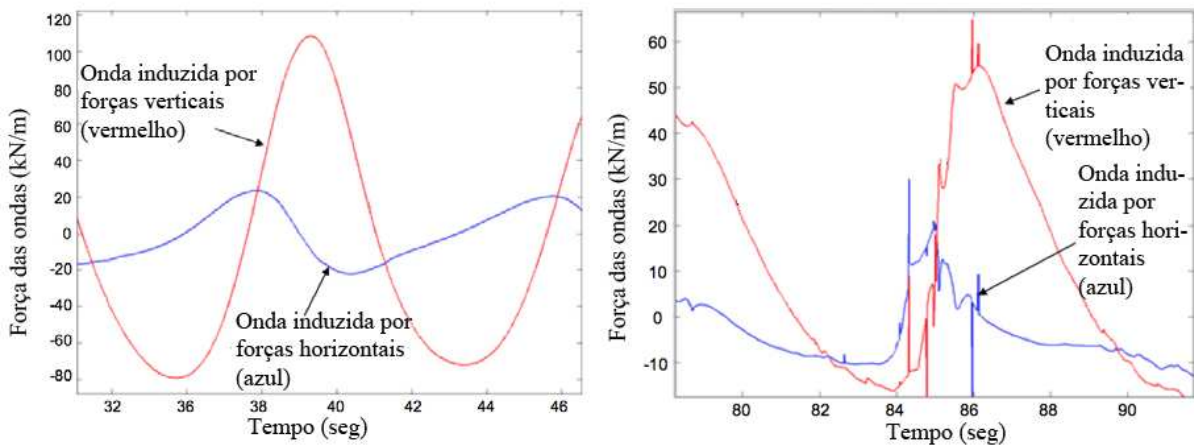


Fig. 3.4 – Resultados numéricos das forças actuantes nos sacos da segunda e terceira camadas, respectivamente. (Borrero *et al.*, 2010).

Para maiores alturas de onda, a rebentação ocorre mais longe da linha de costa, o que resulta em menores forças nos contentores.

3.2.2.2. Recife de Pratte's

Depois da construção deste recife, foi levado a cabo um programa de monitorização para avaliar o seu desempenho. Esta consistiu em levantamentos batimétricos ao largo da costa, perfis de praia, observações da prática de surf e observações através de mergulho. Durante vários mergulhos efectuados, foi notada a deterioração e degradação dos sacos geossintéticos.

Neste recife foram usados dois tipos de geossintéticos para a sua construção. O mais propenso a degradar-se é o geossintético de polipropileno (sacos pretos).

Para além do tipo de material usado nos contentores geossintéticos, o insucesso destes pode estar relacionado com o seu tamanho, o método de enchimento e posterior colocação. Os sacos usados neste recife foram pequenos, com apenas 7,9 m³ de volume, e não foram hermeticamente fechados. Assim, os geossintéticos moviam-se devido à acção da agitação, o que terá provocado o aceleração do processo de degradação. Para a colocação destes sacos geossintéticos, foi usada uma grua que provocou rasgos na zona onde estavam as correias da grua. Estas fissuras aumentaram devido à acção da agitação e provocaram a rotura total de alguns sacos.

Como este recife nunca conseguiu cumprir os seus objectivos, foi removido em 2008.

3.2.2.3. Recife de Mount

Quanto ao recife de Mount, este estudo tem como base uma monitorização das batimétricas locais, sendo utilizadas para analisar a natureza da morfologia junto ao recife, bem como avaliar as alterações do perfil do recife ao longo do tempo.

Durante o período de observação, entre fim de 2005 e início de 2009, verificou-se que o recife se encontrava relativamente estável e que nenhum assentamento significativo ocorreu.

A figura 3.5 representa os perfis do recife, analisados ao longo do tempo de estudo. De acordo com estes dados, existem assentamentos no recife entre 0,22 e 0,69 metros, durante mais de três anos de monitorização, o que está de acordo com o projecto, uma vez que neste tipo de recifes são considerados assentamentos de 0,5 metros.

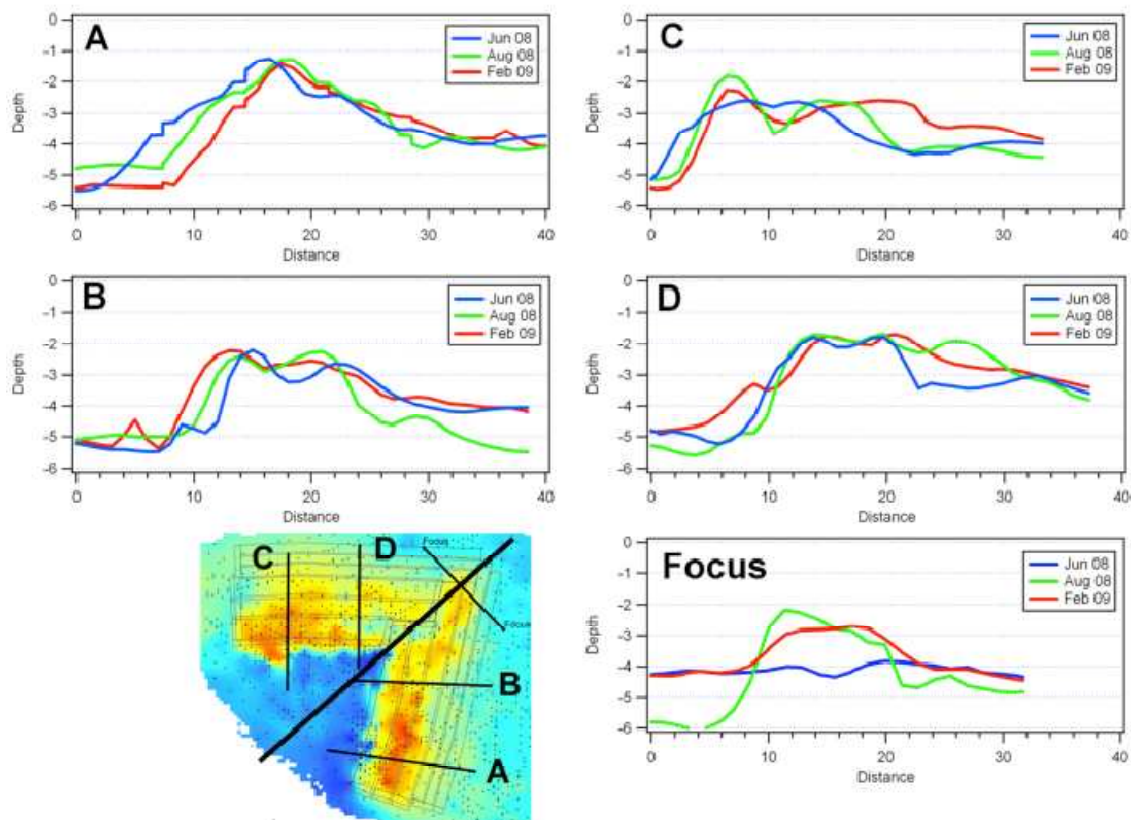


Fig. 3.5 – Evolução dos perfis transversais do recife de Mount (Borrero *et al.*, 2010).

3.2.2.4. Conclusões

Como conclusão, refere-se que na generalidade dos casos, a estabilidade destes sacos deve-se ao seu elevado peso próprio, mas existem outros factores que podem pôr em causa essa estabilidade, como a resistência dos geossintéticos, a resistência das coseduras, o método de enchimento e colocação no seu devido local.

Os casos de estudo demonstram que estes contentores, quando bem projectados e instalados, podem ser muito estáveis, mesmo estando sujeitos a elevados níveis de agitação. Destaca-se também a importância do tipo de tecido, da sua resistência à tracção, ao punção e à abrasão.

3.3. ACTUALIZAÇÃO DO ESTADO DE ARTE

3.3.1. ENQUADRAMENTO


Neste subcapítulo são apresentados os casos mais relevantes em termos de tecnologia de recifes artificiais multifuncionais desenvolvidos até à presente data. Estes são apresentados sobre a forma de tabelas, onde são expostas as suas principais características.

Em comparação com o estudo de Laranjeira (2010), não existem novos RAM construídos e o único documento publicado depois desse estudo é a avaliação do desempenho do recife de Boscombe.

3.3.2. DESCRIÇÃO DE CASOS

3.3.2.1. Recife de Kovalam

Tabela 3.2 – Recife de Kovalam.

Localização:	Tipo e data de construção:
Kerala, Costa Sudoeste da Índia	Recife em Delta, construído em material granítico em 2010
	
Características locais:	Dimensões:
-Amplitude máxima de maré = 1,2 m -Hs=0,8 m -Transporte anual médio de sedimentos de 200000 m ³	-
Comentários:	
O recife é muito recente e a informação relativa ao mesmo é escassa. A empresa construtora refere que o recife criou uma nova onda de qualidade, bem como aumentou o tamanho da praia.	

3.3.2.2. Recife de Boscombe

Tabela 3.3 – Recife de Boscombe.

Localização:	Tipo e data de construção:
Bournemouth, Sul do Reino Unido	Recife rectangular, construído em geocilindros em 2009



Características locais:	Dimensões:
-Amplitude máxima de maré = 1,7 m -Hs=1 m, T=7 s -Incidência predominante centrada em 190°	-70x30 metros -Inclinação de talude de 1:10 -Cota do coroamento de +0,5 m (Z.H.)

Comentários:

Teve um custo de 3,5 milhões de euros.
O comportamento deste recife será apresentado seguidamente nesta tese.

Davidson (2010) elaborou um extenso documento sobre o recife de Boscombe, no qual é feita uma avaliação do desempenho deste RAM ao nível das condições de surf, num período de 6 meses durante o inverno.

Convém salientar que antes da existência do recife, o potencial para boas condições de surf nesta zona era reduzido (apenas 14% dos dias do ano apresentam tais condições). Outro facto referido no estudo é o défice entre a procura existente pelos surfistas e a existência de boas condições. Apesar de ser reconhecido que a instalação de um recife artificial, nesta zona, aumenta o potencial de surf, este também é limitado devido à baixa frequência de alturas de ondas surfáveis e por estas ocorrerem normalmente quando há situações de vento adversas, algo que o recife não pode melhorar.

Para avaliar o desempenho deste recife foi utilizada a seguinte metodologia:

- Levantamentos dos dados batimétricos;
- Colocação de um sistema de GPS (*Global Positioning System*) num surfista durante uma sessão de surf no recife e na praia da baía de Boscombe;
- Modelação numérica da refracção das ondas;
- Previsões de alturas de maré;
- Observação do número de surfistas nas zonas do recife e da praia na baía de Boscombe.

De acordo com esta metodologia, foi possível estudar o funcionamento do recife em termos de condições de prática de surf.

A primeira ideia a reter desta avaliação é que este recife proporcionou claramente uma nova zona de surf, e que, por vezes, as ondas produzidas são mais desafiadoras e estimulantes para os surfistas, comparando com a zona da praia.

Outro ponto importante na avaliação da qualidade da onda produzida é o seu comprimento. Este foi medido com o auxílio do sistema GPS, que forneceu também dados de direcção e velocidade durante a “surfada”, como se pode ver na figura 3.6. Este estudo permitiu concluir que o comprimento das “esquerdas” cumpre com o projectado (20 metros), uma vez que 81% das “esquerdas” surfadas apresentam um comprimento superior a 20 metros. Já as “direitas” apresentam um comportamento diferente do esperado. Apenas 8% das “direitas” surfadas têm um comprimento igual ou superior ao definido no projecto (65 metros).

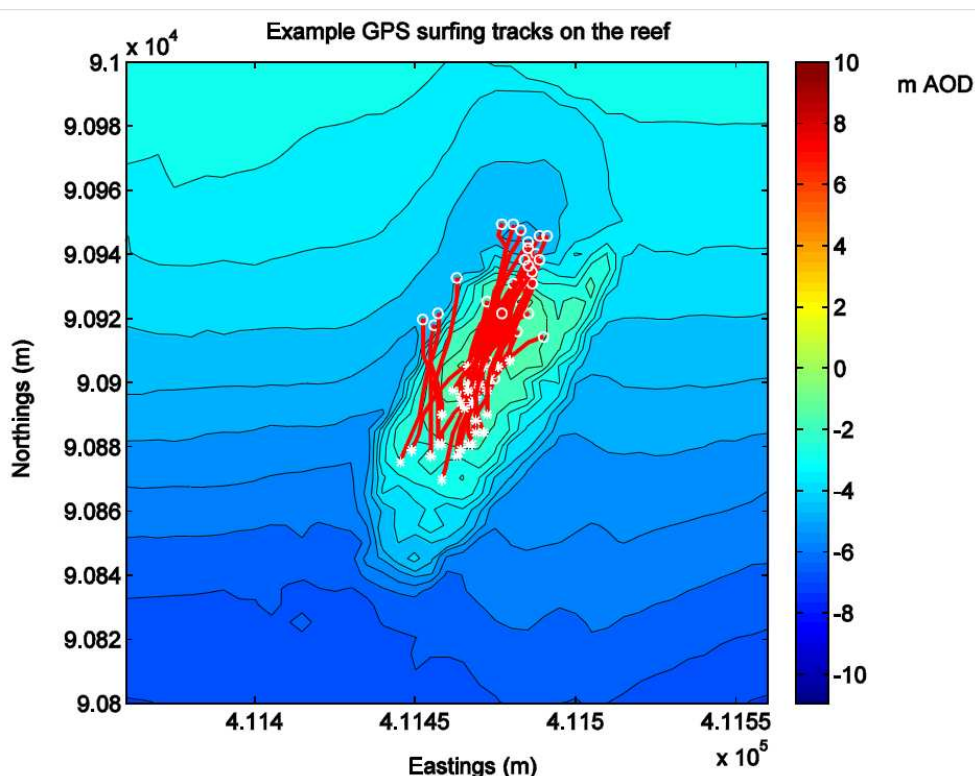


Fig. 3.6 – Exemplo das “surfadas” medidas por GPS sobrepostas na batimetria do recife, as estrelas correspondem ao início de surfada e os círculos ao fim da mesma.

Em termos de forma, a onda é íngreme e do tipo mergulhante, quando as condições de ondulação e maré são favoráveis. Quanto ao ângulo de rebentação, apenas 26% das “direitas” surfadas apresentam valores de acordo com o projecto (ângulos de rebentação entre 55° e 65°), já as “esquerdas” têm um ângulo de rebentação projectado entre 60° e 80° e verificou-se que 58% das ondas surfadas cumprem estes valores. Também em termos de empolamento da altura de onda se verificou que foi cumprido o projectado, uma vez que houve um aumento superior a 20% da dimensão de onda.

Em termos de consistência de ondas criadas, os dias surfáveis no recife são inferiores em comparação com os da praia vizinha, e conseqüentemente, existem menos surfistas a usufruírem do recife quando comparado com a praia.

Foi analisada também a forma do recife, verificando a sua conformidade com o projectado. Assim, o único aspecto díspar entre o projectado e o observado é a altura da crista do recife, sendo que no projecto a cota da crista seria 0 m (Z.H.) e a cota medida foi de 0,7 a 0,8 m (Z.H.).

Este estudo serviu também para propor à empresa construtora, A.S.R., que fizesse algumas alterações no recife, uma vez que este não cumpre totalmente com o projectado. Estas consistem na diminuição da cota da crista do recife, bem como a diminuição da inclinação dos taludes. Os objectivos destas alterações são diminuir a intensidade de rebentação na zona de “largada” e aumentar o comprimento das “direitas”. Desta forma, permitirão o uso do recife por uma maior gama de surfistas, uma vez que serão criadas condições mais acessíveis a surfistas com menos experiência.

Convém salientar o carácter subjectivo desta avaliação, uma vez que a qualidade das ondas é um parâmetro difícil de avaliar objectivamente devido à sua complexa definição. No documento é evidenciado este facto, sendo dito que há espaço para os pontos de vista e observações do avaliador. Outro aspecto importante neste estudo é o período de tempo durante o qual este foi desenvolvido, uma vez que para ser estudado o correcto funcionamento do recife, deveria ser avaliado durante, pelo menos, um ano, para que nele fossem estudadas as várias situações climáticas.

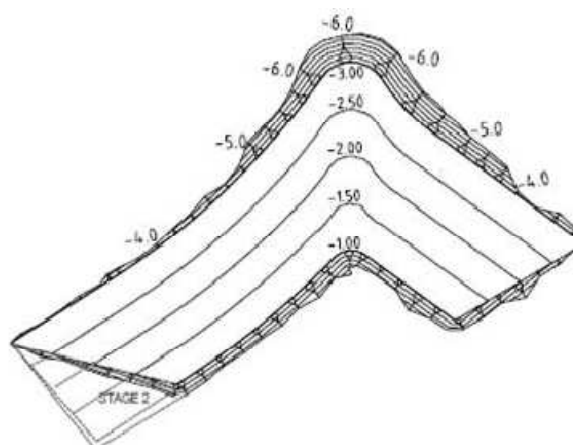


Fig. 3.7 – Recife em Boscombe a ser utilizado pelos surfistas (www.surftoday.com).

3.3.2.3. Recife de Cables

Tabela 3.4 – Recife de Cables.

Localização:	Tipo e data de construção:
Perth, Costa Ocidental da Austrália	Recife em Delta, construído em material granítico em 1999



Características locais:	Dimensões:
-------------------------	------------

-Amplitude máxima de maré = 1,2 m
 -Hs=2 m, T=8,8 s
 -Incidência predominante centrada em 275°, com variação de 10°

-140 m medidos paralelamente à costa
 -70 m segundo a direcção normal
 -Razão de Ls/X = 0,35
 -Inclinação de talude de 1:20
 -Profundidade máxima de coroamento de 1,0 m

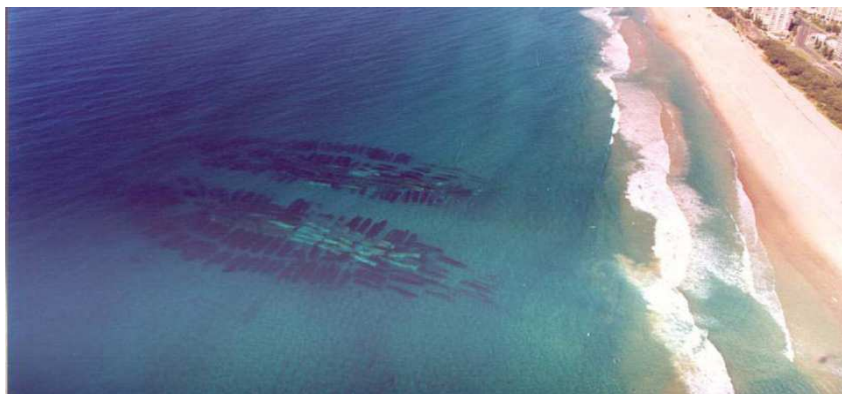
Comentários:

Teve um custo de 1,8 milhões de dólares australianos.
 O recife apresenta um bom comportamento, actuando em ondas de altura de 0,5 m durante marés de nível reduzido.
 Com este recife foi criada uma nova zona de surf.
 Não existem dados relativos ao impacto da estrutura a morfodinâmica da praia adjacente.

3.3.2.4. Recife de Narrowneck

Tabela 3.5 – Recife de Narrowneck.

Localização:	Tipo e data de construção:
Gold Coast, Costa Ocidental da Austrália	Recife com dois corpos, construído em sacos geossintéticos em 2000




Características locais:	Dimensões:
<ul style="list-style-type: none"> -Amplitude máxima de maré = 2,09 m -Hs=1 m, T=11s -Incidência predominante entre 75 a 115° -Transporte anual médio de sedimentos de 500000 m³ 	<ul style="list-style-type: none"> -175 m medidos paralelamente à costa -400 m segundo a direcção normal -Razão de Ls/X =1.16 -Várias inclinações consoante a zona do recife, sendo 1:18 no reef focus, 1:12 na face do recife e 1:8 nas secções rápidas

Comentários:

Teve um custo de 3,24 milhões de dólares australianos;
 A estrutura ficou aquém das especificações do projecto, uma vez que não existiu participação da equipa projectista na fase de construção;
 A principal função deste recife era a protecção costeira, no entanto melhorou as condições locais de surf e potenciou a proliferação da vinha marinha, facto que atrai muitos mergulhadores;
 Após alimentação artificial com 1,3 milhões de m³ de areia na praia adjacente, aquando a construção, esta não tem vindo a sofrer alterações;
 Desde 2001 que se tem vindo a proceder à colocação de um número adicional de sacos, bem como a pequenos reajustes no recife, visando a sua eficiência e manutenção.

3.3.2.5. Recife de Mount

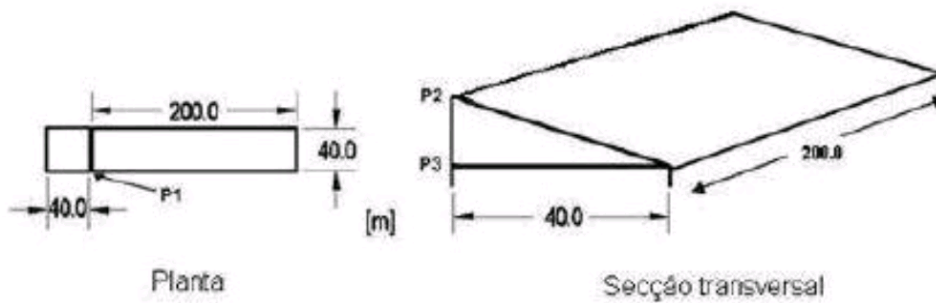
Tabela 3.6 – Recife de Mount.

Localização:	Tipo e data de construção:
Mount Maunganui, Costa Ocidental da Nova Zelândia	Recife em Delta, construído em geocilindros em 2008
	
Características locais:	Dimensões:
<ul style="list-style-type: none"> -Amplitude máxima de maré = 2 m -Hs=1,5 m, T=11 s -Incidência predominante centrada em 50°, com variação de 20° -Transporte anual médio de sedimentos de 100000 m³ 	<ul style="list-style-type: none"> -90 m medidos paralelamente à costa -70 m segundo a direcção normal -Razão de Ls/X = 0,32 -Várias inclinações consoante a zona do recife, sendo entre 1:50 e 1:20 no reef focus e de 1:20 a 1:10 nos taludes
Comentários:	
<p style="text-align: center;">Teve um custo de 645000 €</p> <p style="text-align: center;">A opinião pública refere que o recife não atingiu os objectivos, mas a empresa construtora revela que as expectativas geradas na população eram demasiado elevadas</p> <p style="text-align: center;">Formação variável de saliências</p>	

3.3.2.6. Recife do Estoril

Tabela 3.7 – Recife do Estoril.

Localização:	Tipo de construção:
Cascais, Portugal (em fase de estudo)	Recife rectangular, construído em blocos de enrocamento



Características locais:	Dimensões:
-Amplitude máxima de maré = 4 m -Hs=0 a 2 m, T=5 a 11 s -Incidência predominante entre os 235 e 255°	-200 x 40 m -Inclinação do talude de 1:13

Comentários:

Recife com forma rectangular em planta com uma rampa de inclinação constante. O material escolhido para a sua construção são os elementos pétreos, uma vez que os fundos no Estoril são de rocha.

4

INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS DA MODELAÇÃO NUMÉRICA

4.1. ENQUADRAMENTO

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.

Foram testadas, com e sem recife, várias hipóteses de agitação marítima e obtidos vários resultados. Na tabela 4.1 estão resumidas as condições ensaiadas.

Tabela 4.1 – Condições ensaiadas em modelação numérica.

Tipo de agitação	Altura de onda [m]	Período [seg]	Nível de maré [m] (Z.H.)	Rumo [°]
Regular	1.5	6	0	-45 (N45W)
			2	-22.5 (N67.5W) 0 (W)
	3	12	0	-45 (N45W)
			2	-22.5 (N67.5W) 0 (W)
	Altura de onda significativa [m]	Período de pico [seg]	Nível de maré [m] (Z.H.)	Rumo [°]
Irregular	3	12	2	-22.5 (N67.5W) 0 (W)
	5	15	2	-22.5 (N67.5W) 0 (W)

Os resultados obtidos nestes testes foram os seguintes: altura e frentes de onda, vectores de correntes, vectores de transporte de sedimentos e variação da batimetria.

Os valores dos parâmetros associados a este modelo estão presentes na tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Valores utilizados no modelo numérico.

Parâmetro	Valor associado
Coef. Chezy, C [$m^{1/2}/s$]	10
Viscosidade de vórtice, ϵ_v [m^2/s]	6
D_{50} [mm]	0.45

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

No Anexo I estão presentes as figuras da modelação numérica que motivam maior interesse e que não se incluíram neste capítulo.

4.2. CARACTERÍSTICAS DO RECIFE ENSAIADO

Laranjeira (2010) desenvolveu uma proposta de um RAM para a praia de Espinho. Esse recife estaria situado entre os dois grandes esporões dessa praia, como mostra a figura 4.1.

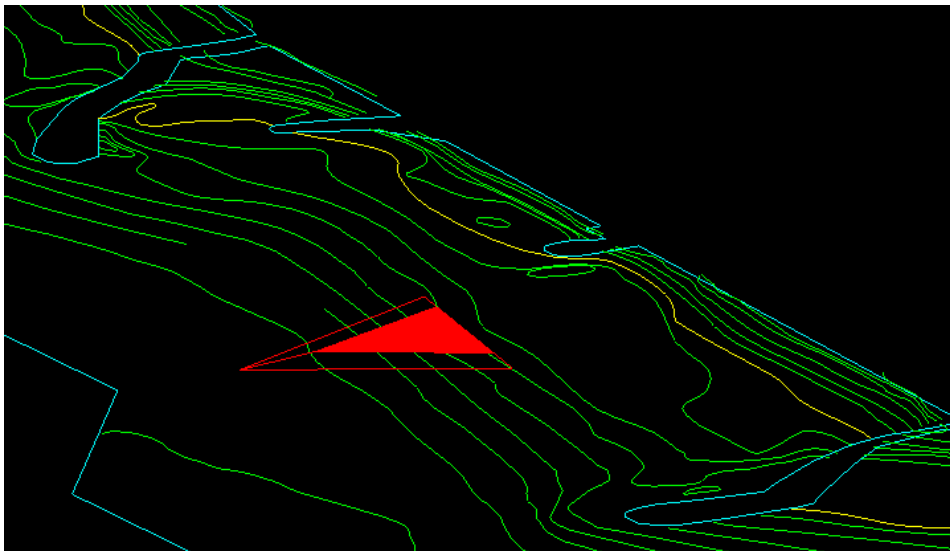


Fig. 4.1 - Vista 3D da configuração aproximada do recife (representação esquemática, com escala vertical distorcida) (Laranjeira, 2010).

As características desse recife encontram-se na tabela 4.3 e a representação em planta encontra-se na figura 4.2.

Tabela 4.3 – 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°

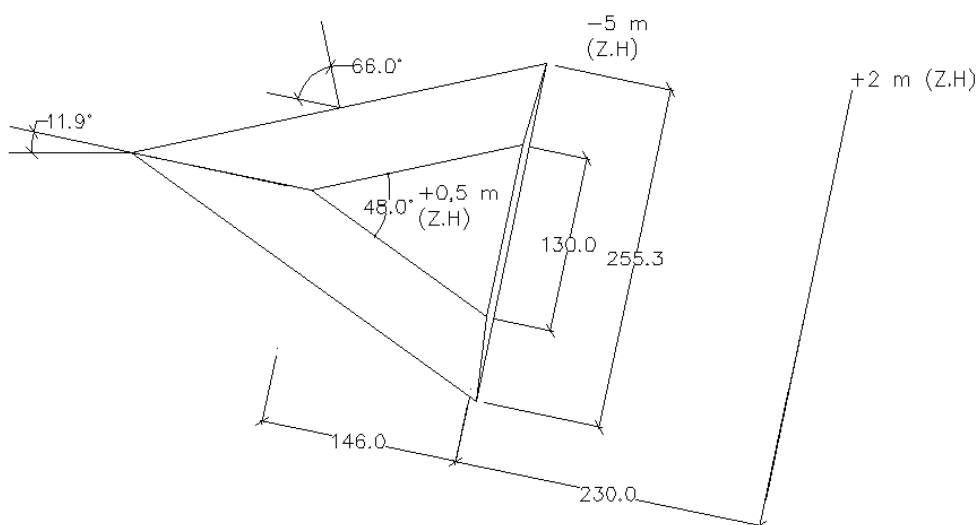


Fig. 4.2 – Representação em planta do recife.

4.3. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.3.1. HIDRODINÂMICA, H=1,5M E T=6 SEG

Como seria de esperar, o recife provoca uma diminuição da intensidade dos vectores velocidade de corrente na zona a sotamar deste.

Para uma cota de maré mais baixa, 0 m (Z.H.), há a formação de vórtices mais pronunciados na zona entre o recife e a linha de costa.

Verifica-se também que ao rodar para Oeste o ângulo do rumo da agitação, diminui a influência do recife nas correntes longitudinais na linha de costa.

Para rumos de Oeste, 0° (W), também é perfeitamente visível a formação de vórtices devido às correntes de retorno.

4.3.2. HIDRODINÂMICA, H=3 M E T=12 SEG

Com alturas de onda de 3 metros e períodos de 12 segundos, os resultados são idênticos aos obtidos para alturas de onda de 1,5 m e períodos de 6 segundos.

Apesar da representação em escalas diferentes na velocidade de corrente, é perceptível pela comparação das figuras 4.3 e 4.4, a diminuição da intensidade de corrente na zona entre o recife e a praia. Na figura 4.4 são também perceptíveis as grandes velocidades geradas sobre o recife devido à rápida diminuição da profundidade e as correntes de retorno criadas em torno deste, formando vórtices junto aos vértices do recife mais perto da costa. Nesta figura é também visível a inversão de corrente (antes de Norte para Sul e depois de Sul para Norte) junto à costa, na zona entre o recife e o esporão sul de Espinho.

Para uma cota de maré mais baixa, 0m (Z.H.), é também notória a influência do recife na variação das correntes locais.

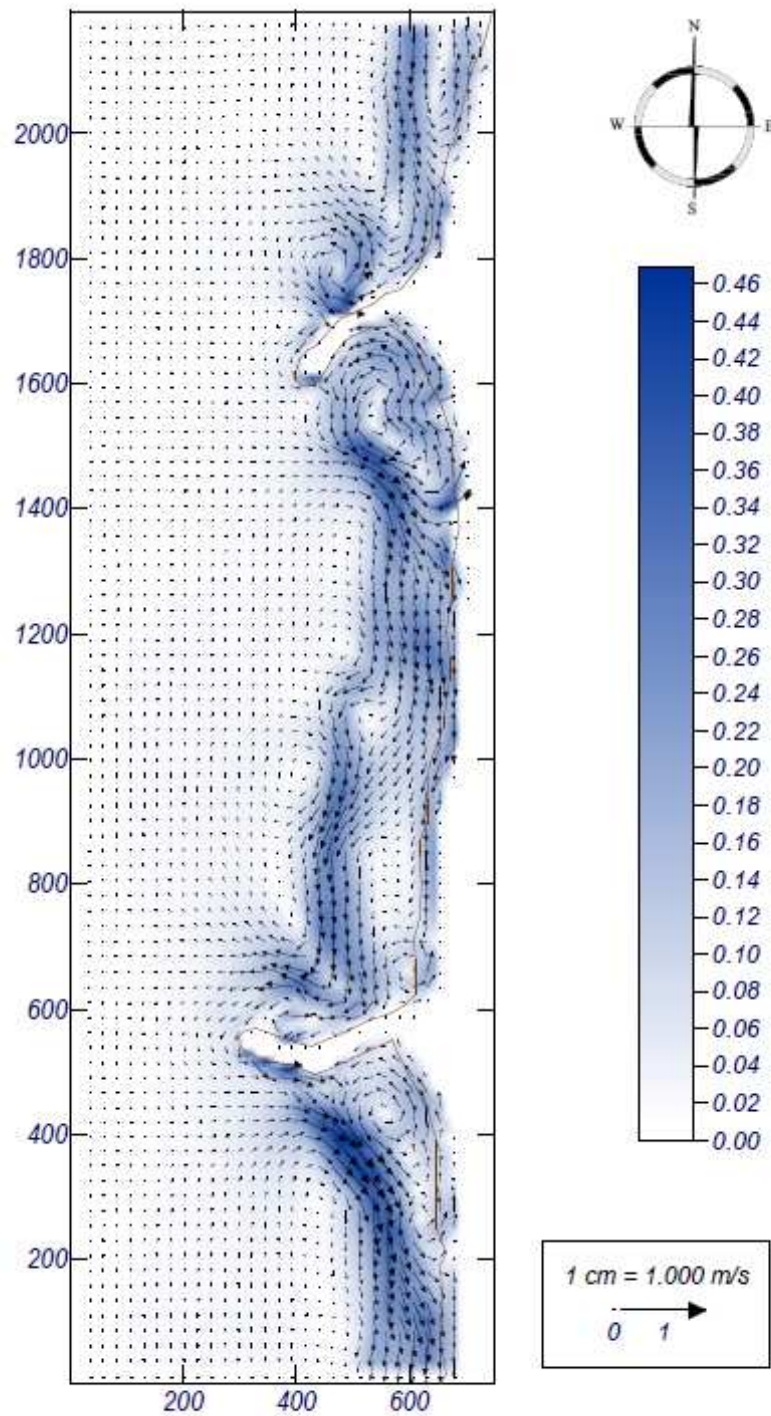


Fig. 4.3 – Vectors velocidade das correntes sem recife (Cota de maré=2m (Z.H.);H=3m;T=12seg;Rumo=-22.5°), (Costa, 2010).

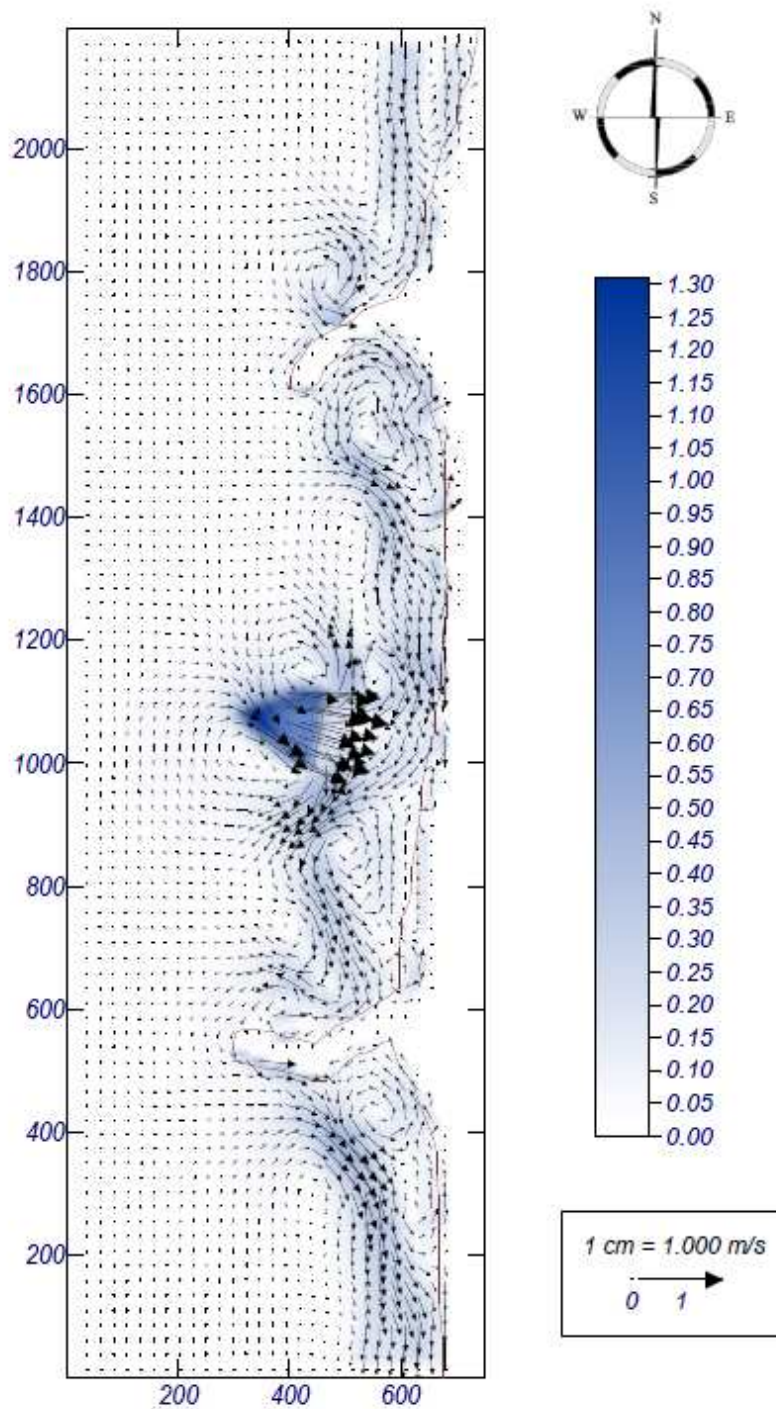


Fig. 4.4 - Vectores velocidade das correntes com recife (Cota de maré=2m (Z.H.);H=3m;T=12seg;Rumo=-22.5°), (Costa, 2010).

4.3.3. HIDROMORFOLOGIA , H=3 M E T=12 SEG

Em termos de hidromorfologia, foram testadas apenas as condições de H=3m e T=12seg. Assim, serão analisados os gráficos de variação da batimetria, zonas de erosão/acreção, comparando os gráficos da modelação numérica para as condições com e sem recife. Estes gráficos também representam a batimetria final esperada.

Para uma cota de maré de 2 m (Z.H.) e rumo de -45° , verifica-se que na periferia do recife prevêm-se grandes erosões devido às elevadas correntes nessa zona.

As zonas de acreção provocadas pelo recife situam-se perto do recife, a Norte e a Sul deste e, com maior importância, as verificadas junto à linha de costa entre o recife e o esporão Sul. É perceptível pela batimetria final, que essa zona de praia possui mais areia e a sua inclinação é menor.

Já para o caso das figuras 4.5 e 4.6, com um rumo de agitação de N67.5W, verifica-se que existe uma zona significativa de erosão a Sul do recife. Quanto às zonas de acreção, situam-se principalmente do lado do tardoz do recife até à praia e a Norte do recife, como se pode observar na figura 4.6.

Em relação à situação de rumo da agitação de Oeste, como seria de esperar, a principal zona de acreção de areias é entre o recife e a praia. Neste caso, as erosões mais significativas são verificadas nas partes laterais do recife.

Para os ensaios realizados com cotas de maré mais baixas, 0m (Z.H.), os resultados foram idênticos, mas com as zonas de erosão/acreção mais distantes da linha de costa.

4.3.4. SÍNTESE DOS RESULTADOS

Os resultados da modelação 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 vectores 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.

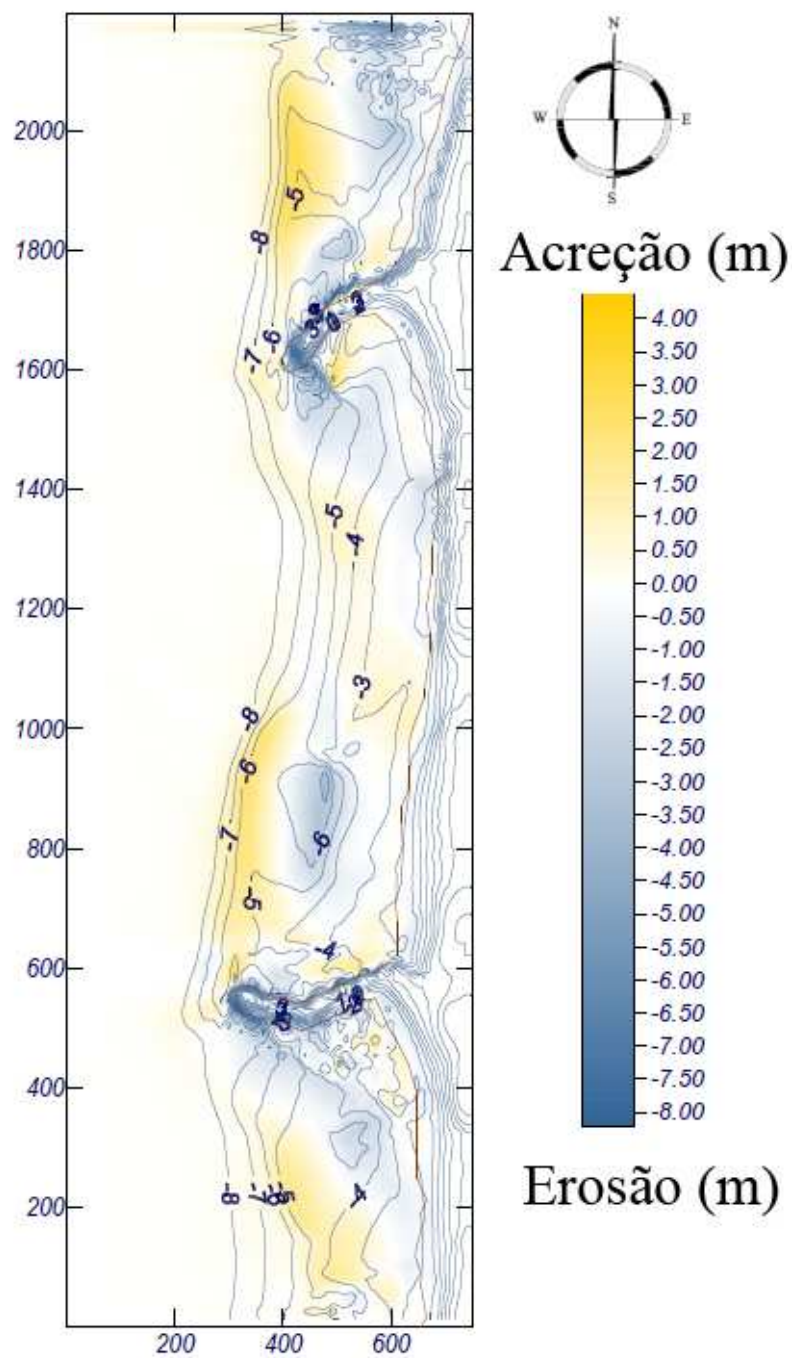


Fig. 4.5 - Topografia final e variação de topografia sem recife (Cota de maré=2m (Z.H.);H=3m;T=12seg;Rumo=-22.5°), (Costa, 2010).

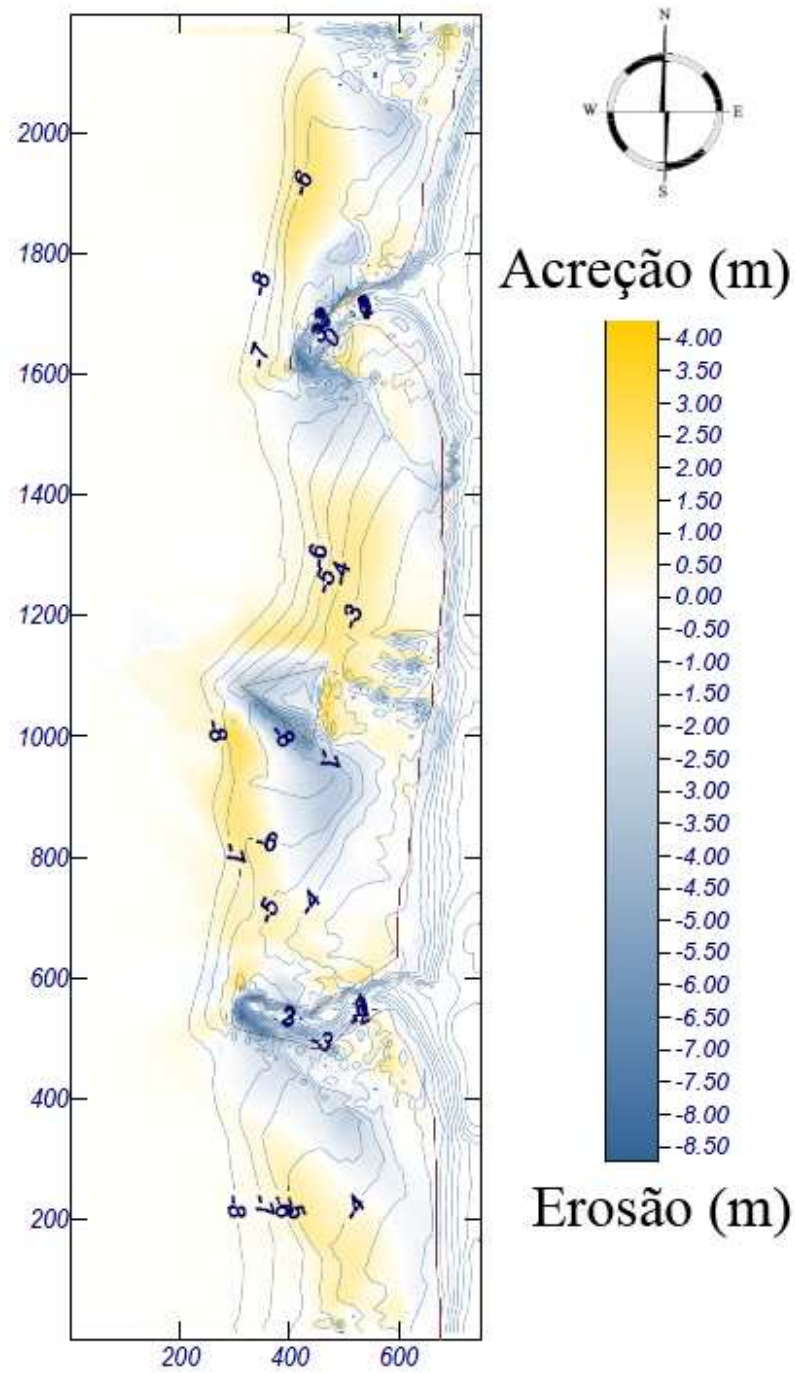


Fig. 4.6 - Topografia final e variação de topografia com recife (Cota de maré=2m (Z.H.);H=3m;T=12seg;Rumo=-22.5°), (Costa, 2010).

5

MODELAÇÃO FÍSICA

5.1. ENQUADRAMENTO

Este capítulo descreve os passos seguidos durante todo o processo de realização da modelação física, desde a análise de proposta do estudo prévio até à interpretação de resultados.

Tem como principais objectivos dar a conhecer o modelo físico ensaiado, bem como as instalações laboratoriais onde estes foram realizados, os resultados obtidos e a análise respectiva. Assim, serão comparados os vários tipos de soluções ensaiadas e diferentes condições de ensaio para a mesma solução.

5.2. ANÁLISE DA PROPOSTA JÁ DESENVOLVIDA A NÍVEL DE ESTUDO PRÉVIO

As características do RAM desenvolvido em estudo prévio estão descritas no ponto 4.2 da presente dissertação, visto que foram estas as condições ensaiadas na modelação numérica.

Esta solução apresenta um ângulo de 66° , o que corresponde ao valor mínimo de ângulos de rebentação para o “regime surfável”. Este valor seria indicado para surfistas aprendizes, ou com pouca experiência.

Como uma das mais-valias dos recifes é a criação de uma zona de surf que permita a realização de competições de surf e bodyboard, o ângulo de rebentação da estrutura deve ser mais reduzido, para proporcionar uma onda de qualidade para uma maior gama de surfistas. No entanto, este aspecto deve ser considerado em fase de projecto, em função da finalidade pretendida para o RAM. Destinar-se maioritariamente para atrair novos praticantes ou para acolher competições dos desportos de ondas, tem um papel preponderante na escolha do ângulo do recife.

Este aspecto será estudado através de ensaio físico e descrita a sua importância na qualidade da onda gerada.

Outra questão a discutir é a cota da crista do recife. Esta foi fixada em +0,5m (Z.H.), uma vez que é a cota ideal para condições de ondas de 1,5 metros de altura e nível de maré +2,0m (Z.H.). Apesar desta idealização, existem outros factores a ter em conta. Para níveis de baixa-mar viva, existe o risco de os geossintéticos ficarem a uma cota superior ao do nível de água, o que pode causar um impacto visual indesejado. Também para níveis de baixa-mar médios, +0,9m (Z.H.), o recife fica à vista na zona de rebentação, devido ao fenómeno do empolamento. Este facto pode pôr em causa a segurança dos surfistas menos experientes, uma vez que não existe um colchão de água que funcione como protecção nas quedas, e o uso do recife não pode ser restringido a um determinado período de tempo. Devido a

estes factos, admite-se que a cota da crista do recife deveria ser mais baixa.

Em termos de inclinação dos taludes onde ocorre a rebentação da onda, admite-se que o proposto em Estudo Prévio é o valor de inclinação adequado para obter a melhor qualidade de onda para variadas condições.

Quanto às características de implantação do RAM, como a sua largura e comprimento, L_s e X_{st} respectivamente, bem como a distância à linha de costa à cota +2 m (Z.H.), X , e a sua orientação, não serão estudadas em modelo físico, uma vez que o modelo será realizado em fundos fixos, logo não serão analisadas as erosões/acreções provocadas pelo recife. Os parâmetros L_s e X_{st} apenas serão analisados como variáveis no comprimento de onda gerado, uma vez que quanto maior for a dimensão do recife, maior será o comprimento de onda.

5.3. MATERIAL USADO PARA A CONSTRUÇÃO DO MODELO

5.3.1. GEOSSINTÉTICOS

O material geossintético mais usado na construção de RAMs são os geotêxteis. Como referido em das Neves (2003), os geossintéticos podem apresentar diferentes características consoante a função a que se destinam. Estas características dependem, quer dos materiais constituintes (polímeros + aditivos) com que são produzidos, quer da estrutura dos geossintéticos resultante do processo de fabrico.

Os geossintéticos podem ser fabricados a partir de diversos tipos de polímeros: Poliésteres (PET), Polipropileno (PP), Polietileno (PE), Poliamidas (PA) e Polivinílico de Cloro (PVC). Estes componentes proporcionam diferentes propriedades físicas e mecânicas ao geossintético resultante.

Também o processo de fabrico influencia essas propriedades. Deste modo, os geotêxteis podem ser tecidos ou não tecidos. Os tecidos são compostos por dois conjuntos, normalmente perpendiculares, de componentes entrelaçados, formando uma estrutura planar. Já os não tecidos são fabricados dispondo os componentes aleatoriamente numa trama solta.

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.

Apesar destas vantagens, existem alguns inconvenientes que se colocam à utilização destes geocilindros. A sua estabilidade em ambientes mais severos de agitação é um desses inconvenientes: quanto maior é a dimensão (diâmetro e comprimento) do saco, mais estável é esse elemento, mas por outro lado, também é mais difícil o seu enchimento e colocação em obra.

Outro aspecto essencial é o acompanhamento de forma rigorosa pela equipa projectista no processo de colocação destes geocilindros. Existem alguns exemplos de recifes artificiais que não cumpriram o seu objectivo alegadamente devido a erros a este nível.

É de salientar que estes geocilindros devem ser cheios com areia, uma vez que em caso de rotura não

existe qualquer impacte na praia.

5.3.2. DIMENSÕES DOS GEOCILINDROS

Antes do início do trabalho experimental já existiam geocilindros geossintéticos no LH, utilizados em estudos anteriores. Existiam 8 geocilindros, todos com o mesmo comprimento, 2,10 metros. Dois desses geocilindros tinham diâmetro de 30 centímetros e os restantes 6, 15 centímetros. Sendo estes os diâmetros, e sabendo que não são completamente cheios para se obter um melhor desempenho, as dimensões reais dos geossintéticos no modelo estão apresentadas na figura 5.1.

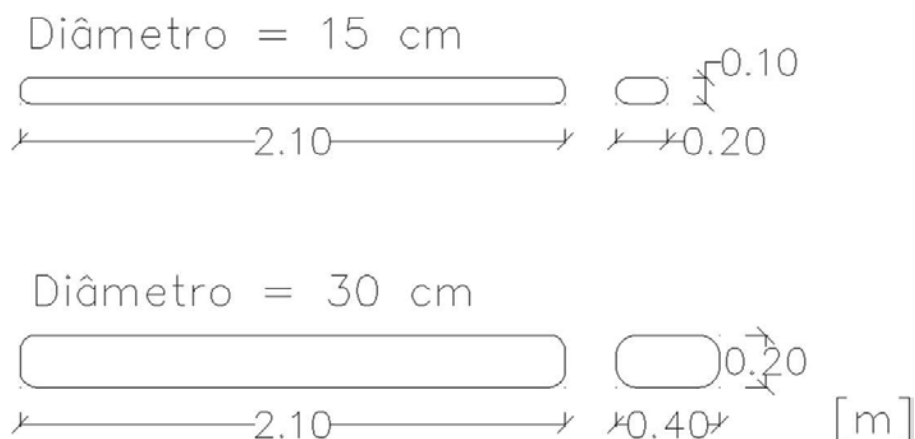


Fig. 5.1 – Dimensões dos geocilindros usados.

Como já estavam disponíveis estes geocilindros, optou-se por começar a projectar o modelo tendo estes como base. Como foi possível obter as várias configurações apenas com estes dois tipos de geocilindros, não foi preciso recorrer a geocilindros de outras dimensões, mas apenas solicitar à empresa GEOSIN mais geocilindros com estes tamanhos. No total foram usados 20 Geotube® de 15 cm de diâmetro e 4 de 30 cm. A designação Geotube® é uma marca registada pela Tencate. A dimensão destes sacos em protótipo é de 1.5 m³.

É de notar que para dar a forma pretendida ao modelo, foram utilizados pequenos sacos, também já existentes no laboratório, no núcleo do recife. Estes sacos têm dimensões em planta de 13x26 cm e altura de aproximadamente 4 cm, como se pode ver na figura 5.2.

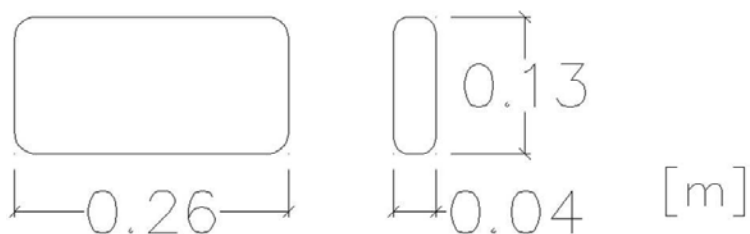


Fig. 5.2 – Dimensões dos sacos pequenos.

5.3.3. ENCHIMENTO DOS GEOCILINDROS

Foi necessário encher e coser 2 Geotube® de 30 centímetros de diâmetro e 14 com diâmetro de 15 centímetros.

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. Estes pormenores podem ser vistos na figura 5.3.



Fig. 5.3 – Aspectos do enchimento e costura dos Geotube® (das Neves, 2010).

5.4. ESCALA

5.4.1. CONCEITO DE SEMELHANÇA

Na realização de uma experiência laboratorial, é importante garantir que os processos mais relevantes para o estudo se desenvolvam no modelo de modo idêntico ao que aconteceria na realidade. Para garantir que o comportamento do modelo seja exactamente igual ao do protótipo equivalente, seria necessário alcançar uma semelhança completa entre ambos, objectivo que é comprovadamente impossível de conseguir, pelo que se deve procurar definir quais as acções com maior influência no estudo, garantindo que estas são correctamente reproduzidas. Assim é necessário garantir a semelhança no conjunto de variáveis que mais influenciam o processo de estudo.

De acordo com Taveira Pinto (2008), existem três tipos de semelhança, descritas na tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Tipos de semelhança.

Tipo de semelhança	Significado
Geométrica	Existe semelhança geométrica se a relação entre as duas dimensões quaisquer for constante
Cinemática	Existe semelhança cinemática se a relação entre as componentes vectoriais de todos os movimentos de ambos os sistemas for constante
Dinâmica	Existe semelhança dinâmica se a relação entre todas as componentes vectoriais de todas as forças de ambos os sistemas for constante

Ao, conscientemente, ignorar alguns aspectos do estudo quando se estabelecem as relações de semelhança, registam-se diferenças entre o comportamento do modelo e do protótipo, as quais são designadas por efeitos de escala.

Tabela 5.2 – Critérios de semelhança.

Critério	Acções dominantes	Formulação
Froude	Forças gravíticas	$F_R = \frac{U^2}{L \cdot g}$
Reynolds	Forças viscosas	$Re = \frac{\rho \cdot L \cdot U}{\mu}$
Weber	Forças de tensão superficial	$We = \frac{\rho \cdot L \cdot U^2}{\sigma}$
Cauchy-Mach	Forças de compressibilidade	$Ca = \frac{\rho \cdot U^2}{E}$
Euler	Forças de pressão	$Eu = \frac{\Delta p}{\rho \cdot U^2}$
Strouhal	Forças oscilatórias	$St = \frac{\omega \cdot L}{U}$

Para diferentes tipos de situações, existem vários critérios ou leis de semelhança que se adaptam a essas mesmas acções, desenvolvidos ao longo dos anos por vários autores. Algumas das semelhanças mais usadas encontram-se na tabela 5.2.

Sendo o modelo não distorcido e o principal objectivo ser avaliar a qualidade das ondas e não a interacção onda/estrutura, a relação mais apropriada, de forma a manter as mesmas características no modelo e no protótipo, é a semelhança de Froude. Assim, assumem-se como efeitos de escala os associados à viscosidade, à tensão superficial e à compressibilidade na zona de rebentação.

5.4.2. DEFINIÇÃO DA ESCALA

Como ponto de partida, seria necessário definir uma escala geométrica para o modelo em estudo. Uma vez que, o objectivo desta modelação física não é reproduzir a proposta apresentada no estudo prévio, mas sim testar várias configurações de recifes, não se realizou um modelo à escala comparando com o protótipo do estudo prévio.

Sabendo que, para analisar a qualidade de ondas, o modelo e a sua escala deveriam ser o maior possível, tentou-se maximizar a dimensão do modelo paralela à praia, L_s , sem pôr em causa a correcta reprodução das ondas. Assim, para que o modelo não fosse muito afectado pelos efeitos de parede no tanque de ondas, o objectivo de implantação consistia em colocar o modelo no centro do tanque, de modo a que a dimensão L_s do recife não fosse muito maior do que 1/3 da largura do tanque (10,5 metros). Deste modo, L_s deveria ser próximo de 3,5 metros.

Tendo como base o recife de Mount, cuja dimensão L_s é de 90 metros, optou-se por utilizar uma escala geométrica de 1/30.

Neste estudo, as únicas escalas necessárias para a realização do modelo são a escala geométrica, já definida, e a escala de tempo, que, de acordo com a semelhança de Froude é definida pela equação 5.1.

$$\lambda_T = \frac{1}{\sqrt{\lambda_L}} \quad (5.1)$$

Deste modo, as escalas utilizadas neste modelo estão representadas na tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Escalas do modelo.

Escala	Valor
λ_L	1/30
λ_T	1/ $\sqrt{30}$

Embora o recife tenha sido reproduzido à escala, é de salientar que os Geotube® como elementos estruturais individualizados não se encontram à escala. Como o objectivo do estudo é analisar a qualidade da onda, funcionando o recife como um todo, e não a estabilidade dos geocilindros individualmente, estes não necessitam de estar exactamente à escala geométrica definida para o recife.

5.5. EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS À REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

5.5.1. ENQUADRAMENTO

Neste subcapítulo serão descritos todos os equipamentos utilizados durante a fase de ensaios para a correcta realização dos mesmos. Sempre que possível essa descrição será acompanhada de imagens para a sua melhor percepção. Sendo que um dos principais objectivos deste trabalho consiste na ambientação aos trabalhos laboratoriais, esta descrição será a mais completa possível.

5.5.2. TANQUE DE ONDAS

O tanque de ondas é o elemento principal para a realização dos ensaios e está esquematicamente representado na figura 5.4.

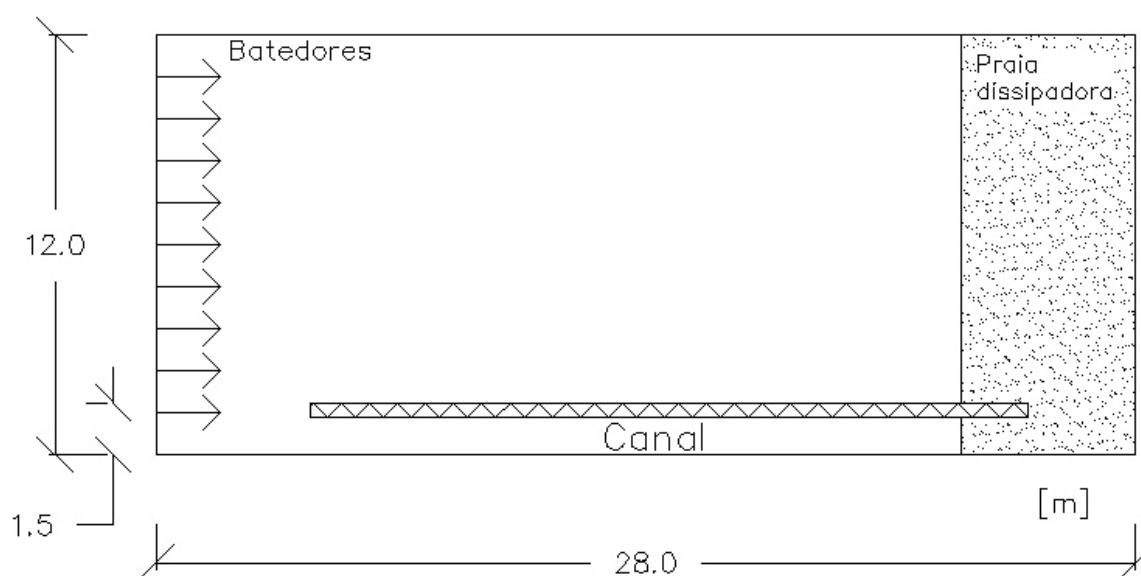


Fig. 5.4 – Representação esquemática do tanque de ondas.

Como se pode verificar na figura 5.4, o tanque tem dimensões em planta de 28 metros de comprimento por 12 metros de largura, sendo que a largura disponível para os ensaios realizados é de 10,5 metros, uma vez que existe um canal numa das paredes laterais do tanque para realização de ensaios a duas dimensões. A altura do tanque é de 1,2 metros.

O tanque tem como principais elementos: os bateres, que serão posteriormente descritos; 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.



Fig. 5.5 – Tanque de ondas.

5.5.3. SISTEMA DE GERAÇÃO DE ONDAS

O sistema de geração de ondas é constituído por 16 batedores do tipo pistão, de 0,75 m de largura cada, accionados por servo-motores eléctricos. As pás batedoras são revestidas a fibra de vidro, com movimento independente entre si, o que permite uma elevada flexibilidade no seu funcionamento: geração de ondas com apenas uma direcção ou com várias direcções, funcionamento em serpente, ou de apenas determinados batedores. O sistema pode funcionar em profundidades até cerca de 1 m e gerar ondas com frequências e alturas variáveis em função da profundidade da água, da capacidade de geração dos batedores e do limite físico de rebentação.

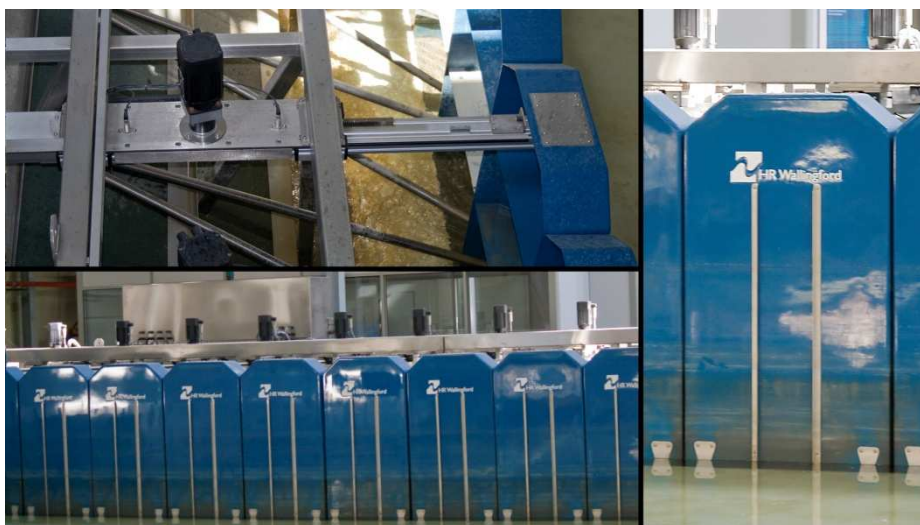


Fig. 5.6 – Sistema de geração de ondas.

Outra das funcionalidades deste sistema é compensar os efeitos de reflexão através do movimento das pás. Para estados de agitação menos energéticos a praia dissipadora contribui para atenuar esses efeitos e assim não é necessário recorrer a essa opção.

Todo este sistema é controlado pelo software *HR WaveMaker*, sendo a sua utilização bastante simples. Existe a possibilidade de geração de vários climas de agitação desde regular e irregular, à alteração na orientação das ondas criadas ou à criação de ondas bidireccionais.

No entanto, no estudo realizado apenas foi explorada a opção referente à definição de um estado regular de agitação, onde os inputs necessários eram apenas referentes à profundidade de água, à altura de onda e frequência. Esta informação seria posteriormente assimilada e transmitida aos batedores, criando o plano de agitação pretendida.

5.5.4. SALA DE CONTROLO

A sala de controlo é um compartimento onde se encontram os computadores, nos quais estão instalados os softwares necessários à realização da experiência, bem como o sistema de calibração de sondas. Neste estudo foram utilizados dois computadores. O primeiro está ligado ao sistema de geração de ondas, através do software *HR WaveMaker*, enquanto o segundo é o que estabelece a ligação com as sondas, através do software *WR WaveData*.



Fig. 5.7 – Sala de controlo e respectivos computadores.

Esta sala é o local onde se iniciam os ensaios. O procedimento consiste em ligar o sistema de geração de ondas ao mesmo tempo que se inicia a recolha de dados das sondas; assim, os dados recolhidos incluem a fase inicial de crescimento da altura de onda.

5.5.5. DISPOSITIVOS DE CONTROLO DA ENTRADA E SAÍDA DE ÁGUA NO TANQUE

Um dos aspectos a ser testado neste estudo experimental é a influência da variação do nível de maré no funcionamento do recife. Com este objectivo era necessário alterar várias vezes o nível de água no tanque. Isto foi possível devido à existência de válvulas de entrada e saída de água para encher ou esvaziar o tanque.

Para controlar o nível de água no tanque foi usada uma régua localizada no vidro lateral do tanque, em que o zero da régua corresponde à base do tanque.

5.5.6. MEDIDORES DE ALTURA DE ONDA

Para medir a altura de onda são usadas sondas de nível hidrodinâmicas. Neste estudo foram utilizadas sondas de 300 milímetros, uma vez que, para as alturas de ondas ensaiadas, não é necessário recorrer a sondas maiores.



Fig. 5.8 – Sondas utilizadas no estudo experimental.

Neste trabalho, os dados recolhidos pelas sondas tiveram várias funções:

- Aferir se a agitação produzida pelos batedores é igual à pretendida;
- Analisar o empolamento na zona do recife, uma vez que foram colocadas sondas sobre este;
- Analisar a influência do recife na agitação, dado que em todos os ensaios existia uma sonda no lado do tardez do recife.

A comunicação das sondas com o sistema de aquisição de dados ocorre através de um módulo de monitorização e do software já mencionado, o *HR Wave Data*. É no módulo de monitorização que é feita a medição instantânea do nível de água. O seu funcionamento consiste na medição de corrente que atravessa um par de fios em aço inoxidável, os quais compõem as sondas. Estes funcionam como um condensador e a sua diferença de potencial é proporcional à profundidade de imersão. A medição desta diferença de potencial é variável de -10V a +10V, sendo posteriormente convertida numa medição instantânea de imersão, ou seja, em elevação da superfície livre.

Para além do processamento de dados, o software possui uma rotina para calibração das sondas, que consiste na obtenção de uma recta por ajuste linear e que relaciona os valores da profundidade de

imersão das sondas com as medições das respectivas voltagens.

O acto de calibrar as sondas é um processo moroso, pois para obter uma boa calibração (coeficiente de correlação superior a 0,999) é necessário inserir os valores de nível de água apenas quando não existe qualquer variação deste no interior do tanque. Como para mudar o ponto de calibração da sonda o operador tem que entrar no tanque de ondas, é necessário esperar entre 20 a 30 minutos antes de inserir esse valor de nível de água. Como são necessários três pontos de calibração, todo o processo de calibração demora entre uma hora e hora e meia. Deste modo, e por falta de tempo, optou-se por realizar apenas uma calibração por dia, mesmo sabendo que se devia realizar uma calibração para cada nível de água. No entanto, admite-se que o erro daí resultante não é significativo.

É de salientar que neste estudo foram sempre obtidas calibrações com coeficiente de correlação superiores a 0,999.

5.5.7. EQUIPAMENTOS PARA OBTENÇÃO DE IMAGENS

Parte essencial deste trabalho é a recolha de fotografias e vídeos para posterior análise. Esta recolha foi efectuada através de três equipamentos: uma máquina fotográfica e duas máquinas de filmar, sendo que uma delas possui caixa estanque, facilitando a recolha de vídeo e fotografia no interior do tanque, ao nível da água. As imagens captadas no interior do tanque de ondas foram realizadas depois de terminada a recolha de dados por parte das sondas, para que esses resultados não fossem influenciados pela presença do investigador no interior do tanque.

Estes dispositivos estão representados nas três próximas figuras.



Fig. 5.9 – Máquina Canon EOS 400D, Lente: EF-S 18-55mm f/3.5-5.6.



Fig. 5.10 – Máquina Sony DSC-HX5.



Fig. 5.11 – Máquina GoPro HD Hero.

A máquina de filmar representada na figura 5.11 foi utilizada no interior do tanque, captando vídeo e fotografias de vários ângulos. Já a máquina Sony foi utilizada apenas para filmar, tendo sido colocada num tripé fixo na praia dissipadora. A máquina Canon foi utilizada para tirar fotografias do exterior do tanque. Esta máquina também tinha um tripé fixo, mas por vezes eram tiradas fotos de outros ângulos.

O procedimento seguido durante os ensaios foi o seguinte:

- Captação de vídeo, com duração entre 1 e 2 minutos, através da máquina Sony (posicionamento do investigador na figura 5.12);
- Aquisição de fotografias com a máquina Canon;
- Nos ensaios em que existiam aspectos relevantes na qualidade da onda, e depois de terminada a aquisição de dados pelas sondas (3 minutos), o operador entrava no tanque e captava vídeo e fotografias com a máquina GoPro Hero.

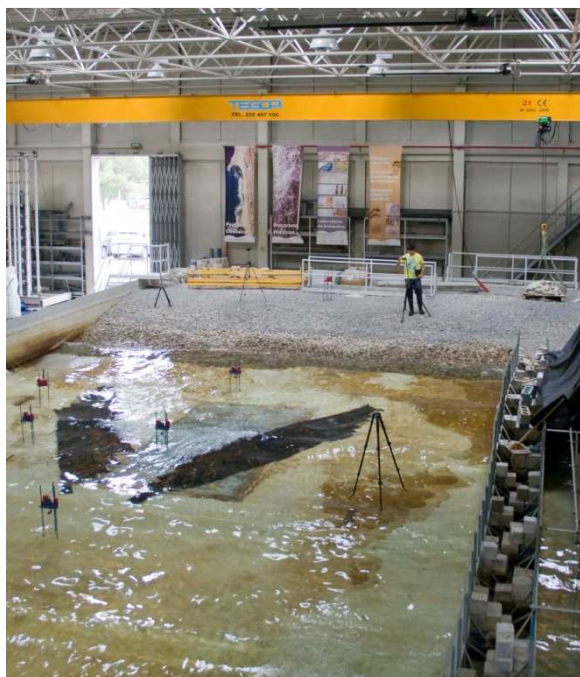


Fig. 5.12 – Disposição física do investigador para a captação de vídeo com a máquina Sony.

5.6. PROPOSTAS DE SIMULAÇÃO

5.6.1. ENQUADRAMENTO

Devido aos aspectos mencionados no ponto 5.2, decidiu-se testar 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, que serão apresentadas nos seguintes pontos.

5.6.2. PERFIL TRANSVERSAL

Como o perfil transversal dos taludes é igual em todas as soluções ensaiadas, apresenta-se primeiro este perfil, o qual está representado na figura 5.13.

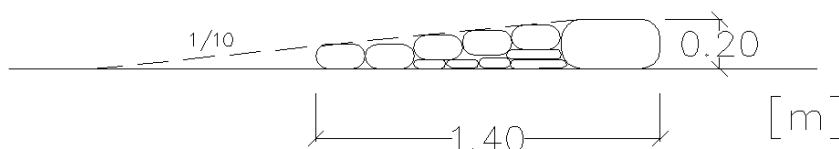


Fig. 5.13 – Perfil transversal dos taludes de todas as soluções de recifes ensaiados.

Através do uso de tubos geossintéticos, não é possível definir um talude perfeito com uma única inclinação. Esta inconformidade seria minorada se os tubos fossem colocados perpendicularmente à

crista da onda, mas devido ao método de montagem do modelo e à escala usada tal foi impossível. Assim, como se pode ver na figura 5.13, a secção transversal não apresenta uma inclinação constante, como a recta a traço interrompido representa, mas sim uma inclinação irregular conseguida com os tubos geossintéticos.

Como já foi dito anteriormente, a cota da crista do recife ensaiada neste estudo é de 0,0 m (Z.H.). Como a escala utilizada é de 1/30 e a altura dos Geotube® é de 20 centímetros, a cota da base do tanque corresponde a - 6,0 m (Z.H.). Esta cota é bastante realista, uma vez que comparando com a proposta de estudo prévio, a zona de implantação do recife tem cotas que variam entre -3 m e -7 m (Z.H.).

5.6.3. SÉRIE I – DELTA PREENCHIDO, $\alpha=66^\circ$

Esta série corresponde ao conjunto de ensaios que mais se assemelha à proposta do estudo prévio. Será através desta série que serão comparados os resultados com a modelação numérica.

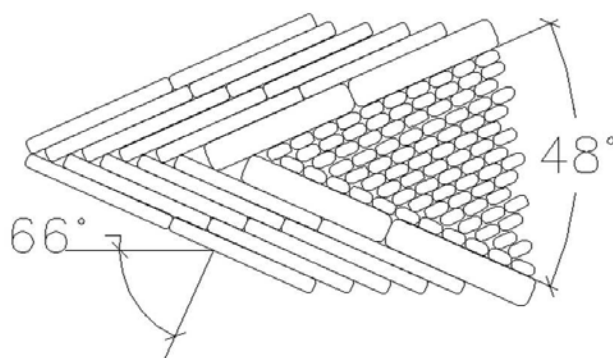


Fig. 5.14 – Esquema do recife em delta preenchido com $\alpha=66^\circ$.

5.6.4. SÉRIE II – DELTA, $\alpha=45^\circ$

Com esta série pretende-se analisar a influência do ângulo do recife, e conseqüente o ângulo de rebentação, na qualidade de onda. Neste modelo, os taludes apenas têm a dimensão longitudinal de um Geotube®, uma vez que para o ângulo de rebentação de 45° não foi possível realizar o talude com duas fiadas de geocilindros, como na série I, devido à limitação de largura do tanque de ondas.

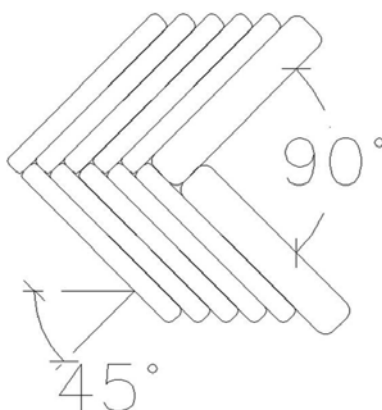


Fig. 5.15 - Esquema do recife em delta com $\alpha=45^\circ$.

5.6.5. SÉRIE III – DELTA PREENCHIDO, $\alpha=45^\circ$

Com esta proposta pretende-se estudar a influência da plataforma situada no lado tardez do recife. Comparando esta série com a série II a única diferença é essa plataforma e assim é possível estudar a sua influência nos resultados obtidos.

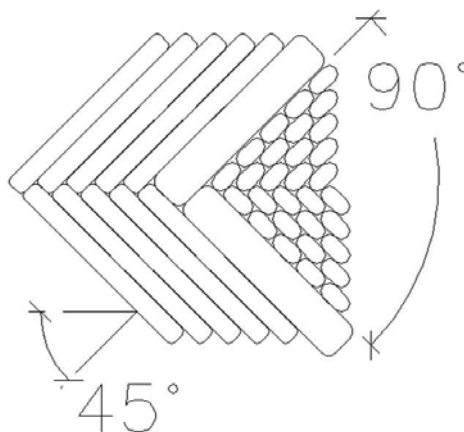


Fig. 5.16 - Esquema do recife em delta preenchido com $\alpha=45^\circ$.

5.6.6. SÉRIE IV – DELTA COM DOIS CORPOS, $\alpha=66^\circ$

A série IV corresponde ao recife tipo Narrowneck. Será estudada a influência do canal no centro do recife, e como este afecta a qualidade de onda e a agitação na zona entre o recife e a praia.

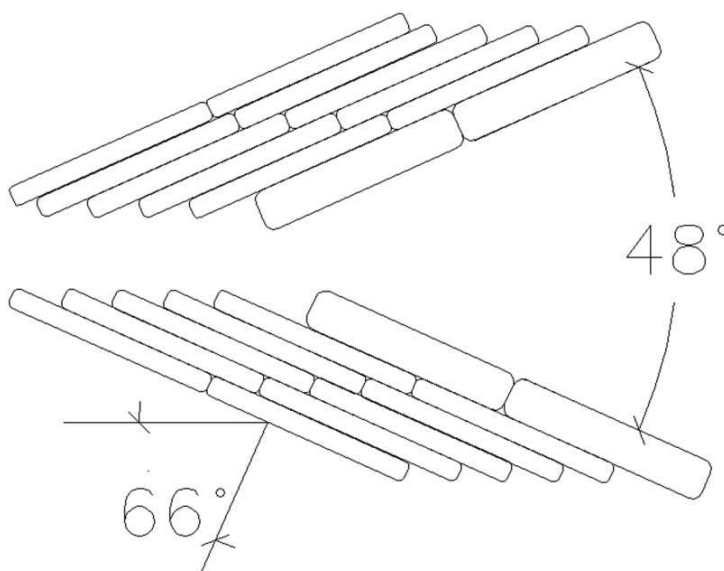


Fig. 5.17 - Esquema do recife em delta com dois corpos com $\alpha=66^\circ$.

5.7. CONDIÇÕES DE ENSAIO

Como já foi referido, todos os ensaios foram realizados em fundos fixos, não sendo possível estudar a influência do recife na evolução da linha de costa e vice-versa. Assim, os principais objectivos do estudo são analisar a qualidade de onda e a influência na agitação dos vários tipos de recifes, para um variado leque de condições.

Como os principais recifes foram construídos em locais onde a amplitude de maré é reduzida, e na costa portuguesa a amplitude máxima é de cerca de 4 metros, 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 na tabela 5.4.

Tabela 5.4 – 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 na tabela 5.5.

Tabela 5.5 – 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 2.6 e 3.2 metros (Z.H.) foram ensaiadas alturas de onda de 4 metros com períodos de 13 segundos, que equivale a valores de modelo de altura de onda, período e frequência de 0.133 m, 2.373 segundos 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 segundos, para alturas de onda de 1.5 e 3 metros, representadas na tabela 5.6.

Tabela 5.6 – 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 (seg)	Período no modelo, Tm (seg)	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.

Encontram-se em anexo as características de todos os ensaios realizados, bem como as condições reproduzidas.

5.8. ENSAIOS LABORATORIAIS NO TANQUE DE ONDAS

5.8.1. ENQUADRAMENTO

Neste estudo foram realizados um total de 98 ensaios durante um período de 3 semanas. Destes, apenas serão analisados os ensaios desde o teste 32 ao 89. Os testes iniciais (1-31) foram realizados antes de todos os Geotubos® estarem disponíveis e assim serviram apenas para testar os equipamentos do LH, verificar qual o melhor posicionamento para obtenção de registos de vídeo e fotográficos, bem como para o operador se enquadrar nas actividades experimentais e corrigir alguns erros operacionais.

Serão seguidamente descritos os testes realizados.

5.8.2. TESTES 1 A 31 - ENSAIOS INICIAIS

Como já foi referido, estes testes iniciais não tiveram a função de recolha de dados, mas sim de enquadramento nas actividades experimentais. Foram realizadas diferentes configurações, mas nunca com o material total necessário.

Assim, uma das configurações ensaiadas nestes testes foi apenas metade de um recife em delta, ou seja, foi ensaiado um talude em que as ondas geradas eram esquerdas. Na figura 5.18 está representado o recife ensaiado entre os testes 9 e 20.

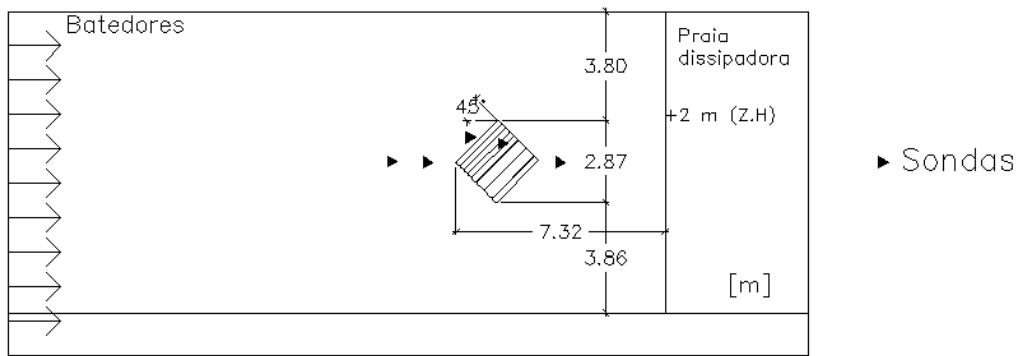


Fig. 5.18 – Planta esquemática do recife nos testes iniciais.

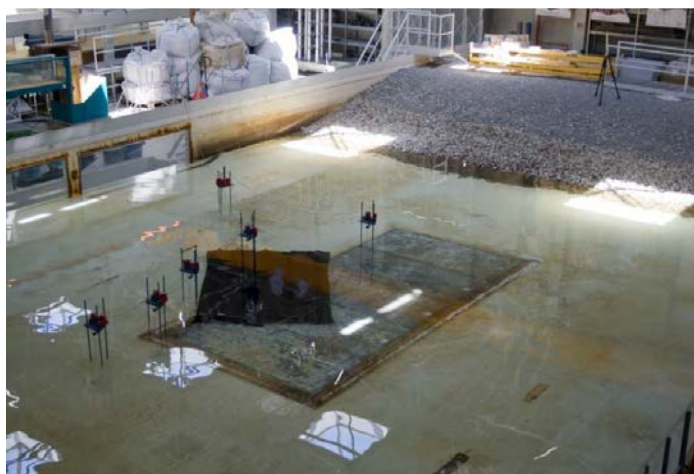


Fig. 5.19 – Vista superior do recife nos testes iniciais.

Mesmo com falta de material, conseguiram-se obter, em alguns testes, ondas de qualidade, como mostra a figura 5.20.



Fig. 5.20 – Onda obtida nos testes iniciais.

5.8.3. TESTES 32 A 43 - SÉRIE II

Os primeiros ensaios realizados com significado foram os da série II.

De modo a otimizar o processo de ensaio, preferiu-se iniciar a experiência laboratorial com o recife mais simples, que necessita de menos material para ser construído. Assim, após se encher e coser 2 Geotubos® de $\phi 30\text{cm}$ e 10 de $\phi 15\text{cm}$, procedeu-se à construção deste modelo. Com isto, conseguiu-se poupar tempo, uma vez que, quando se realizava o enchimento do tanque com água e se calibravam as sondas, preparavam-se os restantes Geotubos® para as outras séries de ensaios.

Foram colocadas 5 sondas para analisar a agitação no modelo. Estas, bem como a zona de implantação do recife, estão representadas na figura 5.21.

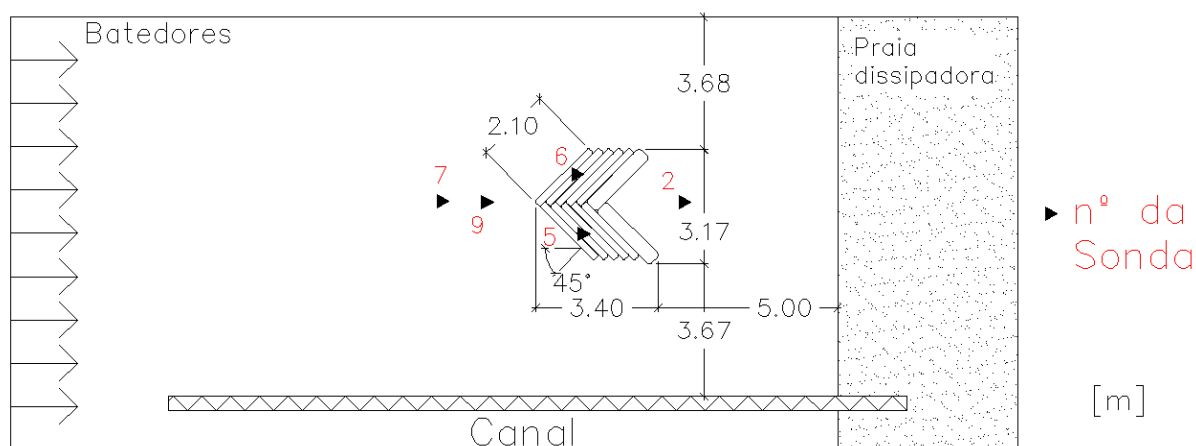


Fig. 5.21 – Planta esquemática do tanque com o modelo da série II.

As duas primeiras sondas, 7 e 9, estão localizadas entre os baterdores e o recife para medir a agitação antes da influência do recife. Isto permite saber se as condições pretendidas e pedidas aos elementos geradores correspondem ao que é efectivamente medido nas sondas.

Já as sondas 5 e 6 estão colocadas sobre o recife. Deste modo, é possível analisar a diferença na agitação provocada pelo recife, como por exemplo o empolamento provocado por este.

A sonda 2 está localizada no lado do tardo do recife, para medir a agitação depois da acção deste.

Todo este procedimento permite analisar a agitação antes, durante e depois da acção do recife.

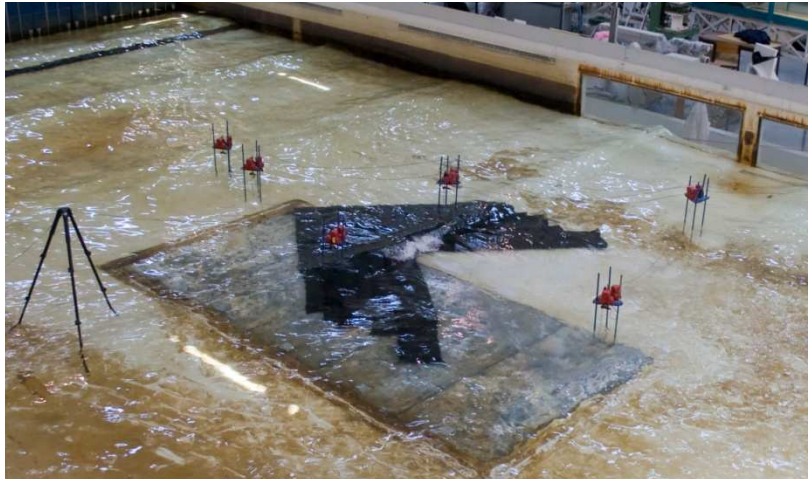


Fig. 5.22 – Vista do modelo da série II em fase de testes.

Sendo o modelo realizado em fundos fixos, a distância do recife à praia é pouco relevante nos resultados. Já em relação à largura do tanque, pretendeu-se colocar o modelo o mais centrado possível, diminuindo as assimetrias e efeitos de parede nos ensaios.

5.8.4. TESTES 44 A 55 - SÉRIE III

De seguida, foram realizados os ensaios da série III, do teste 44 ao 55.

Como a diferença do modelo entre as séries II e III reside apenas na plataforma realizada com os pequenos sacos já existentes no laboratório, decidiu-se executar estes ensaios posteriormente à série II, uma vez que para montar este modelo apenas foi necessário colocar os pequenos sacos geossintéticos.

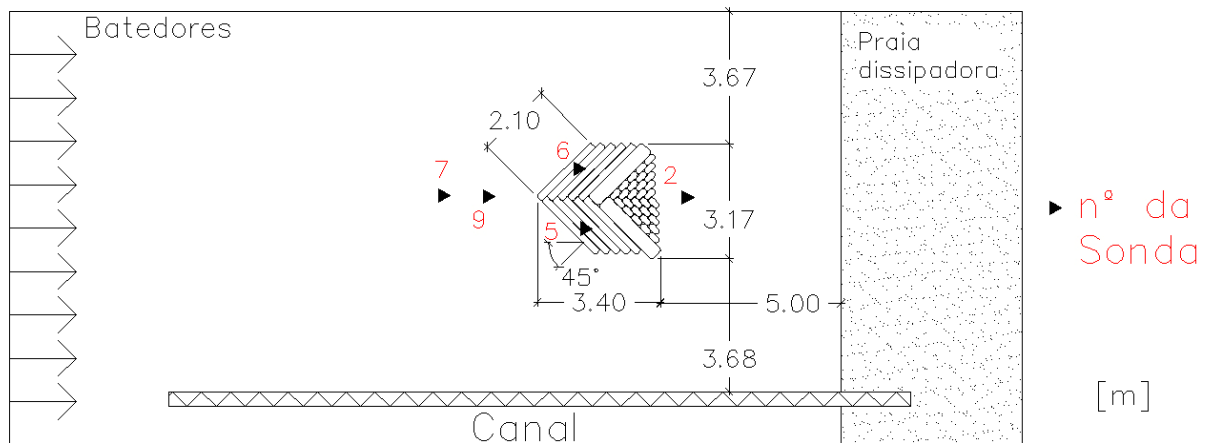


Fig. 5.23 - Planta esquemática do tanque com o modelo da série III.

As sondas utilizadas nesta série de ensaios, bem como a sua posição, são as mesmas da série II, desempenhando as mesmas funções.

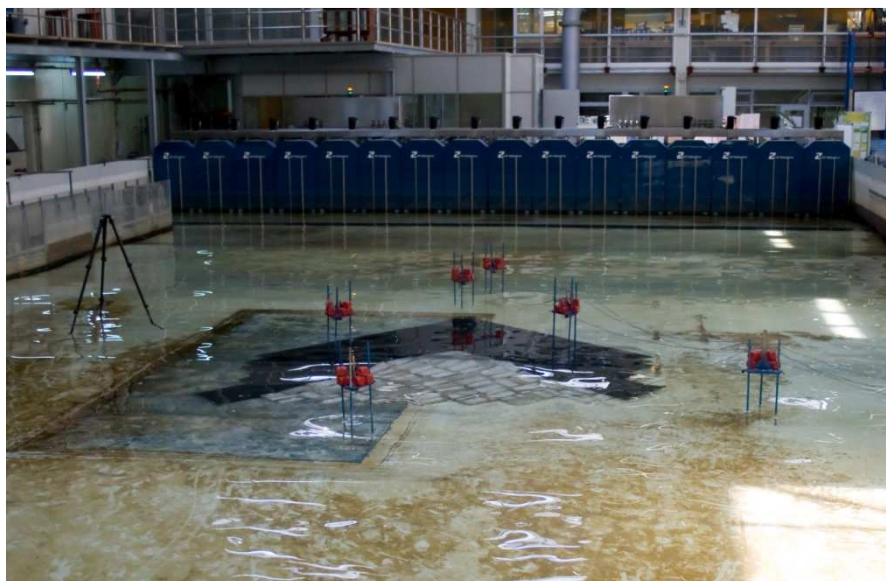


Fig. 5.24 – Vista do modelo da série III.

É visível na figura 5.24 os pequenos sacos brancos geossintéticos, colocados no recife formando a plataforma à cota 0,0 m (Z.H.).

5.8.5. TESTES 56 A 86 - SÉRIE I

A série I foi ensaiada entre os testes 56 e 86, inclusive.

Depois de estarem prontos todos os Geotubos®, procedeu-se à construção do modelo da série I. Estava previsto este modelo ser realizado com uma plataforma idêntica à da série III, como mostra figura 5.25, mas como não existiam os pequenos sacos geossintéticos em número suficiente, optou-se por construir o modelo com uma plataforma de dimensões reduzidas junto do vértice do recife do lado do tardo do mesmo, como está presente na figura 5.26.

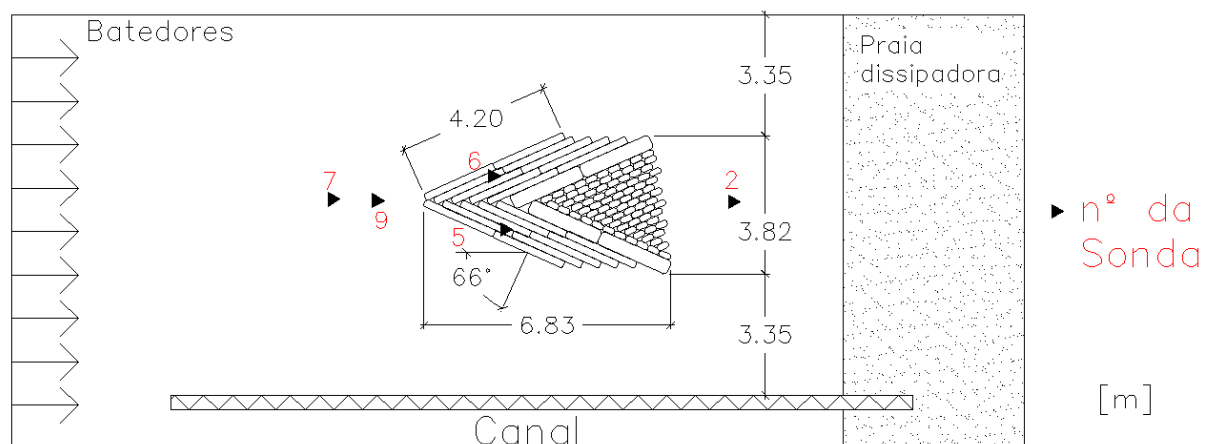


Fig. 5.25 - Planta esquemática do tanque com o modelo da série I.

Nesta série de ensaios foram também usadas 5 sondas, desempenhando as mesmas funções das séries II e III.



Fig. 5.26 - Vista do modelo da série I em fase de enchimento do tanque com água.

Em termos de implantação, esta série de ensaios ultrapassou ligeiramente o critério de ocupação de 1/3 da largura do tanque. Como já foi explicado anteriormente e como a largura do recife é pouco maior que o desejado, considera-se que os efeitos de parede serão pouco significativos.

5.8.6. TESTES 87 A 98 - SÉRIE IV

Por último, foram realizados, entre os testes 87 e 98, os ensaios da série IV.

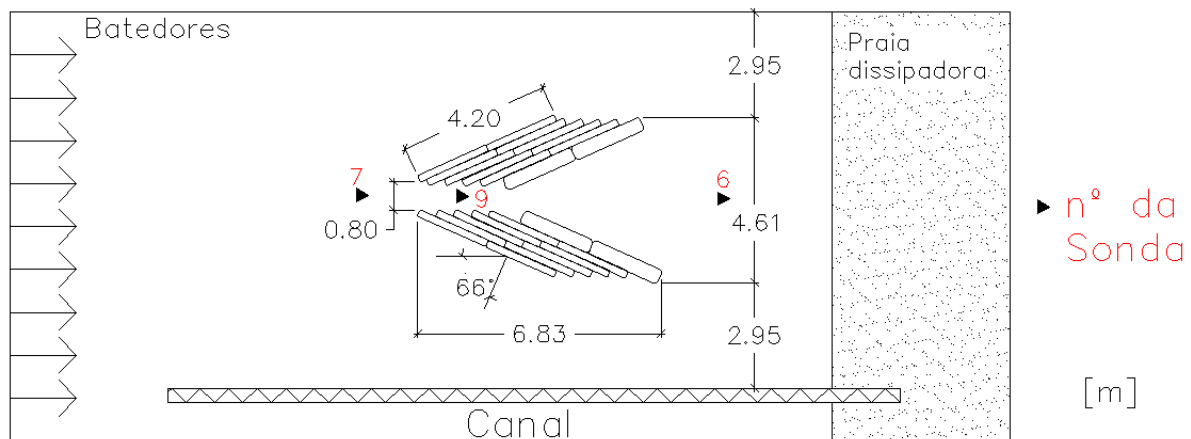


Fig. 5.27 - Planta esquemática do tanque com o modelo da série IV.

Por motivos operacionais (avarias), neste ensaio apenas estiveram disponíveis 3 sondas: as sondas 2, 7 e 9. Como neste modelo interessava principalmente estudar a influência do espaço entre os dois taludes do recife, optou-se por colocar as sondas com a disposição presente na figura 5.27.



Fig. 5.28 - Vista do modelo da série IV em fase de ensaios.

5.9. INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS

5.9.1. ENQUADRAMENTO

Neste subcapítulo é feita a análise de resultados dos ensaios realizados. Esta análise será feita de duas formas distintas.

A análise qualitativa incidirá 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.

Já a análise quantitativa será 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.

5.9.2. ANÁLISE QUALITATIVA

5.9.2.1. Série I

Nesta série, os ensaios iniciaram-se com as seguintes condições: cota de maré (CM) +0,8 m (Z.H.), $H=1,5$ m e $T=11$ seg.

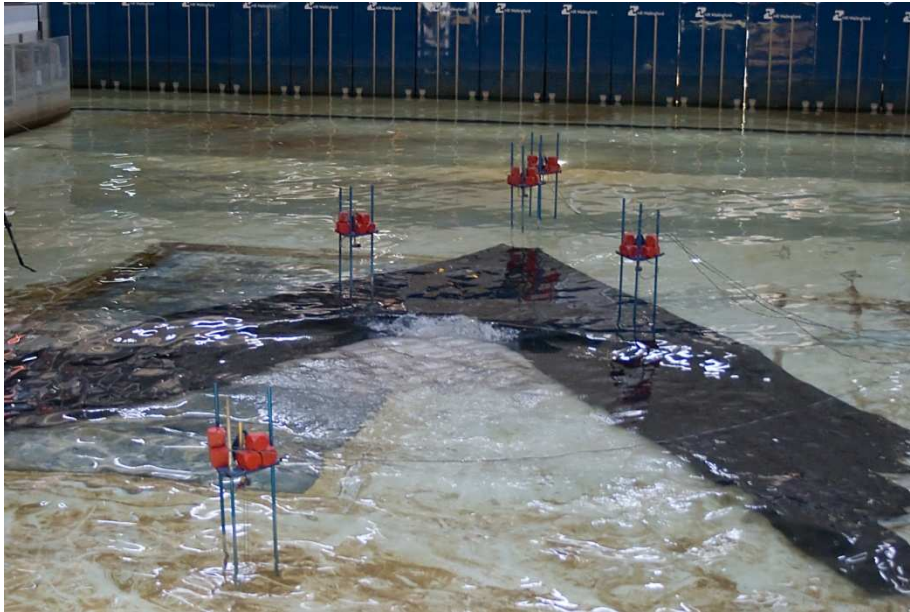


Fig. 5.29 – Série I / Ensaio 1, Teste 56 (CM=0.8m (Z.H.), $H=1.5$ m, $T=11$ seg).

Verifica-se que, nos ensaios com alturas de onda de 1,5 m, não há rebentação para níveis de maré superiores a 2 m (Z.H.). Mesmo para os ensaios com essa cota de maré, a onda é muito curta e só há formação de um pequeno tubo na parte inicial desta, sendo o resto da onda bastante espreada.

Na figura 5.30 apresenta-se o ensaio 4, em que a onda de 1,5m de altura não quebra para uma cota de maré de 2,6m.

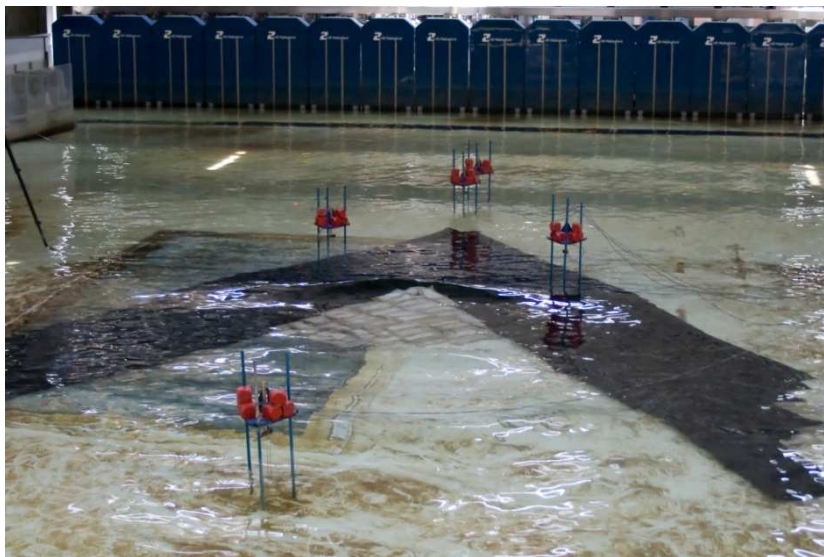


Fig. 5.30 - Série I / Ensaio 4, Teste 74 (CM=2.6m (Z.H.), $H=1.5$ m, $T=11$ seg).

Para a mesma altura de onda, mas com períodos menores, 8 seg, verificam-se piores condições para a prática de surf. A agitação torna-se mais irregular, há uma menor formação de tubo e a onda é mais curta.

Já para períodos superiores, 13 seg, mas com a mesma altura de onda, 1,5 m, verifica-se a formação de uma onda secundária, que rebenta antes da onda principal, impossibilitando a correcta rebentação das ondas com as condições desejadas. A formação desta onda secundária será explicada na análise quantitativa.

Já para alturas de onda de 3 metros, verifica-se que existem condições para a prática de surf em todos os níveis de maré ensaiados. Apesar disto, quanto mais elevado é o nível de água, piores são as condições para surf, tornando-se a onda mais curta e com pior formação de tubos. Na figura 5.31 pode ver-se a sequência de uma onda de 3 metros de altura com períodos de 8 segundos, em que a parte final da onda é espreada, o que torna a onda curta e apenas a primeira secção apresenta boas condições para a prática de surf.

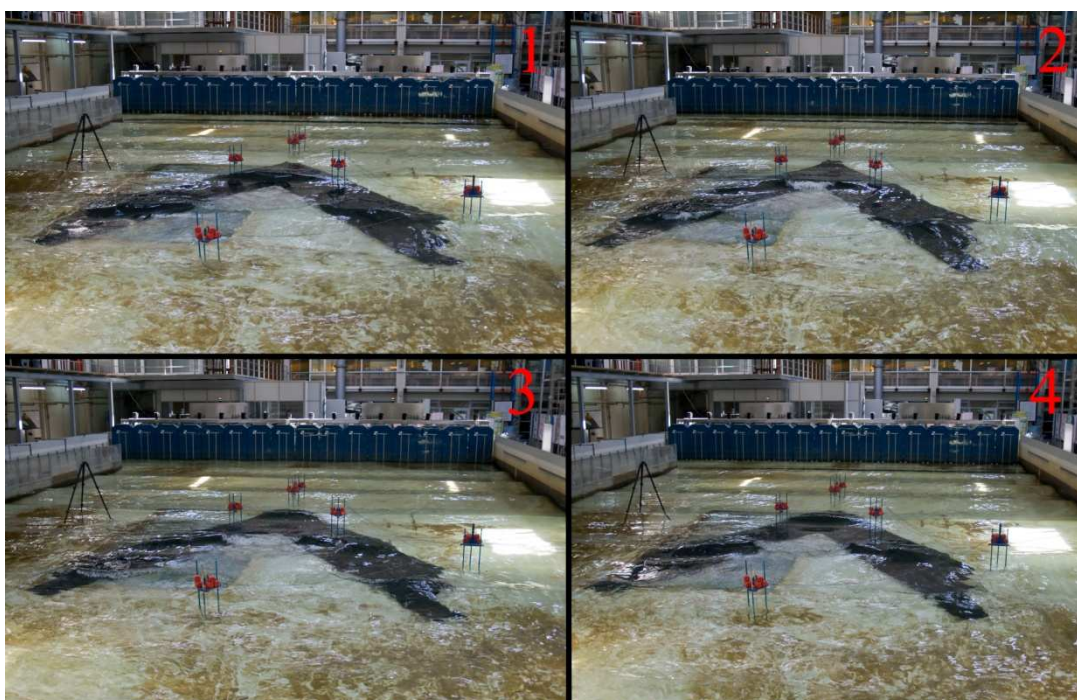


Fig. 5.31 – Sequência da Série I / Ensaio 27, Teste 84 (CM=3.2m (Z.H.), H=3m, T=8seg).

Nesta série, as melhores condições para a prática de surf verificaram-se nos testes 56 e 65.

O teste 56 (Série I / Ensaio1) foi realizado com a cota de maré de +0,8m (Z.H.), H=1,5m e T=11seg. Verificou-se que existe uma boa formação de tubo, principalmente na parte inicial da onda. A onda é comprida, mas na parte final, devido às correntes de retorno em volta do recife, a onda acaba por ficar espreada e não ocorre rebentação. É visível na figura 5.32 um tubo perfeito numa direita, obtido neste teste.



Fig. 5.32 – Vista do tubo na Série I / Ensaio 1, Teste 56 (CM=0.8m (Z.H.), H=1.5m, T=11seg).

Já o teste 65 (Série I / Ensaio7) foi realizado com a cota de maré de +1,4m (Z.H.), H=3m e T=11seg. Neste ensaio, a onda quebrava em toda a extensão do recife e com boa formação de tubo em várias secções. Devido às reflexões existentes no tanque de ondas, essa tornava-se ligeiramente irregular e não quebrava de forma contínua. Na figura 5.33 pode observar-se a vista frontal da onda a quebrar, tanto a esquerda como a direita com boas condições para a prática de surf.

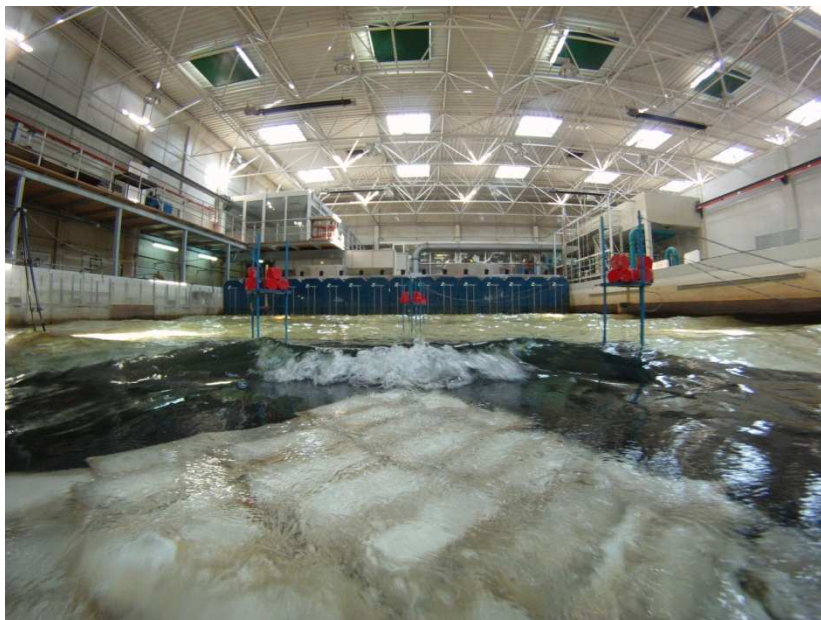


Fig. 5.33 - Vista frontal da onda na Série I / Ensaio 7, Teste 65 (CM=1.4m (Z.H.), H=3m, T=11seg).

5.9.2.2. Série II

Nesta série de ensaios, verificou-se a existência de condições para a prática de surf nos testes com altura de onda de 1,5 metros para níveis de maré de +0,8 m e +1,4 m (Z.H.). Já nos ensaios com alturas de onda de 3 metros, estas condições existem excepto para a cota de maré de + 3,2 m (Z.H.).

Para alturas de onda de 1,5 metros, verificam-se boas condições de formação de ondas para a prática de surf no ensaio com a cota de maré de +0,8 m (Z.H.). Neste ensaio, apesar da onda rebentar de forma bastante rápida, principalmente nas esquerdas, obtiveram-se ondas com boa formação de tubo, tanto nas esquerdas como nas direitas. A secção inicial quebrava de forma abrupta com a parede da onda bastante vertical, mas a onda desenvolvia-se em quase toda a extensão do recife, sendo relativamente comprida.

A velocidade de rebentação deveria ser igual nas esquerdas e direitas. Tal facto não ocorre, uma vez que poderão existir ligeiras assimetrias na implantação do recife. Assim, o ângulo de rebentação das direitas poderá ser diferente das esquerdas e consequentemente a velocidade experimentada pelo surfista será diferente.

Para a mesma altura de onda, mas com uma cota de maré de +1,4 m (Z.H.), a onda é bastante espreada, sendo que apenas a esquerda é surfável. Não existe rebentação para a direita, e mesmo a esquerda apresenta uma onda sem formação de tubo. Esta situação é visível na figura 5.34.

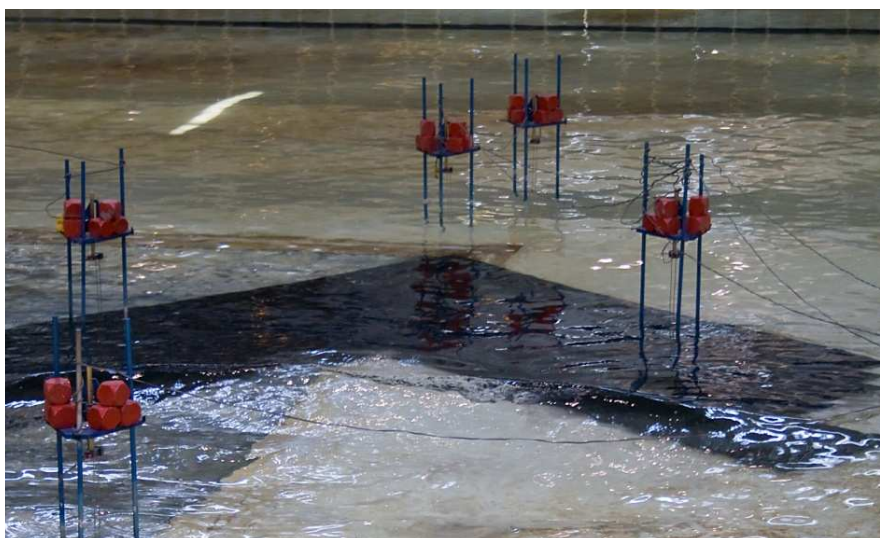


Figura 5.34 - Série II / Ensaio 2, Teste 34 (CM=1.4m (Z.H.), H=1.5m, T=11seg).

Nos restantes ensaios para esta altura de onda não existe rebentação de ondas, logo não existem condições para a prática de surf.

Analisando agora os ensaios realizados com alturas de onda de 3 metros, verifica-se que todas as ondas obtidas são bastante rápidas, principalmente as esquerdas. Existe boa formação de tubo para níveis de maré inferiores, sendo que para cotas de maré mais elevadas a onda torna-se mais espreada, chegando mesmo a não haver condições para a prática de surf para a cota máxima de maré ensaiada, +3,2 m (Z.H.).

O ensaio em que se obtiveram melhores condições para a prática de surf foi o do teste 35. A onda é comprida e tubular, rebentando em toda a extensão do recife. Na figura 5.35 é visível a rebentação da onda tubular tanto para a esquerda como para a direita.

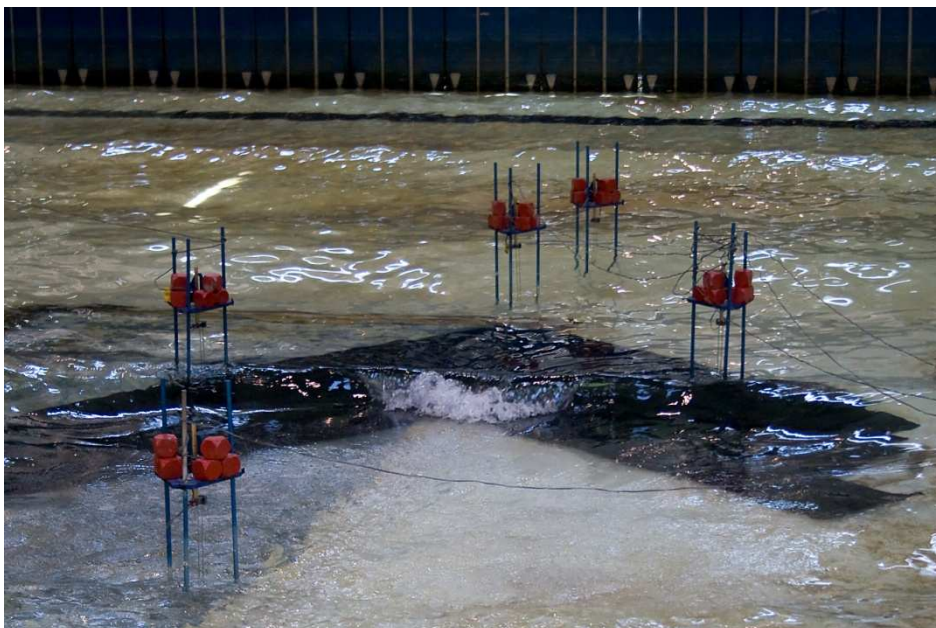


Figura 5.35 - Série II / Ensaio 7, Teste 35 (CM=1.4m (Z.H.), H=3m, T=11seg).

5.9.2.3. Série III

Os ensaios da série III revelaram que nestas condições houve formação de ondas propícias à prática de surf para diferentes condições de maré e agitação. Assim, para ondas de altura de 1,5 metros é possível praticar surf desde o nível mínimo de maré testado até +2,0 m (Z.H.). Já para alturas de onda de 3 metros, verifica-se que em todos os ensaios se obtiveram condições para a prática de surf.

Nos ensaios com alturas de onda de 1,5 metros, verificou-se que, quanto menor a cota de maré, melhores são as condições para a prática de surf. Para níveis de maré mais elevados, a onda tornava-se mais espalhada e mais curta, não ocorrendo rebentação em toda a extensão do recife. Deste modo, foi no ensaio do teste 54 que se obtiveram as melhores condições de ondas surfáveis. Apesar da velocidade de rebentação da onda ser elevada, a onda é comprida, quebrando em toda a extensão do recife, apresentando também uma boa formação de tubo. Na figura 5.36 é possível ver a onda com forma tubular, proporcionando esquerda e direita, vista da praia dissipadora. Já a figura 5.37, proporciona uma vista do interior do tanque de uma direita com forma tubular.

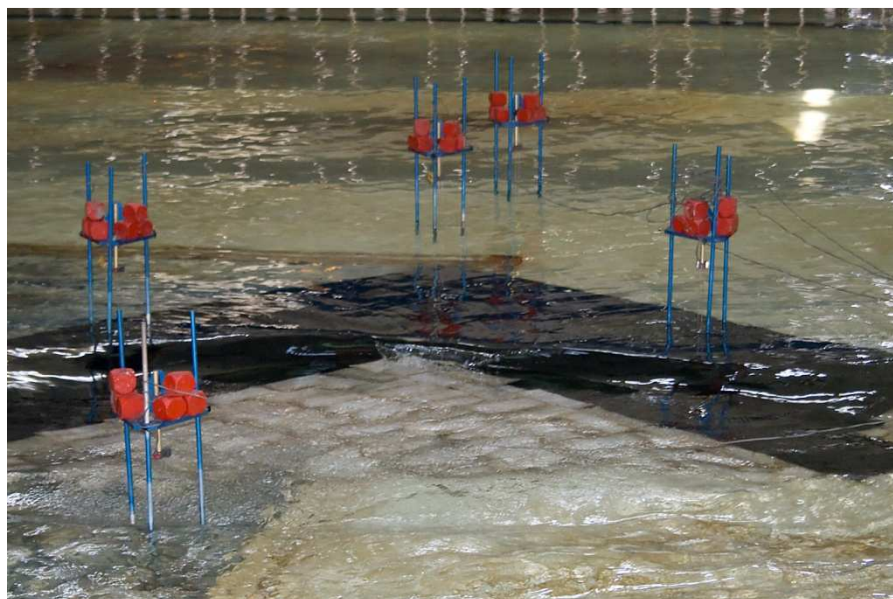


Figura 5.36 – Vista da praia dissipadora, Série III / Ensaio 1, Teste 54 (CM=0.8m (Z.H.), H=1.5m, T=11seg).



Figura 5.37 – Vista do interior do tanque, Série III / Ensaio 1, Teste 54 (CM=0.8m (Z.H.), H=1.5m, T=11seg).

Já para alturas de onda de 3 metros, o ensaio com melhores resultados em termos de formação de ondas surfáveis foi o teste 53 (Série III / Ensaio 7), realizado para a cota de maré de +1,4 m (Z.H.). O ensaio realizado para a cota de maré mais baixa, + 0,8 m (Z.H.), revelou uma onda demasiado rápida e com uma secção inicial com parede muito vertical. Já os ensaios realizados para níveis de maré mais elevados revelaram boas condições para a prática de surf, mas quanto mais elevado o nível de maré, a onda torna-se mais espreada e curta. No ensaio com a cota de maré mais elevada, +3,2 m (Z.H.), a onda não é tubular, e é muito curta, sendo, no entanto, possível surfar. Na figura 5.38 está representado o teste 53, com uma fotografia do interior do tanque onde se pode verificar uma esquerda com boa formação de tubo.



Figura 5.38 - Vista do interior do tanque, Série III / Ensaio 7, Teste 54 (CM=1.4m (Z.H.), H=3m, T=11seg).

5.9.2.4. Série IV

Os resultados obtidos nesta série demonstram perfeitamente a criação de duas zonas distintas de surf: uma zona onde quebram as esquerdas e outra onde só quebram direitas.

Para os ensaios com altura de onda de 1,5 metros, verifica-se que apenas existe rebentação para os ensaios realizados com as cotas de maré de + 0,8 m e +1,4 m (Z.H.). No ensaio realizado com a cota de maré mais elevada, teste 89 (Série IV / Ensaio 2), verifica-se que a onda é curta e espreada, sendo tubular apenas na fase inicial da onda. Já para o nível de maré inferior, teste 87 (Série IV / Ensaio 1), apresenta uma onda comprida e bastante tubular. Este ensaio está representado na figura 5.39, onde se pode ver as duas ondas distintas e a formação tubular das ondas.

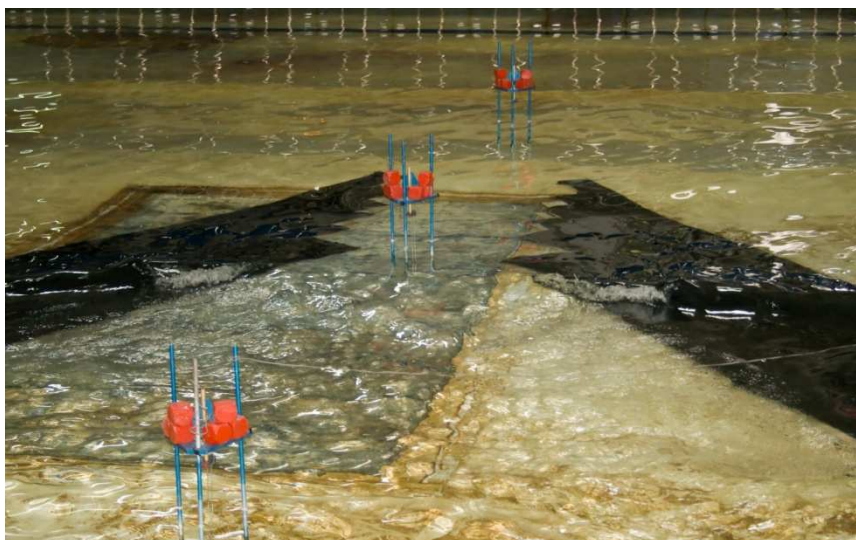


Figura 5.39 - Série IV / Ensaio 1, Teste 87 (CM=0.8m (Z.H.), H=1.5m, T=11seg).

Para os restantes ensaios com altura de onda de 1,5 metros não existe rebentação.

Já para os ensaios com altura de onda de 3 metros, verifica-se que existem condições para a prática de surf em todos os níveis de maré ensaiados. Os ensaios em que se obtiveram melhores resultados foram para as cotas de maré mais baixas: + 0,8 m e +1,4 m (Z.H.). Para os restantes ensaios verificam-se condições propícias à prática de surf, no entanto, quanto mais elevado é o nível de maré, mais a onda se torna curta e espreada. Assim, no teste 90, (Série IV / Ensaio 7), com nível de maré igual a +1,4 m (Z.H.), a onda é bastante comprida e regular, rebentando de forma contínua e tubular. Verifica-se que na zona final de rebentação da onda, esta não se torna tão espreada, uma vez que as correntes de retorno existem em maior parte no canal entre os dois corpos do recife. Na figura 5.40 representa-se em sequência uma onda do teste 90. É visível no início da onda, as duas zonas distintas de surf e que a onda quebra em toda a extensão do recife.

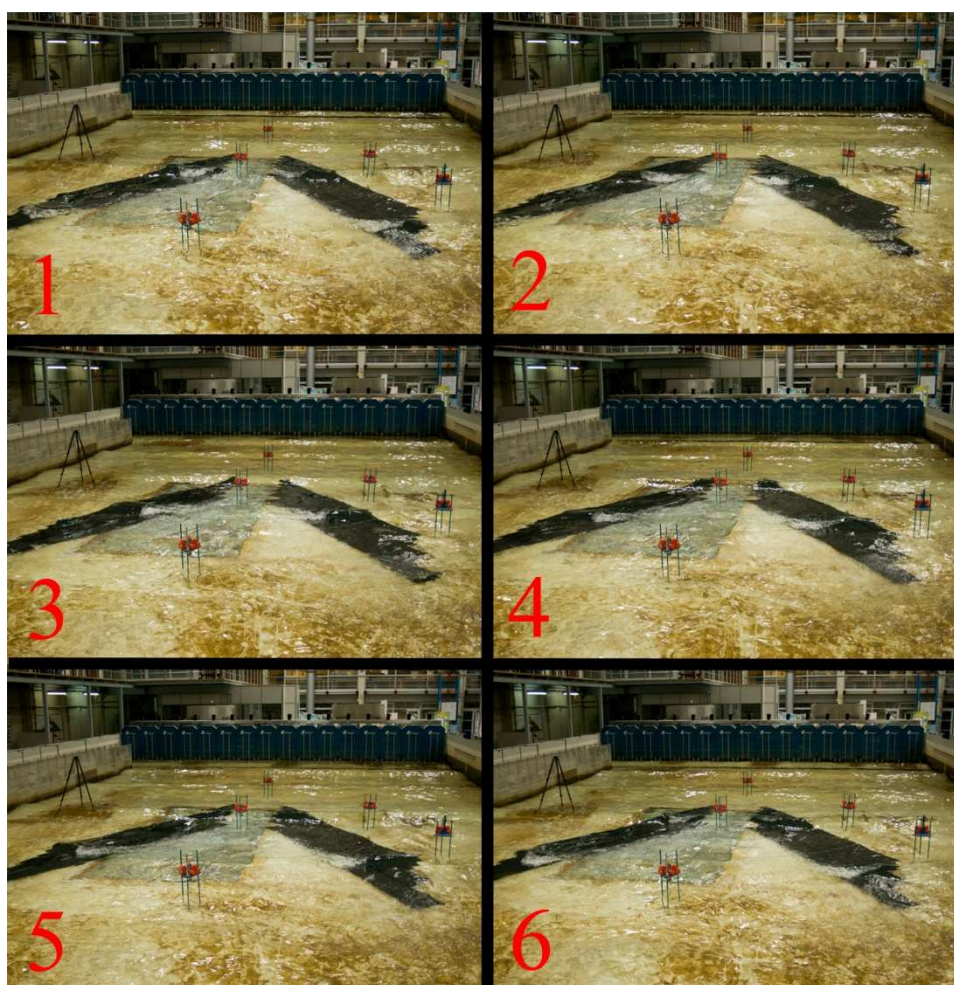


Figura 5.40 – Sequência da Série IV / Ensaio 7, Teste 90 (CM=1.4m (Z.H.), H=3m, T=11seg).

5.9.3. ANÁLISE QUANTITATIVA

5.9.3.1. Série I

Antes de começar a análise propriamente dita, é importante saber a localização das sondas em cada série de ensaios. Desta forma, para a série I, as sondas estão posicionadas de acordo com a figura 5.41.

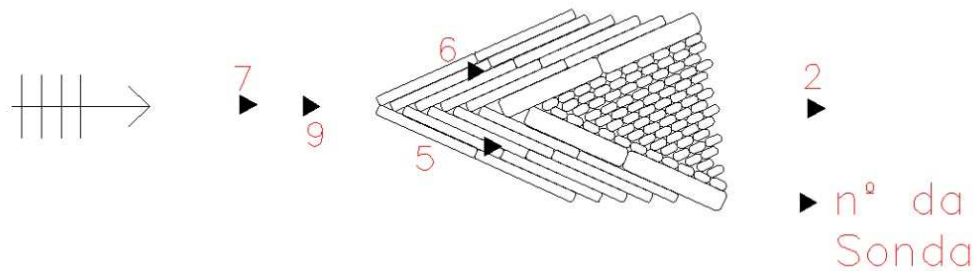


Figura 5.41 – Posicionamento das sondas na série I.

No primeiro dia de ensaios desta série, verificou-se um problema com a sonda localizada entre o recife e a praia dissipadora (sonda 2). Deste modo, os resultados obtidos entre os ensaios 56 e 67 com esta sonda não serão analisados.

Verificou-se que em todos os ensaios as leituras efectuadas nas sondas 7 e 9 não coincidiam. Em alguns ensaios, como no caso do teste 65, as diferenças são consideráveis. Estas diferenças devem-se às reflexões existentes no tanque de ondas, tanto por parte do próprio recife, como pela praia dissipadora, que provocaram ondas com direcção contrária à agitação gerada pelos batedores.

Em termos de empolamento da onda, este apenas foi registado quando a rebentação ocorria perto da zona onde a sonda estava colocada. No gráfico da figura 5.42 está representado o empolamento verificado nas sondas 5 e 6, comparado com o registado na sonda 7, dados estes obtidos no teste 60.

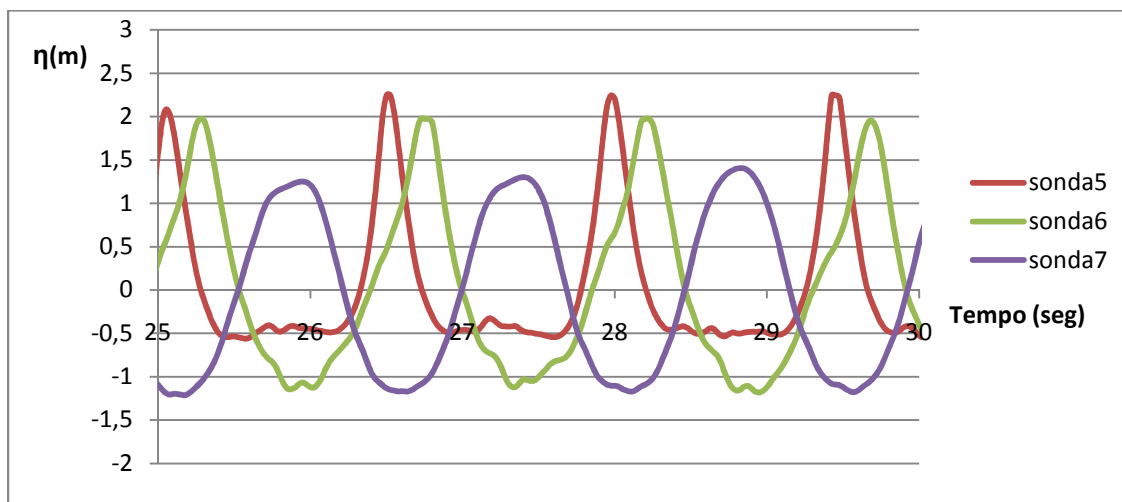


Fig. 5.42 – Empolamento, Série I / Ensaio 23, Teste 60 (CM=0.8m (Z.H.), H=3m, T=8seg).

É visível que a onda medida sobre o recife tem aproximadamente 1,2 vezes a altura da onda medida na sonda 7. Este aspecto é muito importante para a prática de surf, uma vez que o empolamento proporciona alturas de ondas maiores em comparação com as ondas ao largo.

Como já foi referido na análise qualitativa, nos ensaios realizados com períodos de 13 segundos (2.373 segundos no modelo) ocorreu a geração de uma onda secundária. Na figura 5.43 é visível essa onda secundária no teste 64. Este problema é explicado por Dalrymple (1985) e ocorre quando são geradas ondas com grande amplitude, resultando em ondas com movimento irregular, variando de forma ao longo do tempo. Estas singularidades aparecem como cristas secundárias, variando a sua posição em relação às cristas principais e estarão associadas a fenómenos de transferência de energia. Esta onda tem metade do período da onda principal e desloca-se a uma velocidade mais baixa.

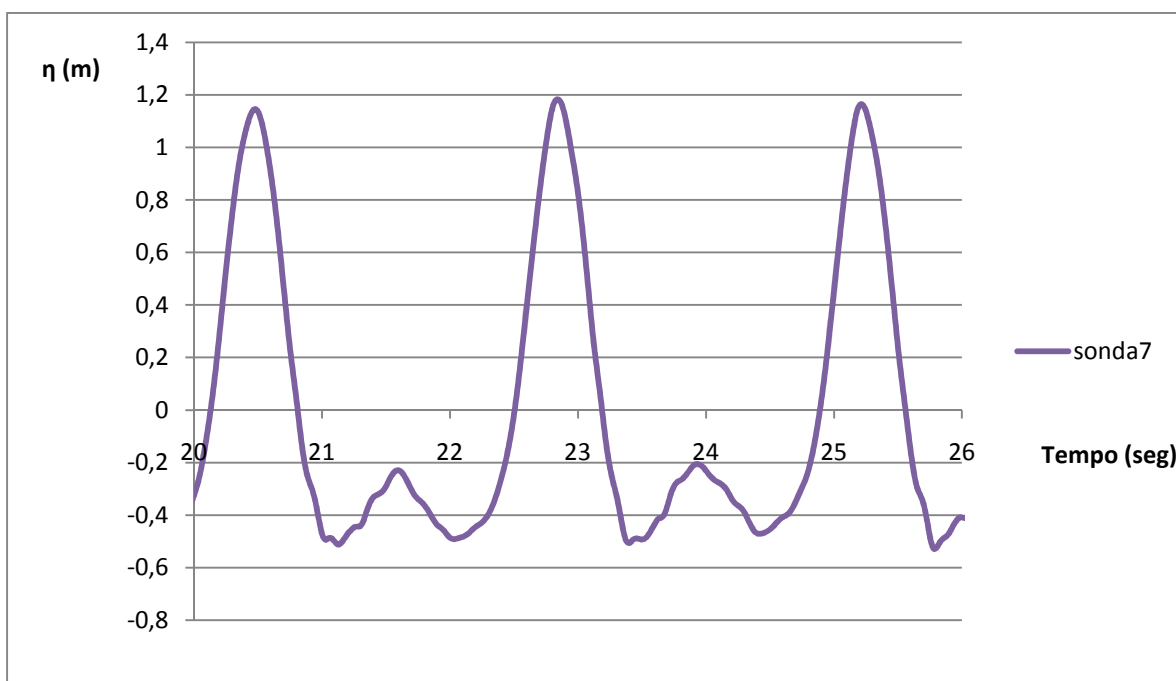


Fig. 5.43 – Onda secundária entre ondas principais, Série I / Ensaio 19, Teste 64 (CM=1.4m (Z.H.), H=1.5m, T=13seg).

Na fase de análise de resultados foi encontrada outra limitação das sondas. Nos ensaios realizados com alturas de onda elevadas e com níveis de maré mais altos em relação à cota de maré para o qual as sondas tinham sido calibradas, os gráficos de altura de onda por vezes estão truncados. Como se verifica no gráfico da figura 5.44 que relaciona a tensão medida nas sondas com o tempo do ensaio, a origem deste problema está relacionada com o facto destas sondas só efectuarem leituras entre os -10 e os 10 Volts e nestes ensaios foram atingidos os 10 Volts. Este problema poderia ser atenuado caso se realizassem as calibrações sempre que o nível de água no tanque mudasse.

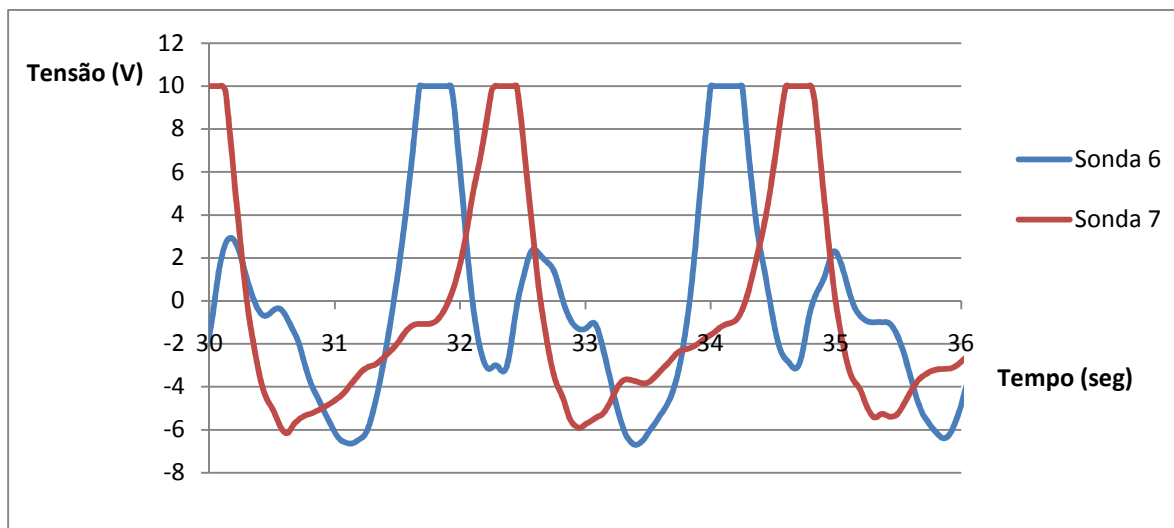


Fig. 5.44 – Gráfico trancado da tensão medida nas sondas.

Na maioria dos ensaios, verificou-se que na zona entre o recife e a praia dissipadora existiam reflexões significativas que provocavam ondas secundárias. Este fenómeno de reflexão é explicado por Veloso Gomes (1995), em que é simulado numericamente a onda solitária a propagar-se num canal com profundidade variável. Como mostra a figura 5.45, a onda ao deslocar-se pelo canal sofre reflexão devido à sua variação da profundidade, aumentando a altura de onda da onda principal e formando uma onda secundária com altura inferior.

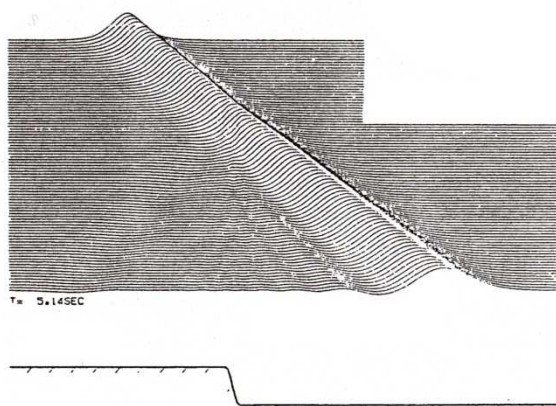


Fig. 5.45 – Evolução do perfil de uma onda solitária em propagação num canal de profundidade variável (Veloso Gomes, 1995, citando Seabra Santos, 1985)

Este aspecto é perfeitamente visível no teste 68 (Série I / Ensaio 3), em que depois do recife, a altura da onda principal aumenta e forma-se uma onda secundária. Apesar deste fenómeno, é evidente a dissipação de energia da agitação, provocada pelo recife.

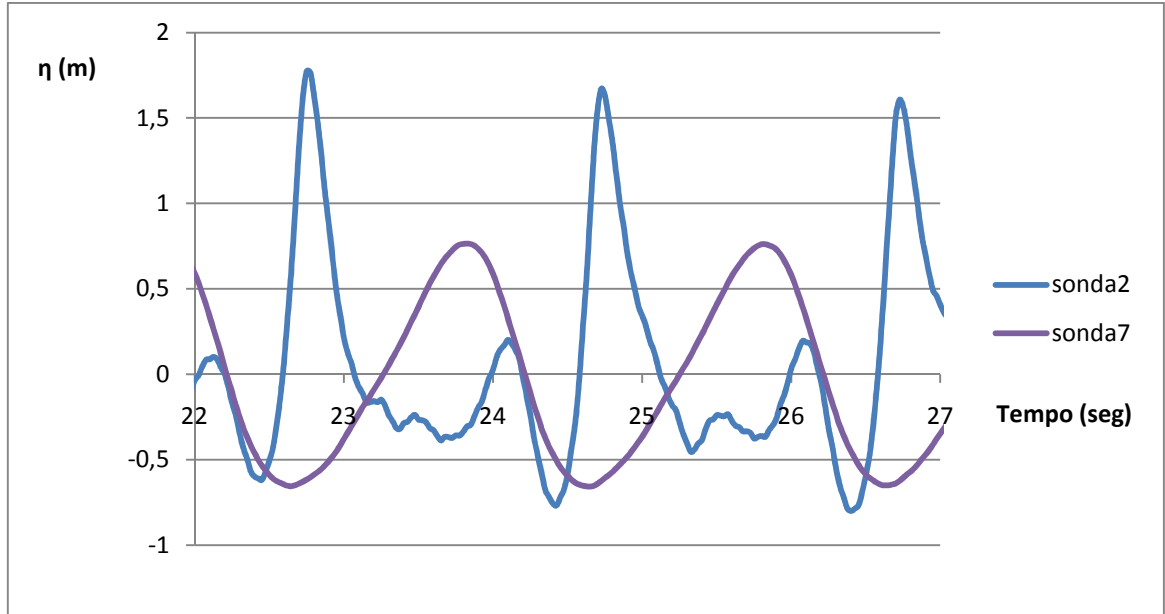


Fig. 5.47 - Agitação antes e depois do recife, Série I / Ensaio 3, Teste 68 (CM=2m (Z.H.), H=1.5m, T=11seg).

Nos ensaios em que as cotas de maré são mais elevadas e não ocorre rebentação, este fenómeno também se manifesta. É mais notório nos ensaios com períodos de 11 segundos, em que há um aumento da altura de onda significativo. Nos ensaios com 8 e 13 segundos de período de onda, verifica-se a formação de uma segunda crista de onda secundária, mas não existe um aumento de altura de onda significativo.

Os fenómenos de empolamento e de refração da agitação incidente, para além dos já referidos reflexões e rebentações, deformam a agitação na envolvente da estrutura, justificando as diferenças nos registos das sondas.

5.9.3.2. Séries II e III

Como a única diferença entre estas duas séries é a plataforma existente no lado do tardoz do recife, decidiu-se analisá-las de forma conjunta. A posição das sondas nas duas séries é a presente nas figuras 5.48 e 5.49.

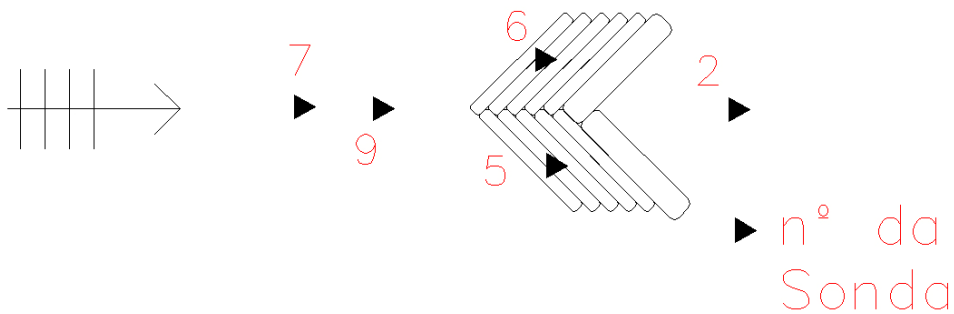


Fig. 5.48 - Posicionamento das sondas na série II.

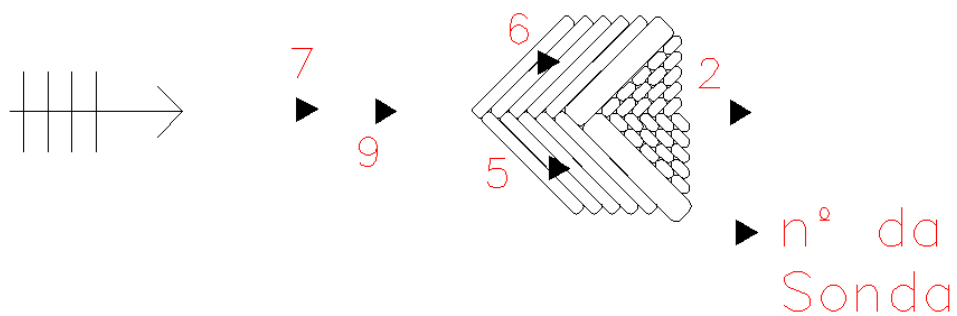


Fig. 5.49 - Posicionamento das sondas na série III.

Os resultados obtidos nestas duas séries foram idênticos. Verificou-se que a plataforma à cota da crista do recife tem pouca influência em termos da altura de onda medida nas sondas.

Nas figuras 5.50 e 5.51 estão representadas as alturas de onda medidas no teste 32 e 54, da série II e III, respectivamente. Pela comparação destes dois gráficos, verifica-se que em ambos os casos existe um aumento da altura de onda medida na sonda 2 em comparação com a sonda 7. É visível a formação de uma onda secundária registada na sonda 2, tal como acontecia na série I.

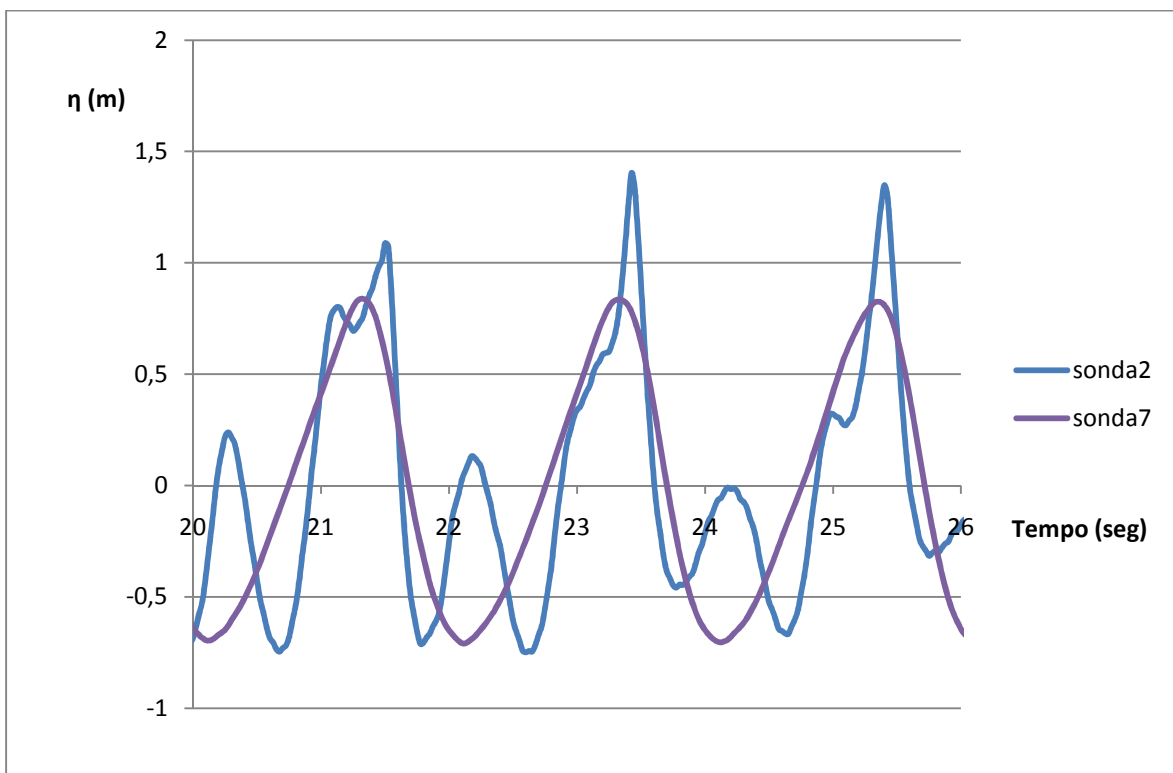


Fig. 5.50 - Agitação antes e depois do recife, Série II / Ensaio 1, Teste 32 (CM=0.8m (Z.H.), H=1.5m, T=11seg).

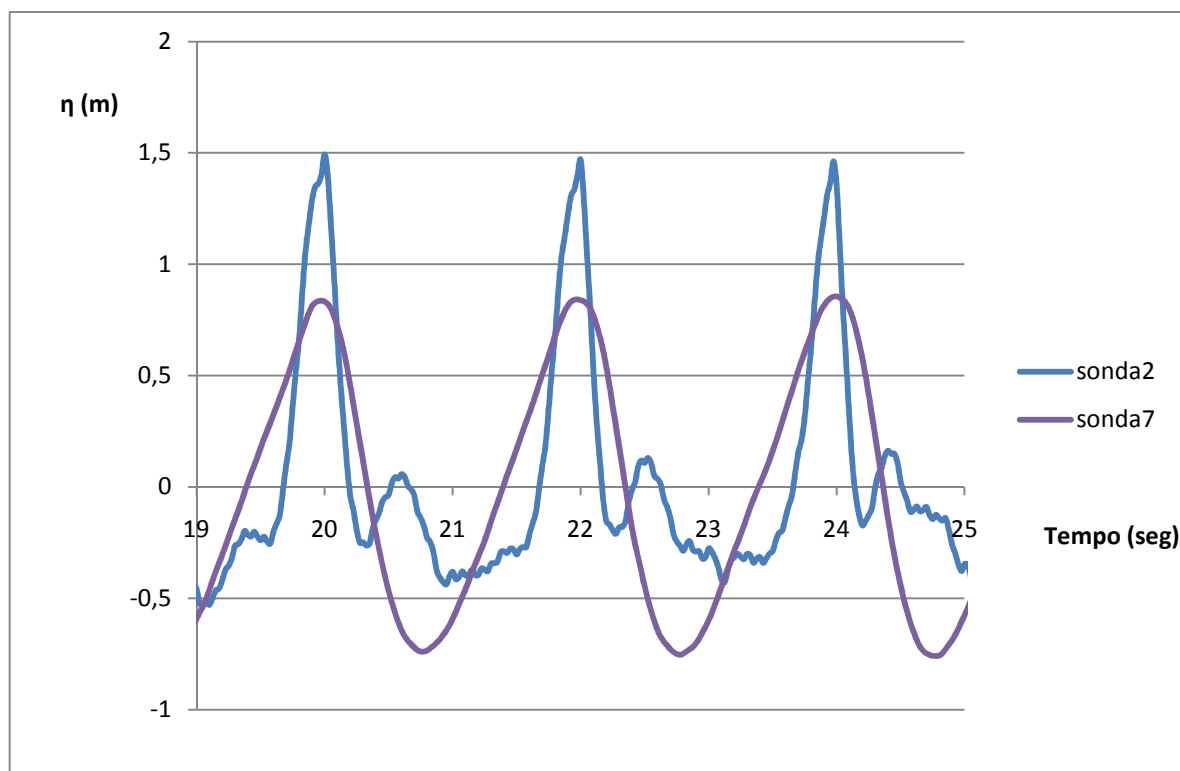


Fig. 5.51 - Agitação antes e depois do recife, Série III / Ensaio 1, Teste 54 (CM=0.8m (Z.H.), H=1.5m, T=11seg).

Quanto ao empolamento, verifica-se que este é registado apenas quando a rebentação ocorre perto das sondas 5 e 6. Isto acontece para ensaios com cotas de maré baixas e alturas de onda elevadas.

5.9.3.3. Série IV

Na série IV apenas foram utilizadas 3 sondas, as quais estão representadas na figura 5.52.

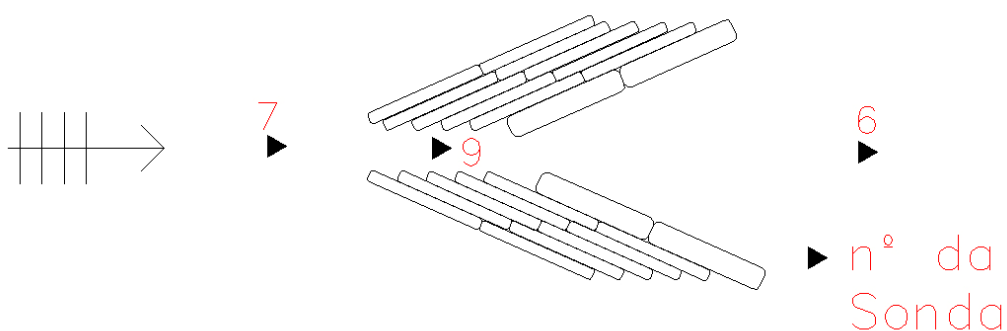


Fig. 5.52 - Posicionamento das sondas na série IV.

Os resultados obtidos nesta série foram idênticos aos obtidos nas restantes séries. Uma particularidade desta série foi o facto do efeito verificado na sonda mais perto da praia nas outras séries (sonda 6 nesta

série), verificar-se também na sonda 9 para alturas de onda de 3 metros. Na figura 5.53 está representado um ensaio realizado com ondas de 3 metros.

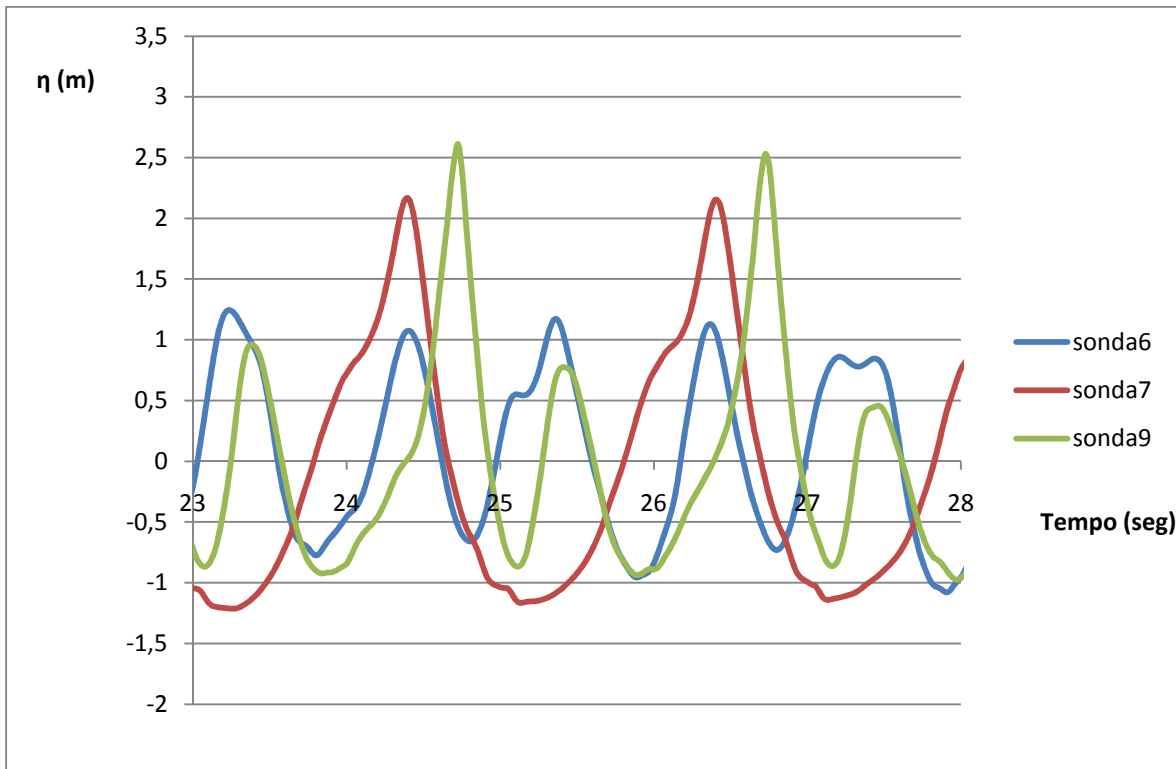


Fig. 5.53 – Leitura das sondas, Série IV / Ensaio 6, Teste 88 (CM=0.8m (Z.H.), H=3m, T=11seg).

É visível neste gráfico a formação de uma onda secundária registada na sonda 9. Nas outras configurações de recifes, este fenómeno acontecia mais perto da praia dissipadora. Assim, verifica-se que as alturas de onda registadas na sonda mais perto da praia (sonda 6) são inferiores às registadas nas outras sondas.

5.10. AVALIAÇÃO GLOBAL

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 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”.

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.

6

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

6.1. 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 metros, 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 metros, 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 as 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 circulam 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 6.1.

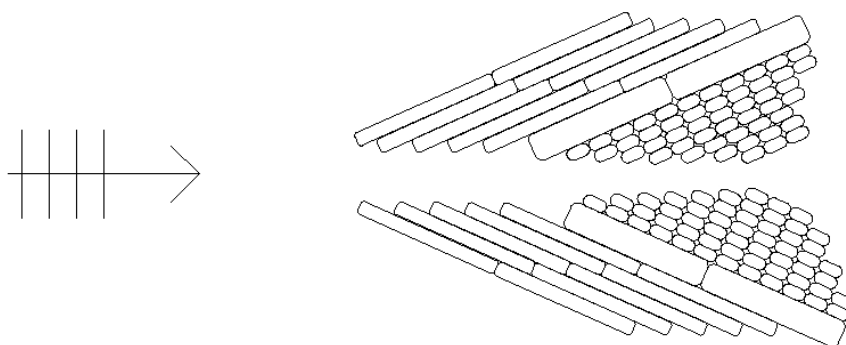


Fig. 6.1 – Recife com dois corpos, com plataforma à cota da crista.

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 surfistas 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 afectados por estes efeitos de escala.

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Devido à complexidade do projecto em estudo, ao relativamente recente uso deste tipo de tecnologia e às limitações temporais da realização da presente dissertação, é necessário, no futuro, desenvolver variados aspectos com vista a um futuro aprofundamento e concretização do projecto.

Em primeiro lugar, deverão ser repetidos os testes nos quais se verificaram anomalias nos resultados obtidos, como por exemplo os ensaios onde se verificaram truncaturas nos registos devido a ter sido excedido o intervalo de leitura das sondas. Devido à limitação de tempo, não foi possível explorar exaustivamente todos os resultados obtidos. Há ainda possibilidade de analisar de forma mais aprofundada os resultados obtidos para os RAM aqui ensaiados, completando as conclusões aqui obtidas.

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.

Por fim, deverá ser realizada uma discussão de uma proposta de implantação com a comunidade surfista local, de modo a verificar a aceitação deste projecto, reter as suas críticas construtivas e envolver essa comunidade na tomada de decisão e na monitorização.

BIBLIOGRAFIA

Battjes, J. A. (1974). *Surf similitude*. Proceedings of the 14th International Conference on Coastal Engineering, 466-480, 1974, New York, ASCE

Borrero, J., Mead, S., Moores, A. (2010). *Stability Considerations and Case Studies of Submerged Structures Constructed from Large, Sand Filled, Geotextile Containers*. Coastal Engineering, 2010

Cáceres, I., Hai Trung, L., van Ettinger, H., Reniers, A., Uijtewaal, W. (2010). *Wave and flow response to an Artificial Surf Reef: laboratory measurements*. Journal of hydraulic engineering, maio/2010, 299-310, ASCE.

Costa, G. (2010). *Modelação Numérica de um RAM na Praia de Espinho*. Relatório interno do Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos, FEUP

Dalrymple, R. (1985). *Physical Modeling in Coastal Engineering*. Balkema, Roterdão.

das Neves, L. (2003). *Geossintéticos e Geossistemas em Engenharia Costeira*. Dissertação de Mestrado, FEUP.

das Neves, L. (2010). *Experimental Stability Analysis of Geotextile Encapsulated-sand Systems under Wave-loading*. Dissertação de Doutoramento, FEUP.

Davidson, M. (2010a). *6-Month report, Performance of Boscombe Surfing Reef*. The University of Plymouth.

Davidson, M. (2010b). *Final report, Performance of Boscombe Surfing Reef*. The University of Plymouth.

Laranjeira, A. (2010). *Estudo de um Recife Artificial para Surf e Defesa Costeira na Praia de Espinho em Materiais Geossintéticos*. Dissertação de Mestrado, FEUP.

Taveira Pinto, F. (2008). *Modelação Física*. FEUP, Apontamentos de trabalhos marítimos 2.

Ten Voorde, M. (2010). *Contribution to the Design of Multi-Functional Artificial Reefs*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade de Coimbra/LNEC.

Veloso Gomes, F. (2010). *Teorias de Ondas Utilizadas em Engenharia Marítima*. FEUP, Apontamentos de trabalhos fluviais e marítimos.

Veloso Gomes, F. (1995). *Fenómenos de Alteração e Deformação da Agitação na Propagação em Direcção à Costa*. FEUP, Apontamentos de trabalhos marítimos.

<http://www.surftoday.com>, acedido em Abril de 2011.

<http://www.olhares.com>, acedido em Maio de 2011.

<http://www.pt.wikipedia.org>, acedido em Maio de 2011.

<http://www.surfholidays.com>, acedido em Maio de 2011.

<http://www.vert-mag.com>, acedido em Maio e Junho de 2011.

<http://www.sportsville.com>, acedido em Maio de 2011.

<http://www.paddlesurf.net>, acedido em Maio de 2011.

<http://www.kayaksurf.net>, acedido em Maio de 2011.

<http://www.flickr.com>, acedido em Junho de 2011.

<http://www.mtn-photo.com>, acedido em Maio e Junho de 2011.

<http://www.forum.pt>, acedido em Junho de 2011.

<http://www.blogdipraia.blogspot.com>, acedido em Junho de 2011.

<http://www.bbelsblog.com>, acedido em Junho de 2011.

ANEXOS

ANEXO I – IMAGENS DA MODELAÇÃO NUMÉRICA

ANEXO II – ENSAIOS REALIZADOS EM MODELAÇÃO FÍSICA

ANEXO III – GRÁFICOS DOS RESULTADOS OBTIDOS COM AS SONDAS

ANEXO I
IMAGENS DA MODELAÇÃO NUMÉRICA

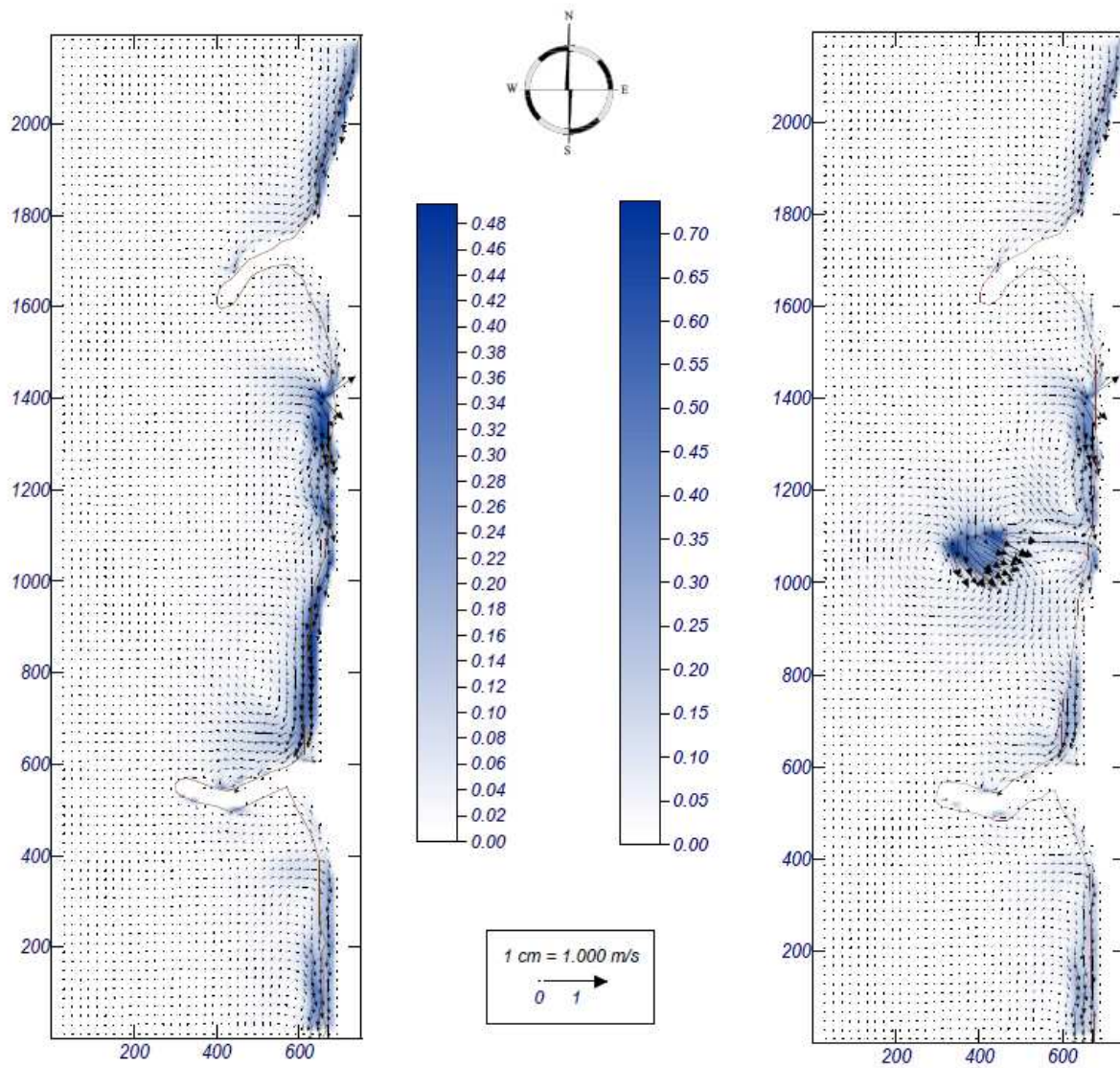


Fig. I.1 - Vectores corrente com e sem recife (Nível de maré=2m (Z.H.);H=1.5m;T=6seg;Rumo=-45°)

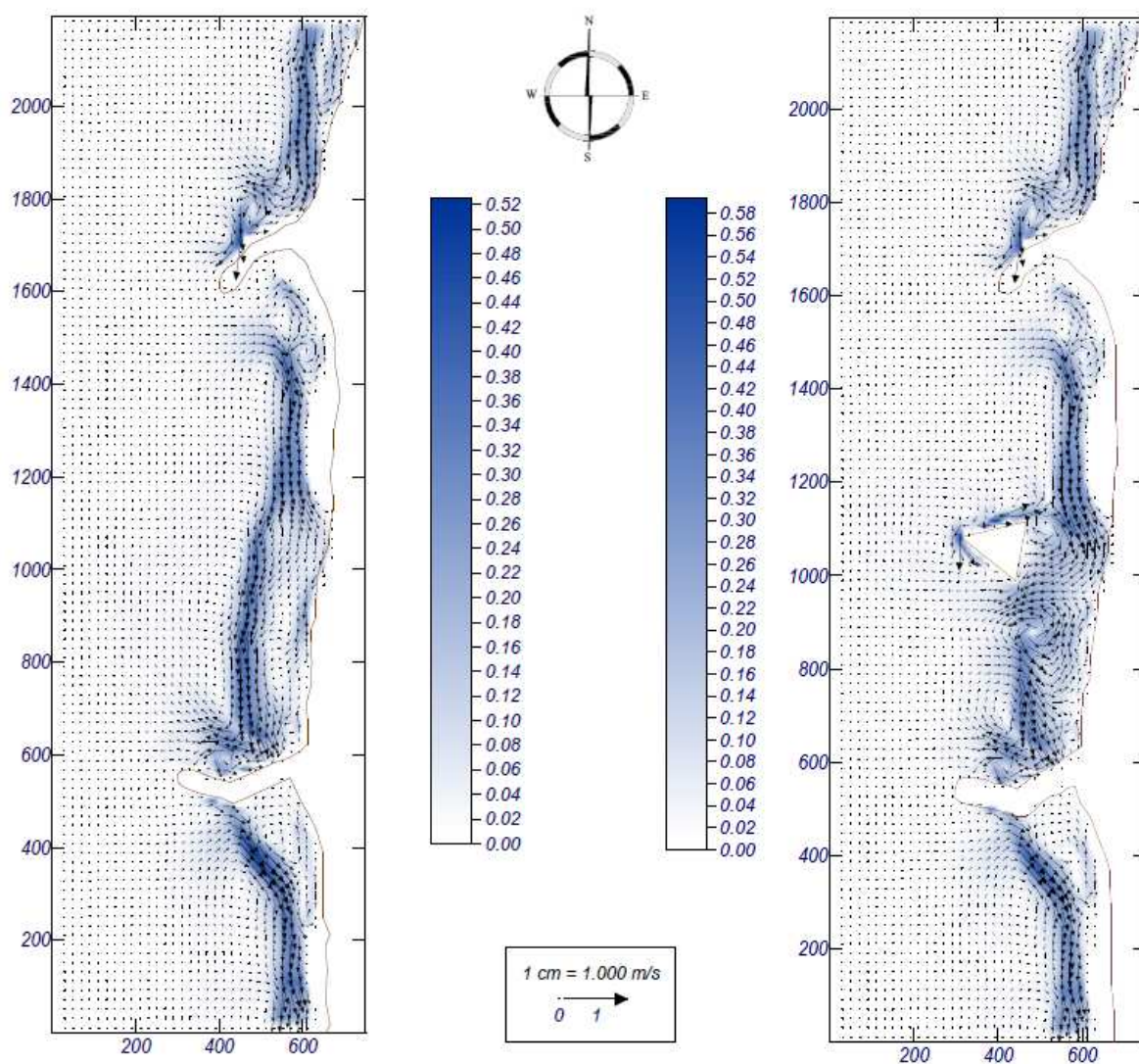


Fig. I.2 - Vectores corrente com e sem recife (Nível de maré=0m (Z.H.);H=1.5m;T=6seg;Rumo=-45°)

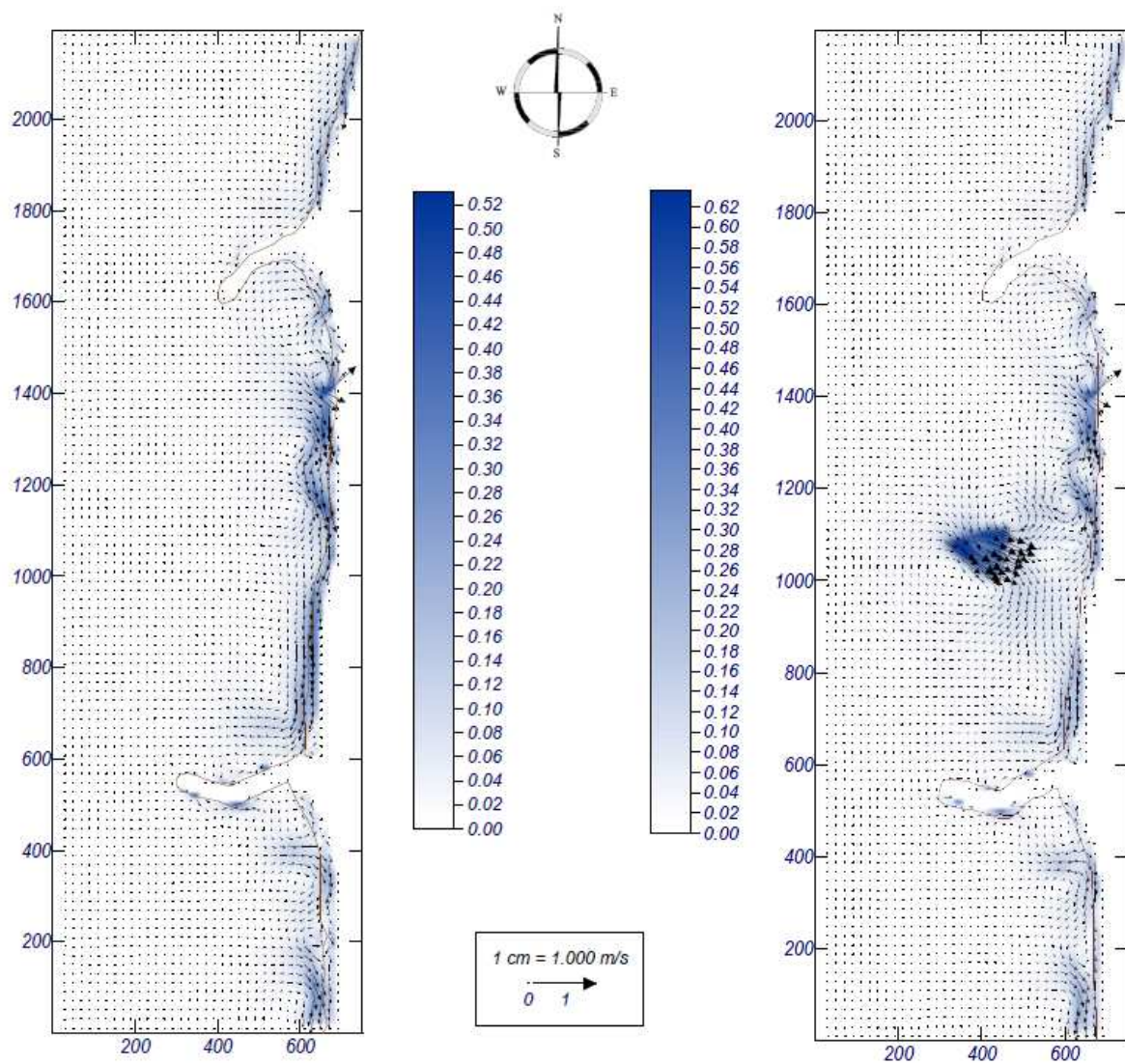


Fig. I.3 - Vectores corrente com e sem recife (Nível de maré=2m (Z.H.);H=1.5m;T=6seg;Rumo=-22.5°)

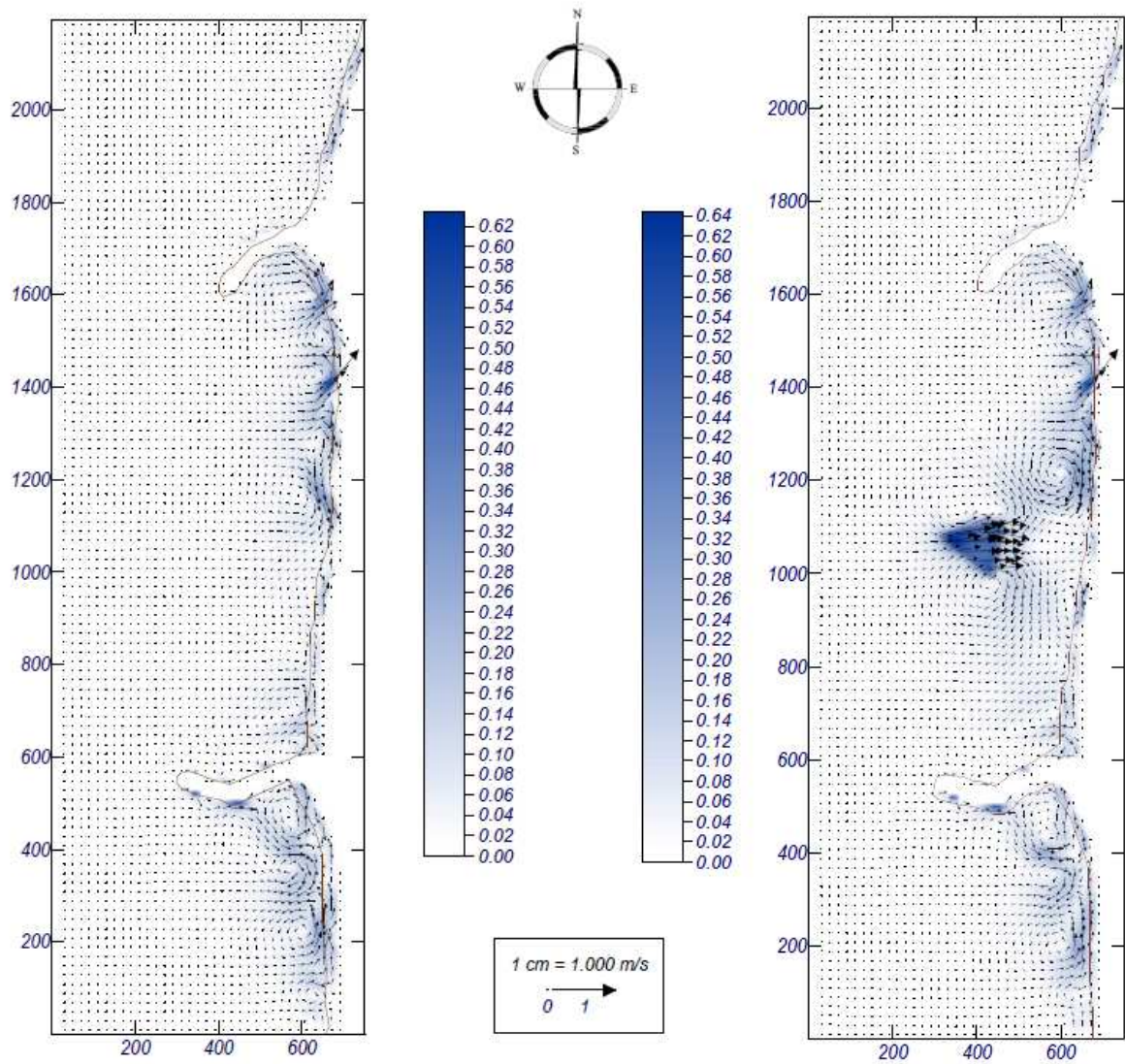


Fig. I.4 - Vectores corrente com e sem recife (Nível de maré=2m (Z.H.);H=1.5m;T=6seg;Rumo=0°)

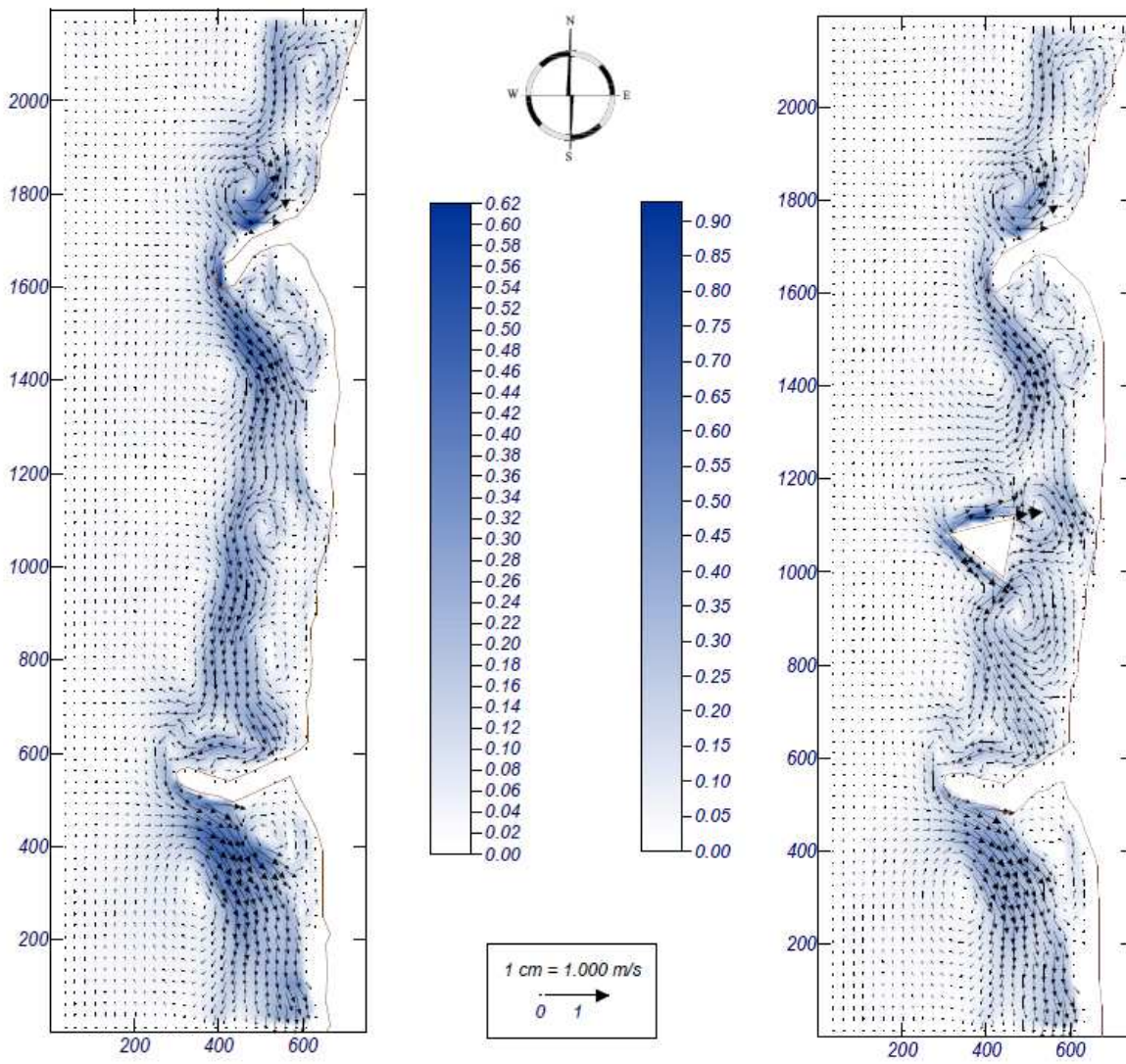


Fig. I.6 - Vectores corrente com e sem recife (Nível de maré=0m (Z.H.);H=3m;T=12seg;Rumo=-22.5°)

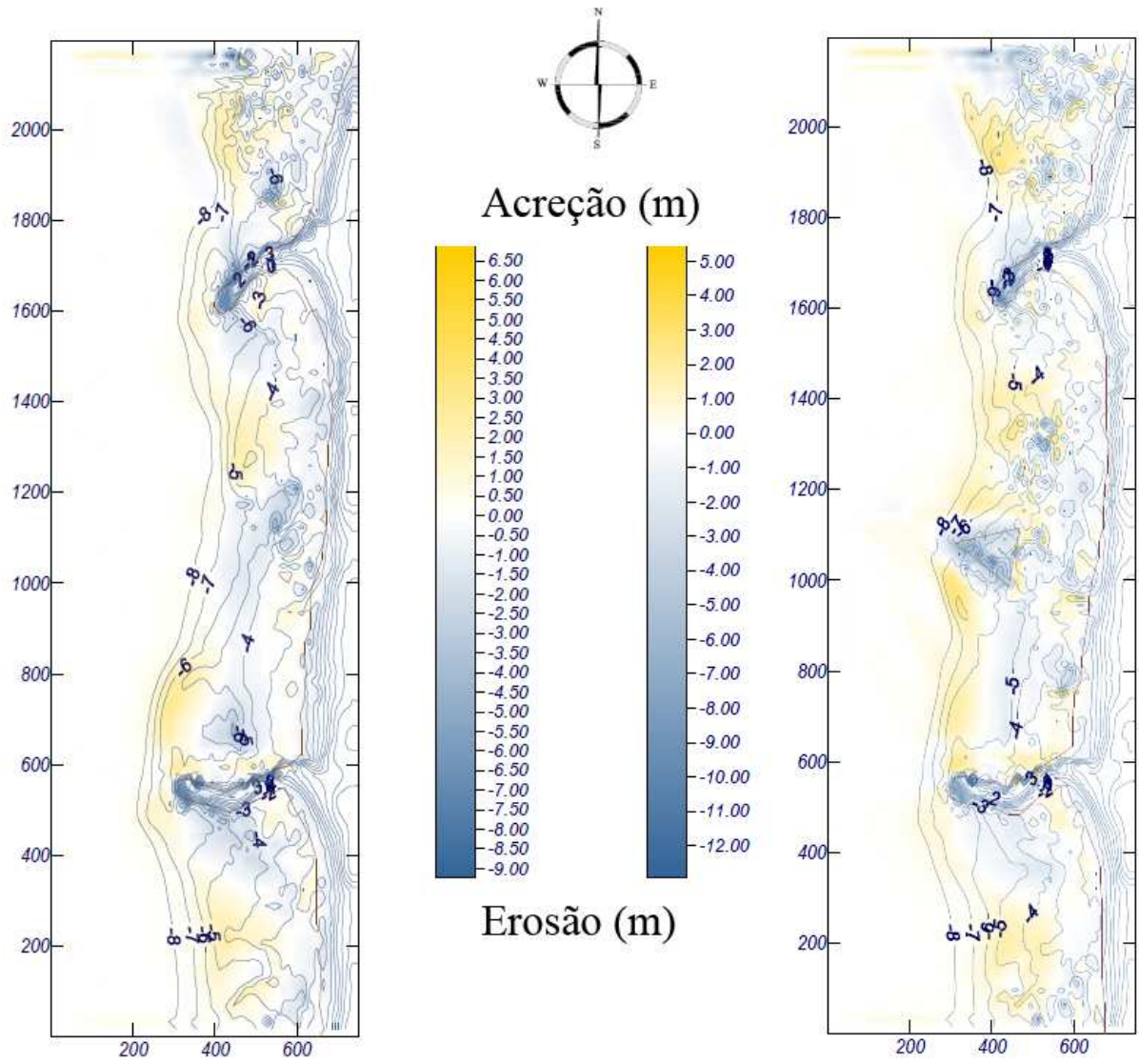


Fig. I.7 – Topografia final e variação de topografia (Nível de maré=2m (Z.H.);H=3m;T=12seg;Rumo=-45°)

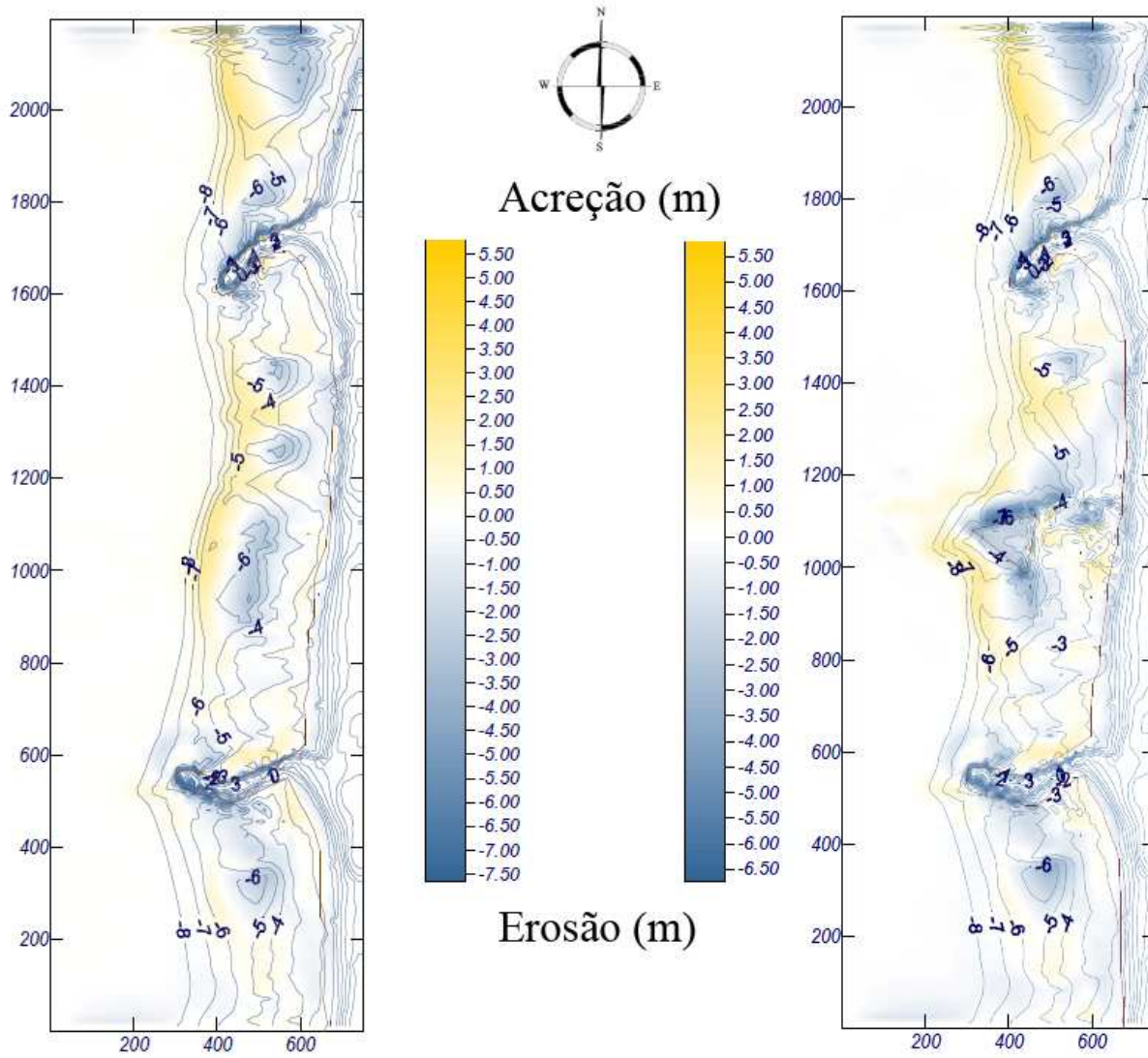


Fig. I.9 - Topografia final e variação de topografia (Nível de maré=2m (Z.H.);H=3m;T=12seg;Rumo=0°)

ANEXO II
ENSAIOS REALIZADOS EM MODELAÇÃO FÍSICA

Tabela II.1 – Condições dos ensaios realizados na série I

Série - Ensaio	Teste	Hp (m)	Hm (m)	Tp (seg)	Tm (seg)	fm (Hz)	Maré (m) (Z.H.)	h tanque (m)
I-1	56	1.5	0.05	11	2.008	0.498	0.8	0.227
I-2	62	1.5	0.05	11	2.008	0.498	1.4	0.247
I-3	68	1.5	0.05	11	2.008	0.498	2	0.267
I-4	74	1.5	0.05	11	2.008	0.498	2.6	0.287
I-5	80	1.5	0.05	11	2.008	0.498	3.2	0.307
I-6	59	3	0.10	11	2.008	0.498	0.8	0.227
I-7	65	3	0.10	11	2.008	0.498	1.4	0.247
I-8	71	3	0.10	11	2.008	0.498	2	0.267
I-9	77	3	0.10	11	2.008	0.498	2.6	0.287
I-10	83	3	0.10	11	2.008	0.498	3.2	0.307
I-11	86	4	0.13	13	2.373	0.421	3.2	0.307
I-13	57	1.5	0.05	8	1.461	0.685	0.8	0.227
I-14	63	1.5	0.05	8	1.461	0.685	1.4	0.247
I-15	69	1.5	0.05	8	1.461	0.685	2	0.267
I-16	75	1.5	0.05	8	1.461	0.685	2.6	0.287
I-17	81	1.5	0.05	8	1.461	0.685	3.2	0.307
I-18	58	1.5	0.05	13	2.373	0.421	0.8	0.227
I-19	64	1.5	0.05	13	2.373	0.421	1.4	0.247
I-20	70	1.5	0.05	13	2.373	0.421	2	0.267
I-21	76	1.5	0.05	13	2.373	0.421	2.6	0.287
I-22	82	1.5	0.05	13	2.373	0.421	3.2	0.307
I-23	60	3	0.10	8	1.461	0.685	0.8	0.227
I-24	66	3	0.10	8	1.461	0.685	1.4	0.247
I-25	72	3	0.10	8	1.461	0.685	2	0.267
I-26	78	3	0.10	8	1.461	0.685	2.6	0.287
I-27	84	3	0.10	8	1.461	0.685	3.2	0.307
I-28	61	3	0.10	13	2.373	0.421	0.8	0.227
I-29	67	3	0.10	13	2.373	0.421	1.4	0.247
I-30	73	3	0.10	13	2.373	0.421	2	0.267
I-31	79	3	0.10	13	2.373	0.421	2.6	0.287
I-32	85	3	0.10	13	2.373	0.421	3.2	0.307

Tabela II.2 - Condições dos ensaios realizados na série II

Série - Ensaio	Teste	Hp (m)	Hm (m)	Tp (seg)	Tm (seg)	fm (Hz)	Maré (m) (Z.H.)	h tanque (m)
II-1	32	1.5	0.05	11	2.008	0.498	0.8	0.227
II-2	34	1.5	0.05	11	2.008	0.498	1.4	0.247
II-3	36	1.5	0.05	11	2.008	0.498	2	0.267
II-4	38	1.5	0.05	11	2.008	0.498	2.6	0.287
II-5	41	1.5	0.05	11	2.008	0.498	3.2	0.307
II-6	33	3	0.10	11	2.008	0.498	0.8	0.227
II-7	35	3	0.10	11	2.008	0.498	1.4	0.247
II-8	37	3	0.10	11	2.008	0.498	2	0.267
II-9	39	3	0.10	11	2.008	0.498	2.6	0.287
II-10	42	3	0.10	11	2.008	0.498	3.2	0.307
II-11	43	4	0.13	13	2.373	0.421	3.2	0.307
II-12	40	4	0.13	13	2.373	0.421	2.6	0.287

Tabela II.3 - Condições dos ensaios realizados na série III

Série - Ensaio	Teste	Hp (m)	Hm (m)	Tp (seg)	Tm (seg)	fm (Hz)	Maré (m) (Z.H.)	h tanque (m)
III-1	54	1.5	0.05	11	2.008	0.498	0.8	0.227
III-2	52	1.5	0.05	11	2.008	0.498	1.4	0.247
III-3	50	1.5	0.05	11	2.008	0.498	2	0.267
III-4	47	1.5	0.05	11	2.008	0.498	2.6	0.287
III-5	44	1.5	0.05	11	2.008	0.498	3.2	0.307
III-6	55	3	0.10	11	2.008	0.498	0.8	0.227
III-7	53	3	0.10	11	2.008	0.498	1.4	0.247
III-8	51	3	0.10	11	2.008	0.498	2	0.267
III-9	48	3	0.10	11	2.008	0.498	2.6	0.287
III-10	45	3	0.10	11	2.008	0.498	3.2	0.307
III-11	46	4	0.13	13	2.373	0.421	3.2	0.307
III-12	49	4	0.13	13	2.373	0.421	2.6	0.287

Tabela II.4 - Condições dos ensaios realizados na série IV

Série - Ensaio	Teste	Hp (m)	Hm (m)	Tp (seg)	Tm (seg)	fm (Hz)	Maré (m) (Z.H.)	h tanque (m)
IV-1	87	1.5	0.05	11	2.008	0.498	0.8	0.227
IV-2	89	1.5	0.05	11	2.008	0.498	1.4	0.247
IV-3	91	1.5	0.05	11	2.008	0.498	2	0.267
IV-4	93	1.5	0.05	11	2.008	0.498	2.6	0.287
IV-5	96	1.5	0.05	11	2.008	0.498	3.2	0.307
IV-6	88	3	0.10	11	2.008	0.498	0.8	0.227
IV-7	90	3	0.10	11	2.008	0.498	1.4	0.247
IV-8	92	3	0.10	11	2.008	0.498	2	0.267
IV-9	94	3	0.10	11	2.008	0.498	2.6	0.287
IV-10	97	3	0.10	11	2.008	0.498	3.2	0.307
IV-11	98	4	0.13	13	2.373	0.421	3.2	0.307
IV-12	95	4	0.13	13	2.373	0.421	2.6	0.287

ANEXO III
GRÁFICOS DOS RESULTADOS OBTIDOS COM AS
SONDAS

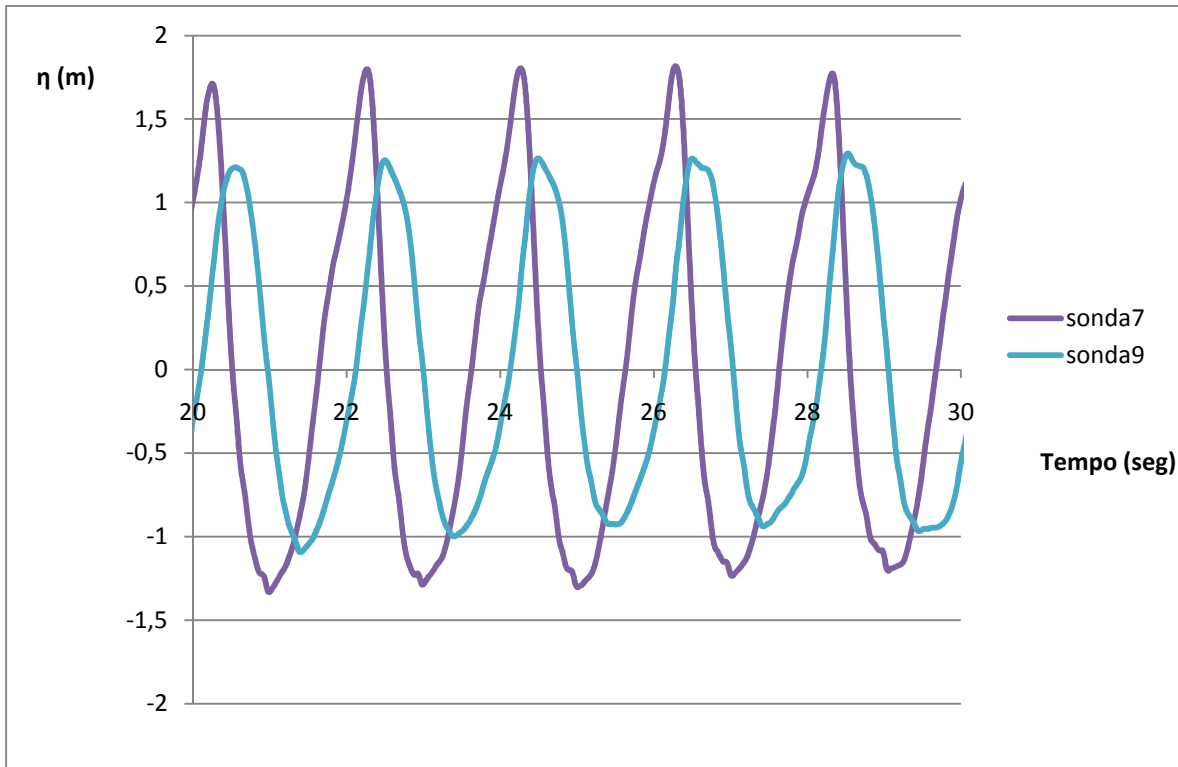


Fig. III.1 – Diferença entre leituras das sondas 7 e 9, Série I / Ensaio 7, Teste 65 (CM=1.4m (Z.H.), H=3m, T=11seg)

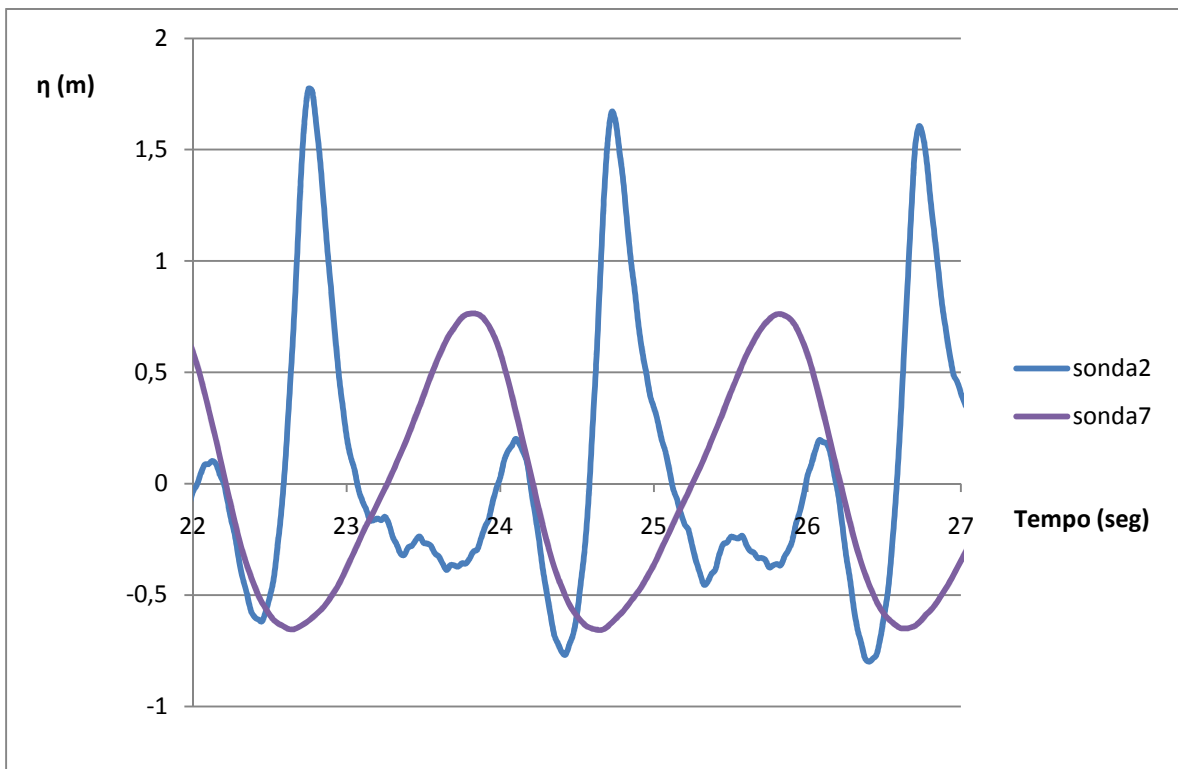


Fig. III.2 – Agitação antes e depois do recife, Série I / Ensaio 3, Teste 68 (CM=2m (Z.H.), H=1.5m, T=11seg)

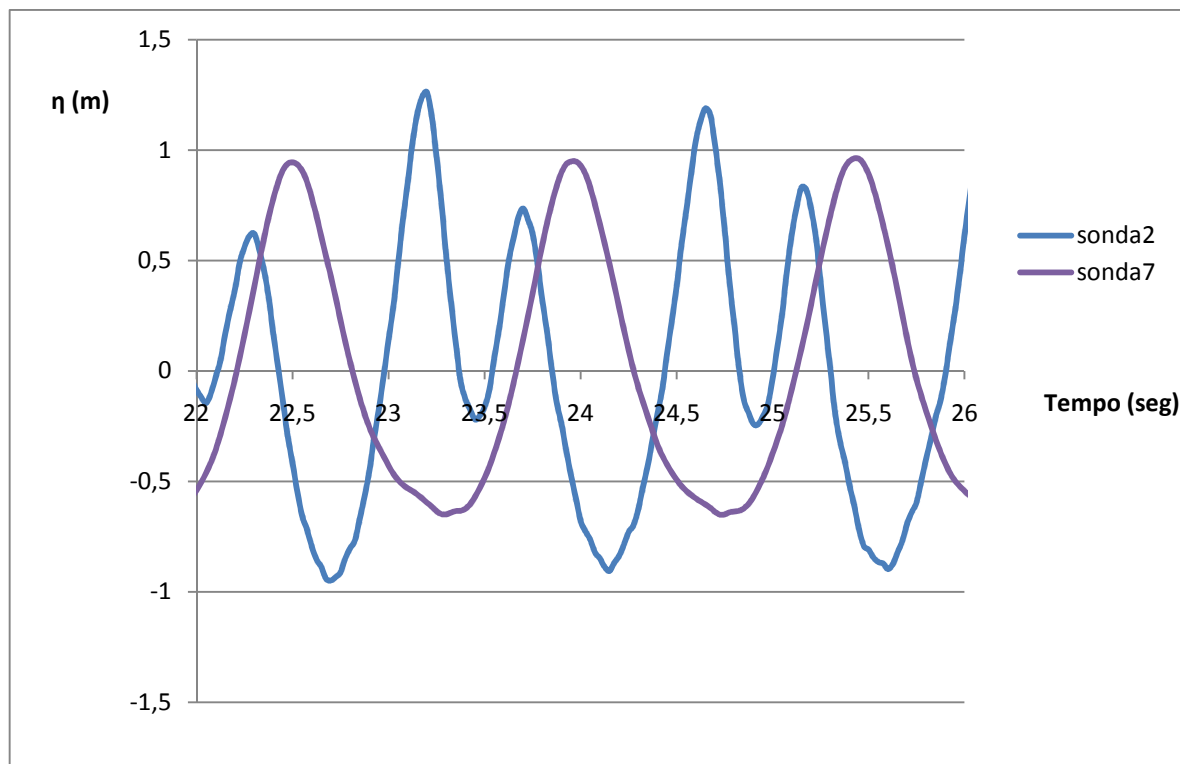


Fig. III.3 - Agitação antes e depois do recife, Série I / Ensaio 15, Teste 69 (CM=2m (Z.H.), H=1.5m, T=8seg)

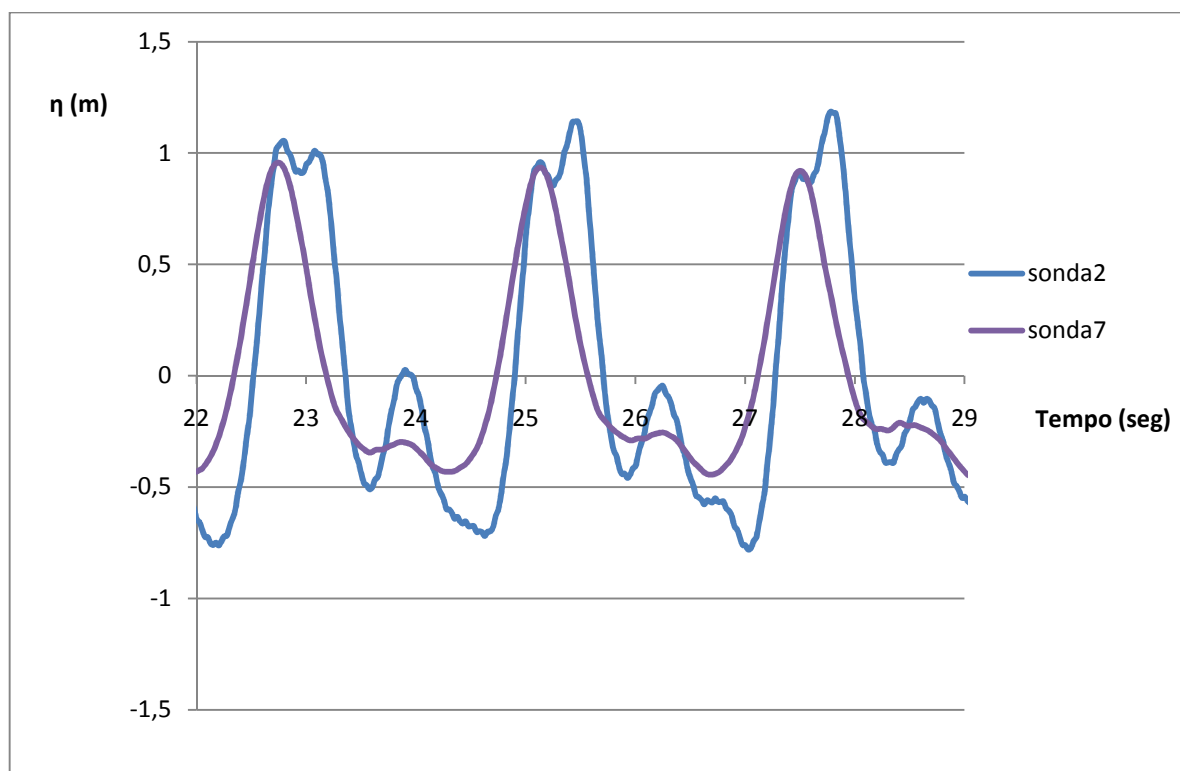


Fig. III.4 - Agitação antes e depois do recife, Série I / Ensaio 20, Teste 70 (CM=2m (Z.H.), H=1.5m, T=13seg)

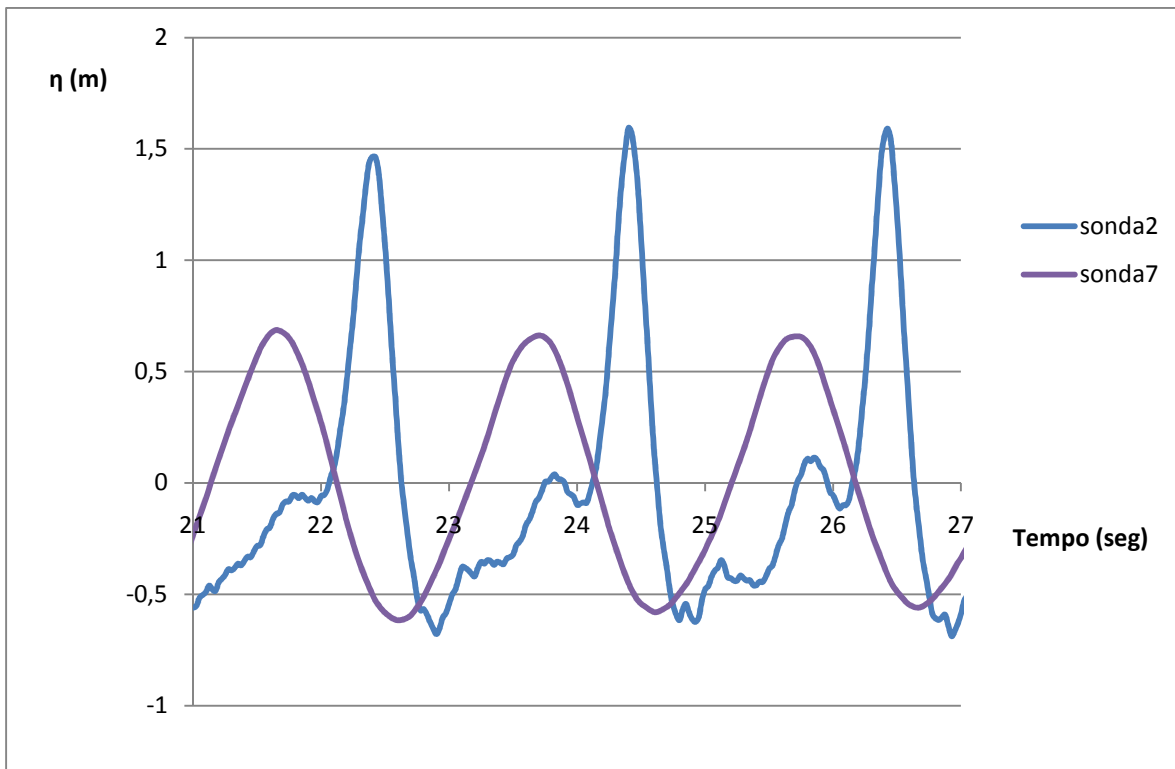


Fig. III.5 - Agitação antes e depois do recife, Série I / Ensaio 5, Teste 80 (CM=3.2m (Z.H.), H=1.5m, T=11seg)

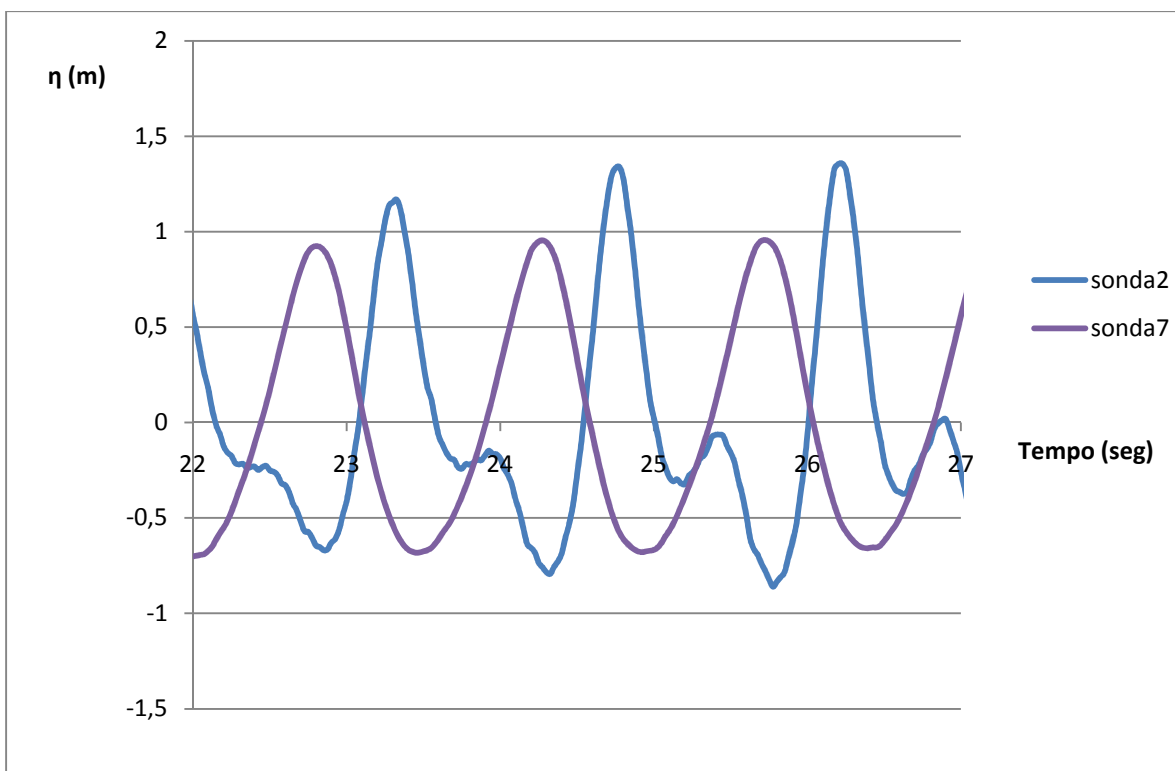


Fig. III.6 - Agitação antes e depois do recife, Série I / Ensaio 17, Teste 81 (CM=3.2m (Z.H.), H=1.5m, T=8seg)

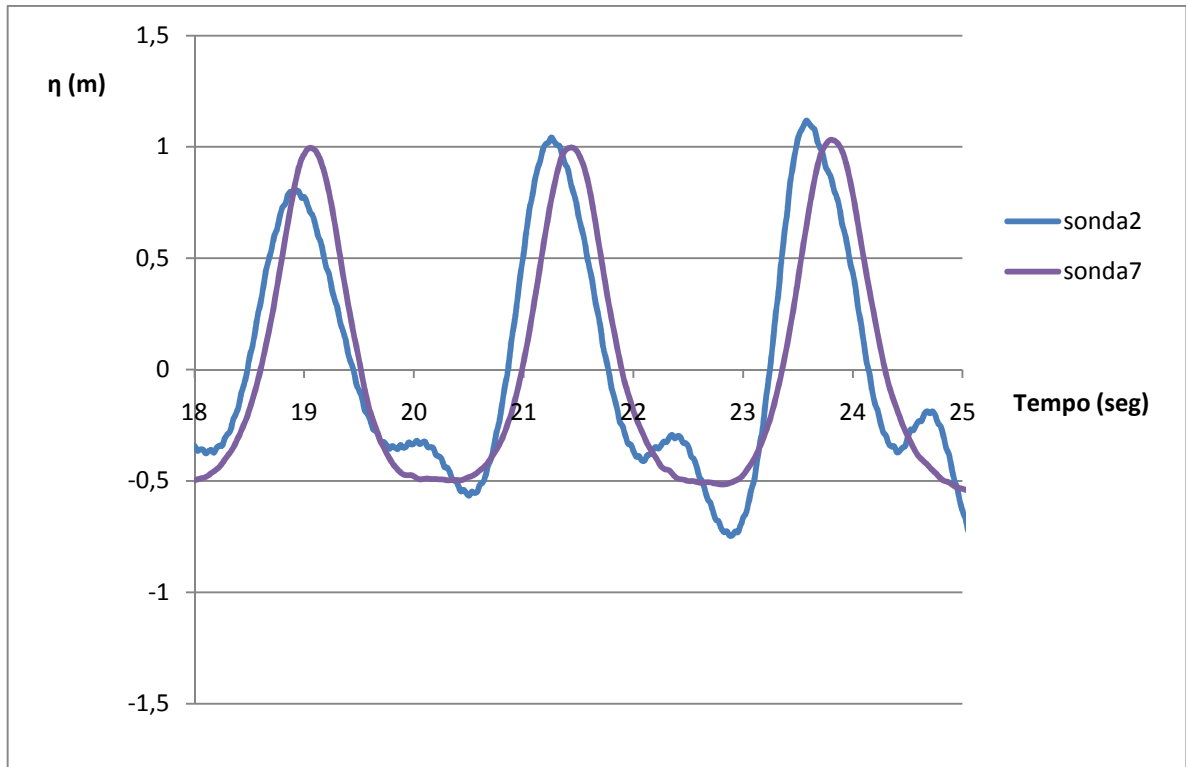


Fig. III.7 - Agitação antes e depois do recife, Série I / Ensaio 22, Teste 82 (CM=3.2m (Z.H.), H=1.5m, T=13seg)

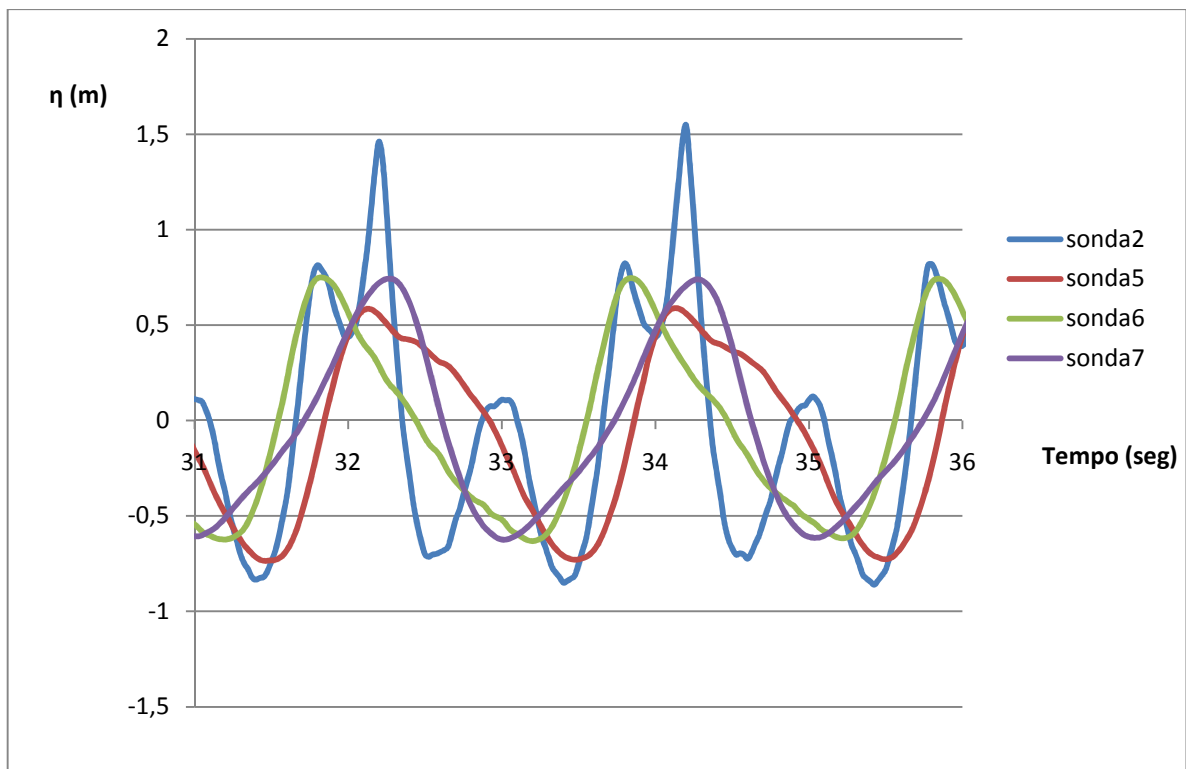


Fig. III.8 – Leituras das sondas, Série II / Ensaio 2, Teste 34 (CM=1.4m (Z.H.), H=1.5m, T=11seg)

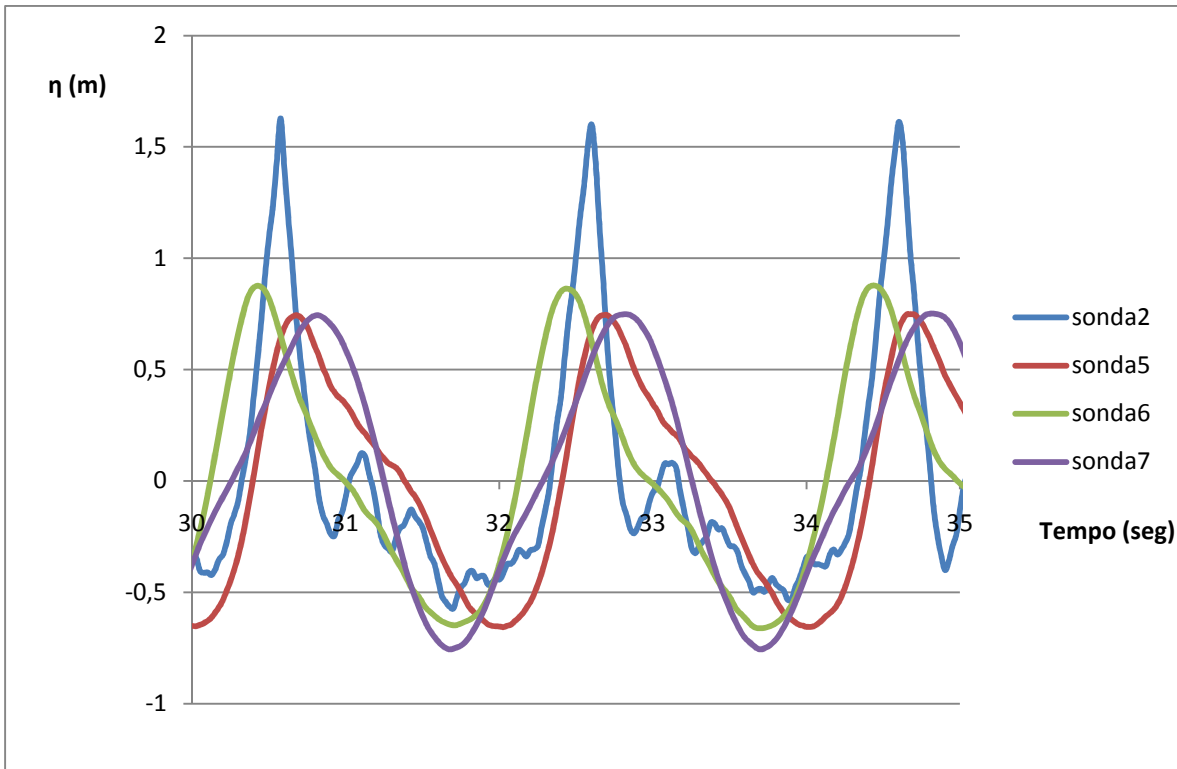


Fig. III.9 - Leituras das sondas, Série III / Ensaio 2, Teste 52 (CM=1.4m (Z.H.), H=1.5m, T=11seg)

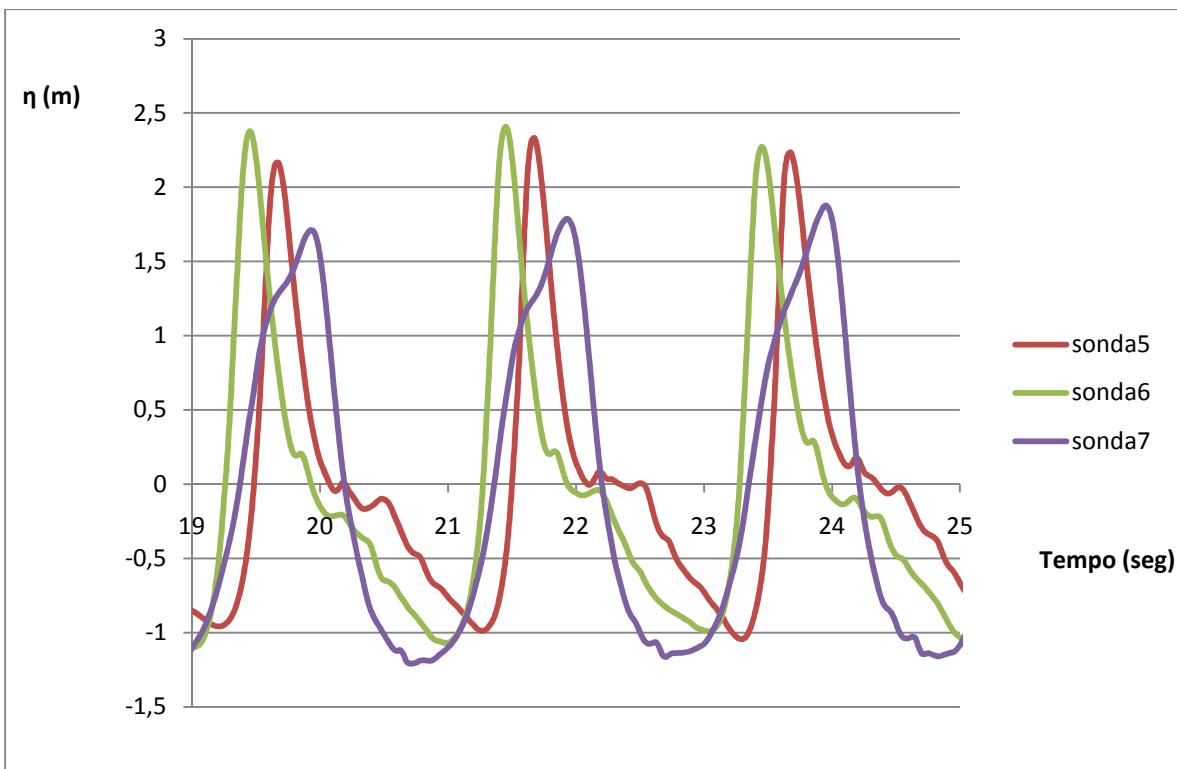


Fig. III.10 – Empolamento, Série III / Ensaio 6, Teste 55 (CM=0.8m (Z.H.), H=3m, T=11seg)

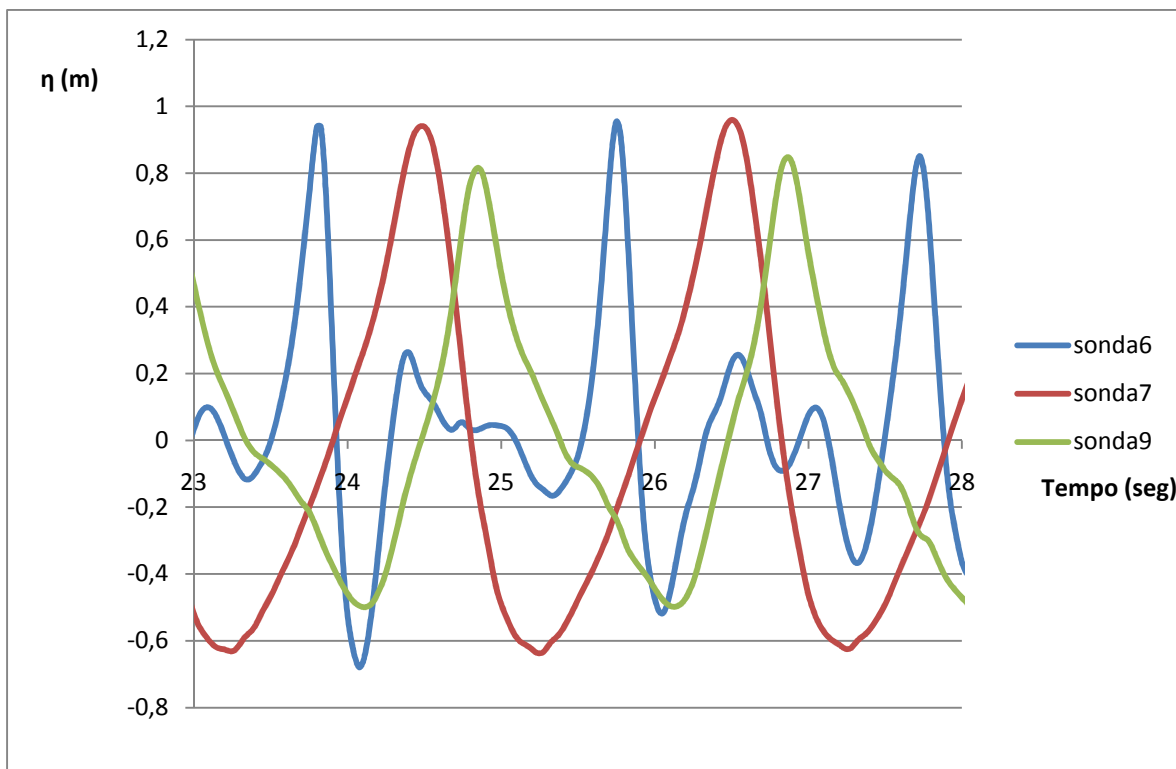


Fig. III.11 - Leituras das sondas, Série IV / Ensaio 1, Teste 87 (CM=0.8m (Z.H.), H=1.5m, T=11seg)

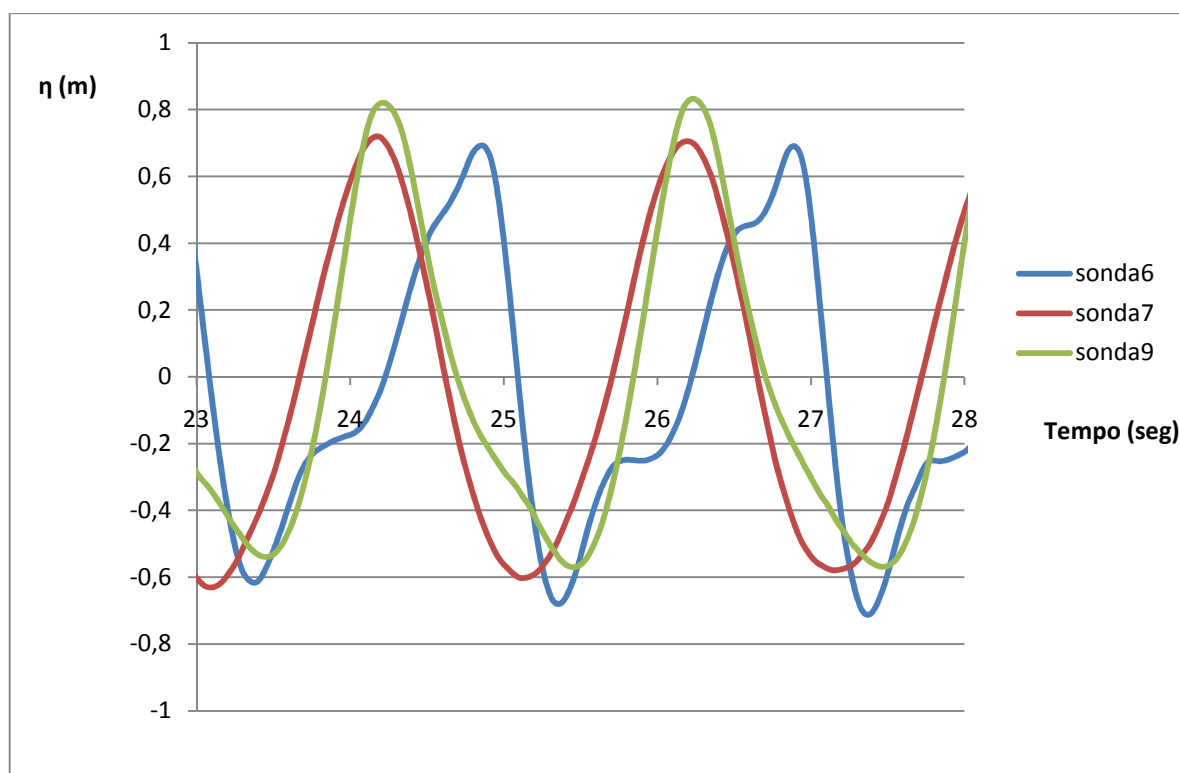


Fig. III.12 - Leituras das sondas, Série IV / Ensaio 5, Teste 96 (CM=3.2m (Z.H.), H=1.5m, T=11seg)