



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Civil



Análise de Espraiamento em quebra-mares de taludes, sujeitos a estado de agitação de incidência oblíqua

VERA SOFIA FERNANDES DE PINA

Licenciada em Engenharia Civil

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, área de
especialização em Hidráulica

Orientador (es):

Doutor João Alfredo Ferreira dos Santos

Doutora Conceição Juana Espinosa Morais Fortes

Júri:

Presidente: Doutor Paulo Jorge Henriques Mendes

Vogais:

Doutor Rui Jorge Pereira Capitão

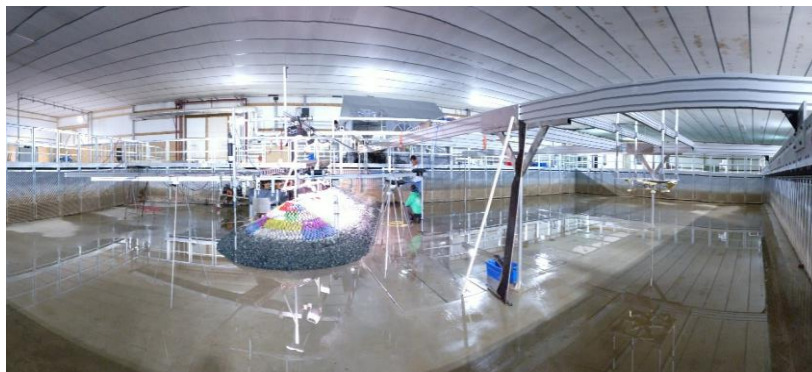
Doutor João Alfredo Ferreira dos Santos

Setembro, 2020



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Civil



Análise de Espraiamento em quebra-mares de taludes, sujeitos a estado de agitação de incidência oblíqua

VERA SOFIA FERNANDES DE PINA

Licenciada em Engenharia Civil

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, área de
especialização em Hidráulica

Orientador (es):

Doutor João Alfredo Ferreira dos Santos

Doutora Conceição Juana Espinosa Morais Fortes

Júri:

Presidente: Doutor Paulo Jorge Henriques Mendes

Vogais:

Doutor Rui Jorge Pereira Capitão

Doutor João Alfredo Ferreira dos Santos

Setembro, 2020

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo caracterizar o espraçamento em quebra-mares de taludes sob condições de estados de agitação de incidência oblíqua. Com esse trabalho pretende-se contribuir para o estudo do desempenho dessas estruturas costeiras, uma vez que pouco se sabe sobre real probabilidade de falhas nas estruturas já existentes sob condições de ondas extremas.

Para esse estudo, foi construído um trecho de quebra-mar de talude (cabeça e parte do corpo adjacente com inclinação de 1(V) : 2(H)), no tanque de ondas da Leibniz University Hannover, sujeito a diferentes ângulos de incidência da agitação marítima, variando de 40° a 90° (Direção de propagação da onda paralela ao eixo do modelo estudado). Foram realizados 49 testes, utilizando dois níveis de água diferentes (0,60 m e 0,68 m) e cinco ângulos de incidência dos estados de agitação (40°, 55°, 65°, 75° e 90°).

Para analisar o espraçamento, utilizou-se dois scripts em MatLab^(TM): `temporal_RunUpV2auto.m`, que é o principal script na estimativa do espraçamento e o `zero_crossing.m` que é uma função para identificar os cruzamentos dos zeros. Foi também estimado o espraçamento previsto através das fórmulas empíricas, do EurOtop 2018 (van der Meer et al., 2018). A análise dos dados medidos no ensaio focou-se no parâmetro $Ru2\%$, a altura de espraçamento que é excedida por 2% das ondas incidentes quebra-mar, porque se apenas 2% das alturas da ondas atingirem a crista do quebra-mar, esse número é considerado tão pequeno que não põe em risco a estabilidade do quebra-mar, não sendo necessário ter cuidados especiais com o talude interior do quebra-mar.

Concluiu-se que para os cenários de agitação marítima estudados não será necessário ter cuidados especiais com o talude interior da estrutura, uma vez que são poucos os estados de agitação em que 2% das ondas ultrapassaram a cota do coroamento do quebra-mar, induzindo o galgamento.

Palavras-chave: Agitação marítima, ângulo de incidência oblíqua, quebra-mares, espraçamento, ensaios em modelo físico.

ABSTRACT

The present work aims to characterize the wave run-up, on rubble-mound breakwaters under conditions of oblique incidence of sea waves, in order to study the performance of these coastal structures, since little is known about the real probability of failure on existing structures under extreme wave conditions.

For this study a stretch of a rubble mound breakwater (head and part of the adjoining trunk, with a slope of 1(V):2(H)) was built in the wave basin of the Leibniz University Hannover, the incidence angles to be tested ranged from 40° to 90° (wave direction parallel to the model axis). A total of 49 tests were performed, using two different water levels (0,60 m and 0,68 m) and five wave incidence angles to the normal to the breakwater axis (40°, 55°, 65°, 75° and 90°).

To analyze the wave run-up scripts were developed: `temporal_RunUpV2auto.m`, which is the main script in the wave run-up estimation and `zero_crossing.m` which is a function to identify the intersections of the zeros. It was also estimated the relative wave run-up through the empirical formulas of EurOtop 2018.

The analysis of the data measured in the test was focused on Ru2%, the run-up height exceeded by 2% of the number of waves incident in the record, because if only 2% of the wave heights reach the crest of the breakwater, this number is considered so small, that it does not put in risk the stability of the breakwater, and it is not necessary to take special care with the slope on the lee side of the breakwater.

The results showed that for the studied sea-waves scenarios, it will not be necessary to take special care with the slope on the lee side of the structure, since there are few sea states in which 2% of the waves exceeded the crest of the breakwater, inducing overtopping.

Keywords: Sea waves, oblique incidence angle, breakwater, run-up, physical model tests.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar os meus sinceros agradecimentos às pessoas que direta ou indiretamente estiveram presentes e me apoiaram na realização desse trabalho.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus orientadores, o Professor João Alfredo Ferreira dos Santos e a Doutora Conceição Juana Fortes, pela disponibilidade que sempre tiveram, pela simpatia que sempre me receberam, pelas sugestões, pelo ensinamento e pela paciência que tiveram durante a realização dessa dissertação.

À Engenheira Rute Lemos, pelo tempo que me dedicou, pelas sugestões e ensinamento e pelo empenho demonstrado na minha orientação .

Ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), por todo o apoio e dados disponibilizados. O trabalho realizado é uma contribuição para os projetos financiados pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia To-SEAlert - Wave overtopping and flooding in coastal and port areas: Tools for an early warning, emergency planning and risk management system, Ref. PTDC/EAM-OCE/31207/2017 e BSAFE4SEA - Breakwaters SAFETY control through a FORecast and decision support SystEm Analysis, Ref. PTDC/ECI-EGC/31090/2017.

À minha família, pelo apoio incondicional em todas as etapas da minha vida, em especial ao meu Pai por nunca deixar de acreditar nas minhas capacidades mesmo quando eu mesma duvidava.

Ao meu namorado e aos meus amigos por sempre me apoiarem e não me deixarem desistir. Sem o vosso apoio não estaria a fechar mais esta etapa na minha vida.

Um muito obrigado a todos...

SIMBOLOGIA

B	Largura da berma	(m)
d	Profundidade	(m)
dB	Distância vertical entre o meio da berma e o nível de água	(m)
g	Aceleração da gravidade	(m/s ²)
H ₀	Altura da onda ao largo	(m)
H _s	Altura significativa	(m)
H _{m0}	Altura significativa espectral do estado de agitação	(m)
L ₀	Comprimento da onda ao largo	(m)
L _{m-1,0}	Comprimento da onda espectral	(m)
L _{berma}	Comprimento da berma	(m)
T _p	Período de pico	(s)
r _B	Parâmetro de redução do espraçamento causada pela influência da largura da berma	(-)
r _{dB}	Parâmetro de redução do espraçamento causada pela profundidade a meio do comprimento da berma	(-)
R _c	Desnível entre o máximo do nível de água e o coroamento da estrutura	(m)
R _s	Espraçamento significativo, isto é a média do 1/3 dos maiores espraçamentos num registo	(m)
R _{med}	Espraçamento médio	(m)
R _{1/10}	Média do 1/10 dos maiores espraçamentos num registo	(m)
R _{1/20}	Média de 1/20 dos maiores espraçamentos num registo	(m)
R _{1/50}	Média de 1/50 dos maiores espraçamentos num registo	(m)
R _{1/100}	Média de 1/100 dos maiores espraçamentos num registo	(m)
R _{1/200}	Média de 1/200 dos maiores espraçamentos num registo	(m)
R _{u1%}	Espraçamento excedido apenas por 1% de todos os espraçamentos	(m)
R _{u1%}	Espraçamento excedido apenas por 1% de todos os espraçamentos	(m)
R _{u2%}	Espraçamento excedido apenas por 2% de todos os espraçamentos	(m)

R_{rms}	Média quadrática dos espraiaamentos, ou seja, a raiz quadrada da média dos quadrados dos valores da amostra	(m)
R_{max}	Espraiaamento máximo	(m)
R_{min}	Espraiaamento mínimo	(m)
S_0	Declividade da onda ao largo	(-)
T_{med}	Período médio da onda	(s)
$T_{m-1,0}$	Período médio espectral	(s)
T_p	Período de pico	(s)
T_s	Período significativo	(s)
α	Ângulo do talude com a horizontal	(°)
β	Ângulo de incidência entre a direção de propagação das ondas e o eixo perpendicular à estrutura	(°)
γ_b	Coefficiente de redução devido a influência da existência da berma	(-)
γ_β	Coefficiente de redução devido a influência da obliquidade da onda	(-)
γ_f	Coefficiente de redução devido a influência da rugosidade/permeabilidade da estrutura	(-)
$\xi_{m-1,0}$	Parâmetro de rebentação da onda ou chamado número de Iribarren	(-)
π	Constante de Arquimedes com valor aproximado de 3,14	(-)

ABREVIATURAS

LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
LUH	Leibniz University Hannover
NMA	Nível médio de água

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento do tema	1
1.2	Organização da dissertação.....	2
2	O FENÓMENO DE ESPRAIAMENTO	3
2.1	Considerações gerais.....	3
2.2	Fatores condicionantes.....	5
2.2.1	Agitação marítima.....	5
2.2.2	Geometria da estrutura.....	7
2.2.3	Outros fatores.....	9
3	DESCRIÇÃO DO ENSAIO	11
3.1	Objetivos	11
3.2	Modelo experimental	11
3.3	Construção do modelo	13
3.4	Equipamento de medição utilizado.....	14
3.5	Procedimento do teste	17
4	METODOLOGIA DE TRATAMENTO DE DADOS	21
4.1	Conversão de valores	21
4.2	Processo desenvolvido em Matlab ^(TM)	24
4.2.1	Matlab ^(TM) Scripts	24
5	APLICAÇÃO DE FÓRMULAS EMPÍRICAS	31
5.1	Considerações gerais.....	31
5.2	Coefficientes de redução	31
5.2.1	Coefficiente de influência da rugosidade/permeabilidade do talude γf	31
5.2.2	Coefficiente de influência da obliquidade das ondas $\gamma\beta$	33

5.2.3	Coeficiente de influência por existência da berma γb	34
5.3	Altura significativa e período de pico	37
6	RESULTADOS	45
7	CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO	55
8	REFERÊNCIAS	57
	ANEXOS	59
	Anexo A – Script’s utilizados no processamento dos dados de ensaio	59
	“Temporal_RunUpV2auto.m”	59
	“Zero_crossing.m”	62
	“main.m”	67
	Anexo B – Tabelas de resultados	69
	Tabela B.1 - Valores de altura significativa e período de pico processados para cada teste	69
	Tabela B.1 (cont.) - Valores de altura significativa e período de pico processados para cada teste	70
	Tabela B.1 (cont.) - Valores de altura significativa e período de pico processados para cada teste	71
	Tabela B.1 (cont.) - Valores de altura significativa e período de pico processados para cada teste	72
	Tabela B.2 - Valores de espraçamento observados e obtidos através da fórmula empírica	73
	Tabela B.2 (cont.) - Valores de espraçamento observados e obtidos através da fórmula empírica	74
	Tabela B.2 (cont.) - Valores de espraçamento observados e obtidos através da fórmula empírica	75
	Tabela B.2 (cont.) - Valores de espraçamento observados e obtidos através da fórmula empírica	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Exemplo de espriamento (adaptado de Bay, 2005).....	3
Figura 2.2 - Exemplo de rebentação progressiva (adaptado de USACE, 2006).....	6
Figura 2.3 - Exemplo de rebentação mergulhante (adaptado de USACE, 2006)	6
Figura 2.4 - Exemplo de rebentação colapsante (adaptado de USACE, 2006)	7
Figura 2.5 - Exemplo de rebentação de fundo (adaptado de Horikawa et. al., 1988).....	7
Figura 2.6 - Exemplos de blocos artificiais de betão	8
Figura 2.7 - Representação em planta do ângulo de incidência β	9
Figura 3.1 - Vista em planta do modelo de quebra-mar (RODBreak, 2017).....	12
Figura 3.2 - Perfil transversal de quebra-mar (RODBreak, 2017).....	12
Figura 3.3 - Etapas da construção do modelo experimental (RODBreak, 2017)	14
Figura 3.4 - Câmara térmica em operação durante o teste (RODBreak, 2017).....	15
Figura 3.5 – Sondas capacitivas para medição da elevação da superfície livre (RODBreak, 2017)	16
Figura 3.6 – Foto 1: As duas câmaras digitais SLR (Canon EOS 600D); foto 2: Sensor de movimento Kinect; foto 3 e 4: Elementos artificiais do manto protetor (RODBreak, 2017)	17
Figura 4.1- Esquema base para estabelecer as coordenadas das extremidades da sondas capacitivas	22
Figura 4.2 - Série temporal medida na sonda 4.1.5 durante o teste T013.....	27
Figura 4.3 - Série temporal medida na sonda 4.1.3 durante o teste T026.....	27
Figura 4.4 - Série temporal medida na sonda 4.1.5 durante o teste T026.....	28
Figura 4.5 - Série temporal medida na sonda 4.1.3 durante o teste T025.....	28
Figura 5.1 - Sondas capacitivas instaladas sobre enrocamento (esquerda) e sobre cubos Antifer (direita), (RODBreak, 2017)	32
Figura 5.2 - Direção das ondas oblíquas do caso de estudo (adaptado de Lemos et al., 2020).....	33
Figura 5.3 - Talude com existência de berma (EAK 2002)	35
Figura 5.4 - Sondas Acústicas junto ao pé do talude	38

Figura 5.5 - Série temporal da elevação da superfície livre durante o T013 nas 3 sondas acústicas, (a primeira corresponde à sonda 1.1.1, a segunda à sonda 1.1.2 e a terceira à sonda 1.1.3).....	39
Figura 5.6 - Espectro unidimensional da elevação da superfície livre do teste T013 nas 3 sondas acústicas, (a primeira corresponde à sonda 1.1.1, a segunda à sonda 1.1.2 e a terceira à sonda 1.1.3).....	40
Figura 5.7 - Série temporal durante o T027	42
Figura 5.8 - Série temporal durante o T063	42

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Sequências de testes realizados	20
Tabela 4.1 - Pontos medidos a partir da secção transversal.....	22
Tabela 4.2 - Resultados obtidos dos valores convertidos	24
Tabela 4.3 - Alturas de ondas máximas e mínimas registadas no teste T013.....	26
Tabela 4.4 - Alturas de ondas máximas e mínimas registadas no teste T026.....	27
Tabela 4.5 - Exemplo de resultados obtidos do processamento no MatLab ^(TM) de dados recolhidos durante o teste T013 na sonda 4.1.1	29
Tabela 5.1 - Valores do coeficiente de rugosidade/permeabilidade, para alguns tipos de materiais constituintes do talude (Coeveld <i>et al.</i> , 2005)	32
Tabela 5.2 - Coeficiente de redução pela influência da berma para NMA 0,60 m.....	36
Tabela 5.3 - Coeficiente de redução pela influência da berma para NMA 0,68 m.....	36
Tabela 5.4 - Alguns exemplos da análise de sensibilidade aos valores de espraiamento, em relação ao coeficiente de redução por influência da berma.	37
Tabela 5.5 - Valores de altura significativa e período de pico do T013	38
Tabela 5.6 - Valores de altura significativa e período de pico do T027	41
Tabela 5.7 - Valores de altura significativa e período de pico do T063	41
Tabela 5.8 - Valores de altura significativa e período de pico do T027 corrigidos.....	42
Tabela 5.9 - Valores de altura significativa e período de pico do T063 corrigidos.....	43

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 6.1 - Valores de espraçamento relativo estimado e medido para ondas de crista longa com ângulo incidência 40°	46
Gráfico 6.2 - Valores de espraçamento relativo estimado e medido para ondas de crista curta com ângulo incidência 40°	47
Gráfico 6.3 – Valores de espraçamento relativo estimado e medido para ondas de crista longa com ângulo incidência 55°	48
Gráfico 6.4 – Valores de espraçamento relativo estimado e medido para ondas de crista longa com ângulo incidência 65°	49
Gráfico 6.5 – Valores de espraçamento relativo estimado e medido para ondas de crista curta com ângulo incidência 65°	49
Gráfico 6.6 - Valores de espraçamento relativo estimado e medido para ondas de crista longa com ângulo incidência 75° e 90°	50
Gráfico 6.7 - Espraçamento Ru2% em função da altura significativa espectral, para nível de água de 0,60 m	52
Gráfico 6.8 - Espraçamento Ru2% em função da altura significativa espectral, para nível de água, 0,68 m	53

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do tema

A maioria dos cenários climáticos preveem a subida do nível médio do mar, bem como o aumento da intensidade e frequência de ventos e tempestades (IPCC, 2014), podendo provocar alterações nos valores extremos da agitação marítima, incluindo mudanças de direção dominante dos estados de agitação. A rebentação das ondas, espraçamento, galgamento e seu impacto na estabilidade de quebra-mares de taludes ainda não estão adequadamente caracterizados para cenários de mudanças climáticas. O mesmo acontece com a influência do ataque de ondas oblíquas em tais fenómenos.

Para garantir um desempenho adequado dessas estruturas costeiras em cenários de mudança climática sem aumentar o tamanho dos quebra-mares e os custos associados, tem de se entender a influência do ângulo de incidência do estado de agitação, bem como o efeito da dispersão direcional, no que diz respeito ao espraçamento, galgamento e estabilidade do manto protetor.

São poucos os resultados de investigações disponíveis sobre a influência do ângulo de incidência no estudo de espraçamento e galgamento, certamente devido à sua complexidade e altos custos de teste em modelo em tanques de ondas. Um dessas investigações foi o trabalho experimental de Bornschein et al. (2014), no âmbito do projeto HYDRALAB-CornerDike, para estudo do espraçamento e galgamento em um dique de eixo curvo, sujeito a estado de agitação de incidência oblíqua. Para minimizar a lacuna de dados existente sobre esse fenómeno, foi realizado o projeto RodBreak, cujo principal objetivo foi contribuir para uma melhor compreensão dos fenómenos de espraçamento, galgamento e danos em quebra-mares de talude, sob condições extremas de agitação, incluindo diferentes obliquidades e dispersão direcional. Sob condições extremas de agitação, com declividade de onda de 0,055, com diferentes ângulos de incidência (de 40° a 90°), foram realizados 49 testes no tanque de ondas da Leibniz University Hannover (LUH), onde foi implementado um trecho de quebra-mar de talude. Para cada teste, foram realizadas várias medições, incluindo medições de espraçamento com cinco sondas capacitivas de 0,87 m de comprimento, que

foram colocadas ao longo do modelo, 3 no tronco do quebra-mar e 2 na cabeça do quebra-mar.

A estimativa do espraçamento nas estruturas costeiras é crucial para prever a ocorrência do galgamento, estudar as inundações e avaliar o impacto desse fenómeno na segurança das pessoas e no normal desempenho das atividades económicas nas áreas protegidas por essas estruturas.

O espraçamento é definido como a altura máxima, acima do nível médio da água, alcançável por uma onda marítima que atinge uma estrutura marítima. É um dos fatores mais importantes no dimensionamento da altura do coroamento das estruturas marítimas pois condiciona o galgamento das mesmas. Com isso, o foco da estimativa do espraçamento baseou-se no $Ru_{2\%}$, que é a altura de espraçamento que é excedida por 2% do número de ondas incidentes num registo de um estado de agitação. Com efeito, se apenas 2% das ondas num estado de agitação atingirem a cota do coroamento do quebra-mar aquele estado de agitação não porá em causa a estabilidade do talude interior do quebra-mar.

1.2 Organização da dissertação

A presente dissertação encontra-se organizada em 7 capítulos. No capítulo 1 é apresentada a introdução, fazendo o enquadramento do tema, indicando o objetivo e a sua relevância. No capítulo 2, aborda-se o fenómeno do espraçamento, o seu conceito e os fatores que o condicionam. No capítulo 3, é feita a descrição do modelo físico ensaiado, abordando os métodos e os materiais utilizados na sua construção e os procedimentos dos testes realizados. No capítulo 4, apresenta-se o procedimento numérico de tratamento dos dados. No capítulo 5, aborda-se os métodos de cálculo do espraçamento através de fórmulas empíricas. No capítulo 6, são apresentados e discutidos os resultados. No capítulo 7, são apresentadas as conclusões finais e proposta de trabalhos futuros.

2 O FENÓMENO DE ESPRAIAMENTO

2.1 Considerações gerais

Designa-se como espraioamento a subida da água sobre estruturas costeiras até que toda a sua energia cinética se transforme em energia potencial (Bay 2005). Ou seja, é o desnível entre o nível médio da água e a cota máxima alcançável por uma onda marítima que atinge uma estrutura marítima.

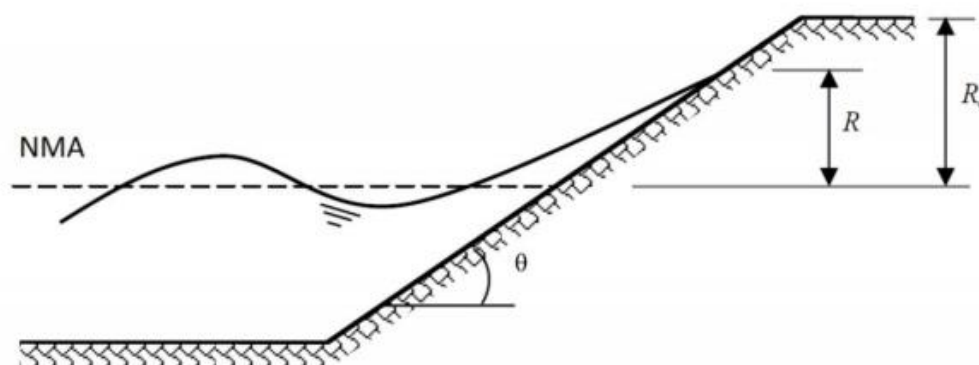


Figura 2.1 - Exemplo de espraioamento (adaptado de Bay, 2005)

Se essa altura máxima, R (espraioamento), for superior ao bordo livre da estrutura, Rc (desnível da cota do coroamento do talude para o nível médio do mar), dá-se o galgamento da estrutura, razão pela qual o espraioamento tem um papel importante no dimensionamento da altura do coroamento do quebra-mar de forma a mitigar a ocorrência do galgamento.

Segundo o European Overtopping Manual, (Van der Meer *et al.*, 2018), a altura de espraioamento associada a um estado de agitação pode ser caracterizada por $R_{u2\%}$. Esta é a altura de espraioamento que é excedida por 2% do número de ondas incidentes num registo de um estado de agitação. Pode ser estimada pela equação:

$$\frac{R_{u2\%}}{H_{m0}} = 1,65 * \gamma_b * \gamma_f * \gamma_\beta * \xi_{m-1,0} \quad (2.1)$$

H_{m0} é a altura da onda significativa espectral

γ_b é o coeficiente de influência da existência da berma no talude da estrutura

γ_f é o coeficiente de influência da rugosidade/permeabilidade da estrutura

γ_β é o coeficiente de influência da obliquidade das ondas relativamente a estrutura

$\xi_{m-1,0}$ é o parâmetro de rebentação da onda ou número de Iribarren, que é dado pela equação:

$$\xi_{m-1,0} = \frac{\tan\alpha}{(H_{m0}/L_{m-1,0})^{1/2}} \quad (2.2)$$

Em que $L_{m-1,0}$ é o comprimento de onda, determinado da seguinte forma:

$$L_{m-1,0} = \frac{(g * T_{m-1,0}^2)}{2\pi} \quad (2.3)$$

g é a aceleração da gravidade, $T_{m-1,0} = m_{-1}/m_0$ é o período médio espectral do estado de agitação, calculado com os momentos de ordem -1 e 0 do espectro.

De notar que os valores do espraçamento fornecidos pela equação (2.1) não podem ultrapassar o limite superior dado por:

$$\frac{R_{u2\%}}{H_{m0}} = 1 * \gamma_f * \gamma_\beta * \left(4 - \frac{1,5}{\sqrt{\gamma_b * \xi_{m-1,0}}}\right) \quad (2.4)$$

Isto é, o valor a ser considerado na estimativa do espraçamento será o menor dos valores obtidos entre a equação (2.1) e a equação (2.4).

2.2 Fatores condicionantes

Na interação onda-estrutura, são vários os fatores que podem condicionar o fenômeno de espriamento, sendo importante a análise pormenorizada de cada um desses fatores. É possível identificar fatores relacionados com as condições da agitação marítima e fatores relacionados com a morfologia das estruturas costeiras.

2.2.1 Agitação marítima

A sua ação é caracterizada por valores característicos da altura, do período e da direção de propagação de estado de agitação.

A influência do período da onda é representada, indiretamente, através da declividade da onda (S_0), definida pela razão entre a altura da onda (H_0), e o comprimento de onda (L_0). equação(2.5).

Neste caso, os valores característicos da altura de onda e do comprimento de onda dizem respeito a uma situação ao largo.

$$S_0 = \frac{H_0}{L_0} \quad (2.5)$$

A informação sobre a declividade da onda é indicativa do tipo de onda. Uma onda com uma declividade da ordem de 0,01 indica ondulação, enquanto uma declividade na ordem de 0,04 a 0,06 indica vagas (Pullen et al., 2007).

A forma como a onda rebenta sobre a estrutura também influencia fortemente o espriamento. A ação da onda sobre a estrutura, bem como alguns dos seus efeitos, pode ser representada pelo número de Iribarren, $\xi_{m-1,0}$, dado pela equação (2.2) Este número permite classificar o tipo de rebentação das ondas, podendo-se distinguir a rebentação progressiva (*spilling*), a rebentação mergulhante (*plunging*), a rebentação colapsante (*collapsing*) e a rebentação de fundo (*surging*). Este parâmetro adimensional relaciona o declive da estrutura onde a onda se propaga com a declividade da onda.

Para valores de $\xi_{m-1,0} < 0,5$ associa-se a ocorrência de rebentação Progressiva, onde a dissipação de energia ocorre numa maneira contínua num percurso relativamente longo, formando uma esteira de espuma sobre o talude. Este tipo de rebentação ocorre normalmente em fundos quase horizontais, ou seja, zonas com declive suave.

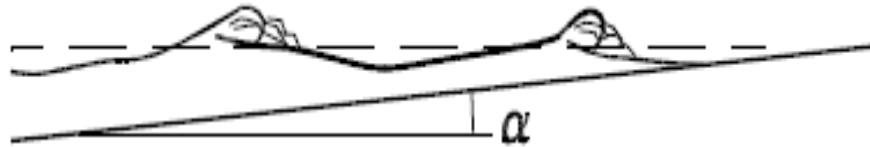


Figura 2.2 - Exemplo de rebentação progressiva (adaptado de USACE, 2006)

Quando a rebentação ocorre de forma súbita, com a crista a dobrar-se em voluta e a cair para a frente, tem-se rebentação Mergulhante, que ocorre normalmente em zonas de declive intermédio e corresponde a valores do número de Iribarren, $\xi_{m-1,0}$ entre 0,5 e 3.

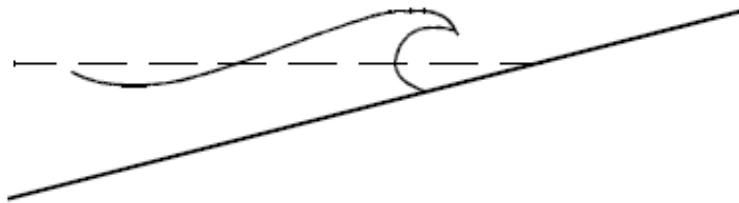


Figura 2.3 - Exemplo de rebentação mergulhante (adaptado de USACE, 2006)

Rebentação colapsante é o tipo de rebentação em que a crista de onda não chega verdadeiramente a rebentar por completo, embora a face da onda se torne progressivamente mais inclinada, acabando por colapsar com grande produção de espuma. Ocorre normalmente em zonas com grande declive do fundo ou quando a declividade da onda é relativamente pequena. Corresponde a valores do número de Iribarren no intervalo aproximado de $\xi_{m-1,0} \approx 3,0$ a $3,5$.

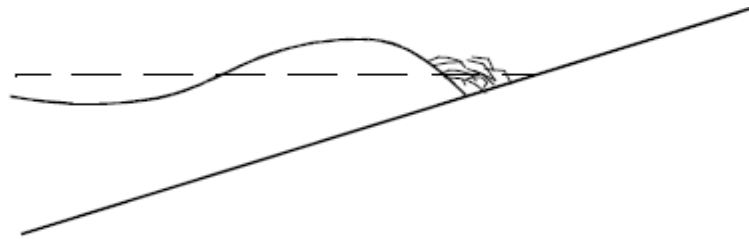


Figura 2.4 - Exemplo de rebentação colapsante (adaptado de USACE, 2006)

Por fim, para valores de número de *Iribarren* superiores a 3,5, ocorrerá uma rebentação de Fundo, normalmente associada a declives acentuados. A crista e a face frontal da onda mantêm-se praticamente inalteradas à medida que a onda atinge a costa, podendo não ocorrer qualquer rebentação.

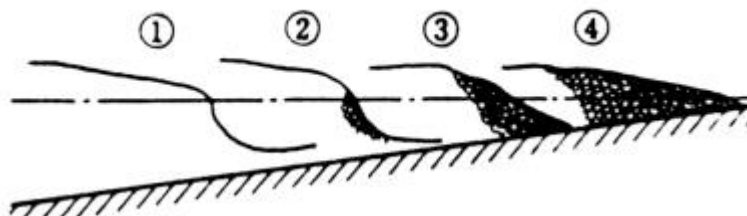


Figura 2.5 - Exemplo de rebentação de fundo (adaptado de Horikawa et. al., 1988)

2.2.2 Geometria da estrutura

No que diz respeito à estrutura, esta assume um papel essencial no controlo e mitigação do espraçamento e conseqüentemente do galgamento. Desde o seu material até à geometria, todos devem ser cuidadosamente estudados, pois tanto podem amenizar o espraçamento como podem amplificá-lo.

No dimensionamento da geometria da estrutura tem de ser analisada a distância vertical entre o coroamento da estrutura e o nível de água em repouso (R_c), um parâmetro de elevada importância. A solução mais vantajosa, seria adotar estruturas com cotas de coroamento muito altas. No entanto, estas soluções acarretam investimentos elevados e fortes impactos visuais em zonas turísticas. A rugosidade, a permeabilidade e o declive dos taludes, bem como a eventual berma, têm grande importância na caracterização do espraçamento.

A rugosidade e a permeabilidade são características que refletem o tipo de material constituinte do manto da estrutura, e a sua disposição. Não existe nenhuma norma específica para a utilização dos diferentes tipos de materiais. A escolha depende essencialmente do peso requerido para garantir a estabilidade da estrutura. Os quebra-mares de taludes eram normalmente constituídos por enrocamentos lançados de forma a criar uma secção transversal trapezoidal. Hoje em dia, são cada vez mais utilizados os blocos artificiais de betão, Figura 2.6, cujas formas e tamanhos são analisados e ajustados para melhorar o desempenho do quebra-mar face às condições a que são expostos.



Figura 2.6 - Exemplos de blocos artificiais de betão

Em casos onde seja necessário um aumento da dissipação da energia, pode ser colocada uma berma no talude exterior. A berma é uma descontinuidade no perfil do talude, caracterizada pela sua profundidade (d_B), a distância vertical entre o meio da berma e o nível

da água, e pela sua largura (B). Quanto maior for essa largura, maior será a dissipação de energia, desde que a berma esteja a uma profundidade relevante para a dissipação de energia.

2.2.3 Outros fatores

Na análise da rebentação das ondas através do número de Iribarren, não se leva em conta o ângulo de incidência das ondas, β . Este é definido pelo ângulo entre a direção de propagação da onda e a direção perpendicular à estrutura. Assim, para ondas com incidência perpendicular à estrutura corresponde um valor de $\beta = 0^\circ$.

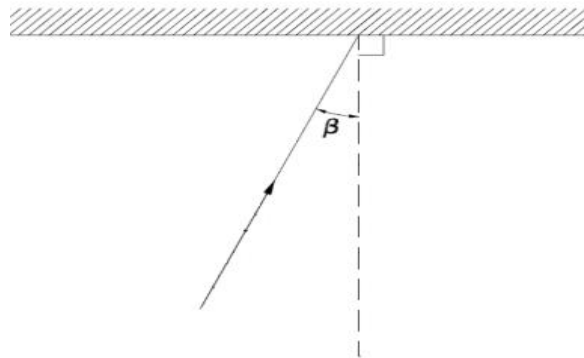


Figura 2.7 - Representação em planta do ângulo de incidência β

3 DESCRIÇÃO DO ENSAIO

3.1 Objetivos

Este ensaio foi elaborado com o objetivo de caracterizar o espraiamento, o galgamento e os danos em quebra-mares de taludes sujeitos a estados de agitação de incidência oblíqua, a fim de melhor compreender estes fenômenos em condições extremos de agitação. Com efeito, ainda se sabe muito pouco sobre a real probabilidade de falha das estruturas marítimas existentes sob condições de ondas extremas associadas a alterações climáticas.

De modo a garantir um melhor desempenho de quebra-mares de talude já existentes em cenários de mudanças climáticas sem a necessidade de aumentar as dimensões dos quebra-mares e os custos associados, é de extrema importância entender a influência do ângulo de incidência do estado de agitação, no que diz respeito a espraiamento, galgamento e na estabilidade hidráulica. Os resultados deste ensaio contribuirão também para ajudar a avaliar as estratégias de projeto e manutenção, para o aumento da vida útil e resiliência de quebra-mares, reduzindo os custos monetários de reconstrução e/ou alterações dos mesmos para resistir às mudanças climáticas.

3.2 Modelo experimental

Foi construído um trecho de quebra-mar de talude (cabeça e parte do corpo adjacente com inclinação de 1(V) : 2(H)), no tanque de ondas da LUH, para ficar sujeito a diferentes ângulos de incidência da agitação marítima, variando de 40° a 90° (Direção de propagação da onda paralela ao eixo do modelo estudado).

O modelo foi construído com o seu eixo formando um ângulo de 70° com a parede do tanque oposta ao bater, Figura 3.1. O comprimento total do modelo, medido ao longo do eixo do coroamento, é de 9,3 m, enquanto a sua largura é de 3,7 m e a altura 0,83 m, como pode ser verificado no perfil transversal do quebra-mar, Figura 3.2.

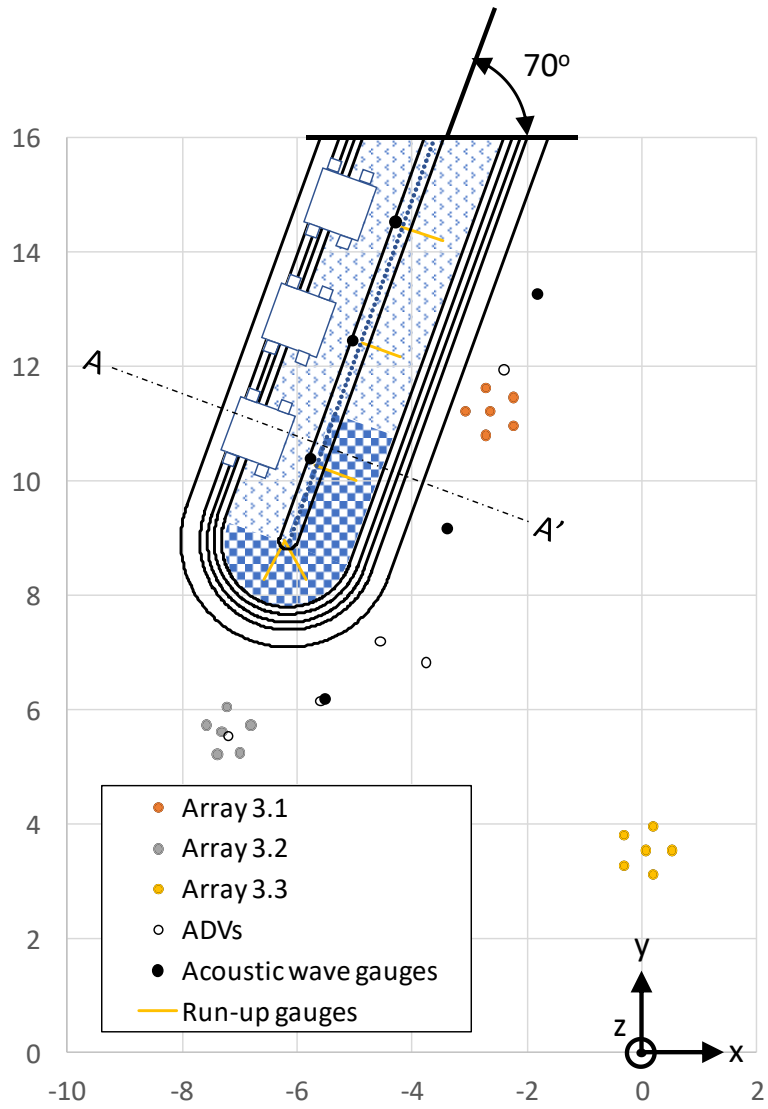


Figura 3.1 - Vista em planta do modelo de quebra-mar (RODBreak, 2017)

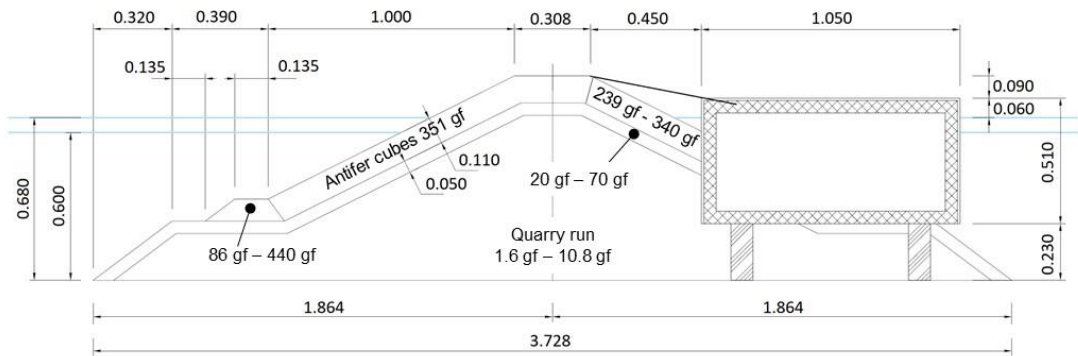


Figura 3.2 - Perfil transversal de quebra-mar (RODBreak, 2017)

3.3 Construção do modelo

A construção do modelo decorreu durante as duas primeiras semanas do ensaio. Começou com a montagem de uma gaiola feita dos moldes do núcleo para o tronco do quebra-mar e de vigas de conexão. Depois de concluída a montagem da gaiola, ela foi posicionada no fundo do tanque para que o alinhamento desejado para o eixo do modelo fosse conseguido.

O núcleo, com o volume total de 15 m^3 , foi construído com cascalho com um peso médio de 6 gf. Antes do enchimento do núcleo com este cascalho, foram instalados os três reservatórios para galgamentos. Depois de construído o núcleo do modelo de quebra-mar, foram colocados os moldes da camada de filtro sobre os moldes do núcleo. Foi utilizado cascalho com peso médio de 59 gf para a construção da camada de filtro. A construção da camada do manto protetor do quebra-mar começou na zona da cabeça do quebra-mar e na faixa adjacente do tronco com 2,5 m de largura. Os cubos Antifer com um peso médio de 351 gf foram dispostos em duas camadas de tal forma que a porosidade do manto fosse 37%. Cascalho com peso médio de 315 gf foi distribuído tanto na parte exposta, como na parte abrigada do manto protetor no tronco da estrutura.

Nenhum molde foi deixado no núcleo da cabeça do quebra-mar nem na camada do filtro, ao longo da estrutura. Pretendeu-se com isso garantir que nada atrapalhasse a percolação através do núcleo da cabeça do quebra-mar. A Figura 3.3 apresenta diferentes etapas da construção do modelo.

O tanque das ondas usado no ensaio tem 40 m de comprimento, 25 m de largura 1 m de profundidade.

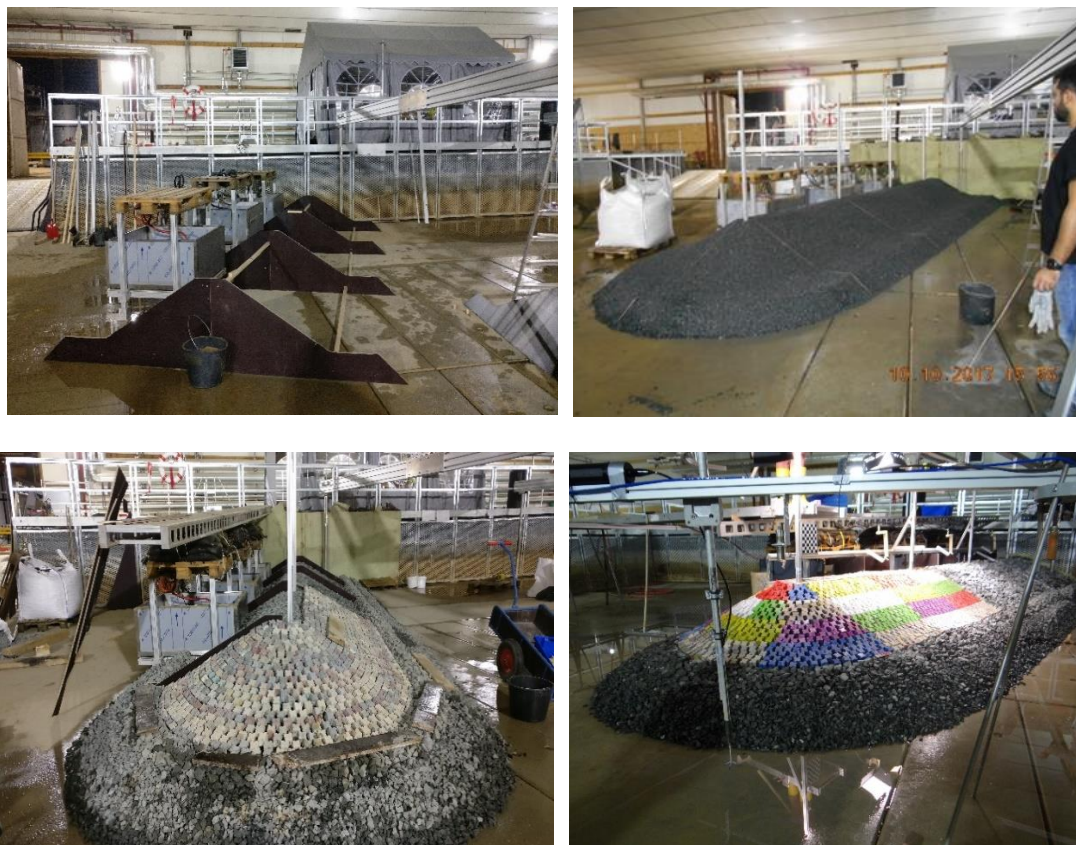


Figura 3.3 - Etapas da construção do modelo experimental (RODBreak, 2017)

3.4 Equipamento de medição utilizado

Foram instaladas quatro categorias diferentes de equipamento no modelo de acordo com as variáveis medidas:

- Agitação marítima;
- Espraimento;
- Galgamento;
- Dano no manto protetor.

Foi instalado na frente do gerador de ondas um conjunto de 6 sondas acústicas para medição da elevação da superfície livre, outro na frente da cabeça do quebra-mar, alinhado com o coroamento do mesmo, e um terceiro aproximadamente no meio do tronco do quebra-mar, em frente à entrada para o segundo reservatório de galgamento. Foram implantadas duas sondas acústicas isoladas para medição da elevação da superfície livre em frente do primeiro e terceiro reservatório de galgamento e uma terceira sonda acústica em frente à

cabeça do quebra-mar. Cinco medidores acústicos de velocidade por efeito Doppler (ADV) foram instalados próximo ao quebra-mar para caracterizar o escoamento induzido pela passagem da agitação marítima. Três deles foram implantados perto de sondas de ondas acústicas, para ter uma fonte alternativa de informação para caracterizar a agitação marítima incidente e refletida no quebra-mar. Dois ADVs foram instalados aproximadamente no plano vertical que marca o final do tronco do quebra-mar. O recetor acústico que define o eixo x de cada ADV, foi alinhado com o coroamento do quebra-mar para todos os ADVs, apesar da diferença entre as posições verticais do transmissor acústico dos vários ADVs. Sondas capacitivas para medição da elevação da superfície livre, com 0,87 m de comprimento, foram colocadas paralelamente ao talude, Figura 3.5. Três foram colocadas no tronco do quebra-mar, e duas na cabeça do quebra-mar (uma no plano que contém o eixo do quebra-mar e a outra perpendicularmente à primeira).

Uma sonda acústica foi instalada acima da entrada de cada rampa de condução do caudal galgado, para identificar a ocorrência de eventos de galgamento. Uma sonda capacitiva foi colocada dentro de cada reservatório de galgamento, para ter alguma redundância na medição do volume galgado fornecida pela célula de carga colocada na base do reservatório de galgamento. Uma câmara térmica com luz infravermelha foi colocada sobre a entrada do reservatório de galgamento, para registar o volume galgado.



Figura 3.4 - Câmara térmica em operação durante o teste (RODBreak, 2017)

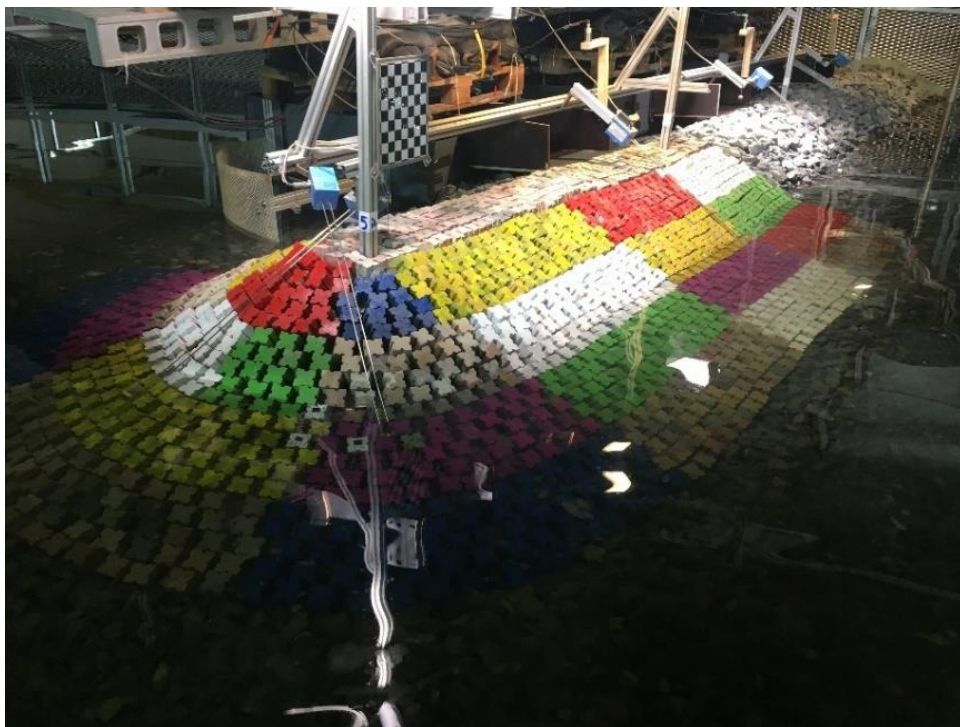


Figura 3.5 – Sondas capacitivas para medição da elevação da superfície livre (RODBreak, 2017)

Usaram-se três técnicas diferentes para registrar os danos no manto protetor do talude durante os testes, além da identificação visual dos cubos deslocados.

A primeira foi baseada em estereofotogrametria. Para isso foram posicionadas duas câmaras digitais SLR (Canon EOS 600D) equipadas com lentes de distância focal fixa (Canon EF 35mm $f/2$) por cima do modelo de quebra-mar, para que fossem tiradas duas fotos simultâneas quase da mesma área. Foram implementados procedimentos para processamentos dos pares de fotos que permitiram a reconstrução da envolvente do manto protetor do quebra-mar, incluindo a parte submersa, sem necessidade de esvaziar o tanque de ondas. A segunda técnica foi baseada no uso de um Kinect, um sensor de movimento, que percorre a zona correspondente à cabeça do quebra-mar coletando informações, que servem de base para reconstrução dessa zona do manto protetor acima do nível de água, como para corrigir estimativas feitas no manto protetor submerso depois do tanque ser esvaziado. Como essas duas técnicas implicavam o deslocamento de equipamentos sobre o modelo, foi construído um trilho suporte de alumínio, composto por um trecho reto de 7,85 m de comprimento e um trecho semicircular de 1,80 m de diâmetro e que foi posicionado 2 m acima do fundo do tanque de ondas. A terceira técnica foi baseada na implementação de 6 elementos artificiais no manto protetor, iguais aos cubos Antifer em termos de forma e peso, em cujo interior foram colocados acelerômetros que permitiam avaliar o seu movimento.

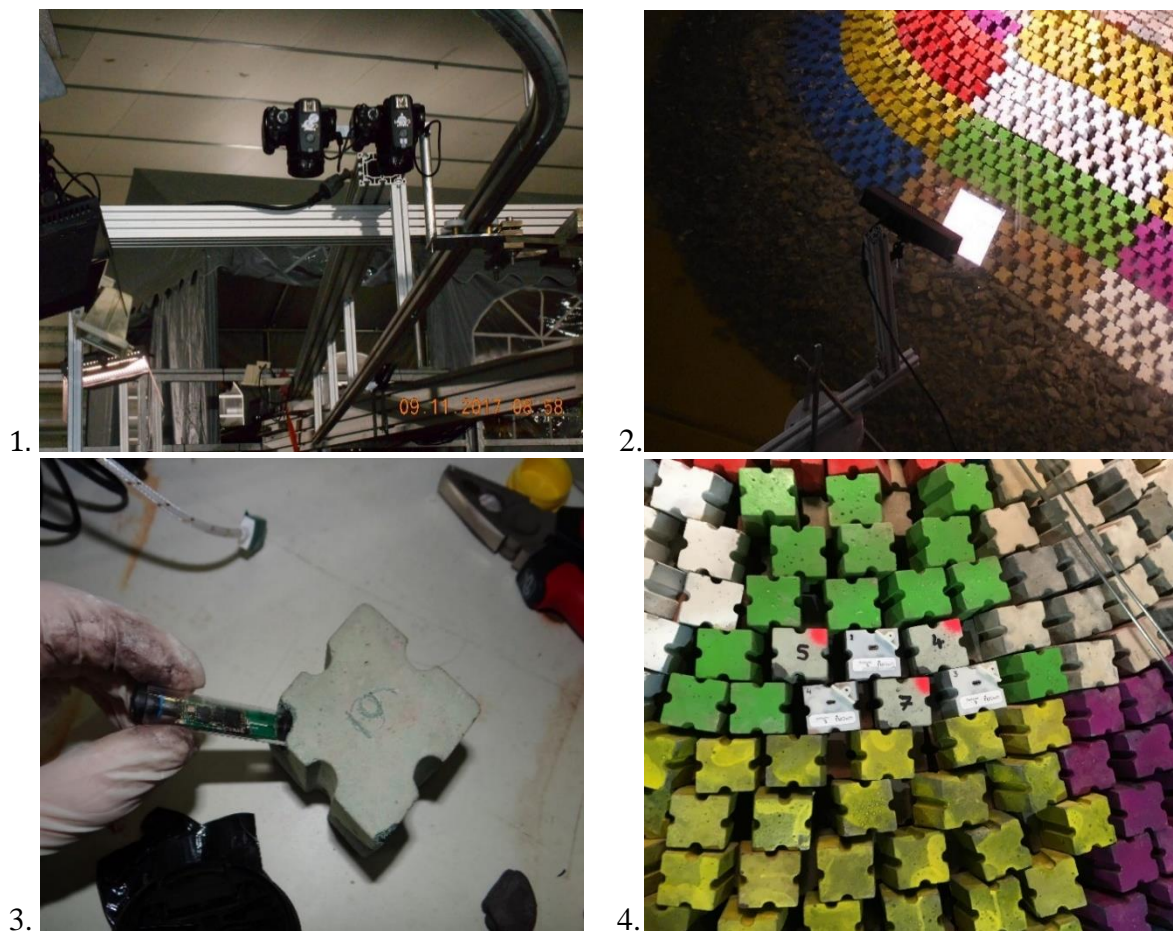


Figura 3.6 – Foto 1: As duas câmaras digitais SLR (Canon EOS 600D); foto 2: Sensor de movimento Kinect; foto 3 e 4: Elementos artificiais do manto protetor (RODBreak, 2017)

3.5 Procedimento do teste

Em cada dia útil, foi realizado uma sequência de testes, que consistiu em uma direção de ondas, uma profundidade de água e quatro estados de agitação, com alturas significativas crescentes e com uma declividade constante de 0,055. Para realização dos testes foram considerados dois níveis de água (0,60 m e 0,68 m), e cinco ângulos de incidência dos estados de agitação em relação à normal ao eixo do quebra-mar (40°, 55°, 65°, 75° e 90°). Foram testadas as seguintes alturas significativas: $H_s = 0,100$ m, 0,150 m, 0,175 m, 0,200 m e 0,250 m, com os períodos de pico correspondentes de $T_p = 1,19$ s, 1,45 s, 1,57 s, e 1,68 s.

Foi realizado um varrimento completo dos ângulos de incidência (40°, 55°, 65°, 75° e 90°) para os estados de mar de crista longa para a profundidade de 0,60 m, enquanto que para a profundidade de 0,68 m houve uma redução dos ângulos de incidência considerados. Uma vez que não era de esperar que ocorressem grandes galgamentos, espraiaamentos ou danos da estrutura para ângulos de incidência elevados, somente foram testados os ângulos de incidência 40°, 55° e 65° para a profundidade de 0,68 m. No final de cada sequência de testes foi reconstruída a camada do manto protetor, ou seja, todos os elementos deslocados durante os testes foram recolocados nas suas posições iniciais. A influência da dispersão direcional dos estados de agitação de crista curta foi investigada para a menor profundidade da água (0,60 m) e para os ângulos de incidência de 40° e 65°, sendo a dispersão direcional de 50°. Finalmente, para o ângulo de incidência de 40°, também foram obtidos resultados para a maior profundidade da água (0,68 m) e estados de agitação de crista curta com uma dispersão direcional de 50°.

Geralmente a sequência de ensaio consistiu nos 10 passos listados em seguida.

1. Antes do início da série de testes:
 - a. Levantar a envolvente da cabeça do quebra-mar com o Kinect;
 - b. Tirar pares de fotos em 4 pontos diferentes (na frente de cada reservatório e acima do plano correspondente a metade da rotação do perfil da cabeça do quebra-mar);
 - c. Colocar os elementos artificiais do manto em posições selecionadas da cabeça do quebra-mar e iniciar a recolha de dados.

2. Durante cada sequência de testes, para um dado ângulo de incidência:
 - a. A aquisição de dados foi realizada através de diferentes tipos de equipamento, consoante a grandeza a medir: Grupos de sondas acústicas e sondas acústicas isoladas para a medição da elevação da superfície livre e para a identificação de galgamentos; Sondas capacitivas para medição do espraiaamento e do nível de água dentro dos reservatórios de galgamento; Sensores de pressão nos reservatórios de galgamento; ADV para medição das velocidades de escoamento;
 - b. Gravação de imagens com 3 câmaras de vídeo: de uma régua graduada colocada sobre o talude próximo do enraizamento da estrutura, para medir o

espraiamento; da vista de norte e de leste do quebra-mar, para identificar os movimentos e quedas dos cubos na cabeça do quebra-mar.

3. Após cada um dos testes efetuados no ponto 2:
 - a. Levantar o manto protetor da cabeça do quebra-mar com o Kinect;
 - b. Tirar pares de fotos nos mesmos pontos de 1.b.
4. Após a série de testes:
 - a. Remover os elementos instrumentados do manto.
5. Antes de esvaziar o tanque:
 - a. Tirar vários pares de fotos da placa quadriculada posicionada em torno dos pontos de 1.b para permitir calibração individual das câmaras;
 - b. Tirar um par de fotos da placa quadriculada flutuante em torno de cada ponto 1.b para definir a elevação de superfície livre.
6. Esvaziar o tanque de ondas.
7. Repetir as etapas 3.a e 3.b para obter informações sobre o manto protetor "danificado" sem a perturbação induzida pela interface ar-água.
8. Depois de registados os impactos das ondas no quebra-mar, recolocar todos os blocos nas suas posições iniciais.
9. Repetir as etapas 3.a e 3.b para obter informações sobre o manto protetor "não danificado" sem a perturbação induzida pela interface ar-água.
10. Encher o tanque até o nível desejado.

Embora em alguns dias o trabalho não tenha seguido à risca todos passos, nos 11 dias de teste disponíveis foi sempre possível realizar uma sequência de pelo menos 4 testes para uma dada profundidade da água e direção das ondas incidentes, como pode ser visto na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Sequências de testes realizados

Data	Teste	d (m)	Hm0 (m)	Tp (s)	Dir (°)	Dispersão direcional (°)
01-11-2017	13	0,60	0,100	1,19	40	0
	14		0,150	1,45		
	15		0,175	1,57		
	16		0,200	1,68		
02-11-2017	17	0,60	0,100	1,19	65	0
	18		0,150	1,45		
	19		0,175	1,57		
03-11-2017	20	0,60	0,200	1,68	90	0
	21		0,100	1,19		
	22		0,150	1,45		
	23		0,175	1,57		
06-11-2017	25	0,60	0,200	1,68	40	0
	26		0,250	1,88		
	27		0,100	1,19		
	28		0,150	1,45		
07-11-2017	29	0,68	0,175	1,57	65	0
	30		0,200	1,68		
	31		0,100	1,19		
08-11-2017	32	0,60	0,150	1,45	40	50
	33		0,175	1,57		
	34		0,200	1,68		
	35		0,100	1,19		
09-11-2017	36	0,60	0,150	1,45	65	50
	37		0,175	1,57		
	38		0,200	1,68		
	39		0,250	1,88		
10-11-2017	40	0,60	0,100	1,19	55	0
	41		0,150	1,45		
	42		0,175	1,57		
	43		0,200	1,68		
13-11-2017	44	0,60	0,250	1,88	75	0
	45		0,100	1,19		
	46		0,150	1,45		
14-11-2017	47	0,68	0,175	1,57	55	0
	48		0,200	1,68		
	49		0,100	1,19		
	50		0,150	1,45		
15-11-2017	51	0,68	0,175	1,57	40	50
	52		0,200	1,68		
	58		0,100	1,19		
	59		0,150	1,45		
15-11-2017	60	0,68	0,175	1,57	40	50
	61		0,200	1,68		
	62		0,250	1,88		
	63		0,100	1,19		
15-11-2017	64	0,68	0,150	1,45	40	50
	65		0,175	1,57		
	66		0,200	1,68		
	67		0,250	1,88		
15-11-2017	68	0,68	0,100	1,19	40	50
	68		0,150	1,45		

4 METODOLOGIA DE TRATAMENTO DE DADOS

4.1 Conversão de valores

No âmbito desta dissertação, fez-se o tratamento e a análise de dados obtidos nos ensaios apresentados na Tabela 3.1 do capítulo 3, para avaliar o espraçamento no quebra-mar quando sujeito a estados de agitação de incidência oblíqua. Para o tratamento desses dados foi utilizado o MatLab^(TM), um software interativo voltado para o cálculo numérico.

Para o cálculo do espraçamento através desse software, foram utilizados dois scripts:

- Temporal_RunUpV2auto.m
- zero_crossing.m

O primeiro script, `temporal_RunUpV2auto.m` é o principal na estimativa da série temporal do espraçamento, enquanto o script `zero_crossing.m` é uma função que identifica os cruzamentos de zeros naquela série temporal e estima os valores característicos de espraçamento.

Para execução desses scripts, foi necessário localizar os respectivos dados contidos nos documentos txt: trata-se das elevações da superfície livre registadas pelas sondas capacitivas. Esses dados estavam registados nos ficheiros com todos os dados de elevação da superfície livre recolhidos durante os testes, nas colunas C18 a C22 correspondendo às sondas 4.1.1 a 4.1.5 respetivamente.

Com base nas características da secção transversal do quebra-mar e nas medições realizadas para definir as extremidades das sondas capacitivas, foi possível estabelecer as coordenadas dos pontos notáveis listados na Tabela 4.1 e representados na Figura 4.1. O referencial utilizado tem origem coincidente com o eixo do coroamento da secção transversal.

Tabela 4.1 - Pontos medidos a partir da secção transversal

	Sonda 4.1.1		Sonda 4.1.2		Sonda 4.1.3		Sonda 4.1.4		Sonda 4.1.5	
	x(m)	y(m)	x(m)	y(m)	x(m)	y(m)	x(m)	y(m)	x(m)	y(m)
E	-0,569	-0,201	-0,560	-0,200	-0,603	-0,177	-0,635	-0,205	-0,622	-0,228
A	-0,100	0,200	-0,100	0,210	-0,100	0,190	-0,100	0,130	-0,100	0,130
B	-0,100	0,000	-0,100	0,000	-0,100	0,000	-0,100	0,000	-0,100	0,000
C	-0,154	0,000	-0,154	0,000	-0,154	0,000	-0,154	0,000	-0,154	0,000
D	-0,569	-0,208	-0,564	-0,205	-0,604	-0,225	-0,634	-0,240	-0,614	-0,230

No esquema da Figura 4.1 a linha verde representa as sondas capacitivas, a linha castanha o talude e a linha azul o nível médio da água. Na mesma figura também são apresentadas as distâncias horizontais e verticais ou as distâncias entre os pontos mais importantes e os dois sistemas de coordenadas cartesianas x_2-y_2 e x_3-y_3 , de forma a poder-se calcular os ângulos representados no esquema.

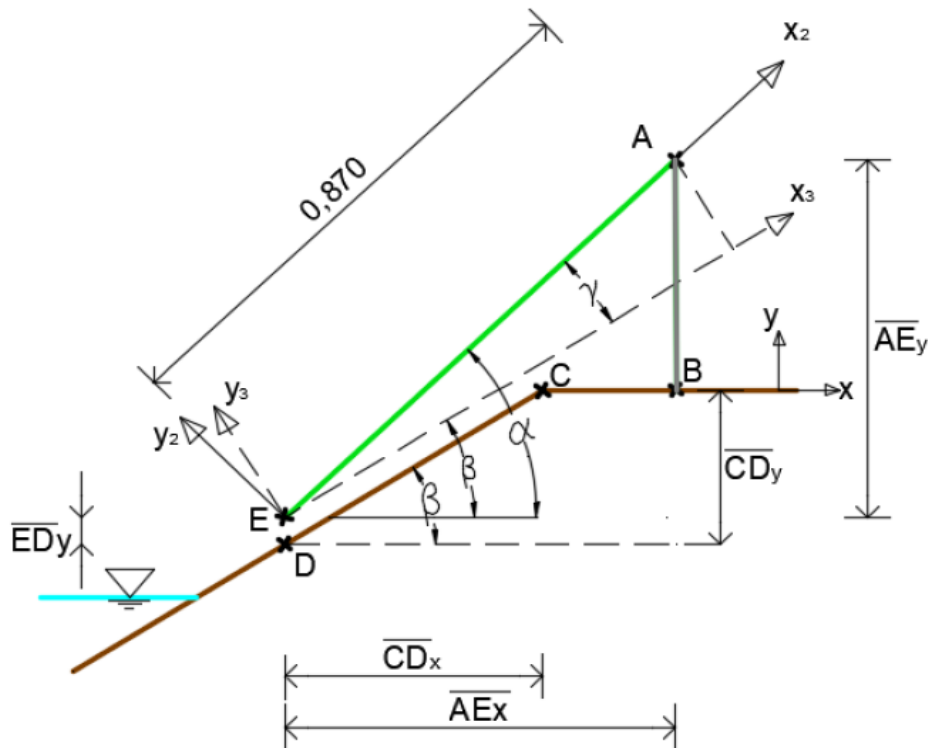


Figura 4.1- Esquema base para estabelecer as coordenadas das extremidades das sondas capacitivas

Os ângulos na Figura 4.1, foram calculados usando as seguintes equações:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{\overline{AE}_y}{\overline{AE}_x} \right) \quad (4.1)$$

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{\overline{CD}_y}{\overline{CD}_x} \right) \quad (4.2)$$

$$\gamma = \alpha - \beta \quad (4.3)$$

Ao multiplicar os valores medidos de x_2 pelo cosseno do ângulo γ , esses valores são convertidos no eixo x_3 . Visto que é necessário avaliar o desnível entre a superfície livre da onda ao longo do talude e o nível de repouso os valores obtidos para o eixo x_3 devem passar para valores verticais, pelo que os valores do eixo x_3 são multiplicados pelo seno do ângulo β .

Como a extremidade inferior de algumas sondas se encontra acima do nível médio da água em repouso, a altura da onda não é registrada nessa região intermédia. A distância vertical entre os pontos E e D, apresentada como \overline{ED}_y e a distância vertical do ponto D à superfície da água em repouso devem ser adicionados aos valores de altura vertical. Com o nível médio de água igual a 0,60 m, verifica-se essa situação em todas as sondas com exceção da sonda 4.1.4 em que o ponto D se encontra submerso. Nesse caso a distância entre o ponto D e o nível médio da água é negativa. Para o nível médio de água de 0,68 m, verifica-se, para todas as sondas de espraiamento, o que já se observou para a sonda 4.1.4 com o nível médio de 0,60 m.

Os resultados das conversões usando o esquema da Figura 4.1, são apresentados na Tabela 4.2, para cada uma das cinco sondas. A fórmula usada para converter os valores medidos ao longo das sondas em valores verticais foi:

$$VAL_{verticais} = VAL_{medidos} * \cos \gamma * \sin \beta * \overline{ED}_y + \text{distância entre D e NMA} \quad (4.4)$$

Tabela 4.2 - Resultados obtidos dos valores convertidos

	Sonda 4.1.1	Sonda 4.1.2	Sonda 4.1.3	Sonda 4.1.4	Sonda 4.1.5
CDx (m)	0,415	0,410	0,450	0,480	0,460
CDy (m)	0,208	0,205	0,225	0,240	0,230
AEx (m)	0,469	0,460	0,503	0,535	0,522
AEy (m)	0,401	0,410	0,367	0,335	0,358
EDy (m)	0,007	0,005	0,048	0,035	0,002
α (°)	40,531	41,711	36,115	32,053	34,443
β (°)	26,620	26,565	26,565	26,565	26,565
γ (°)	13,911	15,146	9,550	5,488	7,878
Dist D para NMA para 0,60	0,022	0,025	0,005	-0,010	0,000
Dist D para NMA para 0,68	-0,058	-0,055	-0,075	-0,090	-0,080

4.2 Processo desenvolvido em Matlab^(TM)

Após estabelecer as coordenadas das extremidades de cada sonda capacitiva e determinadas as variáveis necessárias para processar os dados registrados no ensaio, foi executado o script com base na equação (4.4), de forma a que os valores de espriamento, já sejam imprimidos como valores verticais. Foi criada uma pasta para cada dia e teste, onde todos os resultados produzidos através do script usado serão armazenados, juntamente com o respectivo script executado.

4.2.1 Matlab^(TM) Scripts

Foi utilizado um script já desenvolvido para processamento de dados de espriamento em outros ensaios, em que foram feitas alterações de forma a processar os dados do ensaio em estudo e para que os arquivos de dados do projeto RODBreak pudessem ser usados.

Para isso foi desenvolvida uma função para localizar os dados registrados do ensaio contidos no documento “txt”:

```
files = dir('*txt') %find files ".txt" (or another extension)
```

Em seguida, o delimitador do arquivo de dados é estabelecido. Nesse caso, é uma guia:

```
delimiterIn = '\t'
```

Depois disso, a escala do modelo foi definida com a variável 'escala'. Neste caso, a escala foi de 1:1.

Os dados a ser processados podem ser alterados, nomeadamente a linha inicial e final. Assim, o início e o fim dos dados podem ser cortados para uma melhor análise dos resultados. Isso é conveniente se houver dados espúrios no início ou no final da gravação, como por exemplo salpicos que podem ser registados pelas sondas como sendo ondas. Por omissão, foi estabelecida a remoção dos primeiros e dos últimos 300 valores, podendo ser cortadas mais ou menos linhas se for necessário.

```
data = data(300:rows-300,1);
```

Frequência é a próxima variável que pode ser editada. Nesse caso, a frequência de aquisição é de 300 Hz. A variável 'Fs' tem um valor de 300. O que significa que em cada segundo faz-se 300 registos da elevação da superfície livre. Cada leitura é um ponto/linha do registo.

Foi utilizada também uma função que identifica os cruzamentos de zeros na série temporal, serve para contar o número de vezes que a linha da série da aquisição do sinal cruza o zero num dado sentido apenas, podendo contar os cruzamentos de zero quando a linha vem de baixo (zero ascendente) ou quando vem de cima (zero descendente).

Esta função também serve para eliminar os cruzamentos de ondas muito pequenas que podem corresponder a pequenas oscilações da superfície livre e que não são propriamente ondas e que estariam a estragar a análise temporal.

Depois de definidas todas as variáveis, o script pode ser executado, com base na equação (4.4), que foi introduzida no script. O programa foi projetado para processar vários arquivos de dados em uma execução. Portanto, copiando e colando todos os arquivos de dados na pasta correta, preenchendo os números de coluna e introduzindo todas as outras variáveis, todos os dados podem ser processados de uma só vez. Para uma informação mais completa do script, pode consultar-se o Anexo A.

Ao verificar os dados originais dos arquivos constatou-se que alguns dos valores do registo são anómalos. Foi observado que alguns pontos da medição assumem valores extremamente altos ou extremamente baixos. Esses valores foram observados em todos os testes da sonda 4.1.5 e nos testes T025 e T026 na sonda 4.1.3. Apresenta-se exemplo de alguns desses valores na Tabela 4.3 e Tabela 4.4. De forma não pôr em causa a estimativa do espraçamento, verificou-se a necessidade de descartar todos os testes da sonda 4.1.5 e o teste T026, uma vez que tinham muitos desses valores danificados como pode ser observado nas séries temporais da Figura 4.2 à Figura 4.4. Por essa razão no estudo só foram utilizados os registos das sondas 4.1.1 a 4.1.4.

Em relação ao teste T025, apesar de nele se terem registado valores estranhos na sonda 4.1.3, da mesma ordem de grandeza dos valores já observados, foi possível considerar o teste para a estimativa do espraçamento, uma vez que esses valores eram poucos e não tiveram influência negativa na estimativa do espraçamento como pode ser observado na série temporal na Figura 4.5.

Tabela 4.3 - Alturas de ondas máximas e mínimas registadas no teste T013

	4.1.1	4.1.2	4.1.3	4.1.4	4.1.5
Máx (mm)	184,84	152,96	237,43	220,56	6000000056164350,00
Mín (mm)	- 110,38	- 111,51	- 115,57	- 111,24	-1000000,00

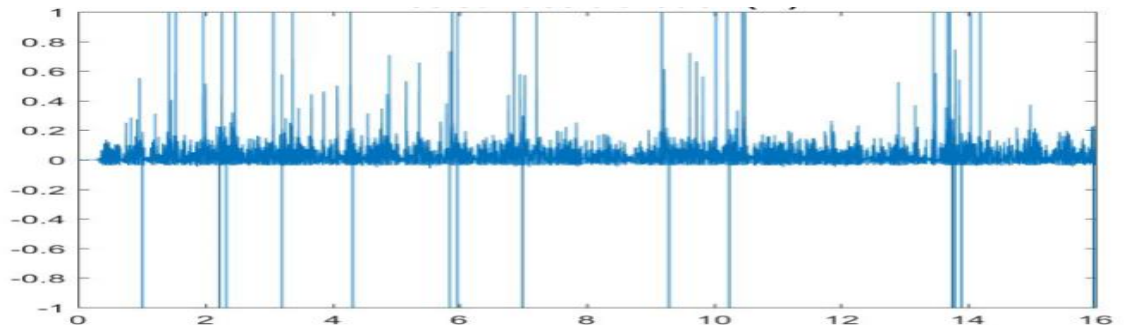


Figura 4.2 - Série temporal medida na sonda 4.1.5 durante o teste T013

Tabela 4.4 - Alturas de ondas máximas e mínimas registradas no teste T026

	4.1.1	4.1.2	4.1.3	4.1.4	4.1.5
Máx (mm)	419,92	214,67	6000000056164350,00	807,94	6000000056164350,00
Mín (mm)	- 117,20	- 120,43	-1000000,00	-91,90	-1000000,00

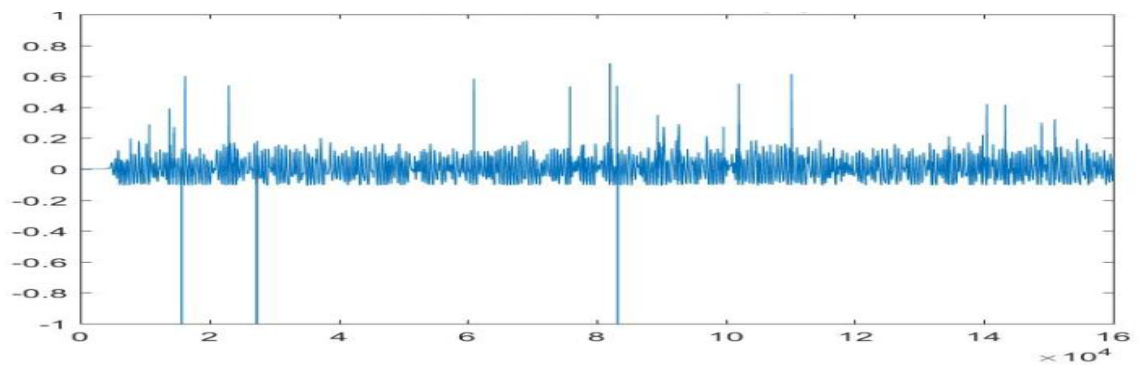


Figura 4.3 - Série temporal medida na sonda 4.1.3 durante o teste T026

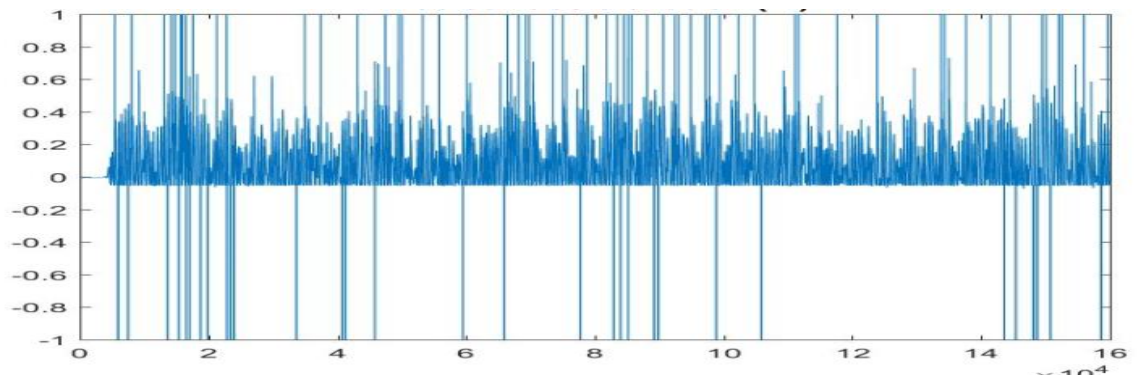


Figura 4.4 - Série temporal medida na sonda 4.1.5 durante o teste T026

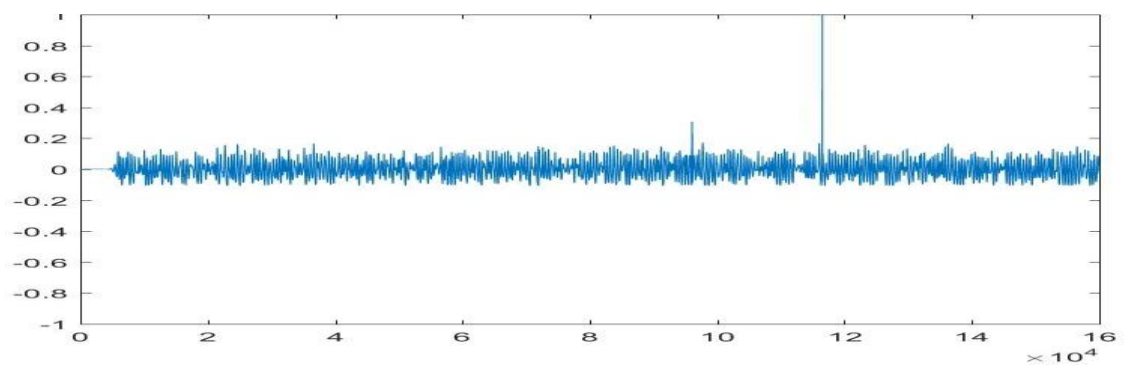


Figura 4.5 - Série temporal medida na sonda 4.1.3 durante o teste T025

Com a execução do script para processamento de dados, os resultados são escritos diretamente para uma folha de Microsoft excel. Na Tabela 4.5 podem ver-se exemplos de valores resultantes do processamento de dados no MatLab^(TM).

Tabela 4.5 - Exemplo de resultados obtidos do processamento no MatLab^(TM) de dados recolhidos durante o teste T013 na sonda 4.1.1

Rs [m]	0,069078
Rmed [m]	0,055229
R_10 [m]	0,078591
R_20 [m]	0,083006
R_50 [m]	0,087778
R_100 [m]	0,09172
R_200 [m]	0,096168
R_1% [m]	0,085815
R_2% [m]	0,08227
R_rms [m]	0,058079
Rmax [m]	0,110262
Rmin [m]	0,029085
Tmed [s]	1,033328
Ts [s]	1,134236
nPontos	361500
nRunUp	1151

Em que:

Rs é o espraçamento significativo, que é dada pela média do terço dos maiores espraçamentos num registo.

Rmed é o espraçamento médio.

R_10 ou R1/10 é a média do 1/10 dos maiores espraçamentos num registo.

R_20 ou R 1/20 é a média do 1/20 dos maiores espraçamentos num registo.

R_50 ou R 1/50 é a média do 1/50 dos maiores espraçamentos num registo.

R_100 ou R 1/100 é a média do 1/100 dos maiores espraçamentos num registo.

R_200 ou R 1/200 é a média do 1/200 dos maiores espraçamentos num registo.

R_1% é o espraçamento excedido apenas por 1% de todos os espraçamentos num registo.

$R_{2\%}$ é o espraçamento excedido apenas por 2% de todos os espraçamentos num registo.

R_{rms} é a média quadrática dos espraçamentos, ou seja, é a raiz quadrada da média dos quadros dos valores da amostra.

R_{max} é o espraçamento máximo.

R_{min} é o espraçamento mínimo.

T_{med} é o período médio da onda.

T_s é o período significativo de onda.

5 APLICAÇÃO DE FÓRMULAS EMPÍRICAS

5.1 Considerações gerais

Utilizou-se a equação (2.1) e (2.4) para estimar $Ru_{2\%}$, isto é o espraçamento que apenas é excedido por 2% das ondas existentes no estado de agitação incidente no quebra-mar, a partir das características dessa agitação incidente.

Como se mencionou anteriormente, o espraçamento tem vários fatores condicionantes: depende da altura e declividade da onda e da sua interação com a onda refletida precedente, bem como do declive, permeabilidade e porosidade do talude e também da rugosidade da superfície do talude. Na prática, é geralmente necessária uma combinação de fatores de influência, o que reduz significativamente o espraçamento e o galgamento; γ_b o coeficiente de influência da existência da berma no talude da estrutura; γ_f o coeficiente de influência da rugosidade/permeabilidade da estrutura; γ_β o coeficiente de influência da obliquidade das ondas relativamente à estrutura.

5.2 Coeficientes de redução

5.2.1 Coeficiente de influência da rugosidade/permeabilidade do talude γ_f

Este coeficiente depende dos materiais utilizados na construção do talude. Para taludes lisos, nos quais o atrito é desprezado, considera-se $\gamma_f = 1$, o espraçamento e possível galgamento não são afetados. Este valor vai diminuindo à medida que o atrito aumenta, resultando numa redução do espraçamento (Van der Meer et al., 2018).

Neste modelo utilizou-se enrocamento (cascalho) e cubos Antifer. Como pode verificar-se na Figura 5.1, algumas das sondas foram instaladas sobre enrocamento, nomeadamente a sonda 4.1.1 e 4.1.2 e as restantes sondas foram instaladas sobre os cubos Antifer. Com recurso à Tabela 5.1, que apresenta os valores de γ_f para diferentes tipos de materiais, foram considerados valores de coeficiente de rugosidade/permeabilidade correspondentes aos cubos Antifer, γ_f igual a 0,50 e ao enrocamento que também é igual a 0,50.

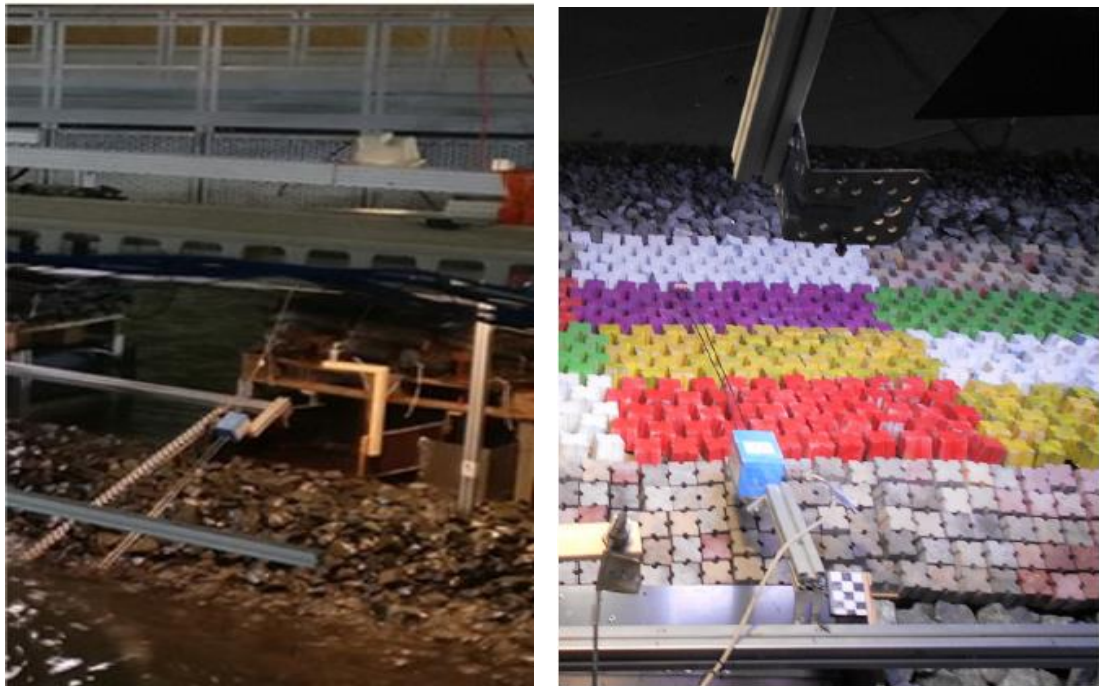


Figura 5.1 - Sondas capacitivas instaladas sobre enrocamento (esquerda) e sobre cubos Antifer (direita), (RODBreak, 2017)

Tabela 5.1 - Valores do coeficiente de rugosidade/permeabilidade, para alguns tipos de materiais constituintes do talude (Coeveld *et al.*, 2005)

Tipo de material da camada	γ_f
Superfície lisa e impermeável	1
Enrocamento	0.5
Cubos (2 camadas)	0.5
Cubos (apenas 1 camada)	0.52
Cubos Antifer	0.5
Acropódes	0.49
X-Block	0.49
Core-Locs	0.47
HAROS	0.47
Tetrápodes	0.4
Dolos	0.43
Seabees	0.5

5.2.2 Coeficiente de influência da obliquidade das ondas γ_β

A obliquidade de ondas é caracterizada pelo ângulo β entre a direção de propagação das ondas e o eixo perpendicular à estrutura, medido em graus ($^\circ$), sendo usualmente considerado nas formulações empíricas de cálculo do espraiamento e galgamento como o seu valor mais crítico aquele em que as ondas incidem perpendicularmente à estrutura de proteção, ou seja, para $\beta = 0^\circ$. A direção do ataque das ondas é o ângulo após qualquer mudança de direção das ondas no litoral devido à refração (EurOtop 2018). Na Figura 5.2, pode verificar-se os ângulos de incidência planejados para cada ensaio, (40° ; 55° ; 65° ; 75° e 90°). Por falta de mais informação, estes foram assumidos como os ângulos observados junto a estrutura, para a caracterização do espraiamento.

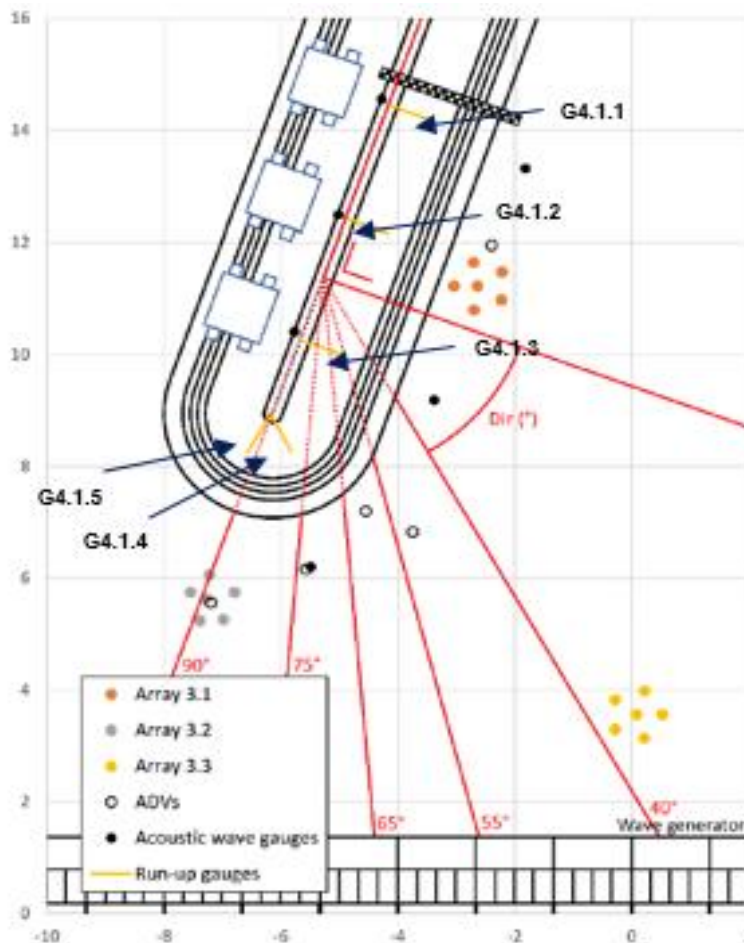


Figura 5.2 - Direção das ondas oblíquas do caso de estudo (adaptado de Lemos et al., 2020)

O valor desse coeficiente de redução depende da multidireccionalidade do estado de agitação. Para ondas com crista longa (estado de agitação unidireccional) γ_β é dado através da fórmula:

$$\text{Para } 0^\circ \leq \beta \leq 10^\circ \quad \gamma_\beta = 1 \quad (5.1)$$

$$\text{Para } 10^\circ \leq \beta \leq 63^\circ \quad \gamma_\beta = \cos(\beta - 10^\circ) \quad (5.2)$$

$$\text{Para } \beta \geq 63^\circ \quad \gamma_\beta = 0,60 \quad (5.3)$$

Para estados de agitação multidireccionais (ondas de crista curta) γ_β é determinado da seguinte forma:

$$\gamma_\beta = 1 - 0,0022 * \beta \quad (5.4)$$

5.2.3 Coeficiente de influência por existência da berma γ_b

Segundo o EurOtop 2018 (van der Meer et al., 2018), a definição do coeficiente da redução devida à berma de pré-rebentação é caracterizada por duas partes: a primeira, (r_B), tem em consideração a influência da largura da berma, equação (5.5), enquanto a segunda reflete a profundidade a meio da largura da berma (d_B), equação (5.6). Se a berma se encontrar no nível médio de água mar, então o parâmetro de redução devida à profundidade a meio do comprimento da berma (r_{dB}) passa a ser nulo e o coeficiente de redução devida à berma passa a depender somente do parâmetro r_B . Este parâmetro é nulo sempre que se verifica a inexistência da berma. Para esta situação a coeficiente de redução devida à berma, γ_b , assume valor igual a 1.

O coeficiente calcula-se através da equação (5.7).

$$r_B = \frac{B}{L_{Berma}} \quad (5.5)$$

$$r_{dB} = 0,5 * \left(\frac{d_B}{H_{m0}} \right)^2 \quad (5.6)$$

$$\gamma_b = 1 - r_B(1 - r_{dB}) \quad (5.7)$$

Em que B é a largura da berma, L_{Berma} que é distância na horizontal entre dois pontos no perfil transversal, $1H_{m0}$ acima e $1H_{m0}$ abaixo do meio da berma.

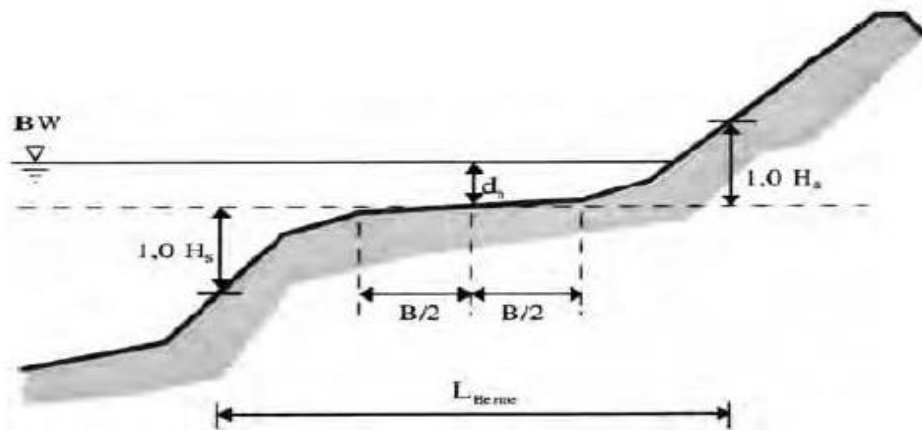


Figura 5.3 - Talude com existência de berma (EAK 2002)

No caso da inexistência de berma, ou seja, nas estruturas de talude simples, γ_b toma o valor 1. A influência da berma também pode ser desprezada quando a superfície horizontal está posicionada a uma distância superior a $H_{m0}\sqrt{2}$ abaixo da superfície livre de água. No caso da superfície horizontal da berma se encontrar a uma distância superior a $d_B = H_{m0}\sqrt{2}$ acima da superfície livre da água, o espraioamento pode ser calculado como $R_{u2\%} = d_B$ se $B/H_{m0} \geq 2$, (USACE, 2011).

A cota mais eficaz da berma corresponde à posição em que esta se encontra no nível médio da água.

De forma a verificar-se a influência da berma no espraioamento, varreu-se a gama de alturas significativas observadas junto ao quebra-mar e calculou-se o coeficiente da berma γ_b só para alguns desses valores. Com os resultados obtidos verifica-se que o coeficiente da

berma varia entre 1 e 0,94, Tabela 5.2 e Tabela 5.3. Isso significa que a maior redução, devido à berma que se pode esperar no valor de espraçamento é de 6%.

Tabela 5.2 - Coeficiente de redução pela influência da berma para NMA 0,60 m

H_{m0} (m)	d_B (m)	$H_{m0}\sqrt{2}$ (m)	B (m)	L_{Berma} (m)	γ_b
0,079	0,260	0,112	0,135	0,724	1,00
0,168	0,260	0,238	0,135	0,829	1,00
0,179	0,260	0,253	0,135	0,866	1,00
0,228	0,260	0,322	0,135	1,030	0,95
0,252	0,260	0,356	0,135	1,109	0,94

Tabela 5.3 - Coeficiente de redução pela influência da berma para NMA 0,68 m

H_{m0} (m)	d_B (m)	$H_{m0}\sqrt{2}$ (m)	B (m)	L_{Berma} (m)	γ_b
0,079	0,340	0,112	0,135	0,724	1,00
0,168	0,340	0,237	0,135	0,829	1,00
0,179	0,340	0,253	0,135	0,866	1,00
0,228	0,340	0,322	0,135	1,030	1,00
0,252	0,340	0,356	0,135	1,109	0,99

Verificando que a maior redução devido à berma que se pode esperar no valor de espraçamento é de 6%, efectuou-se uma análise de sensibilidade aos valores de espraçamento, em relação ao coeficiente de redução por influência da berma, para perceber se é relevante ou não considerar a berma. Para isso, na fórmula empírica os valores de coeficiente da berma obtidos no cálculo que são diferentes do valor 1, foi substituído pelo valor 1. A diferença verificada nos resultados do espraçamento, com valor do coeficiente igual a 1 ou por exemplo, igual a 0,94 é mínima, ou seja não põe em causa o desempenho do quebra-mar. O que não é de admirar, uma vez que a berma está muito abaixo do nível médio da água. Face a este resultado, na estimação do espraçamento foi sempre omitido o efeito da berma, isto é, considerou-se sempre o valor de γ_b igual a 1. Alguns exemplos são apresentados na Tabela 5.4, de forma a perceber a influência mínima sobre o espraçamento quando usado o γ_b obtido no cálculo ou $\gamma_b = 1$, considerando a inexistência da berma.

Tabela 5.4 - Alguns exemplos da análise de sensibilidade aos valores de espraiamento, em relação ao coeficiente de redução por influência da berma.

Teste	d (m)	H _{m0} (m)	γ_b	R _{u2%} (m)
T063	0,68	0,252	0,95	0,26077
			1	0,26319
T063	0,68	0,238	0,99	0,25099
			1	0,25142
T016	0,60	0,192	0,94	0,24715
			1	0,24974
T039	0,6	0,215	0,94	0,29328
			1	0,29637
T048	0,6	0,202	0,95	0,20978
			1	0,21170

5.3 Altura significativa e período de pico

Para estimar o espraiamento através das fórmulas empíricas, é necessário ter conhecimento da altura significativa espectral e do período médio espectral no pé da estrutura. Isso implicou a determinação do espectro da agitação incidente, tendo sido tratados os dados das três sondas acústicas localizadas ao pé de talude, nomeadamente as sondas 1.1.1, 1.1.2 e 1.1.3, Figura 5.4, utilizando o script “main.m” desenvolvido no MatLab^(TM) para esse efeito, Anexo A. Ao executar o script os resultados foram escritos em ficheiros ASCII, tendo sido também produzidos gráficos com a série temporal da elevação da superfície livre medida em cada uma das sondas acústicas, bem como dos respetivos espectros. Pode-se verificar alguns exemplos dos resultados obtidos na Tabela 5.5 e na Figura 5.5 e Figura 5.6.

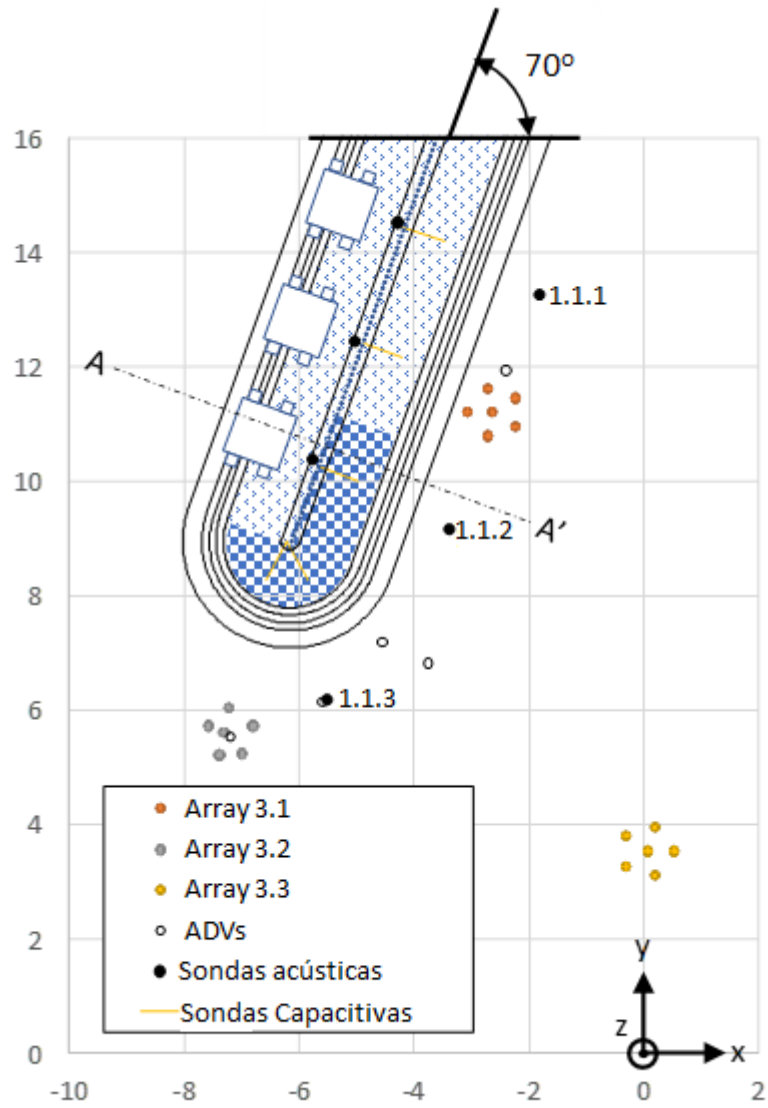


Figura 5.4 - Sondas Acústicas junto ao pé do talude

Tabela 5.5 - Valores de altura significativa e período de pico do T013

Sondas	Hm0(m)	Tp(s)	Hs/Hs0
1.1.1	0,1061	1,1929	1,0769
1.1.2	0,0968	1,1383	0,9823
1.1.3	0,0985	1,1741	1,0000

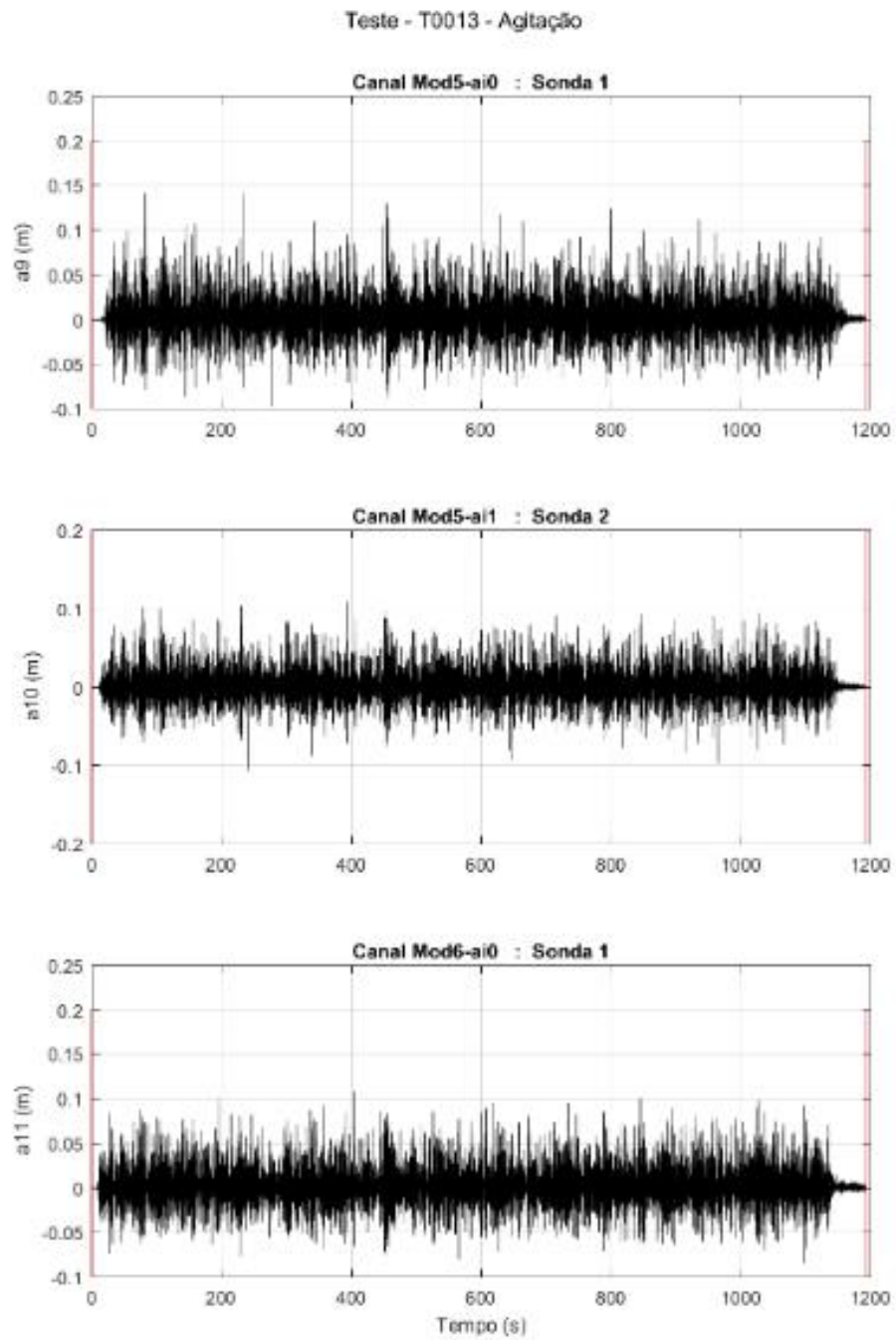


Figura 5.5 - Série temporal da elevação da superfície livre durante o T013 nas 3 sondas acústicas, (a primeira corresponde à sonda 1.1.1, a segunda à sonda 1.1.2 e a terceira à sonda 1.1.3)

Teste - T0013 - Agitação

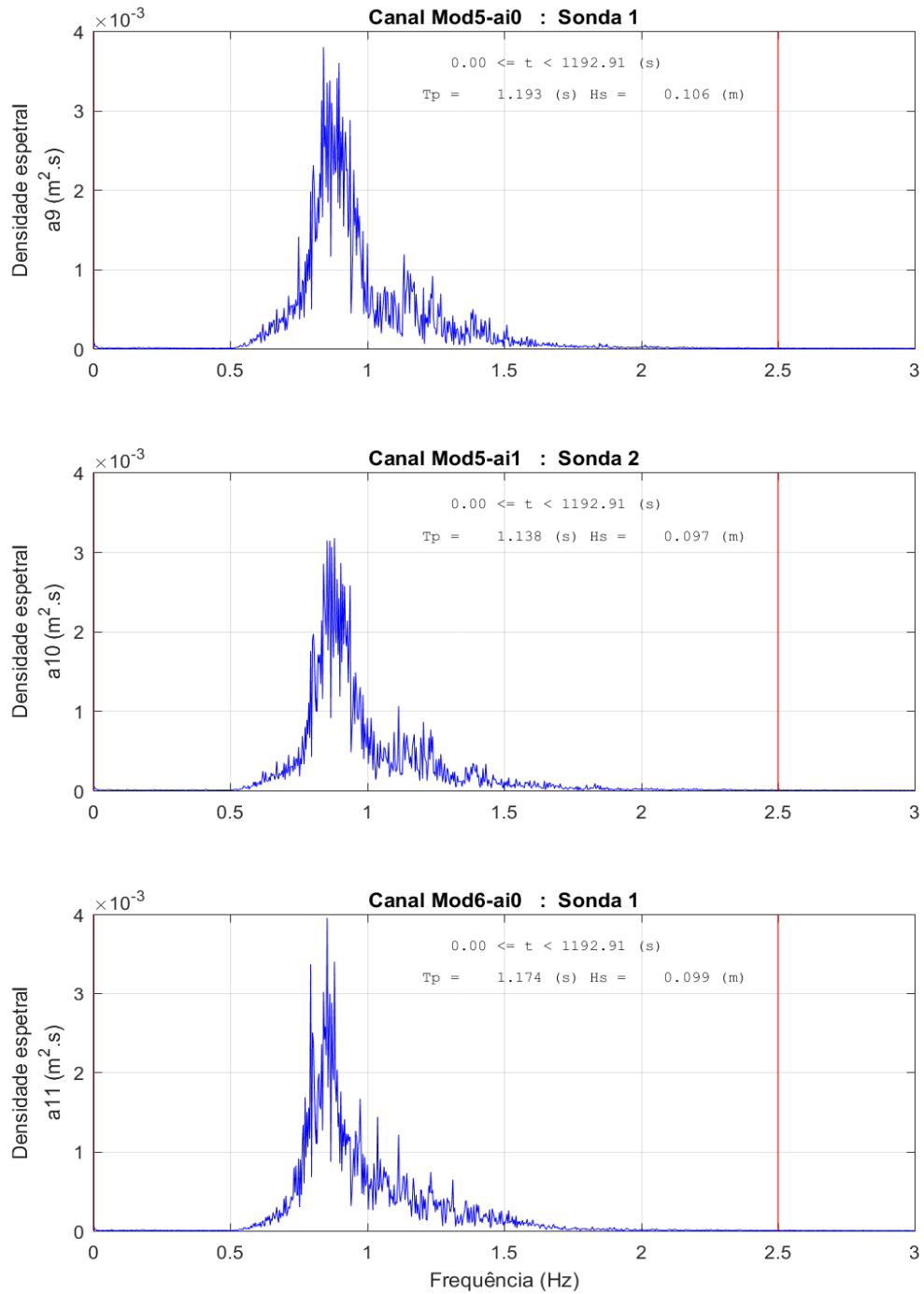


Figura 5.6 - Espectro unidimensional da elevação da superfície livre do teste T013 nas 3 sondas acústicas, (a primeira corresponde à sonda 1.1.1, a segunda à sonda 1.1.2 e a terceira à sonda 1.1.3)

Alguns testes, nomeadamente o T027 e T063, tinham dados registados anómalos, como pode ser verificado nas Tabela 5.6 e Tabela 5.7, uma vez que os valores estimados de período de pico são bastante diferentes dos restantes testes.

Tabela 5.6 - Valores de altura significativa e período de pico do T027

Sondas	Hm0(m)	Tp(s)	Hs/Hs0
1.1.1	0,2838	269,9910	1,0128
1.1.2	0,2955	269,9910	1,0546
1.1.3	0,2803	269,9910	1,0000

Tabela 5.7 - Valores de altura significativa e período de pico do T063

Sondas	Hm0(m)	Tp(s)	Hs/Hs0
1.1.1	0,2689	251,6135	1,0806
1.1.2	0,2610	251,6135	1,0489
1.1.3	0,2489	251,6135	1,0000

No caso do T027, foram registados dados estragados logo no início do ensaio como se verifica na Figura 5.7. Foi possível corrigir os valores cortando a parte inicial do registo estragado, começando a correr o MatLab^(TM) a partir do instante T=200s. Com essa correção obteve-se os resultados apresentados na Tabela 5.8.

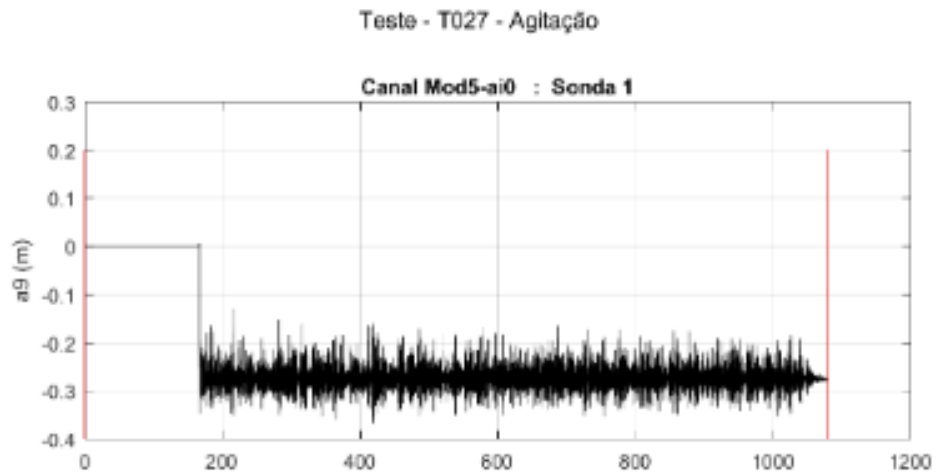


Figura 5.7 - Série temporal durante o T027

Tabela 5.8 - Valores de altura significativa e período de pico do T027 corrigidos

Sondas	Hm0(m)	Tp(s)	Hs/Hs0
1.1.1	0,1084	1,1055	0,9834
1.1.2	0,1080	1,1055	0,9800
1.1.3	0,1102	1,1055	1,0000

Em relação ao T063, para além de dados estragados no começo, o registo parou no meio, como pode ser verificado na Figura 5.8.

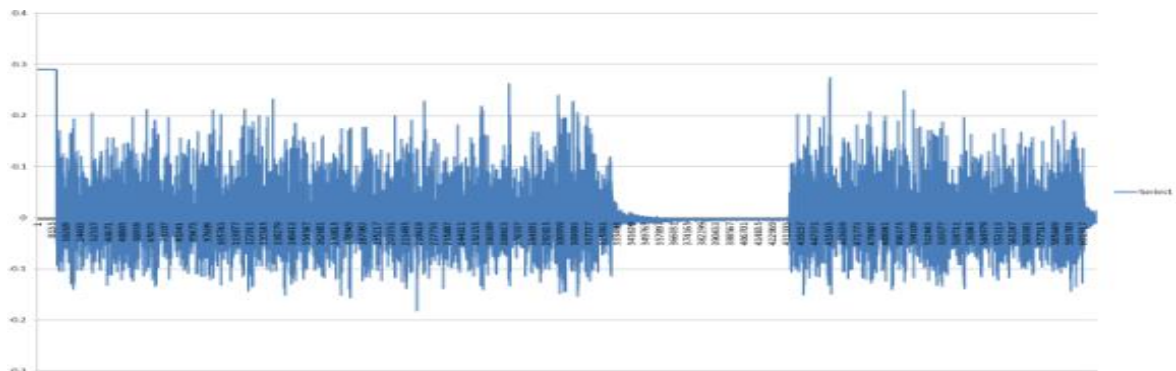


Figura 5.8 - Série temporal durante o T063

Nesse caso o cenário verificou-se mais complexo, uma vez que ocorreu paragem de registo no meio do ensaio. Isso dificultou a correção dos dados desse teste, não sendo possível corrigir com auxílio do script desenvolvido no MatLab^(TM). Uma vez que o script utilizado no processamento dos dados do ensaio não conseguiu fazer a leitura deste registo e de forma a simplificar o tratamento dos dados deste teste, recorreu-se ao auxílio do software SAM – simulação de agitação marítima, desenvolvido numa tese de doutoramento, (Capitão, 2002), processando sonda a sonda só para metade do ensaio. Os resultados foram os que se apresentam na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 - Valores de altura significativa e período de pico do T063 corrigidos

Sondas	Hm0 (m)	Tp (s)
1.1.1	0,252	1,818
1.1.2	0,238	1,887
1.1.3	0,228	1,891

Com o processamento desses dados, ficou a conhecer-se o período de pico do estado de agitação, T_p (valor do período correspondente à componente de maior energia do espectro). No entanto, para a fórmula usada para calcular o espraio como muitas outras, usa-se o período médio espectral, $T_{m-1,0}$ (calculado com os momentos de ordem -1 e 0 do espectro). Esse período é mais adequado para o cálculo do espraio para formas espectrais complexas, bem como para espectros semi-empíricos (JONSWAP, TMA, etc.). Dessa maneira, o espraio e o galgamento podem ser facilmente determinados para espectros bimodais sem a necessidade de outros procedimentos difíceis, (EurOtop 2018).

No caso de espectro unimodal, como o JONSWAP, e como é o nosso caso de estudo existe uma relação fixa entre o período de pico e o período espectral, $T_{m-1,0} = T_p/1,1$ (Mase et al., 2013), que é uma aproximação usada quando é conhecido apenas o período de pico, mas não são conhecidos os momentos espectrais. Como com o processamento dos dados passou a conhecer-se o período de pico espectral, utilizou-se essa aproximação para determinar a período médio espectral.

6 RESULTADOS

Os resultados de espraçamento obtidos a partir do modelo físico são ilustrados para os dois níveis de água, 0,60 m e 0,68 m, para ondas de crista longa e crista curta, para períodos de pico de 1,19 s, 1,45 s, 1,75 s, e 1,68 s; alturas significativas de 0,100 m, 0,150 m, 0,175 m, 0,200 m, 0,250 m, e ângulos de incidência de 40°, 55°, 65°, 75°, 90°.

Para avaliar o espraçamento ao longo do quebra-mar, foram analisados os dados medidos através das sondas 4.11 a 4.14, onde 4.1.1 a 4.1.3 estavam localizadas no tronco e 4.1.4 na cabeça do quebra-mar. Embora no modelo existisse também a sonda 4.1.5, na cabeça do quebra-mar, ela não foi considerada porque os seus dados estavam danificados.

Todos os valores de espraçamento estimados e observados estão apresentados na Tabela B.2 do Anexo B. Nesta tabela a coluna Ru2% apresenta os valores de espraçamento estimados através da equação (2.1), a coluna Ru2% (máx) é o limite superior, dado pela equação (2.4), para os valores de espraçamento estimados pela equação (2.1), a coluna a seguir apresenta o menor valor de espraçamento obtido entre a equação (2.1) e a equação (2.4), valor esse utilizado na comparação com os valores de espraçamento observados (Ru2% observados) obtidos do processamento com o script do MatLab^(TM). Na tabela apresenta-se ainda o espraçamento relativo (Ru2%/H_{m0}), quer para valores observados, quer para valores estimados.

Os resultados do espraçamento obtidos a partir do modelo físico e das fórmulas empíricas são ilustrados do Gráfico 6.1 ao Gráfico 6.6, que apresentam os valores de espraçamento relativo, $R_{u2\%}/H_{m0}$ em função do parâmetro de rebentação $\xi_{m-1,0}$.

Para ondas com ângulo de incidência de 40° pode verificar-se no Gráfico 6.1 e no Gráfico 6.2 que, tanto para ondas de crista longa, como para ondas de crista curta, a maioria dos resultados obtidos no modelo físico são inferiores aos valores estimados pelas fórmulas empíricas do EurOtop 2018 (van der Meer et al. 2018).

Para ondas de crista longa verifica-se que o parâmetro de rebentação se encontra entre 1,89 e 2,33 enquanto que para ondas de crista curta o mesmo parâmetro está entre 1,87 e 2,45, ou seja em termos do tipo de rebentação para o ângulo de incidência de 40° não há

grande diferença entre onda de crista curta e crista longa. No entanto, regista-se maiores valores de espraioamento relativo para ondas de crista curta do que de crista longa. Para crista longa tem-se valores de espraioamento relativo entre 0,62 e 1,4 e para crista curta entre 0,62 e 1,84. Da observação da Tabela B.2 pode concluir-se que os maiores valores de espraioamento relativo foram registados nas sondas 4.1.3 e 4.1.4.

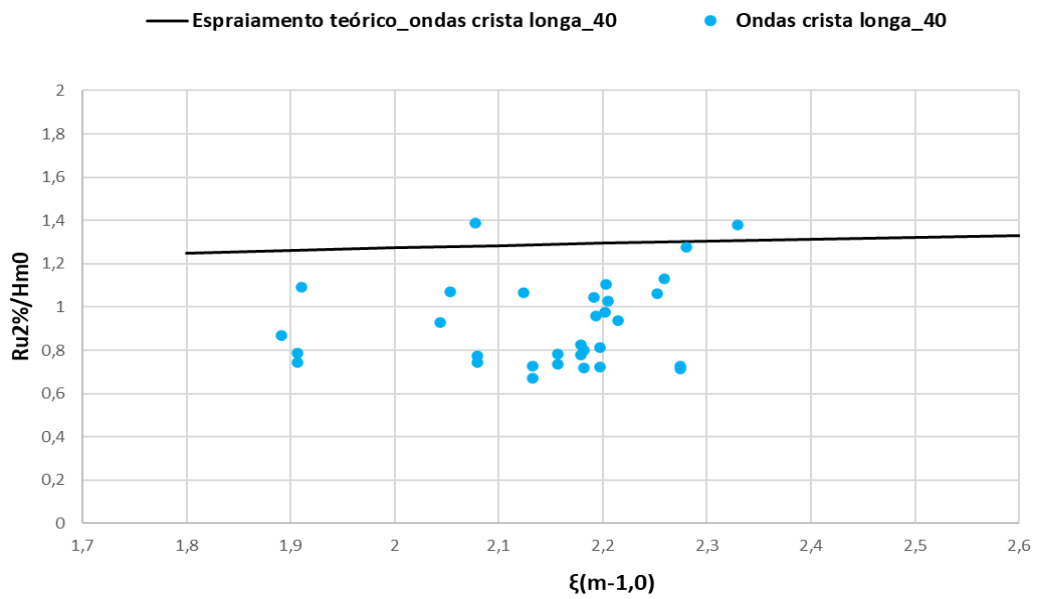


Gráfico 6.1 - Valores de espraioamento relativo estimado e medido para ondas de crista longa com ângulo incidência 40°

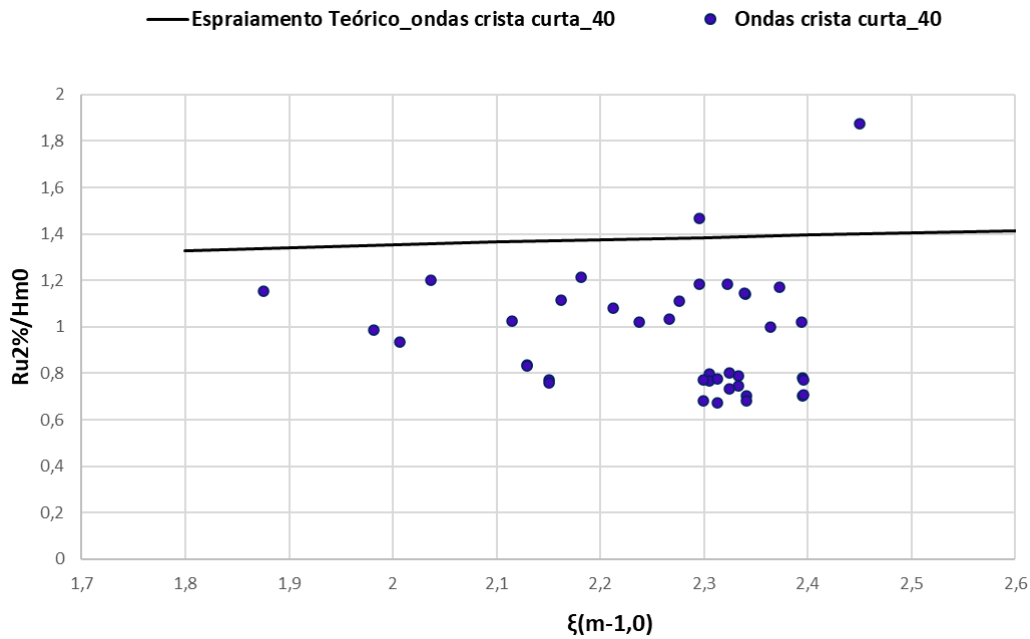


Gráfico 6.2 - Valores de espraioamento relativo estimado e medido para ondas de crista curta com ângulo incidência 40°

Para as ondas de crista longa com ângulo de incidência 55°, Gráfico 6.3, já se verifica mais valores obtidos a partir do modelo físico a aproximarem dos valores estimados pelas fórmulas empíricas, apesar de ainda a maior parte ser inferior ao estimado pelas fórmulas. Observa-se valores de espraioamento relativo bem menores em comparação com ondas com ângulo de incidência de 40°, valores entre 0,46 e 1,18. Para esse cenário o parâmetro de rebentação encontra-se entre 2,02 e 2,26. Da observação da Tabela B.2 pode concluir-se que para as ondas com ângulo de incidência 55°, os maiores valores de espraioamento relativo também foram registados nas sondas 4.1.3 e 4.1.4.

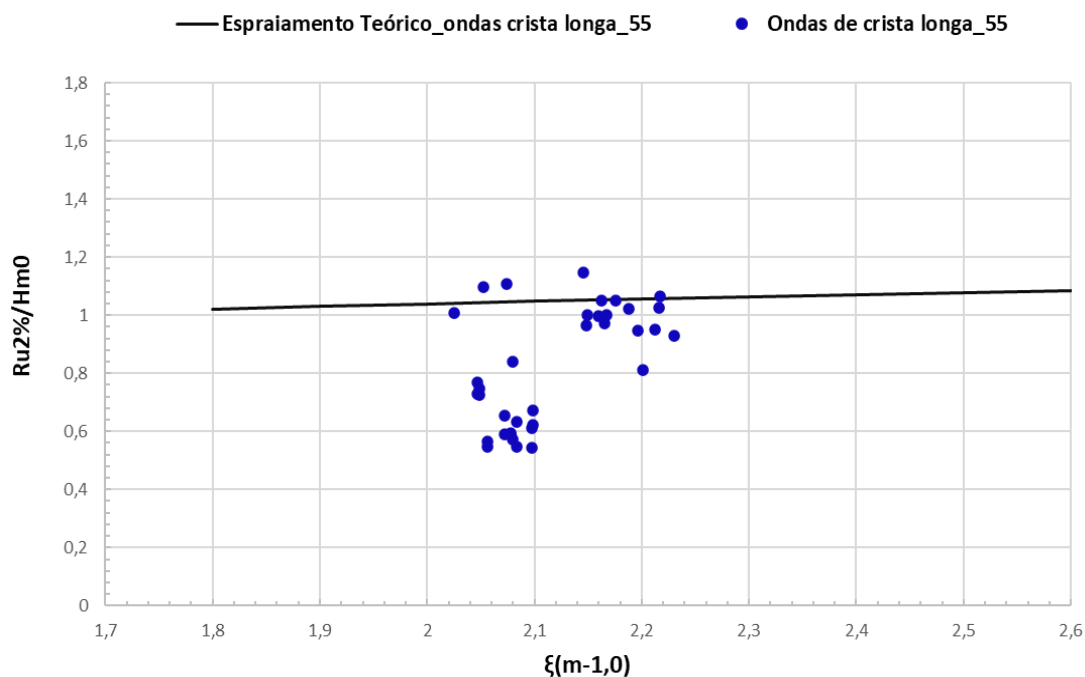


Gráfico 6.3 – Valores de espraioamento relativo estimado e medido para ondas de crista longa com ângulo incidência 55°

Para as ondas com ângulo de incidência de 65° observa-se menores valores de espraioamento relativo para ondas de crista curta, sendo todos os valores obtidos a partir do modelo físico inferiores aos estimados pelas fórmulas empíricas do EurOtop 2018. Os valores do modelo físico variam entre 0,62 a 1,22, enquanto que para as ondas de crista longa se tem maior variabilidade dos valores de espraioamento relativo, estando entre 0,45 e 1,38. A maioria dos valores observados no modelo físico são superiores ao estimados pelas fórmulas empíricas.

O parâmetro de rebentação para ondas de crista longa está entre 1,98 e 2,3 enquanto que para crista curta está entre 2,05 e 2,42.

Pelos resultados observados nessa série de teste pode concluir-se que há maior possibilidade de galgamento para ondas de crista longa, uma vez que apresentam valores de $Ru2\% / Hm0$ mais elevados do que para crista curta. Os maiores resultados de espraioamento relativo também são verificados nas sondas 4.1.3 e 4.1.4.

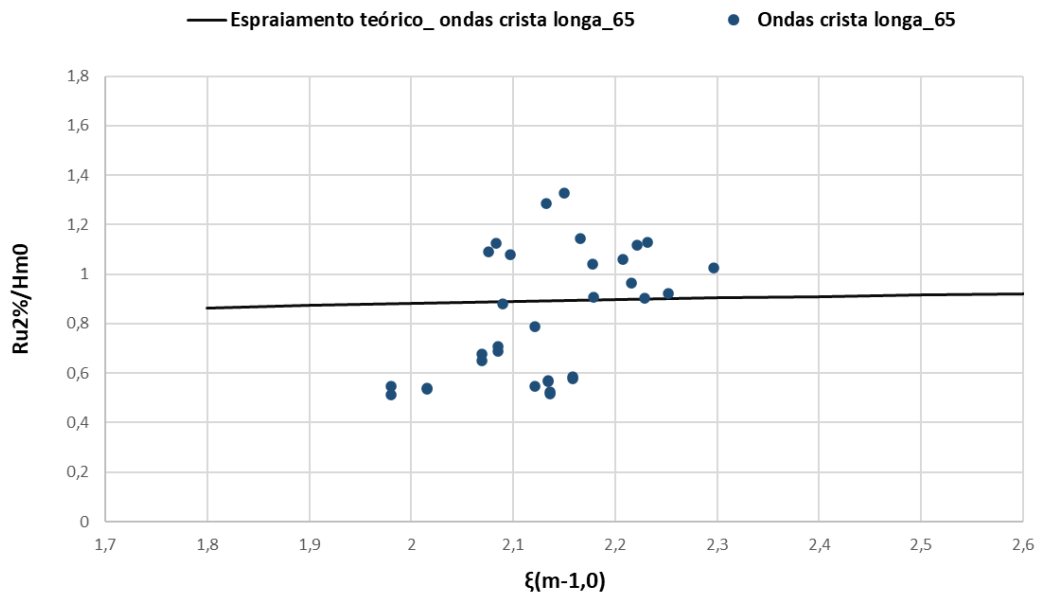


Gráfico 6.4 – Valores de espraioamento relativo estimado e medido para ondas de crista longa com ângulo incidência 65°

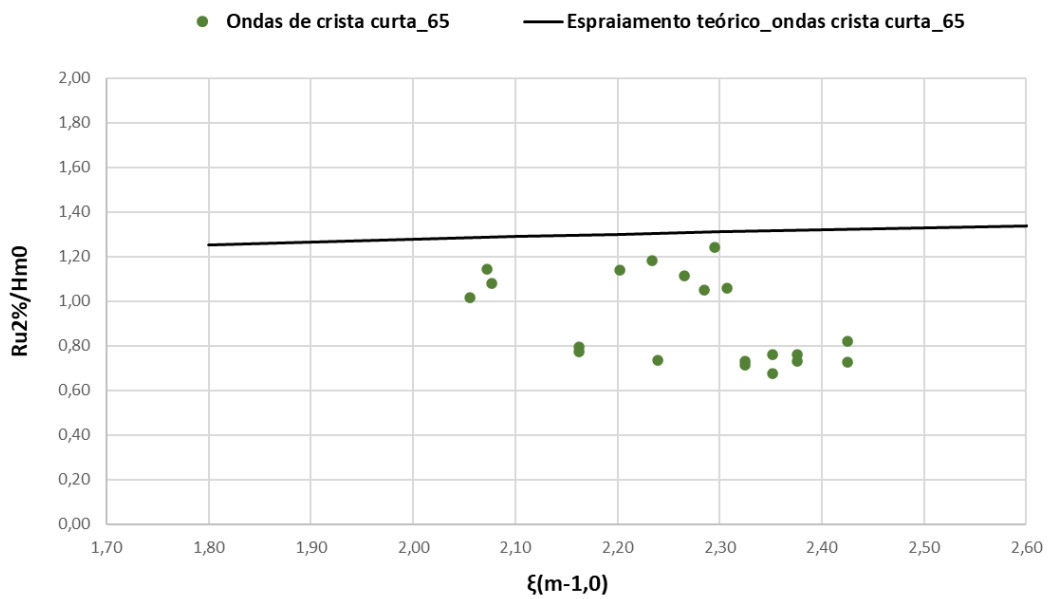


Gráfico 6.5 – Valores de espraioamento relativo estimado e medido para ondas de crista curta com ângulo incidência 65°

Verifica-se que os valores de espraioamento relativo estimados pelas fórmulas empíricas do EurOtop 2018, as séries de teste com ângulos de incidência de 75° e 90° são da mesma ordem, apresentam os mesmos resultados dos coeficientes de redução. Por isso são apresentados no mesmo Gráfico 6.6. As ondas com ângulo de incidência de 90° apresentam maiores valores de espraioamento relativo observados com máximo de 1,38 enquanto que o valor máximo observado para série de teste com ângulos de 75° é de 1,28.

O parâmetro de rebentação para o ângulo de incidência 75° varia entre 2,08 e 2,32 e para o ângulo de incidência 90° varia entre 2,12 e 2,79.

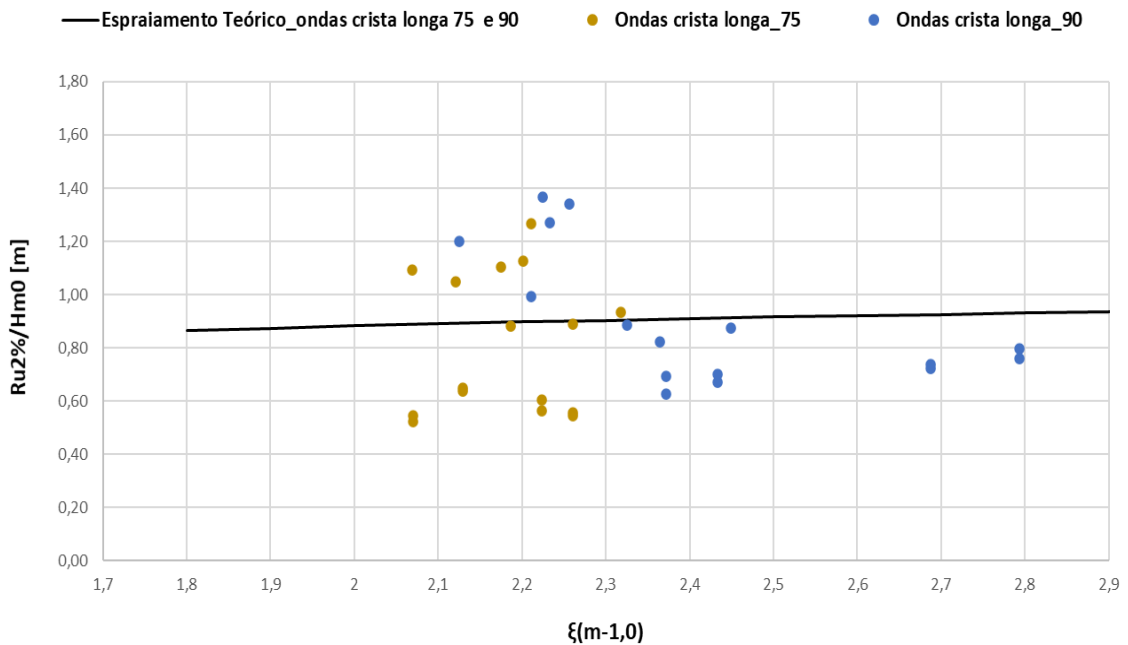


Gráfico 6.6 - Valores de espraioamento relativo estimado e medido para ondas de crista longa com ângulo incidência 75° e 90°

De um modo geral com exceção do ângulo de incidência de 40°, verifica-se que o parâmetro de rebentação está entre 2 e 2,8, o que vai ao encontro com a teoria abordada pelo EurOtop 2018, que indica que para quebra-mares de enrocamento com declive íngreme (1:1,5 ou 1:2) a faixa de parâmetro de rebentação varia entre 2 e 4.

Observando a Tabela B.2 do Anexo B, pode concluir-se que em todas as séries de testes, os maiores valores de espraçamento foram registados na sonda 4.1.3, que está próximo da cabeça, e na sonda 4.1.4 que está posicionada na cabeça do quebra-mar. Isso pode ser causado pelos diferentes tipos de camada de proteção (enrocamento ou cubos Antifer) e pela influência da cabeça de quebra-mar. Um manto protetor de enrocamento dissipa significativamente mais energia do que um manto protetor de cubos Antifer colocados regularmente, pois a rugosidade da camada protetora pode diminuir a altura da subida da onda (espraçamento). Nesse caso as sondas que registam maiores valores de espraçamento estão colocadas nos cubos Antifer.

Neste trabalho a análise dos dados focou-se no $Ru_{2\%}$, porque se apenas 2% das ondas no estado de agitação atingirem a cota do coroamento do quebra-mar, induzindo o galgamento, esse número é considerado tão pequeno que não é necessário ter cuidados especiais para com o talude interior do quebra-mar. Para fazer essa análise no caso de estudo apresenta-se o Gráfico 6.7 e o Gráfico 6.8, com os resultados de $Ru_{2\%}$ observados nos ensaios em função da altura significativa espectral, junto com a altura do bordo livre da estrutura relativamente ao nível médio de água em repouso (R_c) acima do qual ocorre galgamento.

Para o nível de água de 0,6 m, verifica-se que para $Ru_{2\%}$ são poucos os estados de agitação em que 2% das ondas ultrapassam o coroamento do quebra-mar (representado pela linha azul a traço interrompido), o que não afeta a estabilidade da estrutura, ver Gráfico 6.7.

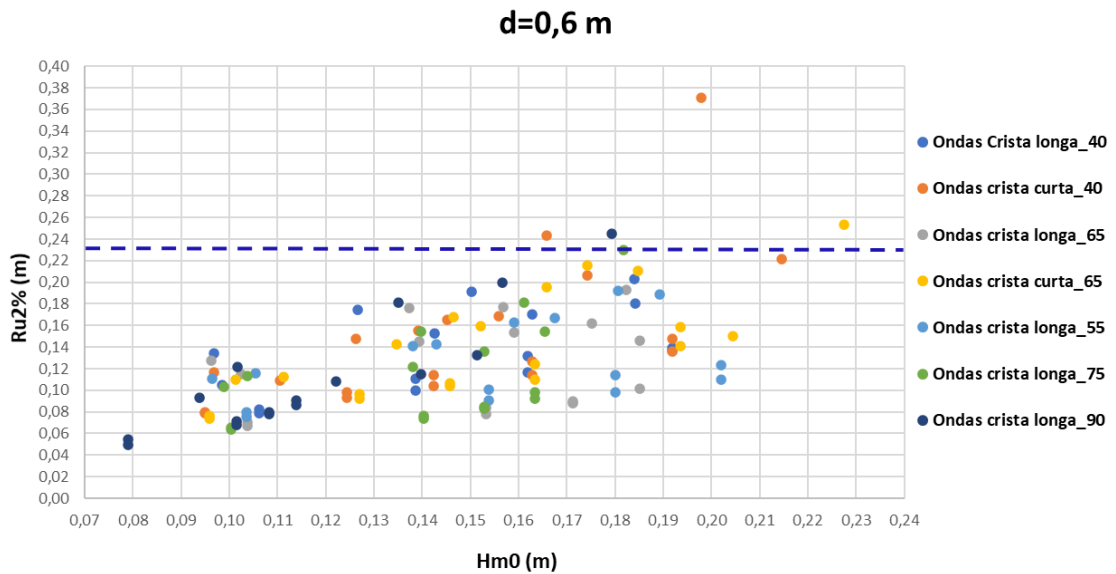


Gráfico 6.7 - Espreadimento Ru2% em função da altura significativa espectral, para nível de água de 0,60 m

Assim, para os estados de agitação testados, não serão necessários cuidados especiais com o talude interior do quebra-mar de forma a melhorar o seu desempenho.

Como pode observar-se no Gráfico 6.7, os estados de agitação em que 2% das ondas têm maior possibilidade de galgar, são os de crista curta tanto do ângulo de 40° como de 65°.

Para nível de água de 0,68m já se verificam mais estados de agitação em que 2% das ondas ultrapassam o coroamento do quebra-mar, induzindo o galgamento. Nesse caso verificou-se que dos resultados de Ru2%, 22 estados de agitação ultrapassaram o coroamento do quebra-mar. No entanto esse número ainda é considerado tão pequeno que não põe em risco a estabilidade dos quebra-mares de taludes já existentes. Neste caso, também não será necessário ter cuidados especiais com o talude interior do quebra-mar.

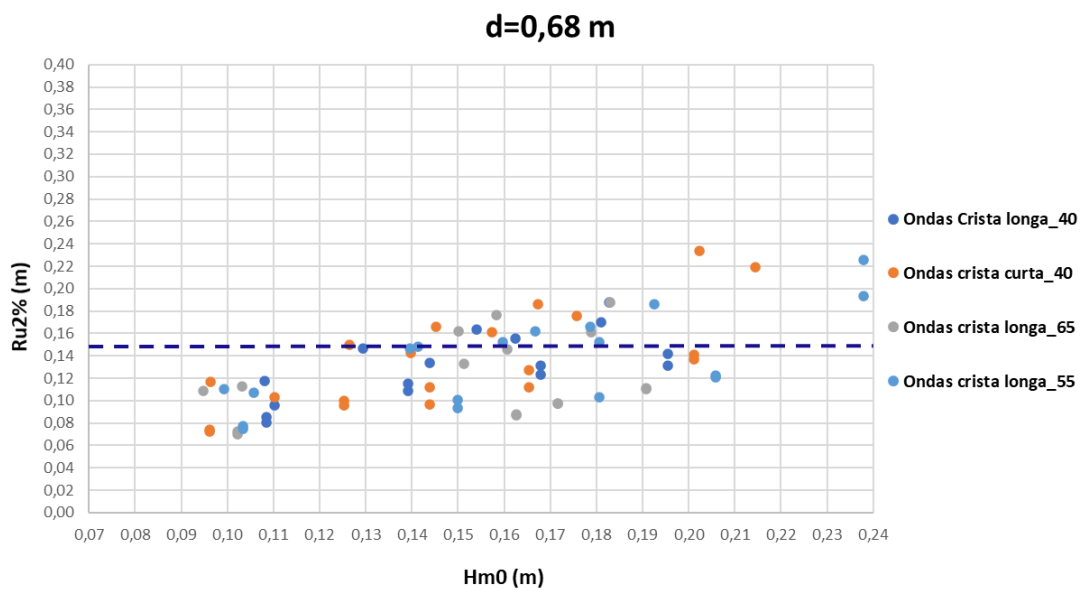


Gráfico 6.8 - Espreadimento Ru2% em função da altura significativa espectral, para nível de água, 0,68 m

7 CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO

Este estudo focou-se na caracterização da altura de espraiamento que é excedida por 2% das ondas num estado de agitação, Ru2%. O objetivo último é contribuir para a avaliação do desempenho de quebra-mares de talude já existentes, sujeitos a estados de agitação de incidência oblíqua associados a cenários de mudanças climáticas.

A análise desse fenómeno teve como base uma série de testes realizados no projeto RODBreak, em que foi construído um trecho de um quebra-mar de talude de enrocamento, no tanque de ondas da Leibniz University Hannover. Neste projeto foi realizado um total de 49 testes, com dois níveis de água diferentes (0,60 m e 0,68 m), cinco ângulos de incidência dos estados de agitação (40°, 55°, 65°, 75° e 90°), para ondas de crista longa e ondas de crista curta. Embora cinco sondas capacitivas (4.1.1, 4.1.2, 4.1.3, 4.1.4, 4.1.5) tenham sido instaladas ao longo do quebra-mar de talude, para medição da elevação da superfície livre, somente as primeiras quatro foram utilizados neste estudo, uma vez que os dados registados pela sonda 4.1.5 apresentavam valores anómalos.

Para a caracterização do fenómeno de espraiamento, nomeadamente a altura de espraiamento que é excedida por 2% do número de ondas incidentes no registo dessa série de teste, foi utilizado o software MatLab^(TM) para processar os dados medidos pelas cinco sondas capacitivas instaladas no quebra-mar de talude estudado. Também foi feita a estimativa do mesmo parâmetro através das fórmulas empíricas propostas pelo EurOtop 2018 (van der Meer et al. 2018).

Foi feita uma comparação entre os valores obtidos pelos dois métodos e verificou-se em quase todos os testes que os valores estimados pelas fórmulas empíricas do EurOtop 2018 são superiores aos observados nos ensaios. Tal pode dever-se ao facto de a formulação empírica admitir a existência de um talude infinito na estrutura, o que não é o caso do modelo físico ensaiado no âmbito deste projeto.

Verificou-se também que os maiores valores de espraiamento em todas as séries de testes ocorreram na sonda 4.1.3, que está próximo da cabeça do quebra-mar, e na sonda 4.1.4, que está posicionada na cabeça do quebra-mar. Em ambos os casos, as sondas estão instaladas sobre cubos Antifer, a parte do manto protetor cujos elementos foram colocados

regularmente, dando origem a uma superfície quase lisa. Tal contribui para uma menor dissipação de energia no talude, fazendo com que aumente a cota da subida da onda (espraiamento).

Conclui-se também que para os cenários de agitação estudados, não será necessário ter cuidados especiais com o talude interior da estrutura de modo a melhorar o desempenho dos quebra-mares de taludes semelhantes existentes, uma vez que foram muito poucos os estados de agitação em que 2% das ondas galgaram o quebra-mar, tanto para o nível de água de 0,60 m como para o nível de água de 0,68 m. O número de ondas que galgaram o quebra-mar é muito pequeno, o que não causa nenhum dano significativo de forma a colocar em risco a estabilidade dessas estruturas.

Assumindo que os estados de agitação simulados são os piores esperados no local de implantação da estrutura, os valores de espraiamento medidos nos ensaios realizados permitem concluir que quebra-mares de taludes semelhantes existentes semelhantes ao estudado não irão falhar.

Futuramente, seria interessante analisar os resultados deste estudo, tendo em conta as características da agitação incidente na estrutura, uma vez que não se confirmou se os ângulos incidentes junto as estruturas foram mesmo os planeados. Interessava também estudar o fenómeno do galgamento e os possíveis danos causados pelas ondas que galgaram o quebra-mar.

8 REFERÊNCIAS

- Bay, Í. (2005). Measurement and Analysis of Wave Overtopping. PhD Thesis, Department of Civil Engineering, University of Liverpool.
- Bornschein, A., Pohl, R., Wolf, V., Schüttrumpf, H., Scheres, B., Troch, P., Riha, J., Spano, M., Van der Meer, J. (2014). Wave run-up and wave overtopping under very oblique wave attack (CORNERDIKE-project). Proc. HYDRALAB IV Joint User Meeting, Lisbon, July.
- Carvalho, M.M.; Capitão, R.P. (2000). Valores Extremos da Agitação Marítima no Algarve. Relatório 237/00 - NPP, LNEC, Lisboa, Outubro.
- EAK.2002. Empfehlungem des arbeitsausschusses kustenschutzwerke. Die Kuste.H.65 (Guidelines in German).
- Horikawa K. (1988). Nearshore dynamics and coastal processes, Univ. of Tokyo Press, Japan, pp 40-88.
- IPCC, Climate change (2014). Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III, in: R.K. Pachauri, L.A. Meyer (Eds.), Fifth Assessment Report of the Inter. Panel on Climate Change, IPCC, Geneva, 2014
- Lemos, R., Pina, V., Santos, J.A., Fortes, C.J., Reis, M.T., Bornschein, A. (2020). Wave run-up measurements under very oblique wave (submetido como artigo para a revista Recursos Hídricos, aguardando resposta).
- Mase, H., Tamada, T. Yasuda, T., Hedges, T.S., Reis, M.T. (2013). Wave run-up and overtopping at seawalls built on land and in very shallow water, J. Waterway, Port, Coast., and Ocean Eng., 139, 346-357.
- Pullen, T., Allsop, N., Bruce, T., Kortenhaus, A., Schüttrumpf, H., & van der Meer, J. (2007). EurOtop Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual. Environment Agency, United Kingdom. Expertise Network Waterkeren, Netherlands, Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen Deutschland.
- USACE. (2006). Coastal Engineering Manual, Fundamentals of Design. Parte VI, Capítulo 5, Change 3 (28 Sep 11).
- Van der Meer, J.W., Allsop, N.W.H., Bruce, T., De Rouck, J., Kortenhaus, A., Pullen, T., Schüttrumpf, H., Troch, P. and Zanuttigh, B. EurOtop (2018). Manual on Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures. An Overtopping Manual Largely Based on European Research, but for Worldwide Application, www.overtopping-manual.com

ANEXOS

Anexo A – Script’s utilizados no processamento dos dados de ensaio

“ Temporal_RunUpV2auto.m”

```
clc; clear all; close all

files = dir('*txt'); %find files ".txt" (or another extension)
filenames = {files.name}; %matrix with all file namens

Number = length(files); %number of files with ".txt"

for k=1:Number
%% Import data and calculate zero crossing

% DADOS=load(filenames{k});

Filename = filenames{k};
clc; disp(Filename);

delimiterIn = '\t'; %delimiter in data file
escala = 1; %model scale
const = 0.001; %gauge constant

data_matrix = importdata(Filename,delimiterIn,38); %matrix with all the
data and text data
DADOS = data_matrix.data; %only the data (no text data)

c1 = 18; %first column with the run up data
%c2 = 22; %last column with run up data

%for c=c1:c2

for c=c1
disp(strcat('Column: ',num2str(c)));

W0 = DADOS(:,c); %run up gauge data

% data=W0-mean(W0); %if we consider to subtract the mean value
data = W0;
data = (data)-(W0(1:1)); %subtract the initial value of data series

% discard initial and final values (before and after acquisition time)
% of the data series if necessary and multiply by the gauge constant

[rows,~] = size(data);

data = data(300:rows-300,1);
data = W0*const;

disp('Writing SerieFinal...');
seriefinal = [data(:,1)];
```

```

dlmwrite([Filename, '_Column', num2str(c), '_SerieFinal', '.dat'],
seriefinal);

Fs = 300;           %acquisition frequency
T = 1/Fs;          %acquisition step
L = length(W0);    %series lenght
t = ((0:L-1)*T);
gama=13.911;
beta =26.620;
EDy=0.007;
D_RWL=0.022;

disp('Calculating zero crossing...');
[aa,name]=zero_crossing(data,Fs);

Rs=aa(:,1)*cosd(gama)*sind(beta)+EDy+D_RWL;
Rmed=aa(:,2)*cosd(gama)*sind(beta)+EDy+D_RWL;
R_10=aa(:,3)*cosd(gama)*sind(beta)+EDy+D_RWL;
R_20=aa(:,4)*cosd(gama)*sind(beta)+EDy+D_RWL;
R_50=aa(:,5)*cosd(gama)*sind(beta)+EDy+D_RWL;
R_100=aa(:,6)*cosd(gama)*sind(beta)+EDy+D_RWL;
R_200=aa(:,7)*cosd(gama)*sind(beta)+EDy+D_RWL;
R_1pc=aa(:,8)*cosd(gama)*sind(beta)+EDy+D_RWL;
R_2pc=aa(:,9)*cosd(gama)*sind(beta)+EDy+D_RWL;
R_rms=aa(:,10)*cosd(gama)*sind(beta)+EDy+D_RWL;
Rmax=aa(:,11)*cosd(gama)*sind(beta)+EDy+D_RWL;
Rmin=aa(:,12)*cosd(gama)*sind(beta)+EDy+D_RWL;
Tmed=aa(:,13);
Ts=aa(:,14);
nRunUp=aa(:,15);
nPontos=length(seriefinal);

%% write results in an Excel file

disp('Writing results in Excel file...');
filename = [Filename, '_Column', num2str(c), '_Results', '.xlsx'];

Tp_legenda = {Filename};

xlswrite(filename,{'Rs [m]'},1,'B1')
xlswrite(filename,{'Rmed [m]'},1,'C1')
xlswrite(filename,{'R_10 [m]'},1,'D1')
xlswrite(filename,{'R_20 [m]'},1,'E1')
xlswrite(filename,{'R_50 [m]'},1,'F1')
xlswrite(filename,{'R_100 [m]'},1,'G1')
xlswrite(filename,{'R_200 [m]'},1,'H1')
xlswrite(filename,{'R_1% [m]'},1,'I1')
xlswrite(filename,{'R_2% [m]'},1,'J1')
xlswrite(filename,{'R_rms [m]'},1,'K1')
xlswrite(filename,{'Rmax [m]'},1,'L1')
xlswrite(filename,{'Rmin [m]'},1,'M1')
xlswrite(filename,{'Tmed [s]'},1,'N1')
xlswrite(filename,{'Ts [s]'},1,'O1')
xlswrite(filename,{'nPontos'},1,'P1')
xlswrite(filename,{'nRunUp'},1,'Q1')

```

```

xlswrite(filename,Tp_legenda,1,'A2')

% xlswrite(filename,Rs,1,'C3:I3')
% xlswrite(filename,Rmed,1,'C4:I4')
% xlswrite(filename,R_10,1,'C5:I5')
% xlswrite(filename,R_100,1,'C6:I6')
% xlswrite(filename,R_200,1,'C7:I7')
% xlswrite(filename,Rmax,1,'C8:I8')
% xlswrite(filename,Tmed,1,'C9:I9')
% xlswrite(filename,Ts,1,'C10:I10')

xlswrite(filename,Rs,1,'B2')
xlswrite(filename,Rmed,1,'C2')
xlswrite(filename,R_10,1,'D2')
xlswrite(filename,R_20,1,'E2')
xlswrite(filename,R_50,1,'F2')
xlswrite(filename,R_100,1,'G2')
xlswrite(filename,R_200,1,'H2')
xlswrite(filename,R_1pc,1,'I2')
xlswrite(filename,R_2pc,1,'J2')
xlswrite(filename,R_rms,1,'K2')
xlswrite(filename,Rmax,1,'L2')
xlswrite(filename,Rmin,1,'M2')
xlswrite(filename,Tmed,1,'N2')
xlswrite(filename,Ts,1,'O2')
xlswrite(filename,nPontos,1,'P2')
xlswrite(filename,nRunUp,1,'Q2')

%% Make figure
disp('Making figure...');

figure

xx=1:length(data(:,1));
    plot(xx,seriefinal)

    axis([0 160000 -1 1]);
    title 'Free surface elevation (m)'

eval(['print -djpeg ',Filename,'_Column',num2str(c),'_Serie','.jpg']);
end
end
disp('All complete!');

```

“Zero_crossing.m”

```
function [res, names, waves]=zero_crossing(data, frequency, threshold)
% Zero crossing analysis of wave data
%
% ZERO_CROSSING (DATA, FREQUENCY)
% ZERO_CROSSING (DATA, FREQUENCY, THRESHOLD)
% RESULT = ZERO_CROSSING (...)
% [RESULT, NAMES] = ZERO_CROSSING (...)
%
% DATA is the input array of water elevation (a time column will be
% ignored). It can also be an cell array data. Any linear trend or
% mean will be removed. If PT data are used, the pressure attenuation
% must be corrected with PR_CORR before calling the present function.
% The optional third argument is the THRESHOLD for a crest or trough
% to be considered; if not given, a value of 1% of Hmax is assumed.
%
% Without output argument, the wave parameter are display on the
% screen and the histograms of wave height and wave period are
% plotted.
%
% With ONE output argument, RESULT is a structure with different fields:
% Significant wave height, Mean wave height, 1/10th wave height, Maximum
wave
% height, Mean wave period, Significant period and a table "wave" with
% following columns 1: wave heights, 2: periods.
% With TWO output argument, RESULT is an horizontal array (same results
but
% without the table) and NAMES is an cell array with the name of the
wave parameters.

% written by Urs Neumeier
% version 1.06

escala = 1; %model scale
%conditions='Spider_Hs85_Tp14_PM_Rep1';
%const=0.282525;

error(nargchk(2,3,nargin)) % check argument
if frequency <= 0
    error('Frequency must be greather than zero')
end
if iscell(data)
    for i=1:length(data)
        if nargin==2
            [res(i,:), names]=zero_crossing(data{i}, frequency);
        else
            [res(i,:), names]=zero_crossing(data{i}, frequency, threshold);
        end
    end
end
return
end
```

```

if size(data,2)==2 & all(data(:,1)>720000) & all(data(:,2)<740000)
    data(:,1)=[];
end
% the function was written for zero upward-crossing.
% To have zero downward-crossing (recommended) leave the next line
uncommented

%data=data; % initially it was data=-data
% seriefinal2=data*escala;
% dlmwrite('serie2.dat', seriefinal2);

names={'R_significant','R_mean','R_10','R_20','R_50','R_100','R_200','R_1pc','R_2pc','R_rms','R_max','R_min','T_mean','T_s','nPontos','nRunUp'}; % initialise output arguments
res=[NaN NaN NaN NaN NaN NaN NaN NaN NaN NaN NaN NaN NaN NaN NaN];

%data=detrend(data); % find zero crossing avoiding zero values
%seriefinal1=data*escala;
%dlmwrite('serie1.dat', seriefinal1);

d0=data(data~=0);
back0=1:length(data);
back0=back0(data~=0);
f=find(d0(1:end-1).*d0(2:end)<0);
crossing=back0(f);
if data(1)>0 % reject first crossing if it is downward
    crossing(1)=[];
end
crossing=crossing(1:2:end); % this are the zero up-ward crossing
wave=zeros(length(crossing)-1,4); % calculate crest, trough and period of each wave
% wave is a 4 columns matrix with wave height, wave crest, wave trough and wave period
for i=1:length(crossing)-1
    wave(i,2)= max(data(crossing(i):crossing(i+1)));
    wave(i,3)= -min(data(crossing(i):crossing(i+1)));
end
%seriefinal1=[wave(:,2)]*escala;
%dlmwrite('serie1.dat', seriefinal1);

if size(wave,1) >= 1 % if no wave was found, do nothing
    wave(:,4)=diff(crossing)/frequency;
    if nargin<3 % define threshold for wave
        %threshold=0.01*max(wave(:,2)+wave(:,3));
        threshold=0.01*max(wave(:,2));
    else
        if threshold < 0
            error ('Wave threshold must not be negative')
        end
    end
end
i=0; % remove waves that are too small

```

```

        while i < size(wave,1)                % by joining then to adjacent
wave
            i=i+1;
            if wave(i,2)<threshold
                if i~=1
                    wave(i-1,2:4)=[max(wave(i-1:i,2:3))      sum(wave(i-
1:i,4))];
                end
                wave(i,:)=[];
            elseif wave(i,3)<threshold
                if i~=size(wave,1)
                    wave(i,2:4)=[max(wave(i:i+1,2:3)) sum(wave(i:i+1,4))];
                    wave(i+1,:)=[];
                else
                    wave(i,:)=[];
                end
            end
        end
end

% wave has                1: wave height, 2: wave crest (Hcm), 3: wave
trough (Htm), 4: period.

%wave(:,1)= sum(wave(:,2:3)')';           % now we have all waves to be
considered, calculation of height

% Considering only crests for run-up determination

wave(:,1)= ([wave(:,2)]);

figure
    xx=1:length(wave);
    %dlmwrite('eixos.dat', xx);
    subplot(2,1,1);
    plot(xx,[wave(:,1)])
    title 'wave run-up (m)'
    subplot(2,1,2);
    %plot(xx,[wave(:,4)]*escala^0.5)
    plot(xx,[wave(:,4)]);
    title 'wave period (s)'

%eval(['print -djpeg ',conditions,'.jpg']);

nb=size(wave,1);                % calculation of the wave statistics
wave_unsorted=wave;

wave=sortrows(wave);            % in ascending order
wave=flipud(wave);             % in descending order

seriefinal=[wave(:,1)];
%dlmwrite('serie.dat', seriefinal);
%%
figure
if nb<100

```

```

        nb_bin=10;
elseif nb<150
        nb_bin=15;
else
        nb_bin=20;
end
subplot(2,1,1);
hist([wave(:,1)],nb_bin)

set(gca,'ytick',nb*(0:0.05:1),'yticklabel',sprintf('%d%%|',0:5:100))
title 'wave height (m)'
subplot(2,1,2);
hist([wave(:,4)]*(escala^0.5),nb_bin)

set(gca,'ytick',nb*(0:0.05:1),'yticklabel',sprintf('%d%%|',0:5:100))
title 'wave period (s)'

%eval(['print -djpeg hist',conditions,'.jpg']);

%%
old_warning_state=warning('off');
res(1)=mean(wave(1:round(nb*1/3),1)); % R_significant
res(2)=mean(wave(:,1)); % R_mean
res(3)=mean(wave(1:round(nb*0.1),1)); % R_10
res(4)=mean(wave(1:round(nb*0.05),1)); % R_20
res(5)=mean(wave(1:round(nb*0.02),1)); % R_50
res(6)=mean(wave(1:round(nb*0.01),1)); % R_100
res(7)=mean(wave(1:round(nb*0.005),1)); % R_200
res(8)=(wave(round(nb*0.01),1)); % R_1%
res(9)=(wave(round(nb*0.02),1)); % R_2%
res(10)=sqrt(mean(wave(:,1).^2)); % Rrms

if isempty(wave(:,1));
res(11)=NaN;
else
res(11)=max(wave(:,1)); % R_max
res(12)=min(wave(:,1)); % R_min
end
res(13)=mean(wave(:,4)); % mean_period
res(14)=mean(wave(1:round(nb*1/3),4)); % T_significant
res(15)=length(wave); % runUp number
warning(old_warning_state);
end

if nargin==0 % if no output argument, display
results
fprintf(['Significant Run-up %g\n'...
'Mean Run-up %g\n'...
'1/10th Run-up %g\n'...
'1/100th Run-up %g\n'...
'1/200th Run-up %g\n'...
'Maximum Run-up %g\n'...
'Mean wave period %g\n'...
'Significant period %g\n'],res);

figure
if nb<100

```

```

        nb_bin=10;
    elseif nb<150
        nb_bin=15;
    else
        nb_bin=20;
    end
    subplot(2,1,1);
    hist(wave(:,1),nb_bin)

set(gca,'ytick',nb*(0:0.05:1),'yticklabel',sprintf('%d%%|',0:5:100))
    title 'wave height'
    subplot(2,1,2);
    hist(wave(:,4),nb_bin)

set(gca,'ytick',nb*(0:0.05:1),'yticklabel',sprintf('%d%%|',0:5:100))
    title 'wave period'
    clear res names
    else
        if nargout==1
            s=setfield([],names{1},res(1));
            for i=2:length(res)
                s=setfield(s,names{i},res(i));
            end
            s.wave=wave_undefined(:,[1 4]);
            res=s;
            clear names
        end
    end
end

```

“main.m”

```
clear
close all
%clc

%*****INICIO          DA          ZONA          ONDE          SE          PODE
ALTERAR*****

%Adicionar uma linha com o nome da pasta (data) do dia
DAYa = ['2017_11_01' %dia 1
        ];

%Adicionar uma linha com o as constantes de calibração do dia
calib_mat=[1 1 1  %'2017_11_01'
           ];

%Adicionar o valor do nº do 1º teste do dia - ADICIONAR 1 todos os dias
st_trial=[1];

%escolher dias a analisar
dias=[1];

%escolher nº de testes a analisar a contar do fim
ntestes=1;
%ntestes=3;

main_folder='C:\Matlab\MatLabRreak';

tsample=0.003; %delta t (F=300Hz)
Nchan=3;
%Nchan=8;
%R=70; %ESCALA
R=1; %ESCALA

%*****FIM          DA          ZONA          ONDE          SE          PODE
ALTERAR*****

%for ii=1:2:7; %vários dias pôr nº dos dias
for ii=dias; %vários dias pôr nº dos dias
%for ii=2:2; %um dia pôr nº do dia

folder_day = DAYa(ii,1:10);
calib_probe = calib_mat(ii,:);
calib_press = [1 1];

disp(['- Analise da pasta: ',main_folder,'\ ',folder_day,'\Dados'])
clear subfolders
subfolders = dir([main_folder,'\ ',folder_day,'\Dados\*']);
disp(length(subfolders));
```

```

clear delete_fake_folder
delete_fake_folder = [];
for ff = 1:length(subfolders)
    clear check_string
    check_string = strmatch(subfolders(ff).name, {'.'
'..'}, 'exact');
    if isempty(check_string) == 0
        delete_fake_folder = [delete_fake_folder ff];
    end
end
subfolders(delete_fake_folder) = [];

[~,idx]=sort([subfolders.datenum]);

% for jj = 1:numel(idx); %do for all files
for jj =(numel(idx)-ntestes+1):numel(idx); %do for the ntestes
last files

    Tdeb = 0; Tfin = 0;
% Tdeb = 12500; Tfin =24500; %3000*sqrt(60); % tempo em protótipo
% Tdeb = 1650; Tfin =12500; % tempo em protótipo
% ensaio 44 e 45, com sedimentos
% Tdeb = 1750*sqrt(60); Tfin =2525*sqrt(60); % tempo em protótipo
ensaio 46

    J=idx(jj);

    ctrial=num2str(st_trial(ii)+jj-1);

    test_name=subfolders(J).name(1:length(subfolders(J).name)-4);

    disp([' > Teste ', test_name])

    path_WG = [main_folder, '\', folder_day, '\Dados\'];

    WG_filename=[path_WG test_name '.txt'];

%output figures folder
    pathfig = [main_folder, '\', folder_day '\Resultados\'];

    for index=2:2:2;

        analysis;
    end

end

end
end

close all

```

Anexo B – Tabelas de resultados

Tabela B.1 - Valores de altura significativa e período de pico processados para cada teste

Data	Teste	Sondas acústicas	Hs (m)	Tp (s)
01-11-2017	T013	1.1.1	0,1061	1,1929
		1.1.2	0,0968	1,1383
		1.1.3	0,0985	1,1741
	T014	1.1.1	0,1386	1,4305
		1.1.2	0,1266	1,4597
		1.1.3	0,1425	1,365
	T015	1.1.1	0,1619	1,5568
		1.1.2	0,1503	1,5568
		1.1.3	0,1628	1,5568
	T016	1.1.1	0,1919	1,755
		1.1.2	0,184	1,6642
		1.1.3	0,1842	1,6642
02/11/2017	T017	1.1.1	0,1038	1,1741
		1.1.2	0,0962	1,1741
		1.1.3	0,1024	1,1741
	T018	1.1.1	0,1533	1,3655
		1.1.2	0,1393	1,4313
		1.1.3	0,1374	1,3921
	T019	1.1.1	0,1712	1,5568
		1.1.2	0,1591	1,5568
		1.1.3	0,1569	1,5568
	T020	1.1.1	0,1852	1,6077
		1.1.2	0,1752	1,66
		1.1.3	0,1823	1,66
03/11/2017	T021	1.1.1	0,079	1,1739
		1.1.2	0,0938	1,1927
		1.1.3	0,1016	1,1927
	T022	1.1.1	0,1015	1,3655
		1.1.2	0,1222	1,4313
		1.1.3	0,1351	1,4606
	T023	1.1.1	0,1082	1,5568
		1.1.2	0,1398	1,5568
		1.1.3	0,1567	1,5568
	T025	1.1.1	0,1138	1,6592
		1.1.2	0,1513	1,6779
		1.1.3	0,1793	1,6592

Tabela B.1 (cont.) - Valores de altura significativa e período de pico processados para cada teste

Data	Teste	Sondas acústicas	Hs (m)	Tp (s)
06/11/2017	T027	1.1.1	0,1084	1,1055
		1.1.2	0,108	1,1055
		1.1.3	0,1102	1,1055
	T028	1.1.1	0,1392	1,4313
		1.1.2	0,1294	1,4313
		1.1.3	0,1439	1,3655
	T029	1.1.1	0,168	1,5568
		1.1.2	0,154	1,5568
		1.1.3	0,1625	1,5568
	T030	1.1.1	0,1954	1,66
		1.1.2	0,1827	1,66
		1.1.3	0,1811	1,66
07/11/2017	T031	1.1.1	0,1022	1,1739
		1.1.2	0,0947	1,1739
		1.1.3	0,1031	1,1739
	T032	1.1.1	0,1626	1,4313
		1.1.2	0,1513	1,4313
		1.1.3	0,1502	1,4313
	T033	1.1.1	0,1716	1,5568
		1.1.2	0,1607	1,5382
		1.1.3	0,1583	1,5568
	T034	1.1.1	0,1908	1,66
		1.1.2	0,1788	1,66
		1.1.3	0,183	1,7304
08/11/2017-Ondas de crista curta	T035	1.1.1	0,095	1,1556
		1.1.2	0,0969	1,1165
		1.1.3	0,1105	1,1601
	T036	1.1.1	0,1243	1,4487
		1.1.2	0,1263	1,485
		1.1.3	0,1391	1,4199
	T037	1.1.1	0,1424	1,5444
		1.1.2	0,1451	1,5695
		1.1.3	0,1559	1,5382
	T038	1.1.1	0,1628	1,7015
		1.1.2	0,1659	1,6466
		1.1.3	0,1742	1,6875
	T039	1.1.1	0,1919	1,8486
		1.1.2	0,1978	1,9191
		1.1.3	0,2145	1,8486

Tabela B.1 (cont.) - Valores de altura significativa e período de pico processados para cada teste

Data	Teste	Sondas acústicas	Hs (m)	Tp (s)
09/11/2017- Ondas de crista curta	T040	1.1.1	0,0958	1,1785
		1.1.2	0,1014	1,1647
		1.1.3	0,1112	1,2073
	T041	1.1.1	0,127	1,4912
		1.1.2	0,1347	1,4912
		1.1.3	0,1466	1,3976
	T042	1.1.1	0,1458	1,5631
		1.1.2	0,1522	1,5695
		1.1.3	0,1659	1,602
	T043	1.1.1	0,1633	1,6739
		1.1.2	0,1743	1,6875
		1.1.3	0,1847	1,6668
T044	1.1.1	0,1936	1,8793	
	1.1.2	0,2044	1,7831	
	1.1.3	0,2276	1,903	
10/11/2017	T045	1.1.1	0,1036	1,1601
		1.1.2	0,0965	1,1739
		1.1.3	0,1055	1,1739
	T046	1.1.1	0,1539	1,4313
		1.1.2	0,143	1,4313
		1.1.3	0,138	1,4313
	T047	1.1.1	0,18	1,5568
		1.1.2	0,1675	1,5568
		1.1.3	0,1591	1,5568
	T048	1.1.1	0,202	1,66
		1.1.2	0,1892	1,66
		1.1.3	0,1807	1,66
13/11/2017	T049	1.1.1	0,1004	1,188
		1.1.2	0,0988	1,1739
		1.1.3	0,1038	1,1739
	T050	1.1.1	0,1403	1,3655
		1.1.2	0,1381	1,4313
		1.1.3	0,1397	1,4313
	T051	1.1.1	0,1529	1,5568
		1.1.2	0,1529	1,5568
		1.1.3	0,1612	1,5568
	T052	1.1.1	0,1633	1,5828
		1.1.2	0,1654	1,66
		1.1.3	0,1817	1,66

Tabela B.1 (cont.) - Valores de altura significativa e período de pico processados para cada teste

Data	Teste	Sondas acústicas	Hs (m)	Tp (s)
14/11/2017	T058	1.1.1	0,1034	1,1601
		1.1.2	0,0993	1,1511
		1.1.3	0,1058	1,1601
	T059	1.1.1	0,15	1,4313
		1.1.2	0,1413	1,4313
		1.1.3	0,1396	1,4313
	T060	1.1.1	0,1807	1,5568
		1.1.2	0,1667	1,5568
		1.1.3	0,1597	1,5568
	T061	1.1.1	0,2058	1,66
		1.1.2	0,1926	1,66
		1.1.3	0,1786	1,66
	T063	1.1.1	0,252	1,818
		1.1.2	0,238	1,887
		1.1.3	0,228	1,891
15/11/2017- Ondas de crista curta	T064	1.1.1	0,0961	1,1739
		1.1.2	0,0964	1,1927
		1.1.3	0,1103	1,1739
	T065	1.1.1	0,1253	1,4371
		1.1.2	0,1265	1,4547
		1.1.3	0,1397	1,3921
	T066	1.1.1	0,1438	1,5444
		1.1.2	0,1452	1,5695
		1.1.3	0,1574	1,5631
	T067	1.1.1	0,1653	1,6466
		1.1.2	0,1674	1,64
		1.1.3	0,1758	1,7452
	T068	1.1.1	0,2011	1,8486
		1.1.2	0,2024	1,486
		1.1.3	0,2145	1,9522

Tabela B.2 - Valores de espraimento observados e obtidos através da fórmula empírica

Data	Teste	Sondas	Dadod do ensaio		Espraimento					
			SWL[m]	Dir [°]	Eq. 2.1 Ru2% [m]	Eq. 2.4 Ru2% (máx) [m]	Mínino entre Eq.2.1 e Eq.2.4 Ru2% [m]	Ru2%/Hm0	Ru2% observados [m]	Ru2% observados/Hm0
01-11-2017	T013	4.1.1	0,600	40	0,158	0,136	0,136	1,282	0,0823	0,7754
		4.1.2			0,158	0,136	0,136	1,282	0,0791	0,7451
		4.1.3			0,144	0,124	0,124	1,281	0,1345	1,3890
		4.1.4			0,149	0,127	0,127	1,286	0,1049	1,0647
	T014	4.1.1	0,600	40	0,216	0,179	0,179	1,292	0,1106	0,7979
		4.1.2			0,216	0,179	0,179	1,292	0,0994	0,7173
		4.1.3			0,211	0,165	0,165	1,306	0,1748	1,3803
		4.1.4			0,209	0,182	0,182	1,279	0,1524	1,0693
	T015	4.1.1	0,600	40	0,254	0,209	0,209	1,294	0,1318	0,8138
		4.1.2			0,254	0,209	0,209	1,294	0,1168	0,7214
		4.1.3			0,245	0,196	0,196	1,302	0,1916	1,2746
		4.1.4			0,255	0,211	0,211	1,293	0,1700	1,0442
	T016	4.1.1	0,600	40	0,312	0,250	0,250	1,301	0,1396	0,7277
		4.1.2			0,312	0,250	0,250	1,301	0,1367	0,7125
		4.1.3			0,290	0,238	0,238	1,294	0,2030	1,1032
		4.1.4			0,290	0,238	0,238	1,294	0,1800	0,9772
02/11/2017	T017	4.1.1	0,600	65	0,106	0,092	0,092	0,887	0,0703	0,6776
		4.1.2			0,106	0,092	0,092	0,887	0,0675	0,6504
		4.1.3			0,102	0,086	0,086	0,893	0,1278	1,3281
		4.1.4			0,106	0,091	0,091	0,888	0,1151	1,1244
	T018	4.1.1	0,600	65	0,150	0,135	0,135	0,880	0,0783	0,5108
		4.1.2			0,150	0,135	0,135	0,880	0,0836	0,5452
		4.1.3			0,150	0,125	0,125	0,895	0,1448	1,0398
		4.1.4			0,145	0,123	0,123	0,892	0,1766	1,2853
	T019	4.1.1	0,600	65	0,181	0,153	0,153	0,892	0,0883	0,5160
		4.1.2			0,181	0,153	0,153	0,892	0,0900	0,5258
		4.1.3			0,175	0,143	0,143	0,898	0,1533	0,9637
		4.1.4			0,173	0,141	0,141	0,899	0,1770	1,1281
	T020	4.1.1	0,600	65	0,194	0,165	0,165	0,891	0,1017	0,5489
		4.1.2			0,194	0,165	0,165	0,891	0,1460	0,7885
		4.1.3			0,195	0,158	0,158	0,900	0,1617	0,9232
		4.1.4			0,199	0,164	0,164	0,897	0,1934	1,0607
03/11/2017	T021	4.1.1	0,600	90	0,093	0,072	0,072	0,908	0,0547	0,6918
		4.1.2			0,093	0,072	0,072	0,908	0,0496	0,6274
		4.1.3			0,103	0,084	0,084	0,897	0,0933	0,9944
		4.1.4			0,107	0,091	0,091	0,891	0,1220	1,2011
	T022	4.1.1	0,600	90	0,122	0,093	0,093	0,912	0,0682	0,6719
		4.1.2			0,122	0,093	0,093	0,912	0,0712	0,7019
		4.1.3			0,141	0,111	0,111	0,905	0,1082	0,8854
		4.1.4			0,151	0,122	0,122	0,900	0,1811	1,3408
	T023	4.1.1	0,600	90	0,144	0,100	0,100	0,926	0,0783	0,7232
		4.1.2			0,144	0,100	0,100	0,926	0,0798	0,7375
		4.1.3			0,164	0,127	0,127	0,907	0,1152	0,8238
		4.1.4			0,173	0,141	0,141	0,899	0,1993	1,2719
	T025	4.1.1	0,600	90	0,157	0,106	0,106	0,931	0,0906	0,7963
		4.1.2			0,157	0,106	0,106	0,931	0,0863	0,7583
		4.1.3			0,183	0,138	0,138	0,912	0,1323	0,8745
		4.1.4			0,197	0,161	0,161	0,898	0,2450	1,3664

Tabela B.2 (cont.) - Valores de espraçamento observados e obtidos através da fórmula empírica

Data	Teste	Sondas	Dadod do ensaio		Espraçamento					
			SWL[m]	Dir [°]	Eq. 2.1 Ru2% [m]	Eq. 2.4 Ru2% (máx) [m]	Mínimo entre Eq.2.1 e Eq.2.4 Ru2% [m]	Ru2%/Hmo	Ru2% observados [m]	Ru2% observados/Hmo
06/11/2017	T027	4.1.1	0,680	40	0,148	0,137	0,137	1,262	0,0809	0,7463
		4.1.2			0,148	0,137	0,137	1,262	0,0854	0,7878
		4.1.3			0,147	0,136	0,136	1,262	0,1177	1,0898
		4.1.4			0,149	0,139	0,139	1,260	0,0956	0,8675
	T028	4.1.1	0,680	40	0,217	0,180	0,180	1,292	0,1151	0,8266
		4.1.2			0,217	0,180	0,180	1,292	0,1087	0,7805
		4.1.3			0,209	0,168	0,168	1,300	0,1465	1,1325
		4.1.4			0,210	0,184	0,184	1,278	0,1338	0,9301
	T029	4.1.1	0,680	40	0,259	0,217	0,217	1,290	0,1315	0,7829
		4.1.2			0,259	0,217	0,217	1,290	0,1234	0,7345
		4.1.3			0,248	0,200	0,200	1,299	0,1637	1,0632
		4.1.4			0,255	0,210	0,210	1,293	0,1558	0,9588
	T030	4.1.1	0,680	40	0,298	0,252	0,252	1,287	0,1418	0,7256
		4.1.2			0,298	0,252	0,252	1,287	0,1312	0,6716
		4.1.3			0,288	0,237	0,237	1,295	0,1876	1,0267
		4.1.4			0,287	0,235	0,235	1,296	0,1701	0,9392
07/11/2017	T031	4.1.1	0,680	65	0,105	0,091	0,091	0,888	0,0723	0,7077
		4.1.2			0,105	0,091	0,091	0,888	0,0703	0,6875
		4.1.3			0,102	0,085	0,085	0,894	0,1084	1,1448
		4.1.4			0,106	0,092	0,092	0,888	0,1125	1,0913
	T032	4.1.1	0,680	65	0,162	0,144	0,144	0,883	0,0879	0,5408
		4.1.2			0,162	0,144	0,144	0,883	0,0870	0,5348
		4.1.3			0,156	0,134	0,134	0,889	0,1330	0,8791
		4.1.4			0,156	0,134	0,134	0,889	0,1620	1,0787
	T033	4.1.1	0,680	65	0,181	0,153	0,153	0,892	0,0977	0,5696
		4.1.2			0,181	0,153	0,153	0,892	0,0971	0,5661
		4.1.3			0,173	0,144	0,144	0,895	0,1459	0,9080
		4.1.4			0,174	0,142	0,142	0,898	0,1767	1,1161
	T034	4.1.1	0,680	65	0,204	0,171	0,171	0,894	0,1114	0,5837
		4.1.2			0,204	0,171	0,171	0,894	0,1103	0,5779
		4.1.3			0,197	0,161	0,161	0,899	0,1613	0,9019
		4.1.4			0,208	0,165	0,165	0,903	0,1878	1,0260
08/11/2017-Ondas de crista curta	T035	4.1.1	0,600	40	0,154	0,130	0,130	1,367	0,0796	0,8376
		4.1.2			0,154	0,130	0,130	1,367	0,0788	0,8295
		4.1.3			0,150	0,131	0,131	1,357	0,1164	1,2016
		4.1.4			0,166	0,149	0,149	1,350	0,1088	0,9843
	T036	4.1.1	0,600	40	0,220	0,173	0,173	1,388	0,0982	0,7902
		4.1.2			0,220	0,173	0,173	1,388	0,0929	0,7471
		4.1.3			0,227	0,176	0,176	1,392	0,1478	1,1702
		4.1.4			0,228	0,191	0,191	1,371	0,1548	1,1132
	T037	4.1.1	0,600	40	0,251	0,198	0,198	1,387	0,1141	0,8015
		4.1.2			0,251	0,198	0,198	1,387	0,1041	0,7311
		4.1.3			0,258	0,202	0,202	1,389	0,1653	1,1394
		4.1.4			0,262	0,215	0,215	1,376	0,1683	1,0795
	T038	4.1.1	0,600	40	0,296	0,227	0,227	1,394	0,1266	0,7779
		4.1.2			0,296	0,227	0,227	1,394	0,1142	0,7013
		4.1.3			0,289	0,230	0,230	1,385	0,2437	1,4688
		4.1.4			0,304	0,241	0,241	1,385	0,2061	1,1831
T039	4.1.1	0,600	40	0,349	0,268	0,268	1,394	0,1478	0,7704	
	4.1.2			0,349	0,268	0,268	1,394	0,1356	0,7067	
	4.1.3			0,368	0,277	0,277	1,399	0,3711	1,8764	
	4.1.4			0,369	0,296	0,296	1,382	0,2213	1,0317	

Tabela B.2 (cont.) - Valores de espraimento observados e obtidos através da fórmula empírica

			Dadod do ensaio		Espraimento					
Data	Teste	Sondas	SWL[m]	Dir [°]	Eq. 2.1 Ru2% [m]	Eq. 2.4 Ru2% (máx) [m]	Mínino entre Eq.2.1 e Eq.2.4 Ru2% [m]	Ru2%/H _{m0}	Ru2% observados [m]	Ru2% observados/H _{m0}
09/11/2017- Ondas de crista curta	T040	4.1.1	0,600	65	0,149	0,124	0,124	1,296	0,0742	0,7742
		4.1.2			0,149	0,124	0,124	1,296	0,0763	0,7966
		4.1.3			0,151	0,131	0,131	1,287	0,1095	1,0800
		4.1.4			0,164	0,143	0,143	1,285	0,1127	1,0137
	T041	4.1.1	0,600	65	0,217	0,167	0,167	1,317	0,0967	0,7610
		4.1.2			0,217	0,167	0,167	1,317	0,0926	0,7293
		4.1.3			0,223	0,177	0,177	1,310	0,1424	1,0574
		4.1.4			0,218	0,189	0,189	1,287	0,1674	1,1420
	T042	4.1.1	0,600	65	0,243	0,191	0,191	1,312	0,1065	0,7305
		4.1.2			0,243	0,191	0,191	1,312	0,1041	0,7141
		4.1.3			0,250	0,199	0,199	1,308	0,1595	1,0477
		4.1.4			0,266	0,216	0,216	1,303	0,1957	1,1796
	T043	4.1.1	0,600	65	0,276	0,215	0,215	1,315	0,1240	0,7593
		4.1.2			0,276	0,215	0,215	1,315	0,1103	0,6753
		4.1.3			0,287	0,228	0,228	1,309	0,2160	1,2392
		4.1.4			0,292	0,240	0,240	1,300	0,2103	1,1388
	T044	4.1.1	0,600	65	0,337	0,256	0,256	1,321	0,1584	0,8183
		4.1.2			0,337	0,256	0,256	1,321	0,1410	0,7283
		4.1.3			0,329	0,267	0,267	1,304	0,15	0,7339
		4.1.4			0,370	0,297	0,297	1,306	0,2538	1,1151
10/11/2017	T045	4.1.1	0,600	55	0,124	0,108	0,108	1,044	0,0798	0,7699
		4.1.2			0,124	0,108	0,108	1,044	0,0757	0,7303
		4.1.3			0,121	0,102	0,102	1,052	0,1106	1,1462
		4.1.4			0,126	0,110	0,110	1,044	0,1157	1,0971
	T046	4.1.1	0,600	55	0,186	0,161	0,161	1,046	0,1008	0,6549
		4.1.2			0,186	0,161	0,161	1,046	0,0910	0,5913
		4.1.3			0,179	0,151	0,151	1,052	0,1429	0,9993
		4.1.4			0,176	0,146	0,146	1,056	0,1412	1,0230
	T047	4.1.1	0,600	55	0,219	0,188	0,188	1,047	0,1137	0,6319
		4.1.2			0,219	0,188	0,188	1,047	0,0986	0,5475
		4.1.3			0,211	0,176	0,176	1,053	0,1672	0,9981
		4.1.4			0,206	0,168	0,168	1,058	0,1629	1,0239
	T048	4.1.1	0,600	55	0,247	0,212	0,212	1,048	0,1233	0,6106
		4.1.2			0,247	0,212	0,212	1,048	0,1098	0,5436
		4.1.3			0,239	0,199	0,199	1,054	0,1892	0,9999
		4.1.4			0,234	0,191	0,191	1,058	0,1925	1,0653
13/11/2017	T049	4.1.1	0,600	75	0,106	0,090	0,090	0,892	0,0651	0,6486
		4.1.2			0,106	0,090	0,090	0,892	0,0642	0,6390
		4.1.3			0,104	0,088	0,088	0,891	0,1035	1,0479
		4.1.4			0,106	0,092	0,092	0,887	0,1133	1,0912
	T050	4.1.1	0,600	75	0,144	0,124	0,124	0,887	0,0735	0,5240
		4.1.2			0,144	0,124	0,124	0,887	0,0765	0,5453
		4.1.3			0,150	0,124	0,124	0,896	0,1217	0,8810
		4.1.4			0,150	0,125	0,125	0,895	0,1542	1,1037
	T051	4.1.1	0,600	75	0,171	0,138	0,138	0,901	0,0848	0,5547
		4.1.2			0,171	0,138	0,138	0,901	0,0832	0,5444
		4.1.3			0,171	0,138	0,138	0,901	0,1359	0,8887
		4.1.4			0,176	0,145	0,145	0,897	0,1815	1,1259
	T052	4.1.1	0,600	75	0,180	0,147	0,147	0,898	0,0984	0,6027
		4.1.2			0,180	0,147	0,147	0,898	0,0922	0,5643
		4.1.3			0,190	0,150	0,150	0,904	0,1544	0,9334
		4.1.4			0,199	0,163	0,163	0,897	0,2300	1,2658

Tabela B.2 (cont.) - Valores de espraio observado e obtido atravs da frmula emprica

			Dadod do ensaio		Espraio					
Data	Teste	Sondas	SWL[m]	Dir [°]	Eq. 2.1 Ru2% [m]	Eq. 2.4 Ru2% (máx) [m]	Mínino entre Eq. 2.1 e Eq. 2.4 Ru2% [m]	Ru2%/H _{m0}	Ru2% observados [m]	Ru2% observados/H _{m0}
14/11/2017	T058	4.1.1	0,680	55	0,124	0,108	0,108	1,044	0,0771	0,7461
		4.1.2			0,124	0,108	0,108	1,044	0,0749	0,7242
		4.1.3			0,120	0,104	0,104	1,046	0,1100	1,1080
		4.1.4			0,125	0,110	0,110	1,042	0,1068	1,0093
	T059	4.1.1	0,680	55	0,184	0,157	0,157	1,048	0,1011	0,6737
		4.1.2			0,184	0,157	0,157	1,048	0,0934	0,6226
		4.1.3			0,178	0,149	0,149	1,054	0,1483	1,0493
		4.1.4			0,177	0,147	0,147	1,055	0,1467	1,0511
	T060	4.1.1	0,600	55	0,219	0,189	0,189	1,046	0,1519	0,8406
		4.1.2			0,219	0,189	0,189	1,046	0,1034	0,5720
		4.1.3			0,211	0,176	0,176	1,054	0,1619	0,9713
		4.1.4			0,206	0,169	0,169	1,058	0,1519	0,9511
	T061	4.1.1	0,680	55	0,249	0,215	0,215	1,046	0,1212	0,5890
		4.1.2			0,249	0,215	0,215	1,046	0,1223	0,5943
		4.1.3			0,241	0,203	0,203	1,052	0,1858	0,9646
		4.1.4			0,232	0,189	0,189	1,059	0,1659	0,9291
	T063	4.1.1	0,680	55	0,302	0,263	0,263	1,044	0,1383	0,5486
		4.1.2			0,302	0,263	0,263	1,044	0,1428	0,5665
		4.1.3			0,305	0,251	0,251	1,056	0,2254	0,9472
		4.1.4			0,306	0,252	0,252	1,057	0,1935	0,8131
15/11/2017 ondas de crista curta	T064	4.1.1	0,680	40	0,157	0,132	0,132	1,369	0,0743	0,7734
		4.1.2			0,157	0,132	0,132	1,369	0,0728	0,7572
		4.1.3			0,160	0,132	0,132	1,373	0,1168	1,2119
		4.1.4			0,168	0,149	0,149	1,353	0,1029	0,9333
	T065	4.1.1	0,680	40	0,219	0,174	0,174	1,386	0,0997	0,7956
		4.1.2			0,219	0,174	0,174	1,386	0,0962	0,7681
		4.1.3			0,223	0,175	0,175	1,387	0,1495	1,1818
		4.1.4			0,224	0,191	0,191	1,366	0,1430	1,0236
	T066	4.1.1	0,680	40	0,252	0,199	0,199	1,386	0,1117	0,7768
		4.1.2			0,252	0,199	0,199	1,386	0,0969	0,6741
		4.1.3			0,258	0,202	0,202	1,389	0,1661	1,1437
		4.1.4			0,267	0,217	0,217	1,379	0,1609	1,0222
	T067	4.1.1	0,680	40	0,289	0,229	0,229	1,385	0,1274	0,7707
		4.1.2			0,289	0,229	0,229	1,385	0,1123	0,6797
		4.1.3			0,289	0,231	0,231	1,383	0,1858	1,1100
		4.1.4			0,315	0,245	0,245	1,391	0,1753	0,9973
	T068	4.1.1	0,680	40	0,357	0,279	0,279	1,389	0,1409	0,7008
		4.1.2			0,357	0,279	0,279	1,389	0,1371	0,6818
		4.1.3			0,288	0,270	0,270	1,336	0,2336	1,1541
		4.1.4			0,390	0,299	0,299	1,394	0,2189	1,0204