



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Departamento de Engenharia Civil**



**RECIFE ARTIFICIAL PARA A PRÁTICA DE *SURF***  
**Análise das condições de *surfabilidade***

**RICARDO JORGE RATO LOURO BENTO**  
Licenciado em Engenharia Civil

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil  
na Área de Especialização de Hidráulica

Orientadores:

- Doutor João Alfredo Ferreira dos Santos
- Doutora Conceição Juana Espinosa Morais Fortes

Júri:

Presidente: Doutora Maria Helena Teixeira Cardoso Gamboa

Vogais:

- Doutora Ana Cristina Santos Mendonça
- Doutor João Alfredo Ferreira dos Santos

**Dezembro 2016**



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Departamento de Engenharia Civil**



**RECIFE ARTIFICIAL PARA A PRÁTICA DE *SURF***  
**Análise das condições de *surfabilidade***

**RICARDO JORGE RATO LOURO BENTO**

Licenciado em Engenharia Civil

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil  
na Área de Especialização de Hidráulica

Orientadores:

- Doutor João Alfredo Ferreira dos Santos
- Doutora Conceição Juana Espinosa Morais Fortes

Júri:

Presidente: Doutora Maria Helena Teixeira Cardoso Gamboa

Vogais:

- Doutora Ana Cristina Santos Mendonça
- Doutor João Alfredo Ferreira dos Santos

**Dezembro 2016**



## RESUMO

Entende-se por recife artificial uma estrutura submersa que tem um impacto significativo nas características de agitação marítima presentes na zona onde está implementado. Os recifes artificiais são multifuncionais pois servem vários propósitos, sendo eles, proteção costeira, melhoria das características das ondas para o *surf* e ainda para o crescimento e fixação de fauna marítima.

Neste trabalho analisa-se o comportamento hidrodinâmico de um recife artificial na praia Barranco das Belharucas, situada perto de Albufeira, Portugal, com o fim de melhorar as características para o *surf* das ondas nessa praia.

Para este efeito, foi usado o modelo numérico do tipo Boussinesq COULWAVE, (Lynett e Liu 2002), que permite a simulação da propagação de ondas não lineares em zonas de profundidade variável como acontece em zonas de recifes. Posteriormente, a ferramenta de cálculo e programação em MATLAB, *tratar\_dados\_final.m*, foi utilizada para a análise dos resultados.

Efetuarão-se cálculos para a situação sem e com recife. No caso da situação com recife, testaram-se várias soluções de geometria e localização do recife. É assim analisado o desempenho de um recife retangular em planta e com perfil, comprimento e rotação variáveis para se conseguir a melhor solução a implantar. Consideraram-se como condições de agitação as condições de agitação forçantes do modelo numérico os registos observados na boia ondógrafo de Faro em termos de altura de onda, período e direção.

Com base nos resultados do modelo numérico, foi possível determinar os parâmetros de *surfabilidade*, nomeadamente altura de onda, ângulo de rebentação, comprimento da linha de rebentação, tipo de rebentação, características da parede de onda e amplificação da altura de onda em relação à altura de onda incidente.

É efetuada uma análise comparativa dos resultados do modelo e dos respetivos parâmetros de *surfabilidade* para as várias simulações efetuadas e correspondentes a todas as variações das características do recife consideradas para ser possível encontrar a solução mais eficaz para o recife que satisfaça melhor as necessidades para o *surf*.

**Palavras-Chave:** Recife artificial, *Surf*, Albufeira, COULWAVE, MATLAB.



## **ABSTRACT**

What is known as an artificial reef is a submerged structure that has a significant impact in the characteristics of the sea waves in the area where it is implemented. Artificial reefs are multifunctional, since they have many purposes, some of those purposes are coastal protection, positive change of the surf waves and for the benthos growing and sea organisms fixation.

The case study of this work begins by analyzing the sea-waves behavior on the beach named as Barranco das Belharucas, near to Albufeira, Portugal, in order to modify the observed waves such that better characteristics for the surf practice are attained.

It will be analyzed the behavior of a rectangular reef in plan with variable profile, length and rotation in order to implement the better solution. The sea-wave conditions observed in ondograph records of Faro are variable in wave height, period and direction.

For the simulation of the waves propagation the numerical model named Coulwave will be used, and then the Matlab calculation and programming tools will be employed in the analysis of the results.

A comparative analysis of the model parameters and of the corresponding surfability parameters at the end of several simulations will be made. The final goal is to find the most efficient reef geometry that fulfils the surf requirements..

**Keywords:** Artificial Reef, Surf, Albufeira, COULWAVE, MATLAB.



## **AGRADECIMENTOS**

Obrigado a todos os que tornaram possível a construção deste trabalho em especial aos meus orientadores, doutora engenheira Juana Fortes e o doutor engenheiro João Alfredo, aos meus pais José e Esperança que sempre me apoiaram sentimentalmente e financeiramente, à minha namorada Ana que sempre me apoiou inclusive nas alturas de maior *stress* e aos meus colegas de estágio Valentim, Sengo, Jorge e Inês que sempre souberam ajudar quando foi preciso e que tornaram tudo mais fácil criando um ambiente de união, amizade e trabalho.



## ÍNDICE

1 - INTRODUÇÃO .....	1
1.1 - Enquadramento geral .....	1
1.2 - Objetivos .....	2
1.3 - Metodologia .....	3
1.4 - Estrutura da dissertação .....	4
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	7
2.1 - Introdução .....	7
2.2 - Recifes Artificiais já construídos .....	7
2.3 - Recifes Artificiais estudados em Portugal .....	10
2.3.1 - S. Pedro do Estoril .....	10
2.3.2 - Leirosa.....	15
3 - ANÁLISE DE FUNCIONAMENTO DA SOLUÇÃO DO RECIFE .....	21
3.1 - Parâmetros de <i>Surfabilidade</i> .....	21
3.1.1 - Altura da onda ao longo da linha de rebentação .....	21
3.1.2 - Ângulo de rebentação ao longo da linha de rebentação.....	22
3.1.3 - Comprimento da linha de rebentação .....	23
3.1.4 - Tipo de rebentação.....	23
3.1.5 - Características da parede da onda .....	24
3.1.6 - Amplificação da altura da onda em relação à altura de onda incidente.....	25
4 - MODELO NUMÉRICO COULWAVE. ....	27
4.1 - Introdução .....	27
4.2 - Princípio teórico do COULWAVE.....	27
4.3 - Metodologia prática .....	28
5 - CARACTERIZAÇÃO DA ZONA EM ESTUDO .....	31
5.1 - Caracterização Geral do Local em Estudo.....	31

6 - CONDIÇÕES NUMÉRICAS .....	33
6.1 - Definição do domínio de cálculo .....	33
6.1.1 - Caracterização .....	33
6.1.2 - Batimetria.....	35
6.1.3 - Condições de agitação à entrada do domínio.....	36
6.2 - Características do recife .....	36
6.2.1 - Batimetrias respetivas a cada perfil .....	39
6.3 - Aplicação do modelo COULWAVE .....	41
6.3.1 - Plano de aplicação do modelo.....	41
6.3.2 - Parâmetros e condições fixas .....	41
6.3.3 - Parâmetros variáveis .....	42
6.3.4 - Resultados .....	44
7 - RESULTADOS.....	45
7.1 - Introdução .....	45
7.2 - Resultados para NM, $H_{si}=1$ m e $T_i=10$ s, $dir_i 0^\circ$ .....	46
7.2.1 - Altura de onda.....	46
7.2.2 - Velocidade máxima .....	49
7.2.3 - Linha de rebentação média .....	51
7.3 - Resultados para NM, $H_{si}=1$ m e $T_i=10$ s, $dir_i 5^\circ$ .....	53
7.3.1 - Altura de onda.....	53
7.3.2 - Velocidade máxima .....	56
7.3.3 - Linha de rebentação .....	58
7.4 - Resultados para NM, $T_i=10$ s, $dir_i 0^\circ$ ( $H_{si}=1$ m & 2 m) .....	60
7.4.1 - Altura de onda.....	60
7.4.2 - Velocidade máxima .....	61
7.4.3 - Linha de rebentação média .....	62
7.5 - Resultados para Nm, Bm e Pm, $T_i=10$ s, $dir_i 0^\circ$ .....	63

7.5.1 - Altura de onda.....	64
7.5.2 - Linha de rebentação média .....	65
8 - ANÁLISE DE RESULTADOS .....	67
8.1 - Introdução .....	67
8.2 - Comparação entre configurações de recifes .....	67
8.3 - Comparação das condições de incidência.....	68
9 - CONCLUSÕES .....	71
BIBLIOGRAFIA.....	77
ANEXO.....	85
Anexo A .....	87
Anexo B.....	93

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Recife de Boscombe, Inglaterra (Fonte: <i>bnps.co.uk</i> , 2016) .....	9
Figura 2.2 - Recife de Boscombe, Inglaterra (Fonte: <i>bnps.co.uk</i> , 2016); a) Localização; b) várias camadas .....	9
Figura 2.3 - Recife de Kovalam, o antes e depois (Fonte: <i>asrltd.com</i> , 2016).....	10
Figura 2.4 – a) Localização das ondas para o <i>surf</i> , as setas representam o percurso realizado nas manobras dos <i>surfistas</i> (Fonte: Mendes, et al.,2007); b) Praia de São Pedro do Estoril e zona do recife (Fonte: Mendes, et al.,2007) .....	11
Figura 2.5 – a) Solução 2 do recife artificial (perfis e vista 3D), (Fonte: Mendes, et al.,2007); b) Localização do recife artificial (Fonte: Mendes, et al.,2007) .....	12
Figura 2.6 – a) Solução 3 do recife artificial (perfis e vista 3D), (Fonte: Mendes, et al.,2007); b) Localização do recife artificial (Fonte: Mendes, et al.,2007) .....	12
Figura 2.7 – a) Diagramas de isolinhas dos valores de altura de onda e das direções das ondas na situação (Fonte: Mendes, et al.,2007): a) sem recife; b) com recife, Solução 2 e c) com recife, Solução 3 .....	13
Figura 2.8 – Áreas de rebentação (Fonte: Mendes, et al.,2007): a) Solução 2; b) Solução 3 ..	14
Figura 2.9 – Ao longo das linhas de rebentação direita para as duas soluções testadas; a)amplificação da altura de onda, $H_b/H_o$ (Fonte: Mendes, et al.,2007); b)ângulo de rebentação, $\alpha$ ; c)Número de <i>Iribarren</i> , $\xi_b$ .....	14
Figura 2.10 – a) Localização da Praia da Leirosa, assinalada a vermelho (Google maps, 2016); b) linha da costa na praia da Leirosa (Fonte: Serrão, 2012).....	15
Figura 2.11 – a) Geometria de base do recife artificial utilizada no estudo; b) Geometria de base usada nas simulações numéricas (Fonte: Mendonça <i>et al.</i> (2010b)).....	16
Figura 2.12 – Representação das alturas de onda e da linha de rebentação na zona do recife artificial. (Fonte: Mendonça <i>et al.</i> (2010b)); a) C1: sem recife, NM, T=8.0 s, H=2.0 m; b) C3: com recife, NM, T=8.0 s, H=2.0 m; c) C4: com recife, BM, T=8.0 s, H=2.0 m; d) C2: com recife, NM, T=8.0 s, H=1.0 m; e) C5: com recife, NM, T=6.0 s, H=2.0 m.....	17
Figura 2.13 – Representação do número de <i>Iribarren</i> ao longo da linha de rebentação (Fonte: Mendonça <i>et al.</i> (2010b));b) C3: com recife, NM, T=8.0 s, H=2.0 m c) C4: com recife, BM, T=8.0 s, H=2.0 m d) C2: com recife, NM, T=8.0 s, H=1.0 m e) C5: com recife, NM, T=6.0 s, H=2.0 m.....	18
Figura 2.14 – a) Planta com a geometria de base do recife artificial utilizada no estudo. b) Perfil do recife artificial. (Fonte: Serrão, 2012).....	19

Figura 3.1 – Ilustração da velocidade de propagação da onda, $c$ , ângulo de rebentação, $\alpha$ , velocidade do <i>surfista</i> , $V_S$ e a velocidade de rebentação, $V_p$ , (velocidade ao longo da crista da onda, com que se dá a rebentação). (Fonte: <i>surfermag.com,2012</i> ).....	22
Figura 3.2 – Exemplos de rebentação tubular (Fonte: <i>surfportugal.pt, 2016</i> ).....	24
Figura 4.1 – Esquema referente à metodologia prática adotada para fazer funcionar o modelo numérico.....	29
Figura 5.1 - Localização da Praia de Barranco das Belharucas .....	32
Figura 5.2 - Vista aérea da praia do Barranco das Belharucas.....	32
Figura 5.3 - Praia do Barranco das Belharucas, do ponto de vista da falésia (barranco) Fonte: <a href="http://www.facebook.com/Praia-do-Barranco-das-Belharucas-Albufeira">www.facebook.com/Praia-do-Barranco-das-Belharucas-Albufeira</a> .....	32
Figura 6.1 – a) Localização do domínio de cálculo com identificação dos vértices, Fonte: <i>googlemaps, 2016</i> ; b) fotografia da praia Barranco das Belharucas do ponto de vista da falésia com ilustração do sítio de implantação do domínio de cálculo.....	34
Figura 6.2 – Domínio de cálculo com identificação da orientação dos eixos, vértices, pontos pertencentes à malha de cálculo e linhas de batimetria.....	34
Figura 6.3 – a) Carta batimétrica nº8 da costa oceânica Portuguesa, com identificação da zona de estudo; b) Detalhe da zona de estudo. ....	35
Figura 6.4 – a) Detalhe da zona de estudo com implantação do domínio de cálculo; b) domínio de cálculo com rotação dos eixos e novo ponto de origem, coincidente com o vértice 1.....	35
Figura 6.5 – Direção das ondas à entrada do domínio para o caso de a) $Dir=0^\circ$ ; b) $Dir=5^\circ$ ....	36
Figura 6.6 – Perfil transversal que irá ser representado no modelo numérico a) perfil 1; b) perfil 2.....	37
Figura 6.7 – Ilustração da disposição dos sacos de geotêxtil a)perfil 1; b) perfil 2. ....	37
Figura 6.8 – Profundidade do recife com nível médio de maré para a) perfil 1; b) perfil 2. ...	38
Figura 6.9 – Profundidade do recife em Baixa-mar para a) perfil 1; b) perfil 2. ....	38
Figura 6.10 – Profundidade do recife em Preia-mar para a) perfil 1; b) perfil 2. ....	38
Figura 6.11 – Rotação do recife para a) $0^\circ$ ; b) $5^\circ$ .....	39
Figura 6.12 – Batimetria do domínio de cálculo em Nm na situação sem recife.....	39
Figura 6.13 – Batimetria do domínio de cálculo em Nm na situação a) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; b) P1, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ ; d) P1, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; f) P2, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; g) P1, $c=70$ m, $rot=5^\circ$ ; h) P2, $c=70$ m, $rot=5^\circ$ . ....	40
Figura 6.14 – Esquema referente às combinações a calcular pelo modelo numérico.....	41
Figura 7.1 – $H_s$ para Nm, $H_{si}=1$ m, $T_i=10$ s, $Dir_i=0^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) 2D em $y=518$ m d)P1, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; e) 2D em $y=518$ m.....	47

Figura 7.2 – $H_s$ para Nm, $H_{si}=1$ m, $T_i=10$ s, $Dir_i=0^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) 2D em $y=518$ m; e) P1, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ ; f) 2D em $y=518$ m .....	48
Figura 7.3 – $H_s$ para Nm, $H_{si}=1$ m, $T_i=10$ s, $Dir_i=0^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) 2D em $y=518$ m; d) P2, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; e) 2D em $y=518$ m .....	49
Figura 7.4 – $U_{max}$ para Nm, $H_{si}=1$ m, $T_i=10$ s, $Dir_i=0^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P1, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; .....	50
Figura 7.5 – $U_{max}$ para Nm, $H_{si}=1$ m, $T_i=10$ s, $Dir_i=0^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P1, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ .....	50
Figura 7.6 – $U_{max}$ para Nm, $H_{si}=1$ m, $T_i=10$ s, $Dir_i=0^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ .....	51
Figura 7.7 – LR para Nm, $H_{si}=1$ m, $T_i=10$ s, $Dir_i=0^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P1, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; .....	52
Figura 7.8 - LR para Nm, $H_{si}=1$ m, $T_i=10$ s, $Dir_i=0^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P1, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ .....	52
Figura 7.9 – LR para Nm, $H_{si}=1$ m, $T_i=10$ s, $Dir_i=0^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ .....	53
Figura 7.10 – $H_s$ para Nm, $H_{si}=1$ m, $T_i=10$ s, $Dir_i=5^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P1, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; .....	54
Figura 7.11 – $H_s$ para Nm, $H_{si}=1$ m, $T_i=10$ s, $Dir_i=5^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P1, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ .....	55
Figura 7.12 – $H_s$ para Nm, $H_{si}=1$ m, $T_i=10$ s, $Dir_i=5^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ .....	56
Figura 7.13 – $U_{max}$ para Nm, $H_{si}=1$ m, $T_i=10$ s, $Dir_i=5^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P1, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; .....	57
Figura 7.14 – $U_{max}$ para Nm, $H_{si}=1$ m, $T_i=10$ s, $Dir_i=5^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P1, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ .....	57
Figura 7.15 – $U_{max}$ para Nm, $H_{si}=1$ m, $T_i=10$ s, $Dir_i=5^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ .....	58
Figura 7.16 – LR para Nm, $H_{si}=1$ m, $T_i=10$ s, $Dir_i=5^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P1, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; .....	59
Figura 7.17 - LR para Nm, $H_{si}=1$ m, $T_i=10$ s, $Dir_i=5^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P1, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ .....	59
Figura 7.18 – LR para Nm, $H_{si}=1$ m, $T_i=10$ s, $Dir_i=5^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ .....	60

Figura 7.19 – $H_s$ para Nm, $Dir_i=0^\circ$ a) $H_{si}= 1$ m, sem recife; b) $H_{si}= 2$ m, sem recife; c) $H_{si}= 1$ m,P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ d) $H_{si}= 2$ m, P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ e) em $y=517$ para $H_{si}= 1$ m,P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ f) em $y=517$ para $H_{si}= 2$ m, P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ .....	61
Figura 7.20 – $U_{max}$ para Nm, $Dir_i=0^\circ$ a) $H_{si}= 1$ m, sem recife; b) $H_{si}= 2$ m, sem recife; c) $H_{si}= 1$ m,P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ d) $H_{si}= 2$ m, P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ .....	62
Figura 7.21 – LR para Nm, $Dir_i=0^\circ$ a) $H_{si}= 1$ m, sem recife; b) $H_{si}= 2$ m, sem recife; c) $H_{si}= 1$ m,P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ d) $H_{si}= 2$ m, P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ .....	63
Figura 7.22 – $H_s$ para $H_{si}=1$ m, $T_i=10$ s, $Dir_i=0^\circ$ a) Nm, sem recife; b) Nm, P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) Bm, sem recife; d) Bm, P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; e) Pm, sem recife; f) Pm, P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$	64
Figura 7.23 – Linha de rebentação para $H_{si}=1$ m, $T_i=10$ s, $Dir_i=0^\circ$ a) Nm, sem recife; b) Nm, P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) Bm, sem recife; d) Bm, P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; e) Pm, sem recife; f) Pm, P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ .....	65
Figura 9.1 – Componente v da velocidade para Nm $H_{si}=2$ m, $Dir_i=0^\circ$ a) $V_{min}$ , sem recife; b) $V_{max}$ sem recife; c) $V_{min}$ P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; e); f) $V_{max}$ P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ .....	74
Figura A.1- Ilustração do ambiente gráfico do modelo numérico COULWAVE referente ao menu: a) 1; b) 2; c) 3; d) 4; e) 5; f) 6; g)7 .....	92
Figura B.1 – Ilustração do modo em que os resultados irão ser apresentados para NM, tendo a situação, a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; d) P1, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ ; e) P2, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ ; f) P1, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; g) P2, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; h) P1, $c=70$ m, $rot=5^\circ$ ; i) P2, $c=70$ m, $rot=5^\circ$ .....	94
Figura B.2 – Ilustração do modo em que os resultados para BM e PM serão apresentados para a situação de a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ .....	95
Figura B.3 – Altura de onda para NM, $H_{si}=1$ m e $T_i=10$ s, $Dir_i=0^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; d) P1, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ ; e) P2, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ ; f) P1, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; g) P2, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; h) P1, $c=70$ m, $rot=5^\circ$ ; i) P2, $c=70$ m, $rot=5^\circ$ .....	96
Figura B.4 – Altura de onda para NM, $H_{si}=1$ m e $T_i=10$ s, $Dir_i=5^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; d) P1, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ ; e) P2, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ ; f) P1, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; g) P2, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; h) P1, $c=70$ m, $rot=5^\circ$ ; i) P2, $c=70$ m, $rot=5^\circ$ .....	97
Figura B.5 – Altura de onda para NM, $H_{si}=2$ m e $T_i=10$ s, $Dir_i=0^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; d) P1, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ ; e) P2, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ ; f) P1, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; g) P2, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; h) P1, $c=70$ m, $rot=5^\circ$ ; i) P2, $c=70$ m, $rot=5^\circ$ .....	98

Figura B.6 – Altura de onda para NM, $H_{si}=2$ m e $T_i=10$ s, $Dir_i=5^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; d) P1, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ ; e) P2, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ ; f) P1, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; g) P2, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; h) P1, $c=70$ m, $rot=5^\circ$ ; i) P2, $c=70$ m, $rot=5^\circ$ .....	99
Figura B.7 – Altura de onda para BM, $H_{si}=1$ m e $T_i=10$ s, $Dir_i=0^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ .....	100
Figura B.8 – Altura de onda para BM, $H_{si}=2$ m e $T_i=10$ s, $Dir_i=0^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0$ .....	100
Figura B.9 – Altura de onda para PM, $H_{si}=1$ m e $T_i=10$ s, $Dir_i=0^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ .....	101
Figura B.10 – Altura de onda para PM, $H_{si}=2$ m e $T_i=10$ s, $Dir_i=0^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0$ .....	101
Figura B.11 – Linha de Rebentação para NM, $H_{si}=1$ m e $T_i=10$ s, $Dir_i=0^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; d) P1, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ ; e) P2, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ ; f) P1, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; g) P2, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; h) P1, $c=70$ m, $rot=5^\circ$ ; i) P2, $c=70$ m, $rot=5^\circ$ .....	102
Figura B.12 – Linha de Rebentação para NM, $H_{si}=1$ m e $T_i=10$ s, $Dir_i=5^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; d) P1, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ ; e) P2, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ ; f) P1, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; g) P2, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; h) P1, $c=70$ m, $rot=5^\circ$ ; i) P2, $c=70$ m, $rot=5^\circ$ .....	103
Figura B.13 – Linha de Rebentação para NM, $H_{si}=2$ m e $T_i=10$ s, $Dir_i=0^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; d) P1, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ ; e) P2, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ ; f) P1, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; g) P2, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; h) P1, $c=70$ m, $rot=5^\circ$ ; i) P2, $c=70$ m, $rot=5^\circ$ .....	104
Figura B.14 – Linha de Rebentação para NM, $H_{si}=2$ m e $T_i=10$ s, $Dir_i=5^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; d) P1, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ ; e) P2, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ ; f) P1, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; g) P2, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; h) P1, $c=70$ m, $rot=5^\circ$ ; i) P2, $c=70$ m, $rot=5^\circ$ .....	105
Figura B.15 – Linha de Rebentação para BM, $H_{si}=1$ m e $T_i=10$ s, $Dir_i=0^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ .....	106
Figura B.16 – Linha de Rebentação para BM, $H_{si}=2$ m e $T_i=10$ s, $Dir_i=0^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0$ .....	106
Figura B.17 – Linha de Rebentação para PM, $H_{si}=1$ m e $T_i=10$ s, $Dir_i=0^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ .....	107
Figura B.18 – Linha de Rebentação para PM, $H_{si}=2$ m e $T_i=10$ s, $Dir_i=0^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0$ .....	107
Figura B.19 – $V_{max}$ para NM, $H_{si}=1$ m e $T_i=10$ s, $Dir_i=0^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; d) P1, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ ; e) P2, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ ; f) P1, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; g) P2, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; h) P1, $c=70$ m, $rot=5^\circ$ ; i) P2, $c=70$ m, $rot=5^\circ$ .....	108

Figura B.20 – Vmax para NM, H <sub>si</sub> =1 m e T <sub>i</sub> =10 s, Dir <sub>i</sub> =5° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°; d) P1, c=30 m, rot=5°; e) P2, c=30 m, rot=5°; f) P1, c=70 m, rot=0°; g) P2, c=70 m, rot=0°; h) P1, c=70 m, rot=5°; i) P2, c=70 m, rot=5° .....	109
Figura B.21 – Vmax para NM, H <sub>si</sub> =2 m e T <sub>i</sub> =10 s, Dir <sub>i</sub> =0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°; d) P1, c=30 m, rot=5°; e) P2, c=30 m, rot=5°; f) P1, c=70 m, rot=0°; g) P2, c=70 m, rot=0°; h) P1, c=70 m, rot=5°; i) P2, c=70 m, rot=5° .....	110
Figura B.22 – Vmax para NM, H <sub>si</sub> =2 m e T <sub>i</sub> =10 s, Dir <sub>i</sub> =5° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°; d) P1, c=30 m, rot=5°; e) P2, c=30 m, rot=5°; f) P1, c=70 m, rot=0°; g) P2, c=70 m, rot=0°; h) P1, c=70 m, rot=5°; i) P2, c=70 m, rot=5°.....	111
Figura B.23 – Vmax para BM, H <sub>si</sub> =1 m e T <sub>i</sub> =10 s, Dir <sub>i</sub> = 0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0° .....	112
Figura B.24 – Vmax para BM, H <sub>si</sub> =2 m e T <sub>i</sub> =10 s, Dir <sub>i</sub> = 0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°.....	112
Figura B.25 – Vmax para PM, H <sub>si</sub> =1 m e T <sub>i</sub> =10 s, Dir <sub>i</sub> = 0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0° .....	113
Figura B.26 – Vmax para PM, H <sub>si</sub> =2 m e T <sub>i</sub> =10 s, Dir <sub>i</sub> = 0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°.....	113
Figura B.27 – Umax para NM, H <sub>s</sub> =1 m e T=10 s, Dir=0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°; d) P1, c=30 m, rot=5°; e) P2, c=30 m, rot=5°; f) P1, c=70 m, rot=0°; g) P2, c=70 m, rot=0°; h) P1, c=70 m, rot=5°; i) P2, c=70 m, rot=5°.....	114
Figura B.28 – Umax para NM, H <sub>si</sub> =1 m e T <sub>i</sub> =10 s, Dir <sub>i</sub> =5° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°; d) P1, c=30 m, rot=5°; e) P2, c=30 m, rot=5°; f) P1, c=70 m, rot=0°; g) P2, c=70 m, rot=0°; h) P1, c=70 m, rot=5°; i) P2, c=70 m, rot=5° .....	115
Figura B.29 – Umax para NM, H <sub>si</sub> =2 m e T <sub>i</sub> =10 s, Dir <sub>i</sub> =0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°; d) P1, c=30 m, rot=5°; e) P2, c=30 m, rot=5°; f) P1, c=70 m, rot=0°; g) P2, c=70 m, rot=0°; h) P1, c=70 m, rot=5°; i) P2, c=70 m, rot=5°.....	116
Figura B.30 – Umax para NM, H <sub>si</sub> =2 m e T <sub>i</sub> =10 s, Dir <sub>i</sub> =5° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°; d) P1, c=30 m, rot=5°; e) P2, c=30 m, rot=5°; f) P1, c=70 m, rot=0°; g) P2, c=70 m, rot=0°; h) P1, c=70 m, rot=5°; i) P2, c=70 m, rot=5°.....	117
Figura B.31 – Umax para BM, H <sub>si</sub> =1 m e T <sub>i</sub> =10 s, Dir <sub>i</sub> = 0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0° .....	118
Figura B.32 – Umax para BM, H <sub>si</sub> =2 m e T <sub>i</sub> =10 s, Dir <sub>i</sub> = 0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°.....	118

Figura B.33 – Umax para PM, Hsi=1 m e Ti=10 s, Dir= 0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0° .....	119
Figura B.34 – Umax para PM, Hsi=2 m e Ti=10 s, Dir= 0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°.....	119
Figura B.35 – Vmin para NM, Hsi=1 m e Ti=10 s, Dir=0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°; d) P1, c=30 m, rot=5°; e) P2, c=30 m, rot=5°; f) P1, c=70 m, rot=0°; g) P2, c=70 m, rot=0°; h) P1, c=70 m, rot=5°; i) P2, c=70 m, rot=5° .....	120
Figura B.36 – Vmin para NM, Hsi=1 m e T=10 s, Dir=5° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°; d) P1, c=30 m, rot=5°; e) P2, c=30 m, rot=5°; f) P1, c=70 m, rot=0°; g) P2, c=70 m, rot=0°; h) P1, c=70 m, rot=5°; i) P2, c=70 m, rot=5° .....	121
Figura B.37 – Vmin para NM, Hsi=2 m e Ti=10 s, Dir=0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°; d) P1, c=30 m, rot=5°; e) P2, c=30 m, rot=5°; f) P1, c=70 m, rot=0°; g) P2, c=70 m, rot=0°; h) P1, c=70 m, rot=5°; i) P2, c=70 m, rot=5° .....	122
Figura B.38 – Vmin para NM, Hsi=2 m e Ti=10 s, Dir=5° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°; d) P1, c=30 m, rot=5°; e) P2, c=30 m, rot=5°; f) P1, c=70 m, rot=0°; g) P2, c=70 m, rot=0°; h) P1, c=70 m, rot=5°; i) P2, c=70 m, rot=5° .....	123
Figura B.39 – Vmin para BM, Hsi=1 m e Ti=10 s, Dir= 0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0° .....	124
Figura B.40 – Vmin para BM, Hsi=2 m e Ti=10 s, Dir= 0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°.....	124
Figura B.41 – Vmin para PM, Hsi=1 m e Ti=10 s, Dir= 0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0° .....	125
Figura B.42 – Vmin para PM, Hsi=2 m e Ti=10 s, Dir= 0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0° .....	125
Figura B.43 – Umin para NM, Hsi=1 m e Ti=10 s, Dir=0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°; d) P1, c=30 m, rot=5°; e) P2, c=30 m, rot=5°; f) P1, c=70 m, rot=0°; g) P2, c=70 m, rot=0°; h) P1, c=70 m, rot=5°; i) P2, c=70 m, rot=5° .....	126
Figura B.44 – Umin para NM, Hsi=1 m e Ti=10 s, Dir=5° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°; d) P1, c=30 m, rot=5°; e) P2, c=30 m, rot=5°; f) P1, c=70 m, rot=0°; g) P2, c=70 m, rot=0°; h) P1, c=70 m, rot=5°; i) P2, c=70 m, rot=5° .....	127
Figura B.45 – Umin para NM, Hsi=2 m e Ti=10 s, Dir=0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°; d) P1, c=30 m, rot=5°; e) P2, c=30 m, rot=5°; f) P1, c=70 m, rot=0°; g) P2, c=70 m, rot=0°; h) P1, c=70 m, rot=5°; i) P2, c=70 m, rot=5° .....	128

Figura B.46 – Umin para NM, Hsi=2 m e Ti=10 s, Diri=5° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°; d) P1, c=30 m, rot=5°; e) P2, c=30 m, rot=5°; f) P1, c=70 m, rot=0°; g) P2, c=70 m, rot=0°; h) P1, c=70 m, rot=5°; i) P2, c=70 m, rot=5° .....	129
Figura B.47 – Umin para BM, Hsi=1 m e Ti=10 s, Diri= 0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0° .....	130
Figura B.48 – Umin para BM, Hsi=2 m e Ti=10 s, Diri= 0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0° .....	130
Figura B.49 – Umin para PM, Hsi=1 m e Ti=10 s, Diri= 0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0° .....	131
Figura B.50 – Umin para PM, Hsi=2 m e Ti=10 s, Diri= 0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0° .....	131
Figura B.51 – Vm para NM, Hs=1 m e T=10 s, Dir=0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°; d) P1, c=30 m, rot=5°; e) P2, c=30 m, rot=5°; f) P1, c=70 m, rot=0°; g) P2, c=70 m, rot=0°; h) P1, c=70 m, rot=5°; i) P2, c=70 m, rot=5° .....	132
Figura B.52 – Vm para NM, Hs=1 m e T=10 s, Dir=5° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°; d) P1, c=30 m, rot=5°; e) P2, c=30 m, rot=5°; f) P1, c=70 m, rot=0°; g) P2, c=70 m, rot=0°; h) P1, c=70 m, rot=5°; i) P2, c=70 m, rot=5° .....	133
Figura B.53 – Vm para NM, Hsi=2 m e Ti=10 s, Diri=0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°; d) P1, c=30 m, rot=5°; e) P2, c=30 m, rot=5°; f) P1, c=70 m, rot=0°; g) P2, c=70 m, rot=0°; h) P1, c=70 m, rot=5°; i) P2, c=70 m, rot=5° .....	134
Figura B.54 – Vm para NM, Hsi=2 m e Ti=10 s, Diri=5° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°; d) P1, c=30 m, rot=5°; e) P2, c=30 m, rot=5°; f) P1, c=70 m, rot=0°; g) P2, c=70 m, rot=0°; h) P1, c=70 m, rot=5°; i) P2, c=70 m, rot=5° .....	135
Figura B.55 – Vm para BM, Hsi=1 m e Ti=10 s, Diri= 0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0° .....	136
Figura B.56 – Vm para BM, Hs=2 m e T=10 s, Dir= 0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0° .....	136
Figura B.57 – Vm para PM, Hsi=1 m e Ti=10 s, Diri= 0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0° .....	137
Figura B.58 – Vm para PM, Hsi=2 m e Ti=10 s, Diri= 0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0° .....	137
Figura B.59 – Um para NM, Hsi=1 m e Ti=10 s, Diri=5° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°; d) P1, c=30 m, rot=5°; e) P2, c=30 m, rot=5°; f) P1, c=70 m, rot=0°; g) P2, c=70 m, rot=0°; h) P1, c=70 m, rot=5°; i) P2, c=70 m, rot=5° .....	138

Figura B.60 – Um para NM, $H_{si}=2$ m e $T_i=10$ s, $Dir_i=0^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; d) P1, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ ; e) P2, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ ; f) P1, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; g) P2, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; h) P1, $c=70$ m, $rot=5^\circ$ ; i) P2, $c=70$ m, $rot=5^\circ$ .....	139
Figura B.61 – Um para NM, $H_{si}=2$ m e $T_i=10$ s, $Dir_i=5^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; d) P1, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ ; e) P2, $c=30$ m, $rot=5^\circ$ ; f) P1, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; g) P2, $c=70$ m, $rot=0^\circ$ ; h) P1, $c=70$ m, $rot=5^\circ$ ; i) P2, $c=70$ m, $rot=5^\circ$ .....	140
Figura B.62 – Um para BM, $H_{si}=1$ m e $T_i=10$ s, $Dir_i=0^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ .....	141
Figura B.63 – Um para BM, $H_{si}=2$ m e $T_i=10$ s, $Dir_i=0^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ .....	141
Figura B.64 – Um para PM, $H_{si}=1$ m e $T_i=10$ s, $Dir_i=0^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ .....	142
Figura B.65 – Um para PM, $H_{si}=2$ m e $T_i=10$ s, $Dir_i=0^\circ$ a) sem recife; b) P1, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ ; c) P2, $c=30$ m, $rot=0^\circ$ .....	142

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Condições de agitação marítima estudadas. (Fonte: Serrão, 2012).....	19
Tabela 3.1 – Ângulo de rebentação em função do nível de dificuldade da manobra.....	23
Tabela 3.2 – Tipo de rebentação em função do número de <i>Iribarren</i> .....	24
Tabela 9.1 – Quadro de conclusões referente às diferentes configurações de recife .....	71
Tabela 9.2 – Quadro de conclusões referente às comparações das condições de incidência...	72
Tabela 9.3 – Quadro de conclusões referente à comparação da situação com recife e sem recife .....	73
Tabela A.1 – Ficheiros de <i>input</i> do Coulwave .....	87

## **SIMBOLOGIA**

**Bm** – Baixa-Mar

**c** – comprimento do recife

**CMC** – Câmara Municipal de Cascais

**C30**- recife de comprimento igual a 30 metros

**C70**- recife de comprimento igual a 70 metros

**d** – Profundidade

**Dir<sub>i</sub>** – Direção de onda incidente

**dx** – Espaçamento de cada elemento da malha no eixo das abcissas

**dy** – Espaçamento de cada elemento da malha no eixo das ordenadas

**H<sub>b</sub>** – Altura de rebentação da onda

**H<sub>o</sub>** - Altura de onda à entrada do domínio de cálculo

**H<sub>s</sub>** – Altura de Onda significativa

**H<sub>si</sub>** – Altura de Onda significativa incidente

**IH** – Instituto Hidrográfico

**IPL** – Instituto Politécnico de Lisboa

**ISEL** – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

**IST** – Instituto Superior Técnico

**L** – Comprimento de onda

**L<sub>0</sub>** . comprimento da onda ao largo

**LNEC** – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

**Lr<sub>m</sub>** – Linha de Rebentação média

**m'** - declive médio do fundo em relação à direção da onda

**Nm** – Nível médio de Maré

**Pm** – Preia-Mar

**Rot**- rotação do recife

**Rot0**- rotação do recife a 0°

**Rot5**- rotação do recife a 5°

**T<sub>i</sub>** – Período médio de onda incidente

**Vs** – Velocidade do surfista

**Xinicial** – Coordenada inicial da malha do eixo das abcissas

**Yinicial** – Coordenada inicial da malha do eixo das ordenadas

**ξb** – Número de Iribarren

**α** – Ângulo de rebentação.



# 1 - INTRODUÇÃO

## 1.1 - Enquadramento geral

O *surf* é uma modalidade que desde a década de 80 tem vindo a ganhar mais seguidores, sendo hoje em dia, em Portugal, um dos desportos mais praticados. Com efeito, Portugal possui atributos para a prática desta modalidade, nomeadamente boas ondas para o *surf* e bom clima, fazendo com que seja um sítio atrativo do ponto de vista turístico. A nível competitivo internacional existe uma liga profissional de *surf* (*World Surf League*, WSL) que promove a realização de um circuito composto por etapas em todo o mundo, denominado por *World Circuit Tour* (WCT). Em Portugal, desde 2010 que é realizado uma etapa masculina do WCT em Peniche e relativamente ao equivalente à mesma competição feminina que se realiza desde 2014 uma etapa em Cascais. O evento da etapa masculina é denominado por “Meo Rip Curl Pro Portugal” e o da feminina “Cascais Womens’s Pro”. Em 2016 estas duas etapas foram realizadas a 18 de outubro e 24 de setembro, respetivamente. Portugal é também palco da maior onda *surfada* vista até então, recorde que entrou para o livro “*Guinness Records*” e que teve lugar na praia Norte da Nazaré em 2012.

Além disso, do ponto de vista económico, sendo um desporto com muitos praticantes e admiradores, o *surf*, começa a ter impacto na economia mundial e nacional. No debate promovido pela *Lisbon School of Business & Economics* da Universidade Católica sobre o tema “A onda do *Surf* em Portugal terá impacto na Economia?”, realizado em 2014, constatou-se que a nível nacional a indústria do surf rende até 400 milhões de euros anuais a Portugal, repartidos entre hotelaria, escolas de *surf*, restauração e lojas de equipamento.

No entanto, com o crescente número de praticantes, os locais propícios para o *surf* tornam-se muito concorridos e a procura de outros locais para a sua prática torna-se uma necessidade. Esta necessidade é ainda mais evidente quando os *surfistas*, nomeadamente os que residem nas grandes cidades, tendem a procurar uma praia cada vez mais distante do local de residência, precisamente porque existe uma sobrelocação de *surfistas* nas praias mais próximas.

É, neste âmbito, que se justifica a construção de recifes artificiais para o *surf* para potenciar as condições de *surf* de uma dada zona.

Entende-se por recife artificial para o *surf* uma estrutura submersa realizada pelo Homem que tem como objetivo a alteração das condições da agitação marítima na zona onde o recife é implementado, de modo a potenciar as condições de rebentação favoráveis à prática do *surf*.

Note-se que o recife artificial pode também ter outras funções complementares tais como de proteção costeira, uma vez que induz a dissipação da energia da onda funcionando como um quebra-mar submerso (retenção e/ou deposição de sedimentos), ou catalisador da fauna existente através da promoção do crescimento e fixação de fauna marítima nos recifes.

Dos recifes existentes, em 1999 foi construído o primeiro recife multifuncional com o principal objetivo de melhorar as condições da prática deste desporto, localizado em Perth, Austrália. A nível europeu, o primeiro recife foi construído em 2009 e localiza-se em Boscombe, Bournemouth, no Reino Unido. Em todo o mundo existem sete recifes artificiais construídos com diferentes geometrias e materiais e com o objetivo de melhorar as condições para o *surf*: “Cables” (Perth, Austrália 1999), “Narrowneck” (Queensland, Austrália 2002), “Pratte” (El Segundo, Califórnia, Estados Unidos da América 2000), “Bargara” (Queensland, Austrália 1997), “Mount Maunganui” (Nova Zelândia), “Boscombe” (Bournemouth, Inglaterra, 2009) e “Kovalam” (Kerala, Índia, 2010). Em Portugal não existe nenhuma estrutura deste tipo, porém foram estudadas e analisadas soluções, nomeadamente para a praia de S. Pedro do Estoril e para a praia da Leirosa, dois estudos realizados com a colaboração do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). Há, no entanto, outras zonas ao longo da costa Portuguesa com potencialidades para a construção de um recife artificial para o *surf*.

O presente trabalho centra-se no estudo de um recife artificial utilizado para melhorar as condições da prática do *surf* na zona do Algarve.

## **1.2 - Objetivos**

O objetivo desta investigação é estudar as condições hidrodinâmicas na praia do Barranco das Belharucas em Olhos de Água, Albufeira, para as situações com e sem a presença de um recife artificial para a prática do *surf*, de modo a avaliar vantagens e desvantagens na sua construção. É definida a melhor localização para o recife e são testadas duas geometrias para o mesmo.

Para as várias situações (sem e com recife - 2 geometrias e 2 rotações), é utilizado o modelo numérico de tipo Boussinesq COULWAVE (Lynett e Liu 2002) que simula a propagação de ondas não lineares em fundos de profundidade variável, como os que acontecem na zona do recife. Obtêm-se, deste modo os resultados necessários à determinação dos parâmetros de *surfabilidade* que correspondem a:

- A altura da onda ao longo da linha de rebentação;
- O ângulo de rebentação ao longo da linha de rebentação;
- O comprimento da linha de rebentação;
- O tipo de rebentação, determinado através do número de *Iribarren* ao longo da linha de rebentação;
- As características da parede da onda;
- A amplificação da altura da onda em relação à altura de onda incidente.

A análise desses parâmetros para cada geometria de recife face à situação sem recife permite avaliar a adequabilidade do recife para a prática de *surf*. A comparação dos resultados obtidos para as duas geometrias selecionadas permite inferir a melhor forma para o recife.

### 1.3 - Metodologia

A metodologia aplicada seguiu as 6 fases abaixo indicadas:

Fase 1: Revisão de toda a bibliografia sobre recifes artificiais, incluindo os projetos e estudos existentes até 2016, de recifes em fase de estudo, projeto ou já construídos.

Fase 2: Definição do regime de agitação na zona do recife, com base nos registos observados pela boia ondógrafo mais perto da zona de estudo fazendo uma transposição para a zona do local de estudo. Essa transposição efetua-se de forma empírica e recorrendo a *wannasurf.com* que descreve algumas condições observadas de agitação do local de estudo, sem recorrer a algum modelo de propagação de ondas. São então definidos: altura de onda significativa incidente,  $H_{si}$ , o período médio incidente,  $T$  e da direção média incidente,  $Dir_i$ .

Fase 3: Definição da solução (geometria e perfil) do recife artificial e da sua localização.

Fase 4: Para o regime de agitação e para a situação de teste com e sem recife, efetuam-se simulações numéricas com o modelo não linear de tipo Boussinesq COULWAVE (Lynett e Liu 2002), obtendo-se, assim, na zona em estudo, entre outros, os valores da altura de onda significativa, direção e período bem como a posição da linha de rebentação.

Fase 5: Cálculo dos parâmetros de *surfabilidade* com base nos resultados obtidos através do modelo numérico.

Fase 6: Análise comparativa dos vários cenários de agitação marítima, localização e geometria do recife em estudo.

#### **1.4 - Estrutura da dissertação**

Esta dissertação é dividida em nove capítulos nos quais os primeiros quatro são de carácter mais teórico e preparativo para a abordagem prática ao caso de estudo. Nos capítulos seguintes, nomeadamente cinco a oito, apresentam-se os diversos procedimentos práticos e analisados os vários resultados e retiradas as respetivas conclusões. Segue-se um breve resumo do conteúdo dos diversos capítulos.

No primeiro capítulo, onde se insere esta secção, é referida a motivação e um breve enquadramento sobre o tema da dissertação. Também são descritos quais os objetivos e metodologia seguidos neste trabalho.

No segundo capítulo, referente à revisão bibliográfica, são descritos os recifes artificiais construídos no mundo até à presente data, assim como dois estudos de recifes artificiais para a praia da Leirosa e para a praia de S. Pedro do Estoril em Portugal.

No terceiro capítulo são referidos quais os parâmetros de *surfabilidade* a analisar e definidos quais os melhores valores para se praticar *surf*. Estes parâmetros irão servir para uma posterior análise de funcionamento do recife referente ao caso de estudo. Ainda é feita uma listagem de quais os passos que a metodologia de análise do funcionamento de um recife artificial irá conter.

No quarto capítulo é feita uma abordagem teórica sobre o modelo numérico COULWAVE e uma breve explicação de como é apresentado graficamente o programa e de quais as constantes e variáveis que é necessário introduzir para o arranque do modelo numérico. Ainda é referido de que modo são apresentados e o que representam os resultados obtidos pelo modelo.

No quinto capítulo é apresentada a caracterização da zona de estudo que contempla o enquadramento geográfico, socioeconómico e turístico da região.

O sexto capítulo, condições base para a aplicação do modelo COULWAVE, é dividido em três secções. A primeira é referente ao domínio de estudo contendo a dimensão e a sua localização, assim como a batimetria desse domínio e as respetivas condições de agitação marítima à entrada do domínio, ao largo, nomeadamente altura de onda significativa, período médio e direção média. A segunda secção contém uma descrição dos dois perfis e define-se a sua geometria,

planta e perfil, assim como a localização destes e de que modo estes perfis irão influenciar a batimetria de onde estão implementados. A terceira secção é referente à utilização do modelo numérico COULWAVE onde são expostas todas as condições de aplicação e explicados todos os dados de entrada fixos e variáveis.

No sétimo capítulo são apresentados os resultados de altura de onda significativa, linha de rebentação e velocidade máxima após serem obtidos com o auxílio da ferramenta de cálculo e programação *Matlab*.

No oitavo capítulo faz-se uma análise comparativa de resultados do capítulo anterior entre os diferentes perfis e condições marítimas incidentes.

No nono e último capítulo apresentam-se as conclusões, com base na análise do capítulo anterior, de qual o perfil com resultados mais notáveis no que se refere à melhoria das condições da prática de *surf*.



## **2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 - Introdução**

Neste capítulo apresenta-se uma revisão sobre os diferentes recifes artificiais para o *surf* construídos no mundo, bem como os já estudados em Portugal. Esta revisão baseou-se no trabalho de revisão bibliográfica de Fortes et al. (2007) sobre recifes artificiais para o *surf* já construídos e em fase de estudo até 2007. Foi feita também uma investigação sobre os trabalhos mais recentes realizados e publicados desde 2007 até 2015 sobre este tema.

É de salientar estudos de cariz mais académico, tais como, West (2002), Henriquez (2004), Muilwijk (2005), van Ettinger (2005), Over (2006), Trung (2006) e Aguiar, L. G. M. (2006).

De seguida apresenta-se apenas uma descrição breve dos recifes artificiais já construídos e dos casos estudados em Portugal.

### **2.2 - Recifes Artificiais já construídos**

De entre os recifes já construídos até 2015, com objetivo de melhorar as condições de *surf* da zona em foram implementados, referem-se de seguida algumas das suas principais características

-Recife Bargara (Queensland, Austrália 1997);

O recife de Bargara foi construído em Fevereiro de 1997 por um grupo de *surfistas* que durante a maré baixa depositaram material, durante várias semanas, com o auxílio de uma retroescavadora. Aproveitando as rochas existentes na zona, procedeu-se ao desmantelamento e posteriormente à colocação do enrocamento obtido sob a forma de recife. Segundo Robinson (1998), o recife conseguiu atingir o objetivo melhorando significativamente as condições para o *surf*.

-Recife “Cables” (Perth, Austrália 1999);

O recife Cables foi construído em Dezembro de 1999 com o único objetivo de melhorar as condições de *surf* da zona. Para o seu dimensionamento foram usados modelos numéricos e modelos físicos em tanque e canal. Trata-se de um recife em forma de boomerang constituído por dois braços e coroamento 1.2 metros abaixo do nível médio da água. Foi construído em rocha calcária tendo custado 1.51 milhões de dólares Australianos.

-Recife Pratte (El Segundo, Califórnia, Estados Unidos da América 2000);

O recife de Pratte foi construído em Janeiro de 2000 com o único objetivo de melhorar as condições de *surf*, visto que com a construção de um esporão na zona, as áreas para fazer *surf* foram muito reduzidas. Trata-se de uma obra de 300,000 dólares US com um recife em forma de “v” composto por 200 sacos de geotêxtil com 14 toneladas cada um. Dos 200 sacos, primeiro foram postos 110 no ano 2000 e 90 no ano 2001 após o Inverno que se fez sentir que erodiu o coroamento do recife. Neste momento acredita-se que o recife já não tenha influência alguma sobre a rebentação.

-Recife Mount Maunganui (Nova Zelândia, 2000);

O recife de Mount Maunganui fica localizado da costa este da ilha Norte da Nova Zelândia. É um recife construído com o objetivo de melhorar as condições para o *surf* e para proteção costeira. É um recife em forma de A composto por 3 troços. Dois deles, os principais, com 24 sacos de geotêxtil preenchidos com areia com dimensões que variam entre 30 metros de comprimento e 1 m de diâmetro e 50 metros de comprimento e 3.5 metros de diâmetro. O terceiro troço, denominado *scour tube* e situado a montante do recife, serve para prevenir a erosão dos outros dois. Com 6000 m<sup>3</sup> no total, o recife de Mount Maunganui custou no total 1,55 milhões de dólares neozelandeses

-Recife Narrowneck (Queensland, Austrália 2002);

O recife de Narrowneck foi construído em dezembro de 2001 com o objetivo de reter o enchimento artificial de areia efetuado na praia. Para além deste primeiro objetivo, também foi concebido para melhorar as condições de *surf*. Trata-se de um recife em forma de “v” feito com sacos de geotêxtil preenchido com areia perfazendo 120000 m<sup>3</sup>. A obra custou 6 milhões de dólares Australianos.

-Recife de Boscombe (Bournemouth, Inglaterra, 2009)

O recife de Boscombe fica localizado em Bournemouth no sudoeste de Inglaterra. O primeiro estudo sobre este recife teve lugar em 1999, sendo que a sua construção começou em Agosto 2008 e terminou em Abril de 2009. A construção do recife originou enorme publicidade global por ser o primeiro recife artificial construído no hemisfério norte com o fim de potenciar as condições das ondas para a prática de *surf*. Isso originou um enorme impacto económico e social na região. O recife tem o tamanho de um campo de futebol e é composto por 55 sacos de geotêxtil preenchidos com areia cada um com 17 metros de comprimento, 6 metros de

largura e 2 metros de altura, sendo que cada um deles foi instalado com o auxílio de gruas em plataformas flutuantes e mergulhadores que ajudaram nos trabalhos de fixação dos sacos.

O recife é composto por quatro camadas (Figura 2.1) contendo: esteira, malha e duas camadas de sacos de areia perpendiculares entre cada camada. Para além de ter sido uma obra de sucesso, alcançando o objetivo de melhorar as condições de *surfabilidade*, a construção do recife teve um impacto positivo na fauna marítima junto ao recife promovendo o desenvolvimento de várias espécies. A obra custou no total 3.2 milhões de libras. Em Março de 2011, numa inspeção de rotina ao recife verificou-se que o seu perfil tinha sido alterado, tendo ocorrido a abertura de fendas de 0,3 metros entre os sacos de areia, produzindo uma corrente descendente que faz com que os *surfistas* sejam sugados para o fundo. Nessa altura, o recife foi fechado e em Agosto de 2011 procedeu-se à sua reparação, reabrindo o seu acesso aos *surfistas*.

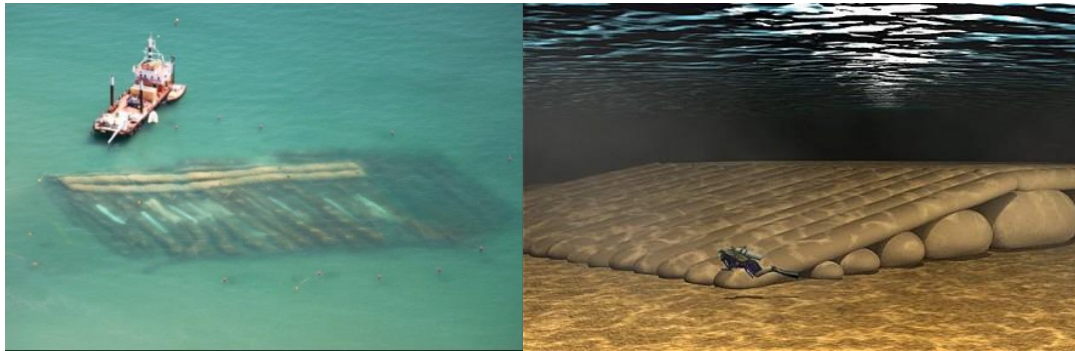


Figura 2.1 - Recife de Boscombe, Inglaterra (Fonte: *bnps.co.uk*, 2016)

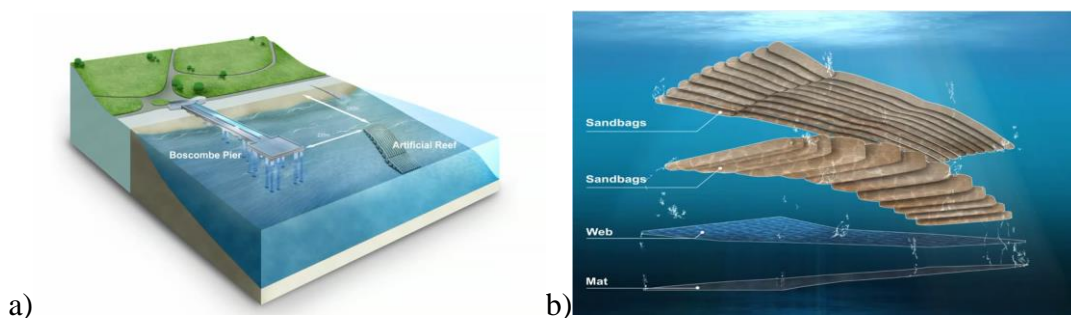


Figura 2.2 - Recife de Boscombe, Inglaterra (Fonte: *bnps.co.uk*, 2016); a) Localização; b) várias camadas

- Recife de Kovalam (Kerala, India, 2010)

Elaborado pela empresa de consultadoria e construção de obras marítimas neo-zelandesa, ASR, em Maio de 2010, o Recife de Kovalam teve como objetivo principal a proteção costeira.

Desde 1930 que a região de Kovalam é muito procurada pelos turistas e a erosão costeira era um problema que tinha de ser corrigido. A solução veio com a construção de um recife artificial com 100 metros de comprimento, constituído por sacos de geotêxtil com 30 centímetros de largura preenchidos com areia. O recife teve sucesso pois cumpriu o objetivo evitando a erosão costeira. Outra consequência positiva foi a alteração das condições de onda que tornaram a praia boa para o *surf*. O recife continua a ser monitorizado pela empresa ASR.

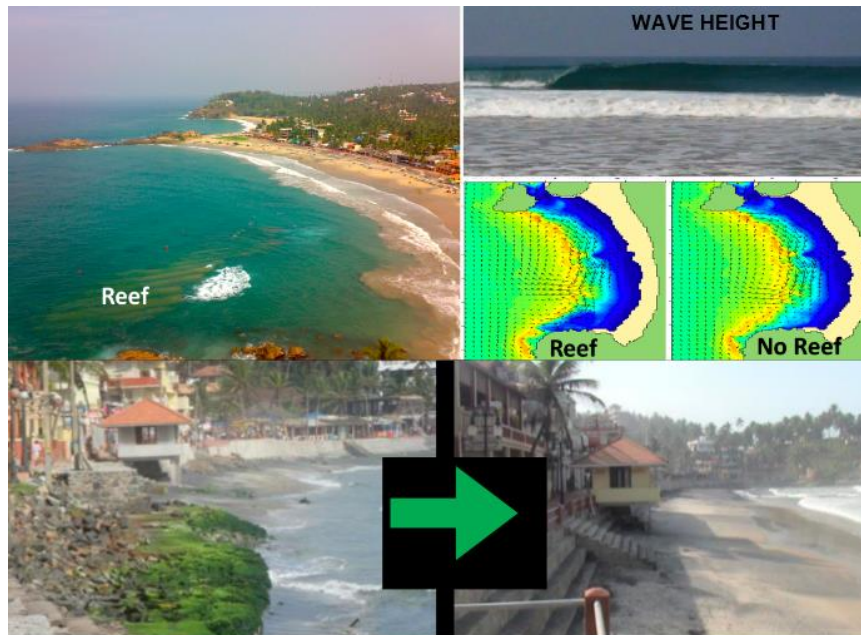


Figura 2.3 - Recife de Kovalam, o antes e depois (Fonte: *asrltd.com*, 2016)

## 2.3 - Recifes Artificiais estudados em Portugal

### 2.3.1 - S. Pedro do Estoril

Para a praia de S. Pedro do Estoril, localizada no concelho de Cascais, foi realizado um estudo promovido pela Câmara Municipal de Cascais em parceria com o Instituto Superior Técnico e o Laboratório Nacional de Engenharia, que visava avaliar a viabilidade da construção de um recife artificial para melhorar as condições para a prática de *surf* (Fortes et al., 2007).

A praia de S. Pedro do Estoril possui um areal com 400 metros de extensão e uma largura variável entre 25 metros e 35 metros ladeada por formações rochosas baixas, Monteiro *et al.* (2007). Há largos anos que esta praia é frequentada por *surfistas* iniciados e intermédios, existindo mesmo um clube de *surf* SCP (*Surf Clube de Portugal*). Em geral, nessa praia os

*surfistas surfam* três tipos de ondas que servem esse efeito, tendo mesmo sendo atribuído um nome a cada um desses tipos, Figura 2.4: onda do bico, ondas esquerda e direita da Bafureira e onda da esquerda suicida. Em geral, são *surfistas* iniciados ou com alguma experiência que costumam *surf* estas ondas.

No entanto, devido ao elevado número de *surfistas* que frequentam a praia, verifica-se que em certos dias a prática desta modalidade fica muito comprometida. Assim, a Câmara de Cascais solicitou ao LNEC e ao IST que estudassem alternativas na zona de modo a melhorar as condições da prática deste desporto quer do ponto de vista de incrementar mais áreas para o *surf* quer mesmo de potenciar condições de *surf* para *surfistas* experientes. Nesse sentido, foi acordado entre as várias entidades que a implementação de um recife seria uma boa solução e que zona de implementação desse recife artificial seria a poente da zona do Bico, como representado na Figura 2.4, de modo a não interferir nas condições de *surf* já existentes na praia.



Figura 2.4 – a) Localização das ondas para o *surf*, as setas representam o percurso realizado nas manobras dos *surfistas* (Fonte: Mendes, et al.,2007); b) Praia de São Pedro do Estoril e zona do recife (Fonte: Mendes, et al.,2007)

O estudo desenvolvido em parceria entre o LNEC e o IST foi realizado usando duas metodologias: a modelação numérica e posteriormente a modelação física. Como o âmbito desta dissertação é apenas a modelação numérica, não é descrita a modelação física deste estudo.

Primeiramente, efetuou-se a caracterização do regime da agitação marítima na zona de aproximação à praia de S. Pedro do Estoril, (batimétrica +10 m ZH) recorrendo da metodologia TRANSFER, Coli et al. (1999).

Seguidamente, com base nesse regime de agitação marítima e para as condições de agitação mais frequentes, aplicou-se os modelos de propagação de ondas REFDIF, Dalrymple and Kirby (1991) e REFDIF\_S, Ozkan and Kirby (1998), ambos baseados na aproximação parabólica da equação *mild-slope*, (Berkhoff, 1972). Com estes modelos obtiveram-se as características da agitação marítima (alturas de onda e direções de onda) na zona em estudo, para as situações sem e com recife (considerando várias soluções de geometria e localização para o mesmo). Posteriormente, com base nesses resultados, foi aplicado o modelo MOREIAS (Modelo de análise de Recifes Artificiais para Surf), Mendes *et al.* (2007), que identifica a linha de rebentação e calcula os parâmetros de *surfabilidade* a analisar, nomeadamente comprimento da linha de rebentação, altura de rebentação da onda, amplificação da altura de onda, ângulo de rebentação, tipo de rebentação e parede da onda, Fortes *et al.* (2007a) ou Monteiro *et al.* (2007b).

Como exemplos de duas soluções de recife testadas, refiram-se as soluções designadas por solução 2 (Figura 2.5) e solução 3 (Figura 2.6), Bicudo *et al.* (2007b)

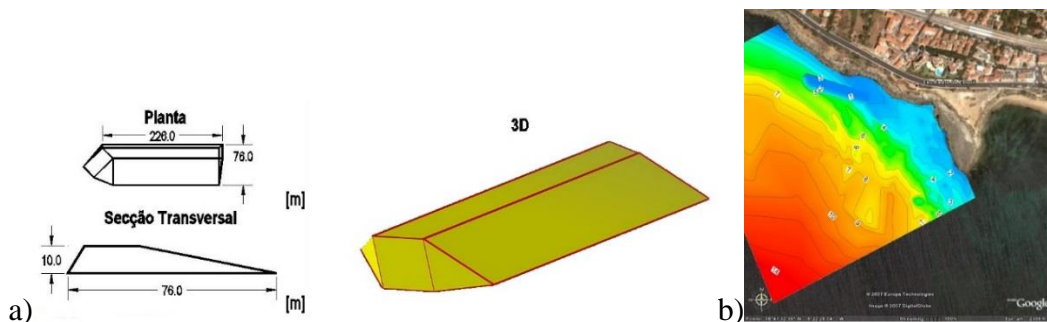


Figura 2.5 – a) Solução 2 do recife artificial (perfis e vista 3D), (Fonte: Mendes, et al.,2007);  
 b) Localização do recife artificial (Fonte: Mendes, et al.,2007)

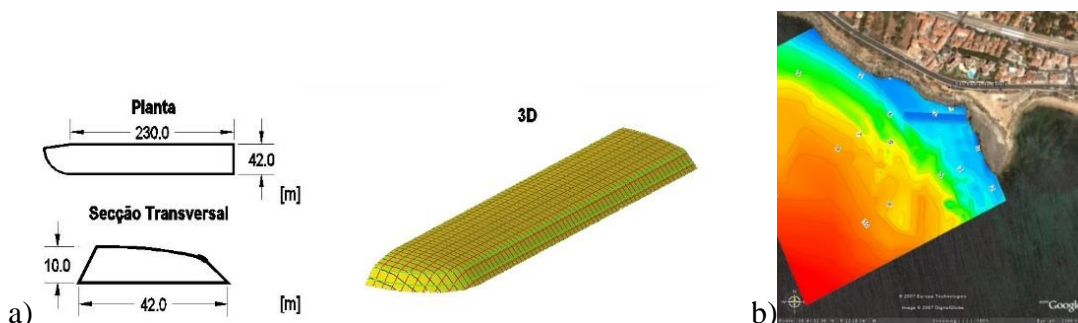


Figura 2.6 – a) Solução 3 do recife artificial (perfis e vista 3D), (Fonte: Mendes, et al.,2007);  
 b) Localização do recife artificial (Fonte: Mendes, et al.,2007)

Como exemplo, os resultados obtidos do modelo numérico REFDIF para as soluções com e sem recifes, em termos de  $H_s$  e direção de onda estão representadas na Figura 2.7.

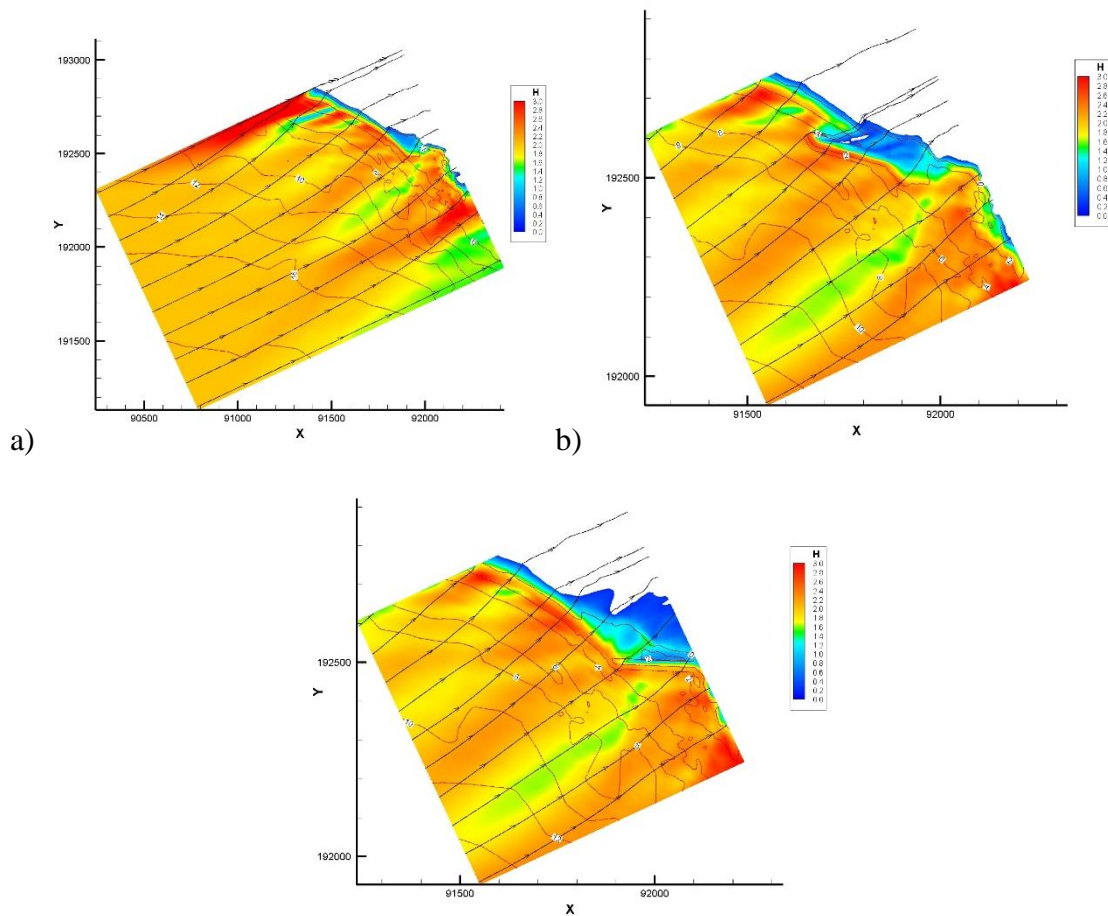


Figura 2.7 – a) Diagramas de isolinhas dos valores de altura de onda e das direções das ondas na situação (Fonte: Mendes, et al.,2007): a) sem recife; b) com recife, Solução 2 e c) com recife, Solução 3

Na Figura 2.8 e Figura 2.9 a), b) e c) estão representados os resultados de Linha de rebentação, amplificação de altura de onda, ângulo de rebentação e número de *Iribarren*.

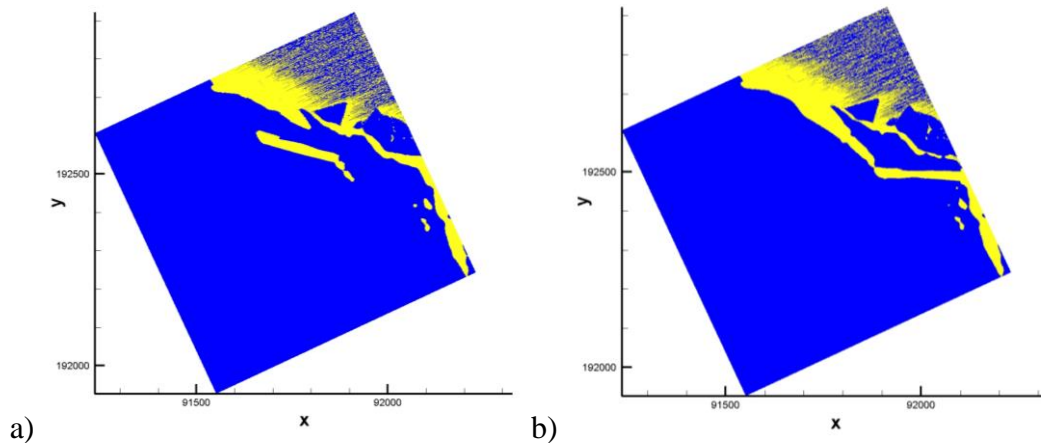


Figura 2.8 – Áreas de rebentação (Fonte: Mendes, et al.,2007): a) Solução 2; b) Solução 3

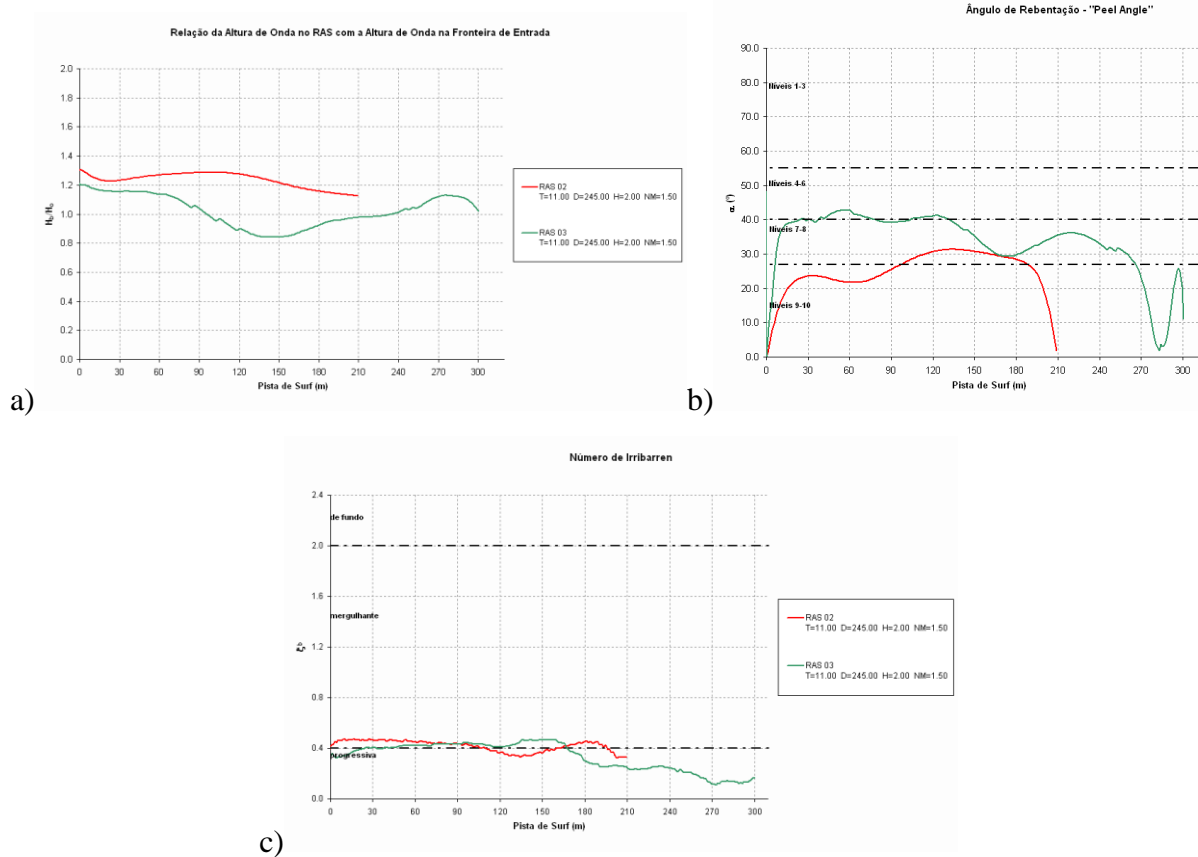


Figura 2.9 – Ao longo das linhas de rebentação direita para as duas soluções testadas; a) amplificação da altura de onda,  $H_b/H_o$  (Fonte: Mendes, et al.,2007); b) ângulo de rebentação,  $\alpha$ ; c) Número de Iribarren,  $\xi_b$

Com base nos resultados numéricos concluiu-se que ambos os dois perfis analisados não obtiveram o efeito pretendido de modo a alterar significativamente as condições para a prática de *Surf*. Existe então a necessidade de alterar quer a geometria quer a localização dos mesmos. Embora não se tenha encontrado a melhor solução, a metodologia adotada mostrou-se adequada, simples e eficiente.

### 2.3.2 - Leirosa

Para a praia da Leirosa, que se situa a sul da Figueira da Foz, foram realizados três estudos para a construção de um recife multifuncional (Mendonça et al., 2010b, Ramos, 2012, Serrão, 2012). A praia da Leirosa situa-se a aproximadamente a 16 km a sul da Figueira da Foz e a 10 km (em linha reta) da foz do rio Mondego (figura 2.10; a)). O areal possui uma extensão de 2 km (figura 2.10, b))

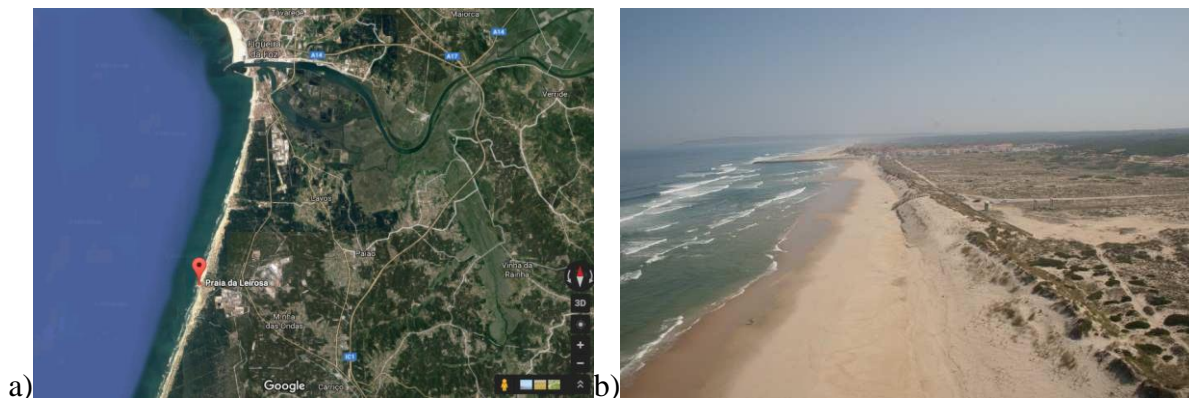


Figura 2.10 – a) Localização da Praia da Leirosa, assinalada a vermelho (Google maps, 2016);  
b) linha da costa na praia da Leirosa (Fonte: Serrão, 2012)

Devido ao facto de existir um recuo da linha da costa e deste ter destruído parte do sistema dunar da praia da Leirosa (figura 2.10), foram feitas primeiramente intervenções com o objetivo de proteger costa, passando estas intervenções por reposição de areia e replantação, (Reis e Freitas, 2002) e construção de barreiras de proteção constituídas por tubos de material geotêxtil cobertos com areia (Antunes do Carmo et al., 2005; Reis et al., 2005). Como estas soluções só se mostraram eficazes a curto prazo foi estudada uma solução de implementação de um recife artificial com o principal objetivo de proteção costeira, passando-se para a fase de estudo de viabilidade hidrodinâmica dessa mesma solução. Para além de o principal objetivo do recife ser a proteção costeira, começou-se a pensar também no objetivo de melhor as condições para a prática do *surf*, visto que potencializa a vertente socioeconómica da região.

No primeiro estudo de viabilidade, Mendonça *et al.* (2010b), foi feita uma modelação numérica onde se aplicou um código numérico baseado nas equações de Boussinesq expandidas, COULWAVE, (Lynett e Liu, 2002a e b). Para determinação das condições marítimas incidentes na zona de estudo foram utilizados dados de uma boia-ondógrafo implementada no local e com registos compreendidos entre outubro de 2008 e maio de 2009. Como eram registos durante um período muito reduzido para ter uma boa amostra, optou-se por se utilizar também os registos da boia da Figueira da Foz que cobriam um período de julho de 1984 a fevereiro de 1996 (12 anos). Para a geometria do recife foi utilizada a de ten Voorde *et al.* (2008), que tem forma triangular (figura 2.11 a) e b))

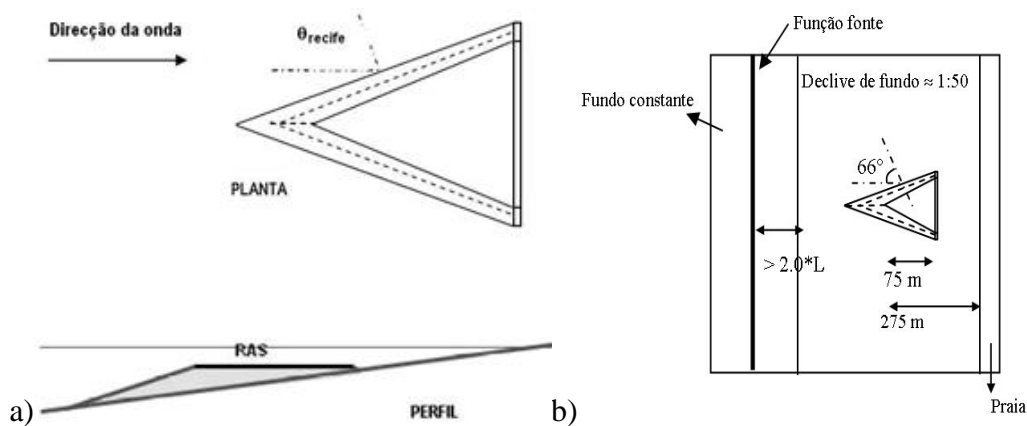


Figura 2.11 – a) Geometria de base do recife artificial utilizada no estudo; b) Geometria de base usada nas simulações numéricas (Fonte: Mendonça *et al.* (2010b)).

Após efetuadas as simulações numéricas e obtidos resultados de altura de onda, velocidades e linha de rebentação, Figura 2.12, determinaram-se os parâmetros de *surfabilidade*, nomeadamente o ângulo de rebentação e número de *Iribarren*, Figura 2.13.

Neste primeiro estudo conclui-se que o recife com esta geometria e implantação é eficaz e serve o propósito do *surf*. Porém, porque o ângulo de rebentação, obtido para todas as simulações, está compreendido entre 50° a 60°, tem-se condições ideais para praticantes amadores mas que não servem uma vertente mais experiente ou profissional. Paralelamente o número de *Iribarren* calculado está compreendido entre 0.4 e 2.0, ou seja,  $0.4 < \xi_b < 2.0$ , o que representa uma rebentação mergulhante e não tubular (ideal para *surfistas* mais experientes ou profissionais). O estudo sobre a proteção costeira não foi realizado.

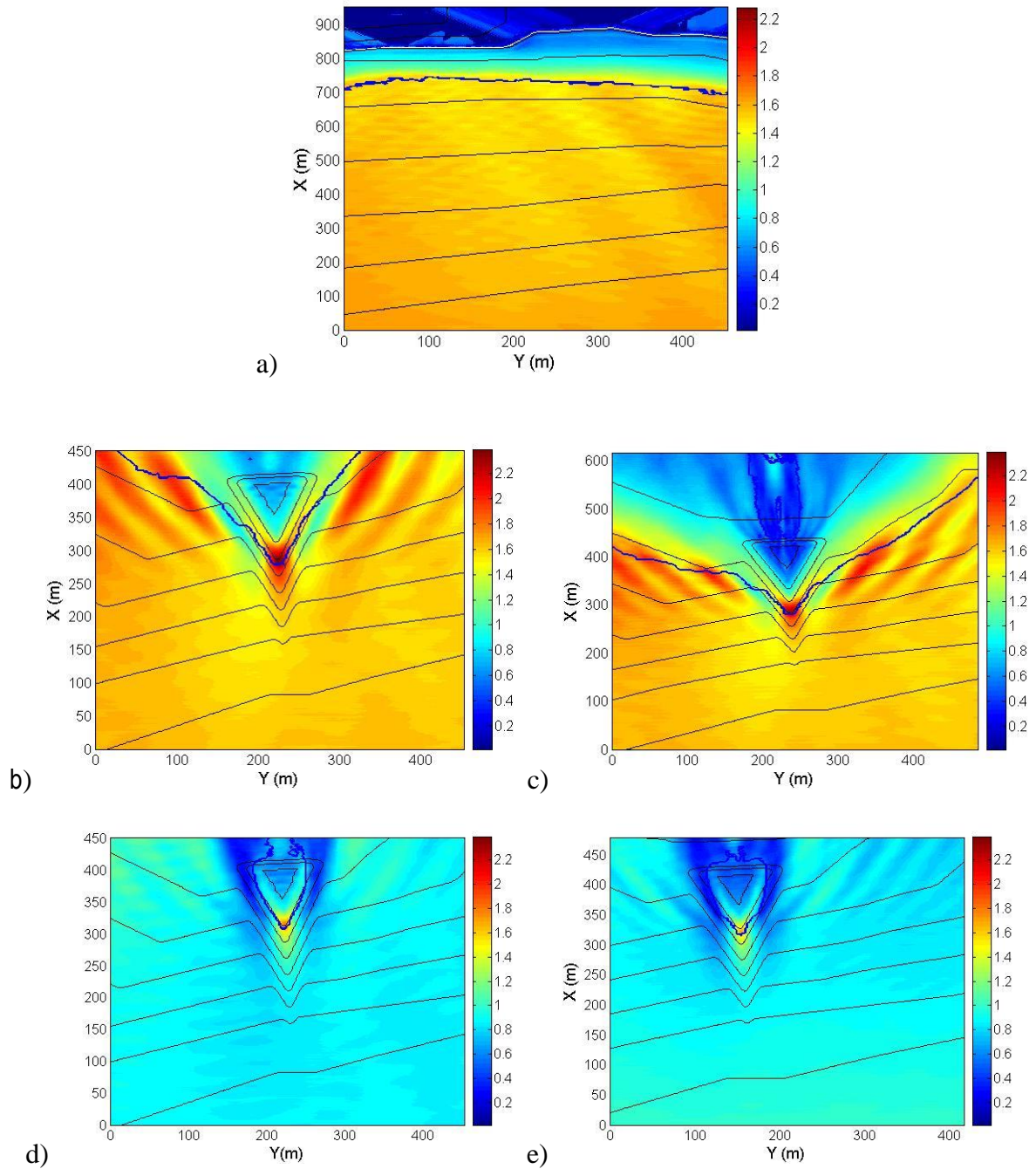


Figura 2.12 – Representação das alturas de onda e da linha de rebentação na zona do recife artificial. (Fonte: Mendonça *et al.* (2010b)); a) C1: sem recife, NM,  $T=8.0$  s,  $H=2.0$  m; b) C3: com recife, NM,  $T=8.0$  s,  $H=2.0$  m; c) C4: com recife, BM,  $T=8.0$  s,  $H=2.0$  m; d) C2: com recife, NM,  $T=8.0$  s,  $H=1.0$  m; e) C5: com recife, NM,  $T=6.0$  s,  $H=2.0$  m

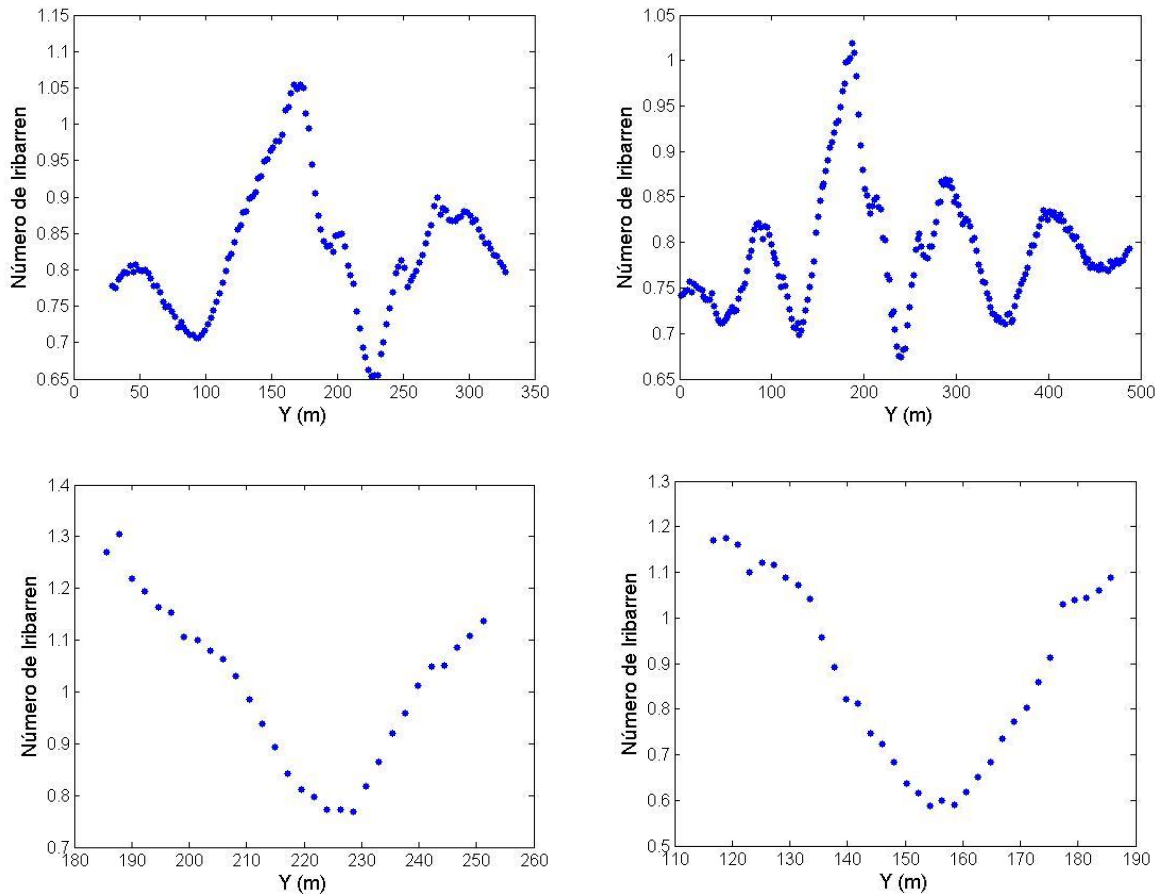


Figura 2.13 – Representação do número de *Iribarren* ao longo da linha de rebentação (Fonte: Mendonça *et al.* (2010b)); b) C3: com recife, NM, T=8.0 s, H=2.0 m c) C4: com recife, BM, T=8.0 s, H=2.0 m d) C2: com recife, NM, T=8.0 s, H=1.0 m e) C5: com recife, NM, T=6.0 s, H=2.0 m

O segundo estudo relativo à implantação de um recife artificial, Ramos (2012), foi um complemento do estudo de viabilidade descrito anteriormente (Mendonça *et al.* 2010b)). Foi utilizada a mesma metodologia, porém as simulações foram feitas para as condições marítimas de  $H_s=2$  m e  $T=8.0$  s e  $T=10.0$  s, alterando ainda a geometria do recife, nomeadamente os ângulos delta, referentes aos braços do recife, para  $45^\circ$ . Os resultados obtidos melhoraram um pouco as condições para a prática de *surf* mas continuou a obter-se condições para uma prática amadora de *surf* apenas.

O terceiro e último estudo, Serrão 2012, foi também uma continuação dos dois estudos realizados anteriormente, aplicando a mesma metodologia, com a variante de ter sido usado o programa de modelação numérico de propagação de ondas DREAMS (Fortes, 1993). A geometria do recife também foi alterada, mas ainda com base no estudo de ten Voorde *et al.*

(2008), figura 2.14. As condições de incidência também foram recalculadas utilizando o modelo de geração e propagação de ondas SWAN (*Simulating WAVes Near Shore*, Booij et al., 1999), onde alturas de onda e direções foram calculadas de modo mais preciso (tabela 2.1).

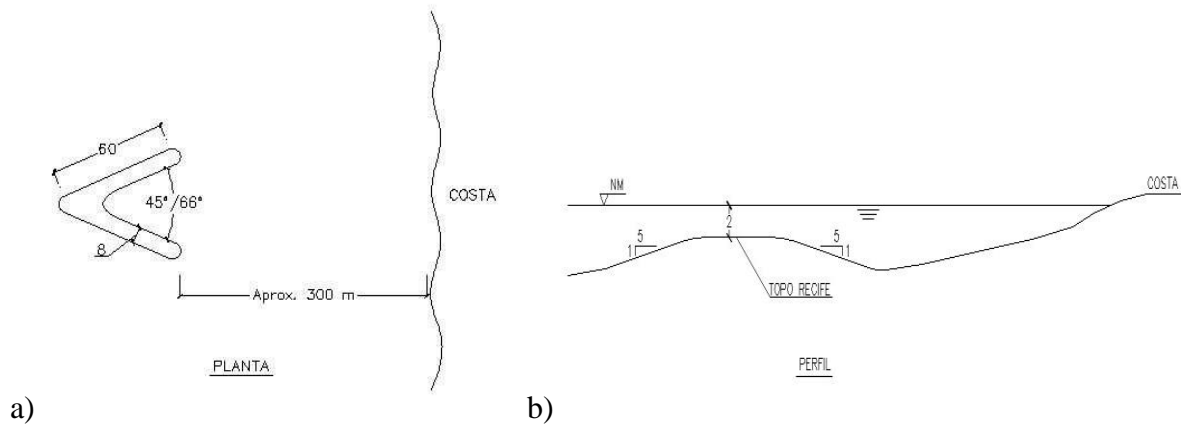


Figura 2.14 – a) Planta com a geometria de base do recife artificial utilizada no estudo. b) Perfil do recife artificial. (Fonte: Serrão, 2012)

Tabela 2.1 – Condições de agitação marítima estudadas. (Fonte: Serrão, 2012)

Direção (°)	Período (s)	Altura Significativa (m)
300	8	1.5
300	7	2.0
300	8	2.5
290	9	1.5
280	8	1.5
280	7	1.0

Como resultados, obteve-se uma rebentação do tipo mergulhante, de acordo com o número de *Iribarren*. Relativamente ao ângulo de rebentação os resultados foram os esperados: para um delta de recife de 45° obteve-se um ângulo de rebentação de 36° o que equivale a condições para *surfistas* avançados/profissionais; e para um delta de recife de 66° obteve-se um ângulo de rebentação de 45° o que corresponde a condições para *surfistas* amadores.



### 3 - ANÁLISE DE FUNCIONAMENTO DA SOLUÇÃO DO RECIFE

#### 3.1 - Parâmetros de *Surfabilidade*

Como já referido, a função principal de um recife artificial para o *surf* é melhorar as condições de *surf* na zona do recife. Para tal, é preciso definir a geometria do recife, nomeadamente o seu perfil transversal e o seu traçado em planta, bem como a sua localização, que são função da agitação marítima incidente numa dada zona costeira.

Para a definição da melhor geometria e localização do recife é possível recorrer a modelos numéricos que caracterizam as condições de agitação marítima (altura, direção e período) na vizinhança e sobre o recife permitindo, deste modo, calcular um conjunto de parâmetros, designados por parâmetros de *surfabilidade*, para cada geometria e localização de um recife.

Os parâmetros de *surfabilidade* são indicadores das condições de rebentação que se verificam sobre um dado recife. Abaixo apresenta-se a lista de parâmetros de *surfabilidade* necessários para verificar se as condições na zona do recife são propícias para a prática do *surf*, nomeadamente:

- Altura da onda ao longo da linha de rebentação;
- Ângulo de rebentação ao longo da linha de rebentação;
- Comprimento da linha de rebentação;
- Tipo de rebentação, determinado através do número de *Iribarren* ao longo da linha de rebentação;
- Características da parede da onda;
- Amplificação da altura da onda em relação à altura de onda incidente.

Nos próximos subcapítulos descreve-se em maior detalhe cada um destes parâmetros.

##### 3.1.1 - Altura da onda ao longo da linha de rebentação

A altura de onda ao longo da linha de rebentação desejada para um dado recife artificial dependerá das condições do local em que se pretende implantar esse recife e para que nível de *surfistas* se pretende que o recife sirva.

A gama de alturas de onda onde é possível *surf* vai desde 20 centímetros até aos 20 metros, sendo que em geral quanto maior a altura da onda melhor o nível do *surfista*. Recentemente na

Nazaré, Portugal, foi batido o recorde da maior altura de onda que foi *surfada*, e que correspondeu a cerca de 30 metros.

No entanto, segundo Ericeira World Reserve, as alturas de onda das melhores praias para a prática de *surf* estão compreendidas entre os 0.5 metros e os 4.5 metros, sendo esta gama de alturas muito aceitável para o *surf*. Estima-se que a maior parte dos *surfistas* procuram alturas de onda que variam entre 1 m e 3 m.

### 3.1.2 - Ângulo de rebentação ao longo da linha de rebentação

O ângulo de rebentação ao longo da linha de rebentação é definido como o ângulo entre a crista da onda e a linha de rebentação Figura 3.1,  $\alpha$ :

$$\sin \alpha = \frac{c}{V_s} \quad (1)$$

onde:

- $c$  é a velocidade de propagação da onda
- $V_s$  é a velocidade do *surfista*.

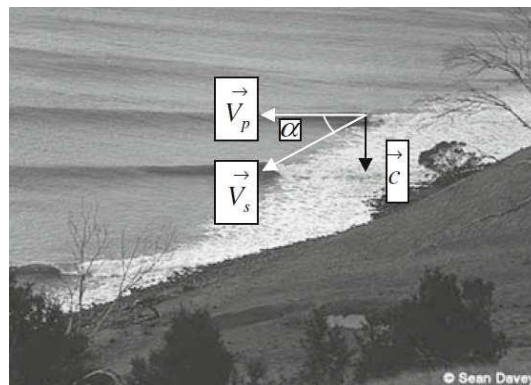


Figura 3.1 – Ilustração da velocidade de propagação da onda,  $c$ , ângulo de rebentação,  $\alpha$ , velocidade do *surfista*,  $V_s$  e a velocidade de rebentação,  $V_p$ , (velocidade ao longo da crista da onda, com que se dá a rebentação). (Fonte: *surfermag.com*,2012)

O ângulo de rebentação,  $\alpha$ , condiciona o nível de dificuldade na execução de manobras (Walker, 1974), Tabela 3.1. Quanto menor  $\alpha$  maior será a dificuldade de manobra e mais experiência é exigida aos *surfistas* para a realizar.

Tabela 3.1 – Ângulo de rebentação em função do nível de dificuldade da manobra

Nível	Descrição	$\alpha$ (°)
1	Iniciados	90
2	Iniciados capazes de <i>surf</i> lateralmente ao longo da crista de rebentação	70
3	<i>Surfistas</i> que conseguem aumentar a velocidade na face da onda	60
4	<i>Surfista</i> a aprender as manobras <i>standard</i> do <i>surf</i>	55
5	<i>Surfistas</i> capazes de realizar manobras <i>standard</i> do <i>surf</i> numa única onda	50
6	<i>Surfistas</i> que executam manobras <i>standard</i> de <i>surf</i> consecutivamente	40
7	<i>Surfistas</i> que executam manobras avançadas	29
8	<i>Surfistas</i> profissionais	27

Por exemplo, segundo Ericeira World Reserve (2012), na zona da Ericeira observam-se ângulos de rebentação entre 27 a 55 graus, sendo que 27 graus é possível encontrar na Baía dos Dois Irmãos, situada na zona da Ericeira, numa zona designada de “Cava”. Nesta zona, é aconselhável que os *surfistas* sejam muito experientes e que usem equipamento de proteção.

### 3.1.3 - Comprimento da linha de rebentação

O comprimento da linha de rebentação também é um parâmetro importante para a prática de *surf*, pois exprime a distância que os *surfistas* têm para realizar as suas manobras. Quanto maior esta distância for, mais tempo os *surfistas* têm para preparar as suas manobras e maior será o número de manobras possíveis, bem como a sua complexidade. Por exemplo, segundo Ericeira World Reserve (2012), as praias na zona da Ericeira têm uma linha de rebentação mínima de 30 a 70 metros e máxima de 150 a 300 metros.

### 3.1.4 - Tipo de rebentação

O tipo de rebentação que se adequa ao *surf* é a mergulhante ou tubular, Figura 3.2. A definição do tipo de rebentação é obtida através do número de *Iribarren*,  $\xi_b$ , (Battjes, 1974) (tabela 3.2).



Figura 3.2 – Exemplos de rebentação tubular (Fonte: *surfportugal.pt*, 2016)

Tabela 3.2 – Tipo de rebentação em função do número de *Iribarren*

Tipo de rebentação	Número de <i>Iribarren</i>
Progressiva	$\xi_b < 0.4$
Mergulhante	$0.4 < \xi_b < 2.0$
De fundo	$\xi_b > 2.0$

O número de *Iribarren*,  $\xi_b$ , por sua vez é calculado pela seguinte expressão (2):

$$\xi_b = m' \sqrt{\frac{L_0}{H_b}} \quad (2),$$

em que:

- $m'$  representa o declive médio do fundo em relação à direção da onda;

- $L_0$  representa o comprimento da onda ao largo;

- $H_b$  representa a altura da onda na rebentação.

### 3.1.5 - Características da parede da onda

Entende-se por parede da onda o troço ao longo da crista da onda perto do ponto de rebentação mas onde ainda não se iniciou a rebentação. Deverá ser alta e inclinada para que o *surfista* tenha margem para poder efetuar os vários tipos de manobras. A declividade da parede pode ser medida pela relação entre a altura e o comprimento de onda.

### 3.1.6 - Amplificação da altura da onda em relação à altura de onda incidente

A amplificação,  $A$ , da altura da onda em relação à altura de onda incidente é representada pelo quociente entre  $H_b$ , altura de onda na presença do recife e a  $H_{inicial}$ , altura de onda sem a existência do recife artificial, obtendo-se então a expressão (3):

$$A = \frac{H_b}{H_{inicial}} \quad (3)$$



## **4 - MODELO NUMÉRICO COULWAVE.**

### **4.1 - Introdução**

O programa de simulação numérica COULWAVE a utilizar é a versão de 2010, descarregado a partir do web-site *www.isec.nacse.org*, que foi posto a correr no sistema operativo Windows 8 de 64 bits.

### **4.2 - Princípio teórico do COULWAVE**

O modelo numérico COULWAVE, Lynett e Liu (2002), é um modelo de propagação de ondas baseado nas equações de Boussinesq expandidas, deduzidas por WEI et al. (1995). As equações do modelo, do tipo Boussinesq, são deduzidas a partir da integração em profundidade das equações de continuidade e quantidade de movimento, utilizando o conceito de camadas múltiplas (multi-layer). Em cada camada admite-se um dado perfil de velocidades. Com estes perfis de velocidade, que coincidem na fronteira entre camadas, é deduzido um conjunto de equações que permite estender a aplicabilidade do modelo a águas intermédias, Mendonça (2010).

Lynett e Liu (2002) introduziram termos adicionais nas equações de modo a ter em conta o atrito de fundo, a rebentação de ondas e a geração de ondas no interior do domínio. Além disso, incluíram termos de profundidade, dependentes do tempo, para ter em conta variações do perfil de fundo no tempo devido à ocorrência de um deslizamento ou de um sismo.

O modelo é assim aplicável desde águas intermédias até à rebentação. Contudo, como admite aproximações para a distribuição vertical da velocidade em cada uma das camadas em que é dividida a coluna de água, variações significativas do fundo podem não ser corretamente simuladas pelo modelo.

A resolução das equações referidas é semelhante à formulação apresentada por Wei e Kirby (1995) utilizando um esquema predictor-corrector de Adams-Bashforth. A formulação de diferenças finitas consiste num esquema explícito de Adams-Bashforth de 3ª ordem no tempo para o passo predictor e implícito de 4ª ordem no tempo para o passo corrector. Para as derivadas espaciais, são utilizadas diferenças finitas centradas com uma precisão de 4ª ordem. As derivadas espaciais e temporais de ordem superior são calculadas com uma precisão de 2ª ordem. O modelo é formalmente preciso até  $\Delta t^4$  em tempo e  $\Delta x^4$  em espaço. A diferença

relativamente a Wei e Kirby (1995) refere-se à natureza de alguns termos não-lineares dispersivos e à existência de termos adicionais, devidos à dependência temporal da profundidade.

Para as fronteiras exteriores são aplicados dois tipos de condições: de reflexão total e de radiação. No primeiro caso utiliza-se a metodologia de Wei e Kirby (1995), enquanto que para a condição de radiação ou condição de fronteira aberta é usado um esquema de fronteira absorvente (*sponge layers*), de acordo com Kirby et al. (1998).

Os dados de entrada do modelo COULWAVE encontram-se explicados em Lynett e Liu (2002) e alguns dos resultados fornecidos pelo modelo constam das séries temporais e espaciais da elevação da superfície livre, velocidades horizontais nos pontos do domínio definidos pelo utilizador e zonas de rebentação.

### **4.3 - Metodologia prática**

O processo de utilização do modelo numérico COULWAVE baseia-se essencialmente em 3 fases, Figura 4.1:

- Fase 1: Preparação dos dados correspondentes às condições da agitação marítima incidente, à malha adotada e à batimetria observada na zona em estudo;
- Fase 2: Corrida do executável “pCULWAVE.exe” inserindo todos os parâmetros de cálculo (parâmetros fixos e variáveis) pretendidos, ou que mais facilitam o processo de cálculo de modo a que não aconteçam erros durante a execução do programa.
- Fase 3: Tratamento e análise dos resultados obtidos pelo COULWAVE para cálculo dos diferentes parâmetros de *surfabilidade* em todo o domínio de cálculo. Tal é efetuado com um programa desenvolvido em MATLAB.

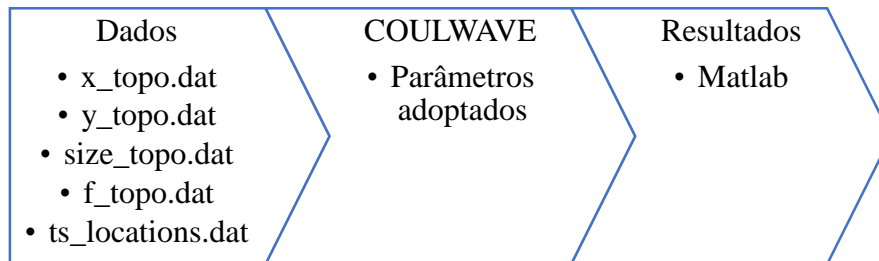


Figura 4.1 – Esquema referente à metodologia prática adotada para fazer funcionar o modelo numérico



## 5 - CARACTERIZAÇÃO DA ZONA EM ESTUDO

### 5.1 - Caracterização Geral do Local em Estudo

O recife artificial a dimensionar situa-se no Algarve, nomeadamente na praia do “Barranco das Belharucas” pertencente à localidade de Olhos de Água, concelho de Albufeira, Figura 5.1. Esta praia encontra-se no extremo ocidental da Praia da Falésia. Existem dois acessos a esta praia sendo o primeiro uma estrada de terra batida que atravessa o pinhal e o segundo um acesso direto ao Hotel Sheraton Pine Cliffs, Figura 5.2.

Mesmo tendo difícil acesso é uma praia que tem alguma procura, não só pela tranquilidade que transmite e por ser galardoada com bandeira azul (2014), mas também pelos desportos aquáticos que nela se praticam, tais como: *windsurf*, *bodyboard* e canoagem. O Barranco das Belharucas também oferece a oportunidade de aluguer de embarcações ligeiras. Do ponto de vista económico é pois um local com grande potencial estando relativamente próximo do Aeroporto de Faro (31 km).

Segundo *surf-forecast.com* os 5 locais mais próximos onde se pode praticar *surf* são:

- Afagar a 3 km;
- Albufeira a 6 km;
- Forte Novo a 9 km;
- Vale do Lobo a 12 km;
- Julias a 13 km.

Segundo *wannasurf.com*, este local é considerado um *spot* de *surf*, porém as condições para a sua prática não são as ideais. As ondas observadas têm alturas de 1 metro, comprimento de rebentação de 50 metros, ideal para *surfistas* iniciantes. Essas condições observam-se em maré alta e meia maré. O fundo é arenoso e observam-se ventos no sentido de Sudoeste até ao sentido Sul.

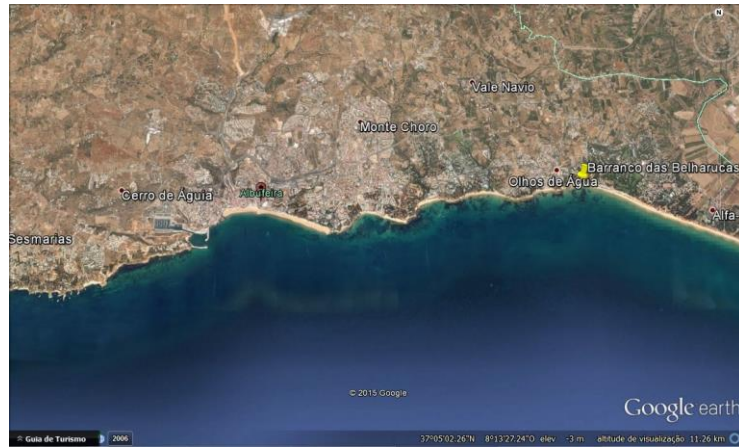


Figura 5.1 - Localização da Praia de Barranco das Belharucas

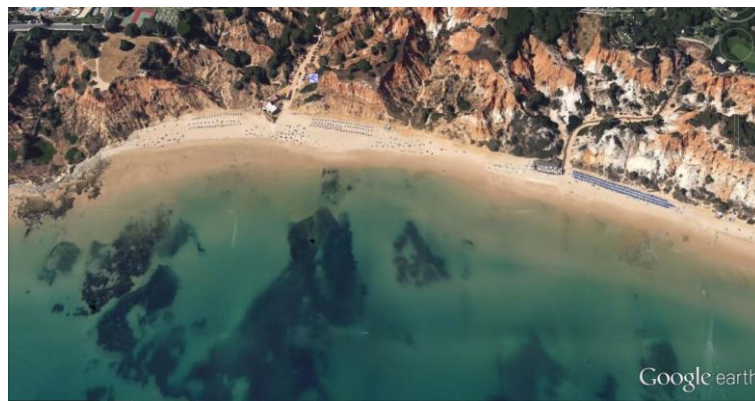


Figura 5.2 - Vista aérea da praia do Barranco das Belharucas

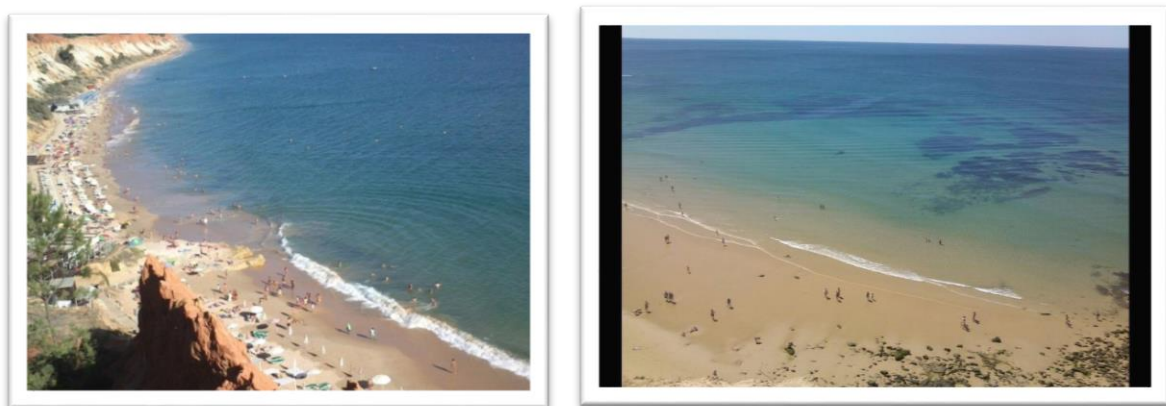


Figura 5.3 - Praia do Barranco das Belharucas, do ponto de vista da falésia (barranco) Fonte: [www.facebook.com/Praia-do-Barranco-das-Belharucas-Albufeira](http://www.facebook.com/Praia-do-Barranco-das-Belharucas-Albufeira)

## 6 - CONDIÇÕES NUMÉRICAS

### 6.1 - Definição do domínio de cálculo

#### 6.1.1 - Caracterização

O domínio de cálculo do modelo numérico corresponde a um retângulo com o eixo x orientado perpendicularmente à linha de costa da praia do Barranco das Belharucas e o eixo y orientado de forma paralela à linha de costa (Figura 6.1). Em relação às dimensões, o retângulo possui 1226 metros de comprimento (eixo x) e 1034 metros de largura (eixo y), é composto por uma malha de cálculo de 2 em 2 metros nos dois eixos:  $\Delta x = \Delta y = 2.0$  m (Figura 6.2). Em termos de coordenadas geográficas baseadas na carta 8 (Batimetrias\_Portugal\_NPE\_GIS Instituto Hidrográfico Português) de levantamento batimétrico que utiliza o sistema militar de coordenadas (Hayford-Gauss Militar), o domínio de cálculo é composto pelos seguintes vértices:

- Vértice 1: 195965.871935, 11238.03569;
- Vértice 2: 195053.026155, 11692.39344;
- Vértice 3: 196490.448295, 12283.058515;
- Vértice 4: 195581.73318, 12733.2856.

Transformando as unidades das coordenadas para longitude e altitude vem:

- Vértice 1: -8.17844452, 37.06690159;
- Vértice 2: -8.18871177, 37.07099121;
- Vértice 3: -8.17255103, 37.07632002;
- Vértice 4: -8.18277275, 37.08037295.

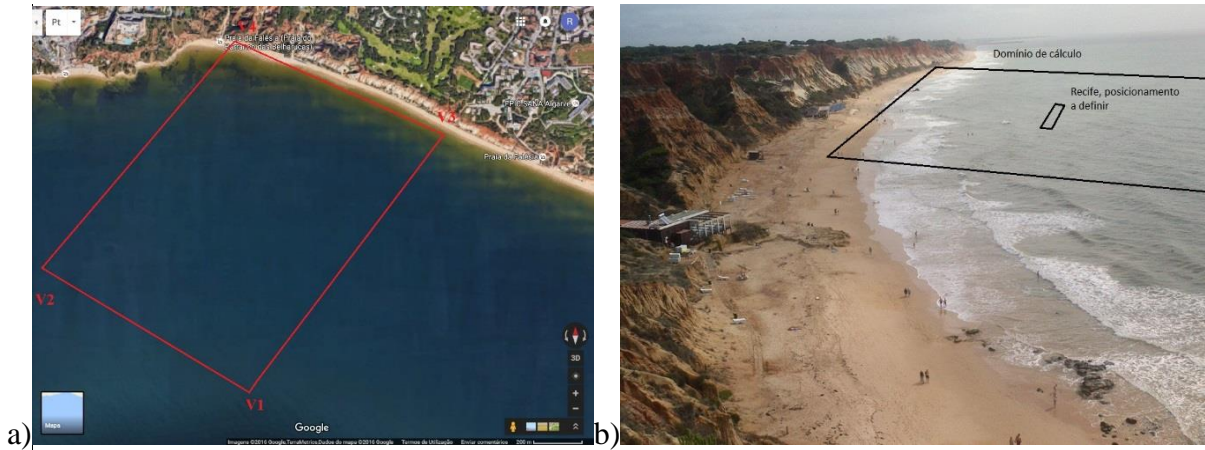


Figura 6.1 – a) Localização do domínio de cálculo com identificação dos vértices, Fonte: *googlemaps*, 2016; b) fotografia da praia Barranco das Belharucas do ponto de vista da falésia com ilustração do sítio de implantação do domínio de cálculo.

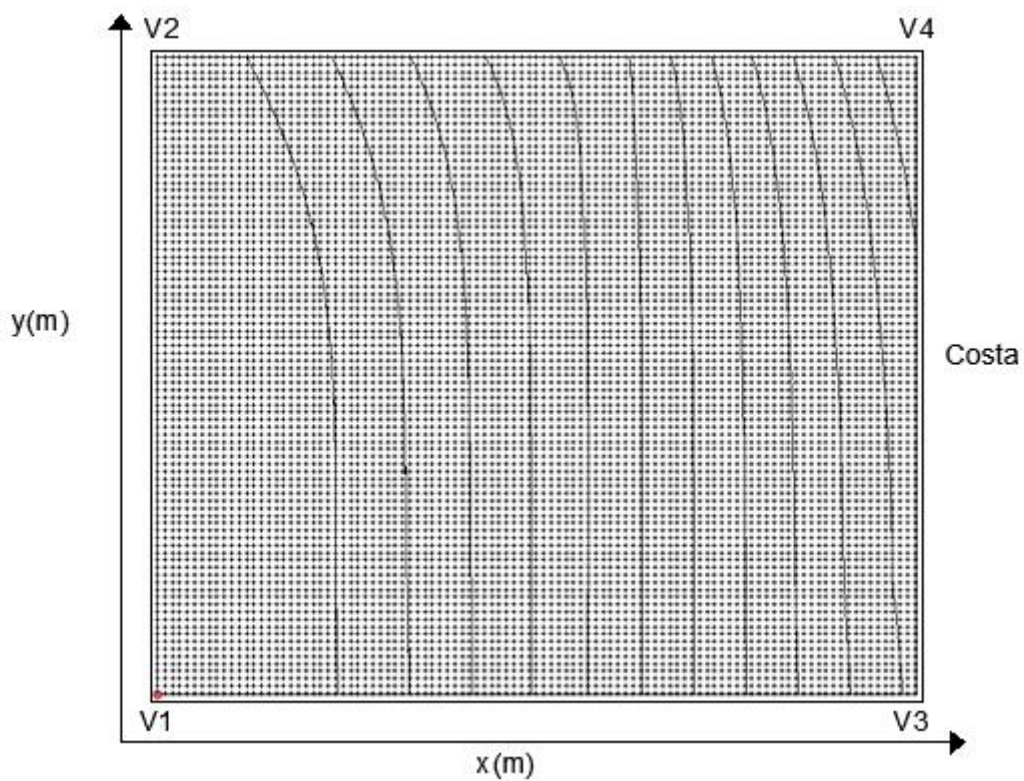


Figura 6.2 – Domínio de cálculo com identificação da orientação dos eixos, vértices, pontos pertencentes à malha de cálculo e linhas de batimetria.

## 6.1.2 - Batimetria

A construção da batimetria do domínio de cálculo é obtida através de cartas batimétricas relativas ao fundo oceânico junto à costa Portuguesa. A carta onde se encontra inserida a zona de estudo é a carta eletrónica 8, (Batimetrias\_Portugal, NPE, GIS).

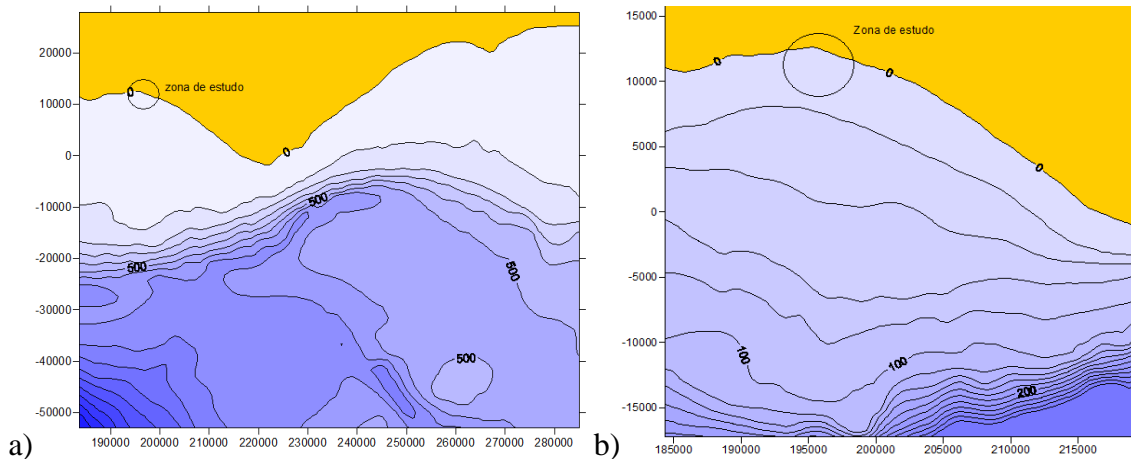


Figura 6.3 – a) Carta batimétrica nº8 da costa oceânica Portuguesa, com identificação da zona de estudo; b) Detalhe da zona de estudo.

Na Figura 6.4 apresenta-se a batimetria da zona em estudo, assim como o domínio de estudo considerado pelo modelo numérico.

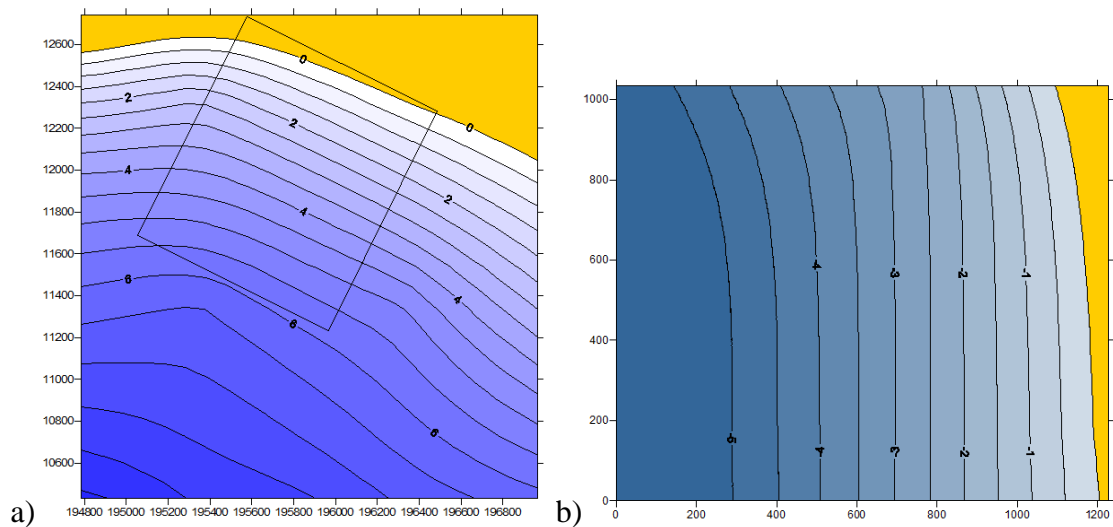


Figura 6.4 – a) Detalhe da zona de estudo com implantação do domínio de cálculo; b) domínio de cálculo com rotação dos eixos e novo ponto de origem, coincidente com o vértice 1.

### 6.1.3 - Condições de agitação à entrada do domínio.

Relativamente às condições da agitação marítima na entrada do domínio de cálculo considera-se:

- $H_{si}=1$  e  $2$  m;
- $T_i=10$  s;
- $Dir_i=0$  e  $5^\circ$  (relativamente ao eixo das abcissas no sentido horário);
- $N_m=0$  m;  $B_m=-1.5$  m;  $P_m=+1.5$  m.

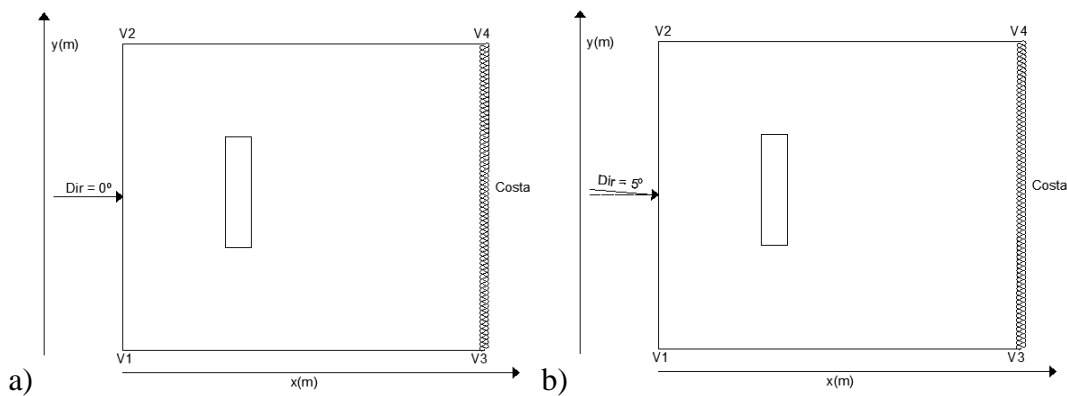


Figura 6.5 – Direção das ondas à entrada do domínio para o caso de a)  $Dir=0^\circ$ ; b)  $Dir=5^\circ$

Este regime não pode ser definido com base nos registos ondográficos medidos pela boia de Faro, pois trata-se de registos ao largo e muito diferentes dos observados no local. Portanto e como base em *wannasurf.com* que refere a zona de estudo como um *spot* para o surf, tendo alturas de onda observadas de 1 metro e comprimentos de linhas de rebentação de 50 metros. As outras duas condições, direção e período admite-se  $0^\circ$  e  $5^\circ$ , e 10 segundos respetivamente, por se tratar de valores observados em praias próximas da zona de estudo e em geral na zona do Algarve.

Para um estudo mais aprofundado, deveriam ser seleccionadas várias condições de entrada representativas do regime de agitação marítima na zona de estudo. Este regime foi definido com base nos registos ondográficos medidos pela boia de Faro e transferidos para a zona de estudo usando o modelo numérico de propagação de ondas SWAN (Booij et al., 1999)

## 6.2 - Características do recife

O recife artificial a implementar será constituído por sacos de geotêxtil preenchidos com areia. Cada saco terá 2 metros de largura sendo dispostos dois lado a lado na base, ocupando quatro

metros no total. No topo dos sacos pertencentes à base do recife será colocado outro saco idêntico alinhado com saco mais próximo da costa ou ao centro, existindo assim dois perfis a analisar. Relativamente à altura dos sacos, estes possuem 1,25 metros, Figura 6.7. Figura 6.6 – Perfil transversal que irá ser representado no modelo numérico a) perfil 1; b) perfil 2.

O perfil considerado no modelo numérico é o indicado na Figura 6.6

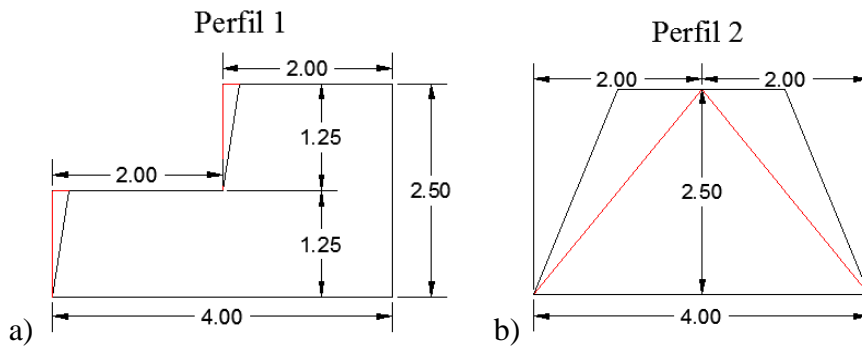


Figura 6.6 – Perfil transversal que irá ser representado no modelo numérico a) perfil 1; b) perfil 2.

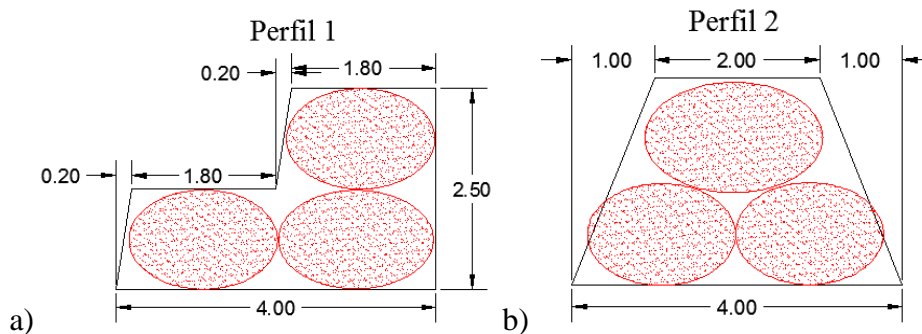


Figura 6.7 – Ilustração da disposição dos sacos de geotêxtil a) perfil 1; b) perfil 2.

Adotou-se para comprimentos do recife 30 metros e 70 metros, de modo a estudar a influência do comprimento do recife relativamente ao comprimento da linha de rebentação, caso esta ocorra.

Admitiu-se que o recife irá ser implementado de modo a garantir que para o nível médio de maré, o topo do recife está imerso dois metros (Figura 6.8). Por consequência e admitindo que a amplitude da maré seja de três metros, em Baixa-mar (Figura 6.9) o topo do recife está submerso 0.5 metros e em Preia-mar (Figura 6.10) está submerso 3.5 metros.

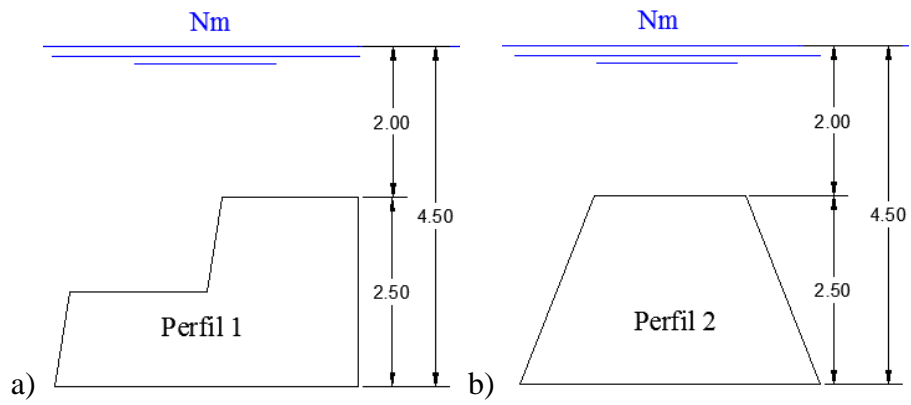


Figura 6.8 – Profundidade do recife com nível médio de maré para a) perfil 1; b) perfil 2.

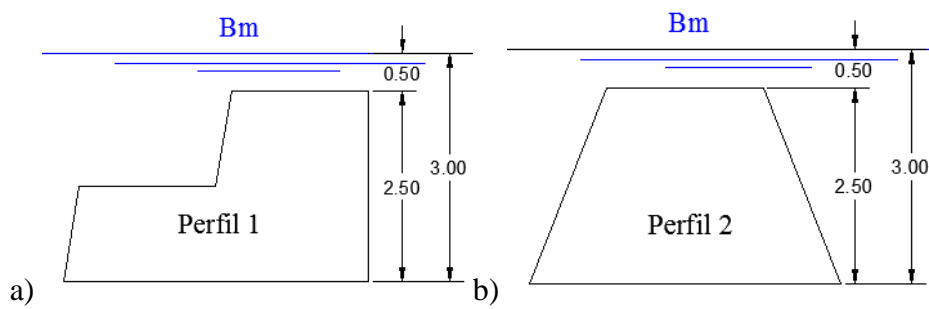


Figura 6.9 – Profundidade do recife em Baixa-mar para a) perfil 1; b) perfil 2.

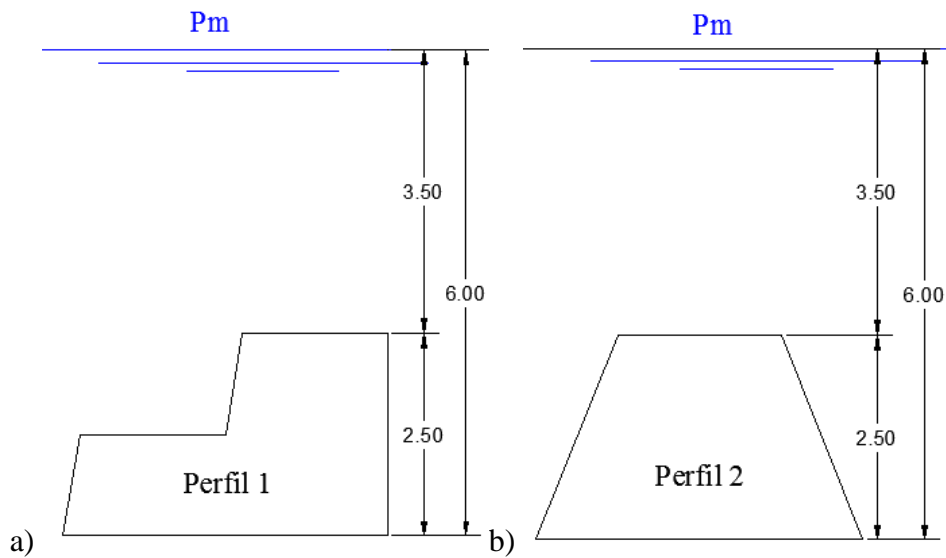


Figura 6.10 – Profundidade do recife em Preia-mar para a) perfil 1; b) perfil 2.

O recife é testado em duas posições. A primeira denominada de rotação com  $0^\circ$ , ou seja, considera o recife implantado de forma paralela à linha da costa (Figura 6.11a)). A segunda denominada de rotação de  $5^\circ$  que representa uma rotação do recife em torno do ponto R (Figura 6.11b)).

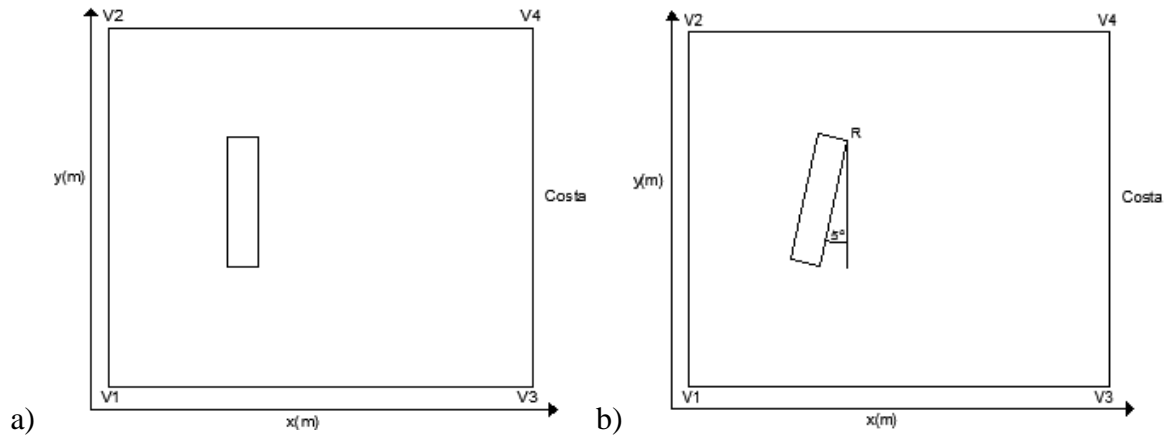


Figura 6.11 – Rotação do recife para a)  $0^\circ$ ; b)  $5^\circ$

### 6.2.1 - Batimetrias respectivas a cada perfil

A implementação do recife na batimetria da zona de estudo é apresentada nas Figura 6.13 e Figura 6.13. Considerou-se dois perfis, dois comprimentos e duas localizações. Assim, existem oito configurações distintas de recife (Figura 6.13) existindo ainda a batimetria sem recife (Figura 6.12), que irá servir de referência.

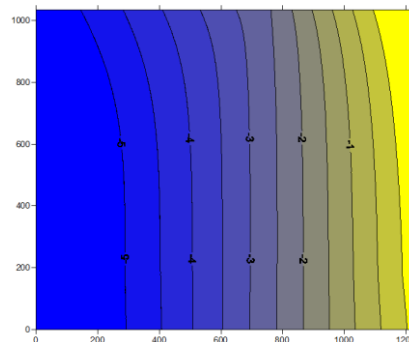


Figura 6.12 – Batimetria do domínio de cálculo em Nm na situação sem recife

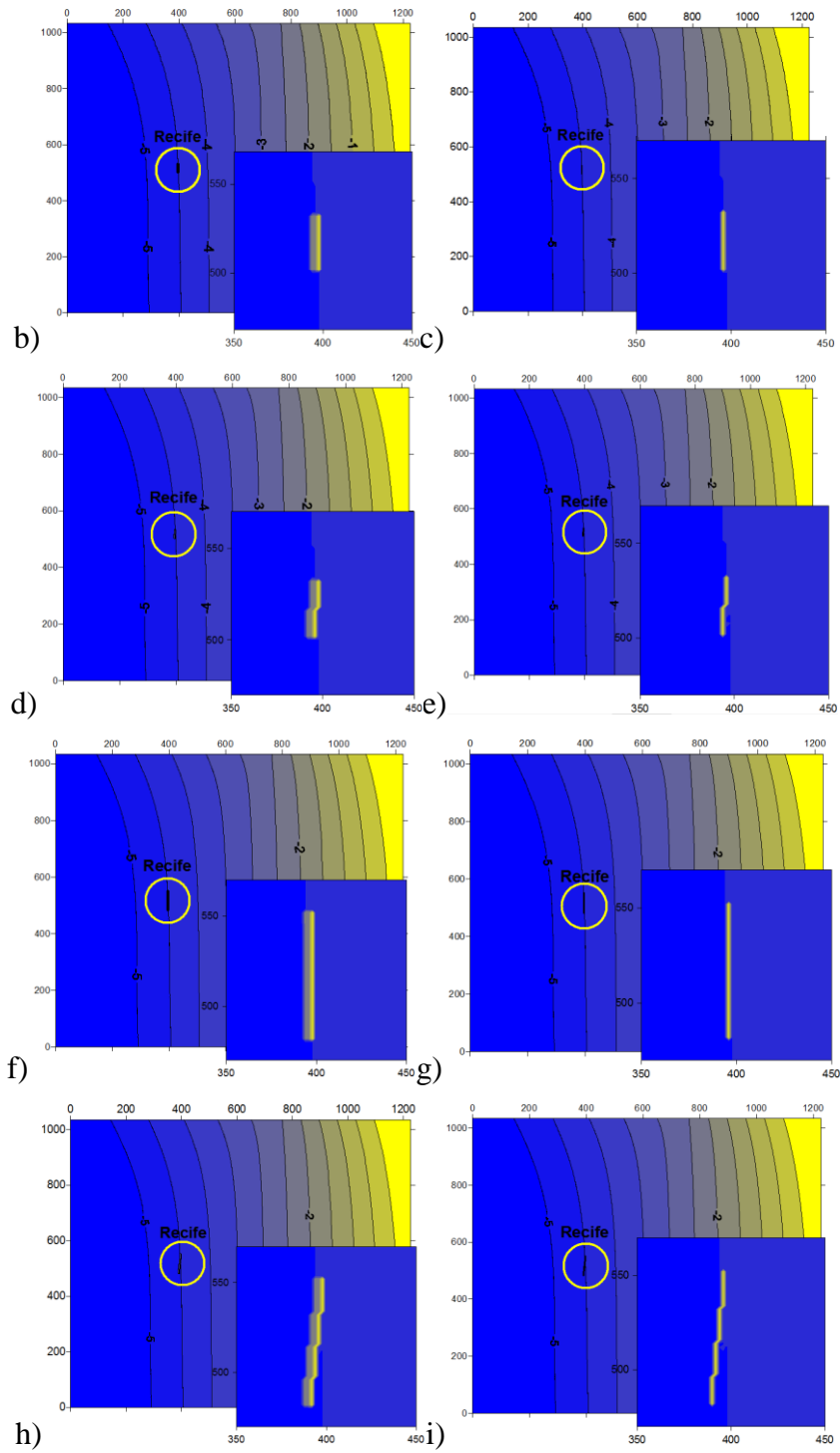


Figura 6.13 – Batimetria do domínio de cálculo em Nm na situação a) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; d) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; f) P2,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; g) P1,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$ ; h) P2,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$ .

## 6.3 - Aplicação do modelo COULWAVE

### 6.3.1 - Plano de aplicação do modelo

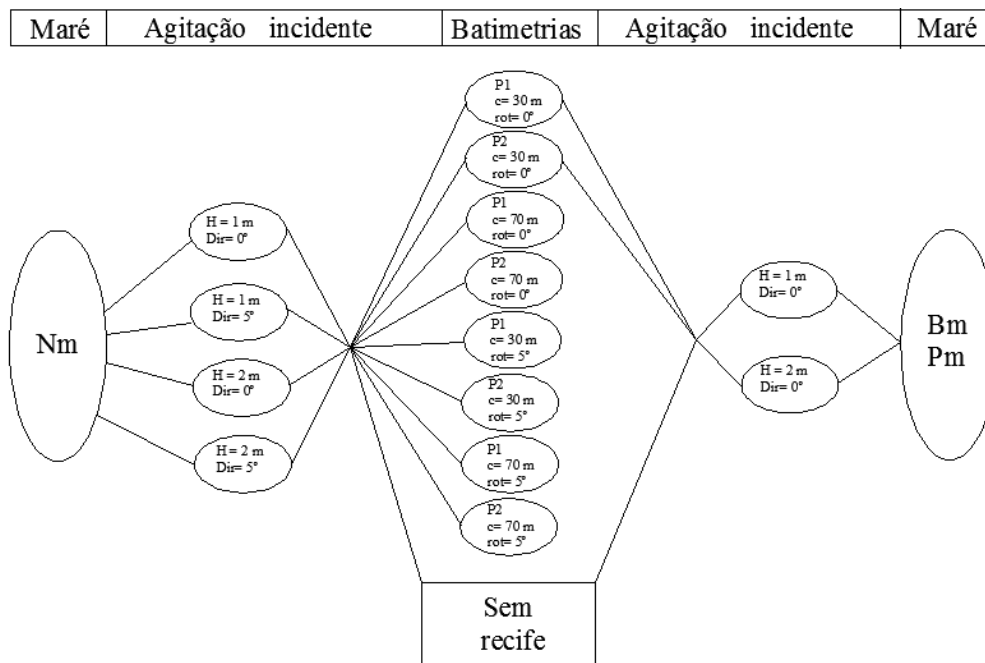


Figura 6.14 – Esquema referente às combinações a calcular pelo modelo numérico.

### 6.3.2 - Parâmetros e condições fixas

De seguida descrevem-se as principais condições impostas para correr o modelo numérico, para o caso de estudo

- *Surface wave simulation* – representa o tipo de resultados que se quer obter do modelo;
- *Finite volume solver* – representa o modo como o modelo produz os cálculos;
- *Sine wave evolution* – informação de que os cálculos irão ser feitos para ondas sinusoidais;

- *Sponge layer (left wall; right wall)* – representa as condições de fronteira. Para este caso é utilizado uma *sponge layer* na fronteira esquerda (entrada do domínio) e na fronteira direita (linha de costa).
- *Using transport-based breaking model* – Indica que o modelo numérico calcula a rebentação e que se baseia no modelo “transport-based breaking”
- *Bottom friction ignored* – Indicação que o modelo não tem em conta o atrito do fundo. Esta escolha teve como base a estabilidade do programa, em anexo é justificado a escolha desta condição.

De seguida, apresentam-se os principais parâmetros admitidos para correr o modelo numérico:

- *Simulation time in seconds* – 300 s, representa o tempo total que o modelo irá correr.
- *Time increment to write to file* – 1 s, representa o intervalo de tempo em que se quer obter resultados. Neste caso, o modelo escreve os resultados de segundo a segundo.
- *Number of grid points per wavelength* – 45, trata-se do número de pontos por comprimento de onda, para criar a malha de cálculo, ficheiros *xloc000.dat* e *yloc000.dat*)
- *Courant number  $u \cdot dt/dx$*  – 0.25, o número de Courant é um número adimensional resultante da razão entre o produto da magnitude da velocidade de onda e o intervalo de tempo, pelo intervalo de espaço, neste caso, da malha de cálculo. Em termos de significado prático pode-se afirmar que o número de Courant representa a precisão de cálculo. Quanto menor este número for maior precisão e sensibilidade os cálculos irão ter.
- *Width of sponge layer, in wavelength* – 0.5, representa a espessura da fronteira absorvedora (dada pela percentagem do comprimento de onda).

Em anexo, encontram-se descritos os significados de todos os parâmetros e condições que são possíveis de escolher na interface do modelo numérico, bem como a justificação para cada um que foi usado.

### 6.3.3 - Parâmetros variáveis

Os parâmetros a variar em cada cálculo do modelo numérico podem ser classificados em dois grupos: variação das condições de agitação incidente à entrada do domínio e a variação da batimetria respetiva a cada perfil.

Relativamente ao primeiro grupo a primeira condição a variar é a altura de onda incidente na entrada do domínio, denominado, pelo modelo, como “*wave height*”, tendo valores de 1 m e 2 m; a segunda condição a alterar será “*incident angle of waves*”, que representa a direção das ondas incidentes, Dir, tendo valores de 0° e -5° ilustrado no capítulo 6.1.3.

Relativamente às variações de batimetria, irá ser variado em primeiro lugar o ficheiro referente a cada batimetria. Existindo 2 perfis, 2 rotações, 2 comprimentos, mais uma batimetria referente à situação sem recife, obtém-se no total 9 batimetrias distintas a serem testadas,  $(2 \times 2 \times 2 + 1 = 9)$ . Com isto ainda é necessário adicionar as batimetrias referentes a Baixa-mar, BM, e Preia-mar, PM, que irão ser analisadas sem recife e nos dois perfis de recife, porém apenas uma rotação ( $\text{rot} = 0^\circ$ ) e apenas um comprimento ( $c = 30$  m), fazendo um total de 4 batimetrias distintas (2 níveis de maré x 2 perfis). Adicionando às situações de sem recife para BM e PM, obtém-se no total 6 batimetrias. Fazendo um total de 15 batimetrias distintas.

Relativamente ao modelo numérico existem 2 parâmetros que terão de ser alterados de cada vez que o nível de maré é alterado:

- “Initial/characteristic depth”, o qual diz respeito à profundidade na entrada do domínio que é de 3.81 m para BM, 5.31 m para NM e 6.81 m para PM;
- “sine wavelenght” que representa o comprimento da onda incidente à entrada do domínio, que é inserido no modelo por meio de iterações lineares baseadas na seguinte fórmula do comprimento de onda (L) que pode ser obtido em função da profundidade (d) e do período de onda (T), equação (4):

$$L = \frac{gT^2}{k} \tanh \frac{(2\pi d)}{L} \quad (4)$$

O objetivo é inserir os valores de comprimento de onda de modo a que o período resultante seja aproximadamente, de 10 s . Após as iterações, os valores de comprimento de onda obtidos foram de:

- 60 m para Bm;
- 70 m para Nm;
- 78 m para Pm.

#### 6.3.4 - Resultados

Os resultados obtidos pelo modelo numérico apresentam-se em formato *.dat*, sendo alguns deles encriptados em binário, necessitando, por isso, de ser traduzidos com auxílio de programação em linguagem Fortran e com a ferramenta de cálculo MATLAB; outros são escritos em *ascii*, pelo que é possível a sua consulta direta com um leitor de texto tipo bloco de notas. Os resultados obtidos podem ser divididos em dois grupos: resultados principais e os resultados secundários ou meramente informativos. Segue-se a lista desses resultados com uma breve descrição dos mesmos:

Resultados principais:

- *blvs.dat* – Áreas de rebentação da onda em todo o domínio e em todos os instantes de cálculo em que se declarou pretender conhecer os resultados (ficheiro encriptado em binário);
- *velo000.dat* – Componentes das velocidades *u* e *v* em todo o domínio e em todo o intervalo de tempo (ficheiro encriptado em binário);
- *zeta000.dat* – Elevação da superfície livre em todo o domínio e em todo o intervalo de tempo (ficheiro encriptado em binário).

Resultados secundários:

- *dpth000.dat* – Profundidade em todo o domínio (ficheiro encriptado em binário);
- *prog.dat* – Guarda todos os passos de cálculo efetuados pelo modelo, que também são visíveis quando o programa é executado via linha de comandos. (ficheiro *ascii*);
- *time.dat* – Indica todos os instantes de tempo onde o modelo regista os resultados principais, atrás mencionados;
- *xloc000.dat* – Corresponde aos valores da malha em *x* onde o modelo calculou os resultados principais;
- *yloc000.dat* – Corresponde aos valores da malha em *y* onde o modelo calculou os resultados principais.

## 7 - RESULTADOS

### 7.1 - Introdução

Os resultados obtidos para todas as diferentes combinações da geometria do recife (perfil transversal, comprimento, rotação) e condições de agitação incidente são trabalhados com o auxílio da ferramenta de cálculo e programação MATLAB. São apresentados os seguintes resultados:

- $H_s$  – altura de onda significativa. Este resultado será apresentado em planta com um esquema de cores e através de um gráfico que representa a altura significativa num corte do resultado anterior em  $y = 517$  m (linha que intercepta o recife). Nos casos onde existe recife é apresentado apenas uma porção do domínio (compreendido em  $250 \text{ m} < x < 550 \text{ m}$  e  $400 \text{ m} < y < 700 \text{ m}$ ) para ser mais fácil de analisar a influência do recife, caso ocorra. Nos casos onde não existe recife é apresentado a altura significativa em todo o domínio e uma ampliação da zona onde é implementado o recife.  $H_s$  é medido em metros (m);
- $U_{\max}$  – Componente da velocidade, máxima média de onda na direção de propagação da onda, medida em metros por segundo ( m/s);
- $LR_m$  - Linha de Rebentação média apresentada em todo o domínio de cálculo;

Para simplificar a leitura dos resultados opta-se pela utilização da seguinte simbologia:

- $T_i$ : período médio incidente;
- $H_{si}$ : altura de onda significativa incidente;
- $Dir_i 0^\circ$ : direção média incidente igual a  $0^\circ$  no sentido horário;
- $Dir_i 5^\circ$ : direção média incidente igual a  $5^\circ$  no sentido horário;
- $c30$ : comprimento de recife igual a 30 metros;
- $c70$ : comprimento de recife igual a 70 metros;
- $rot 0^\circ$ : rotação de recife igual a  $0^\circ$  no sentido horário;
- $rot 5^\circ$ : rotação de recife igual a  $5^\circ$  no sentido horário;
- P1: Recife de perfil 1;
- P2: recife de perfil 2.

A análise comparativa é efetuada para:

- a) os parâmetros  $H_s$ ,  $U_{\max}$ ,  $LR_m$

Nm, H<sub>si</sub>=1 m e T<sub>j</sub>=10 s, Dir<sub>i</sub>0°.

- Comparação entre c30 e c70 para: P1 com rot0° e sem recife;
- Comparação entre rot0° e rot5° para: P1 com c30 e sem recife;
- Comparação entre P1 e P2 para: c30 com rot0° e sem recife.

Nm, H<sub>si</sub>=1 m e T<sub>j</sub>=10 s, Dir<sub>i</sub>5°.

- Comparação entre c30 e c70 para: P1 com rot0° e sem recife;
- Comparação entre rot0° e rot5° para: P1 com c30 e sem recife;
- Comparação entre P1 e P2 para: c30 com rot0° e sem recife.

Nm T<sub>j</sub>=10 s, Dir<sub>i</sub>=0°, perfil 1,rot0°

- Comparação entre H<sub>si</sub>=1 m e H<sub>si</sub>=2 m para P1 com c30 m e rot0° e sem recife.

b) para os parâmetros H<sub>s</sub>, LR<sub>m</sub>,

- Comparação entre Nm, Bm e Pm para: P1 com c30, rot0° e sem recife.

## **7.2 - Resultados para NM, H<sub>si</sub>=1 m e T<sub>i</sub>=10 s, dir<sub>i</sub>0°**

Apresentam-se as seguintes comparações:

- Comparação entre c30 e c70 para: P1 com rot0° e sem recife;
- Comparação entre rot0° e rot5° para: P1 com c30 e sem recife;
- Comparação entre P1 e P2 para: c30 com rot0° e sem recife.

### **7.2.1 - Altura de onda**

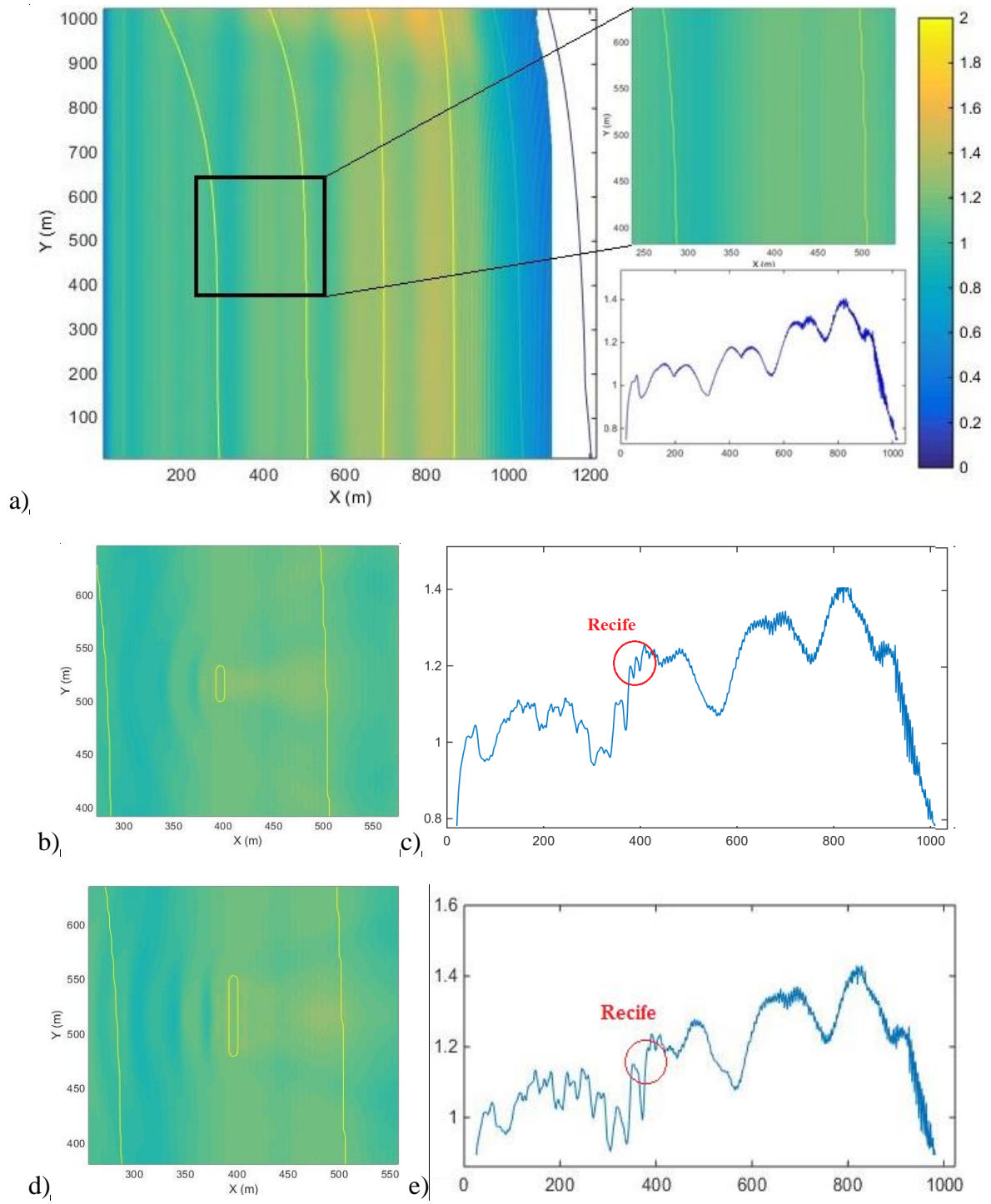


Figura 7.1 –  $H_s$  para Nm,  $H_{si}=1$  m,  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) 2D em  $y=518$  m d) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; e) 2D em  $y=518$  m

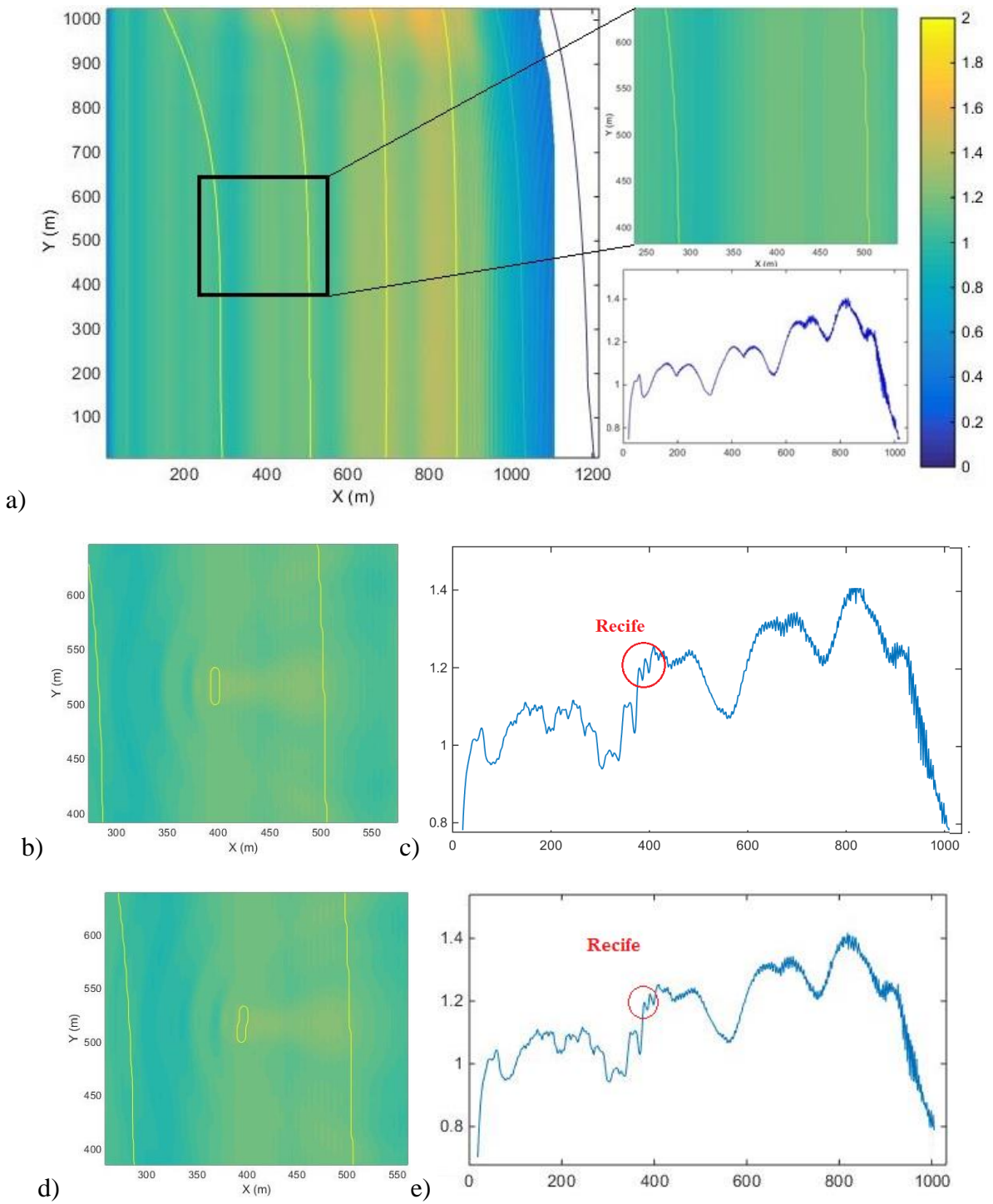


Figura 7.2 –  $H_s$  para Nm,  $H_{si}=1$  m,  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) 2D em  $y=518$  m; e) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; f) 2D em  $y=518$  m

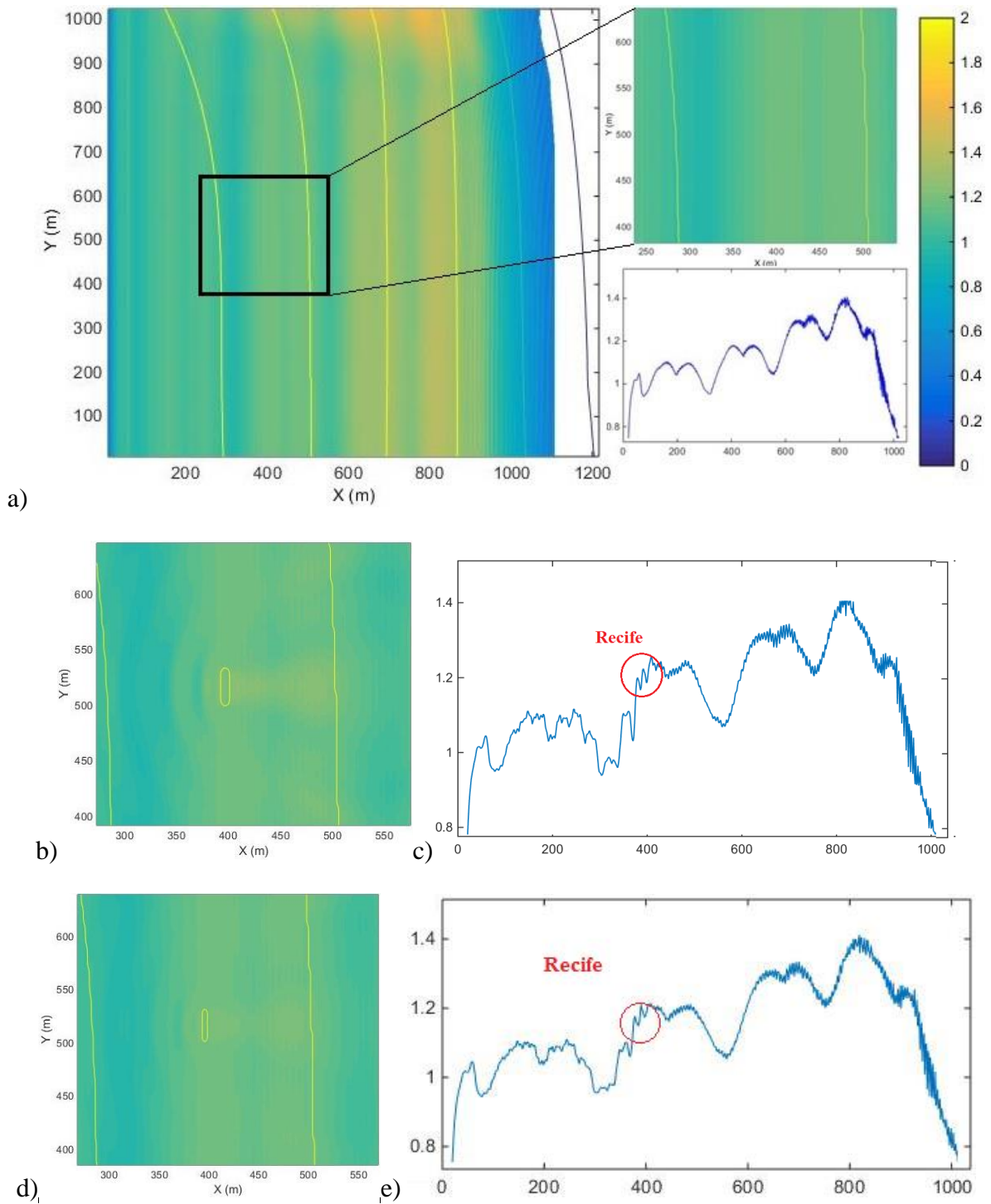


Figura 7.3 –  $H_s$  para Nm,  $H_{si}=1$  m,  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) 2D em  $y=518$  m; d) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; e) 2D em  $y=518$  m

## 7.2.2 - Velocidade máxima

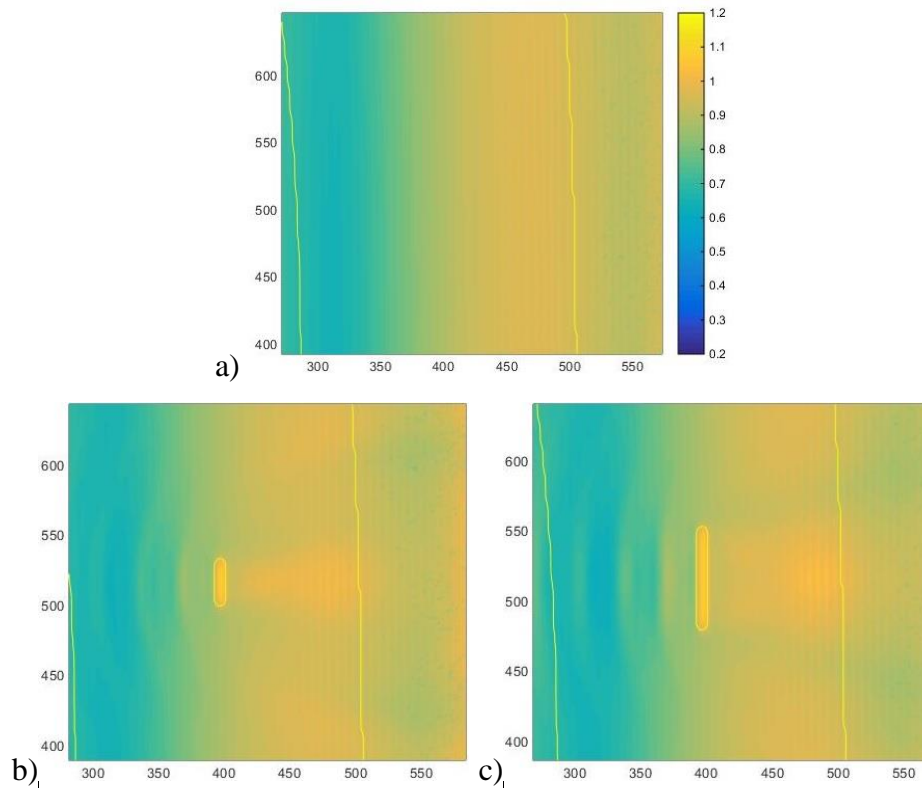


Figura 7.4 –  $U_{\max}$  para Nm,  $H_{si}=1$  m,  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ;

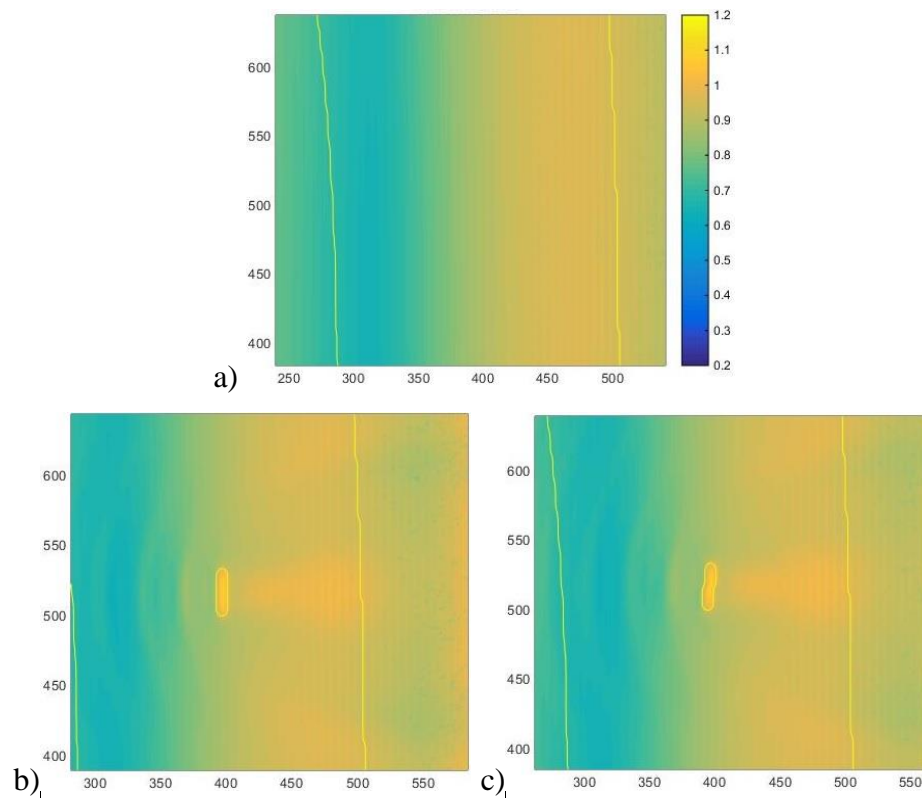


Figura 7.5 –  $U_{\max}$  para Nm,  $H_{si}=1$  m,  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$

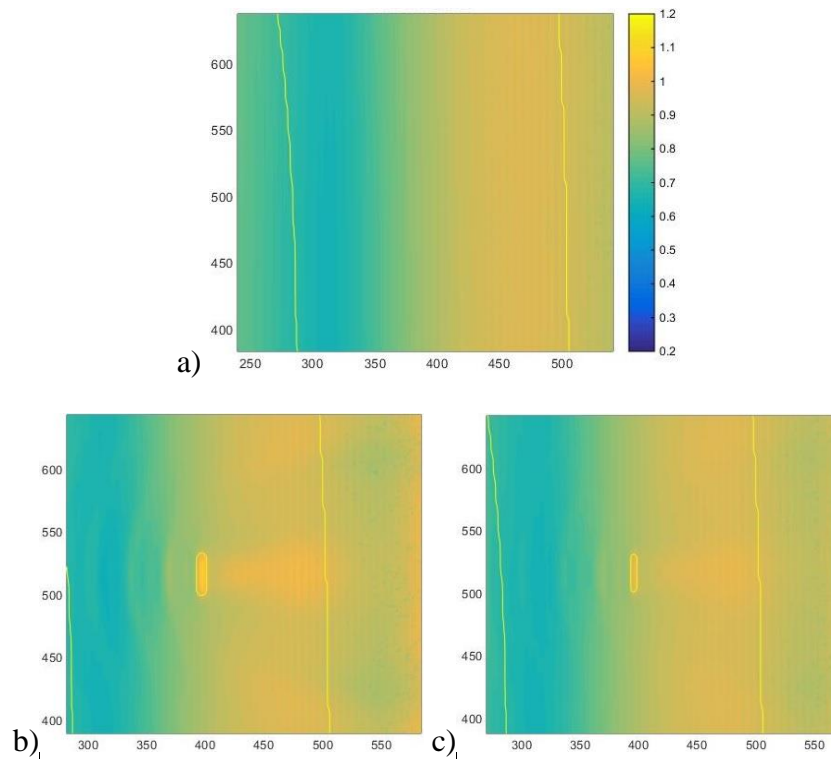


Figura 7.6 –  $U_{\max}$  para  $N_m$ ,  $H_{si}=1$  m,  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$

### 7.2.3 - Linha de rebentação média

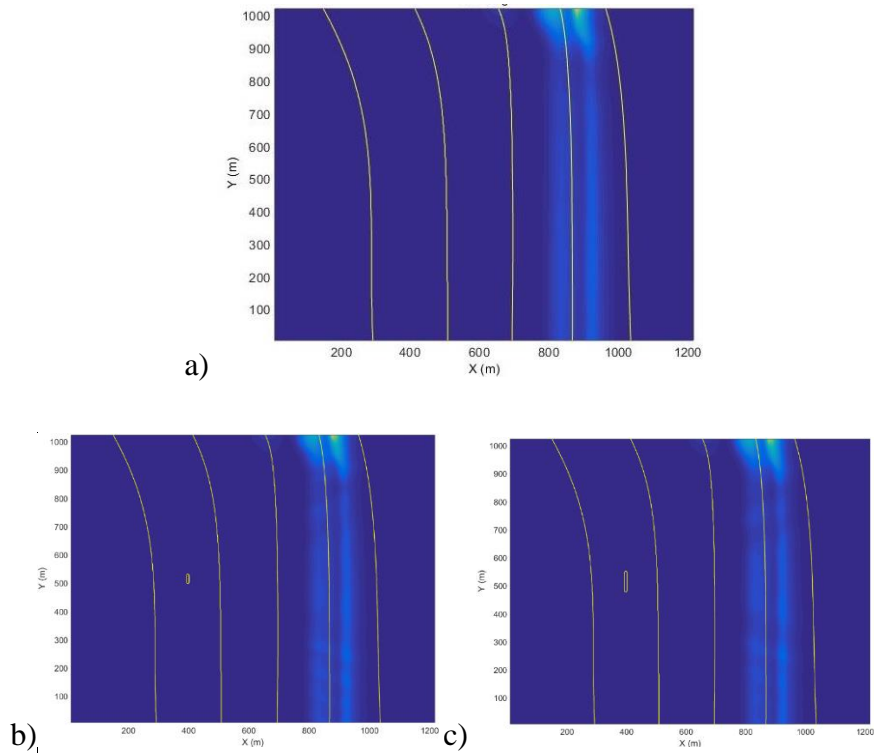


Figura 7.7 – LR para Nm,  $H_{si}=1$  m,  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ;

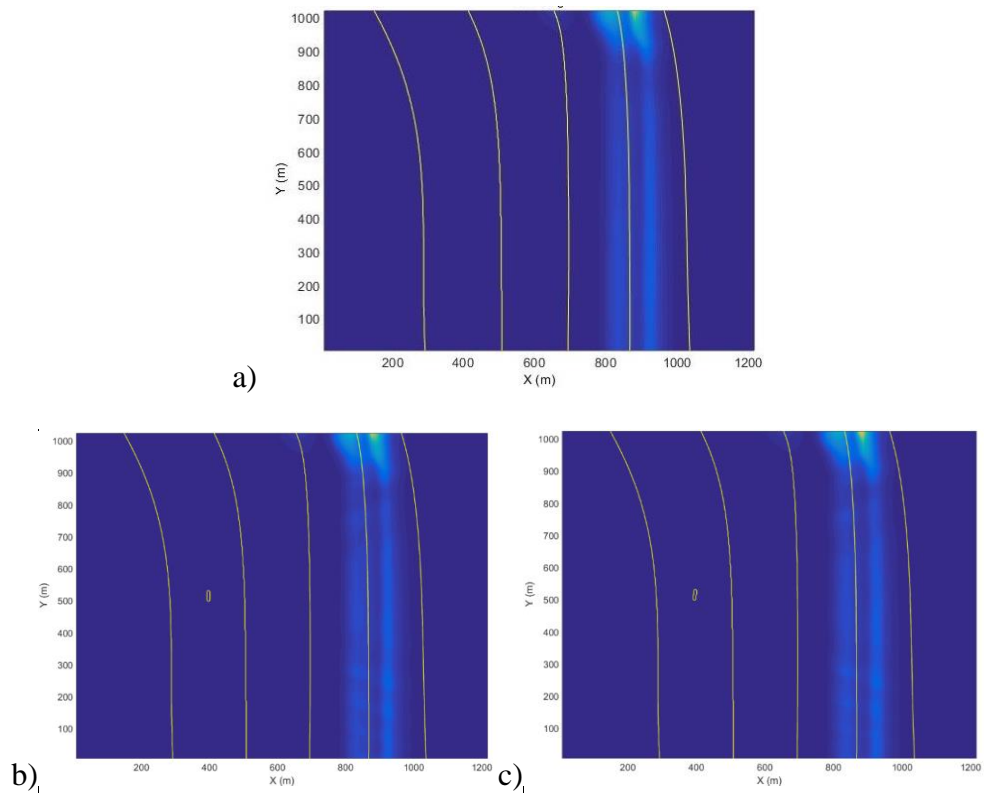


Figura 7.8 - LR para Nm,  $H_{si}=1$  m,  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$

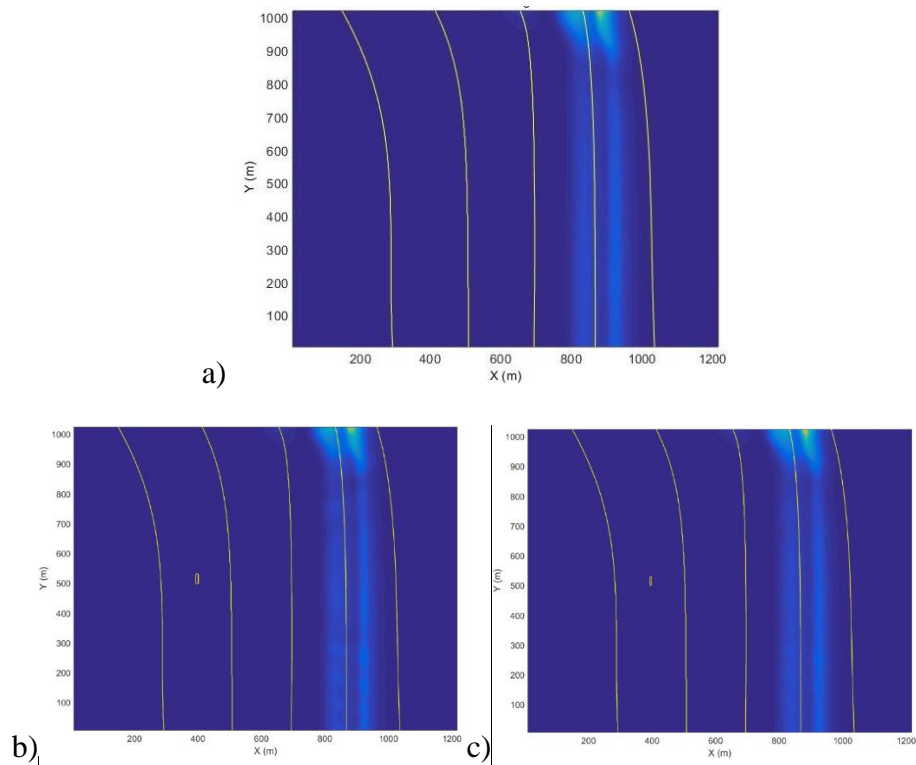


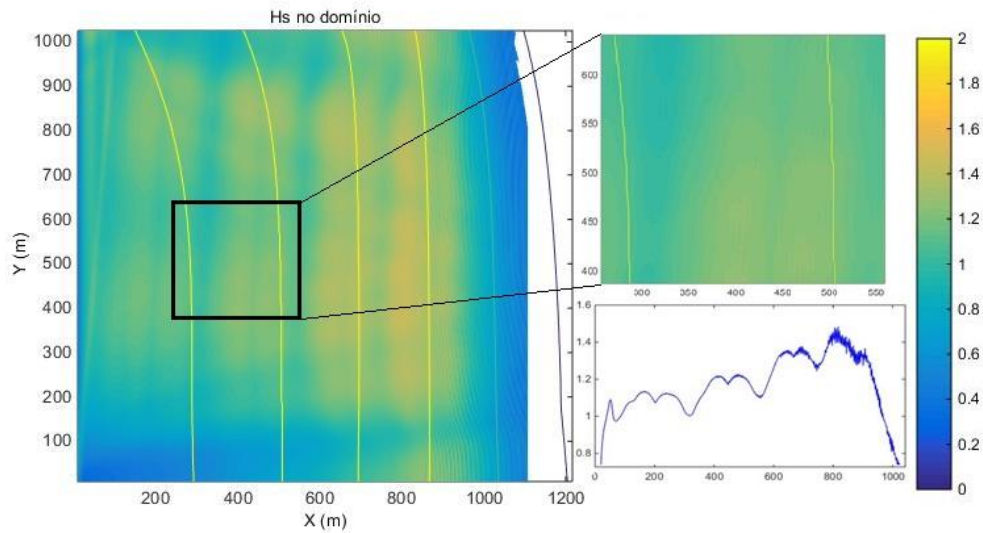
Figura 7.9 – LR para  $N_m$ ,  $H_{si}=1$  m,  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$

### 7.3 - Resultados para NM, $H_{si}=1$ m e $T_i=10$ s, $dir_i 5^\circ$

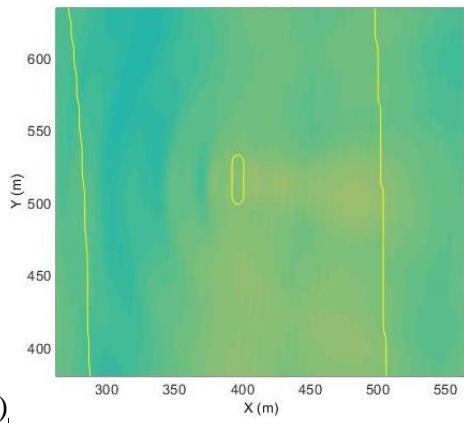
Apresentam-se as seguintes comparações:

- Comparação entre tamanhos 30 e 70 m, para perfil 1,  $rot 0^\circ$  e sem recife
- Comparação entre rotações 0 e 5, tamanho 30 m para perfil 1 e sem recife
- Comparação perfil 1 e perfil 2 (tamanho 30, rotação 0) e sem recife

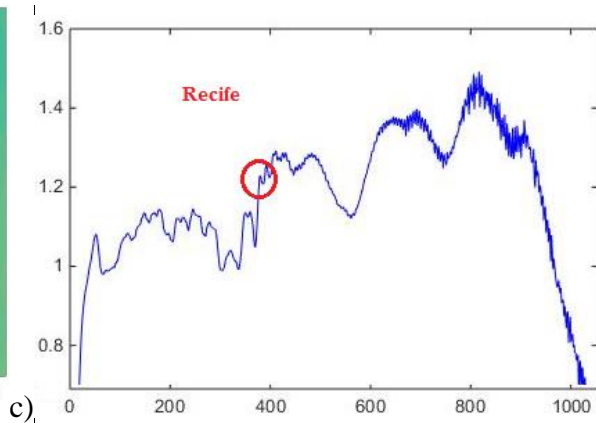
#### 7.3.1 - Altura de onda



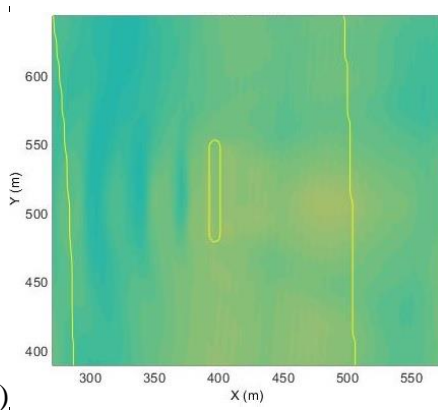
a),



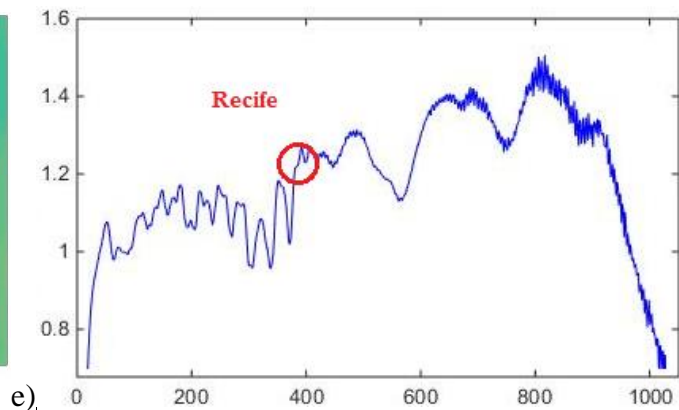
b),



c),



d),



e),

Figura 7.10 –  $H_s$  para Nm,  $H_{si}=1$  m,  $T_i=10$  s,  $Dir_i=5^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ;

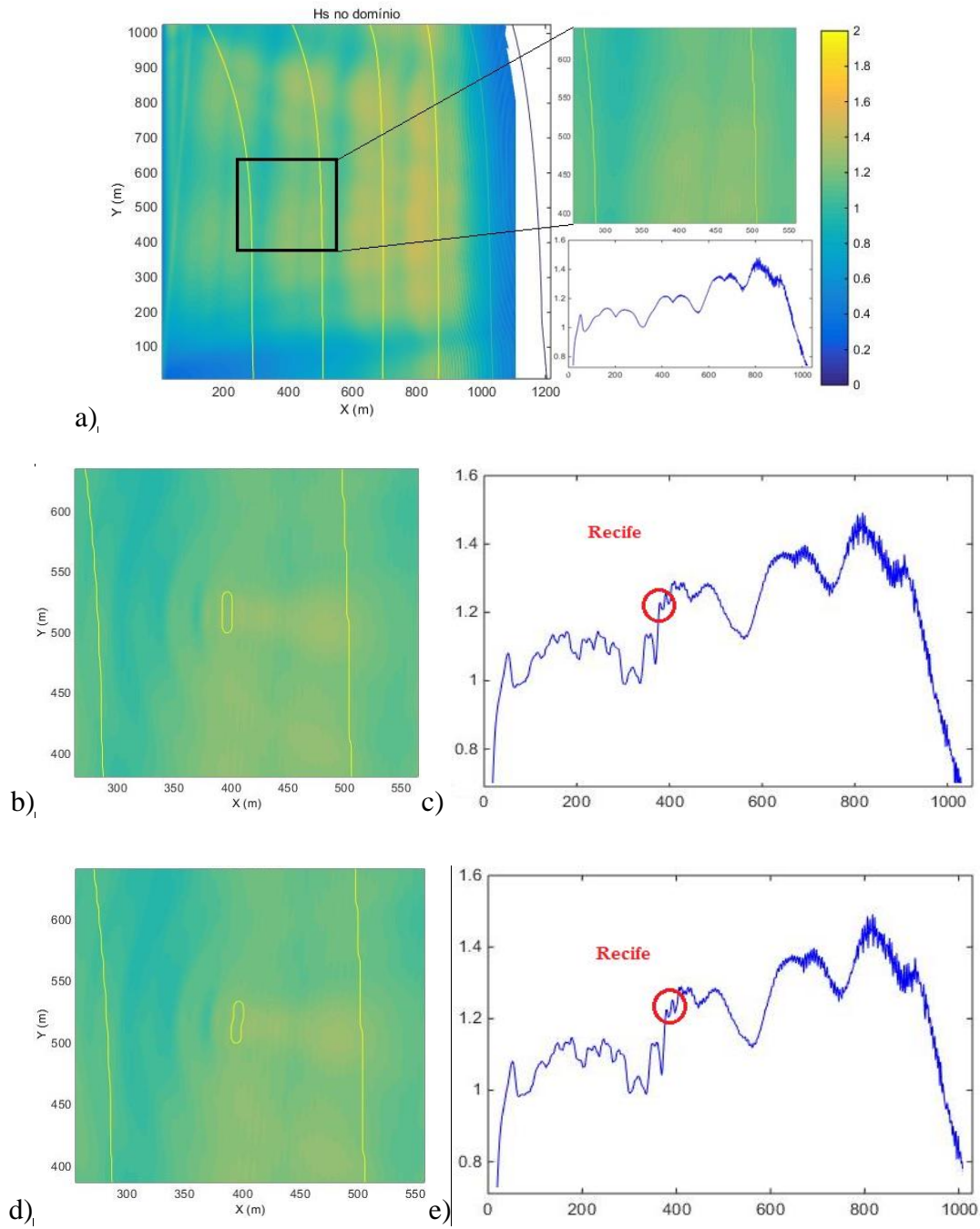
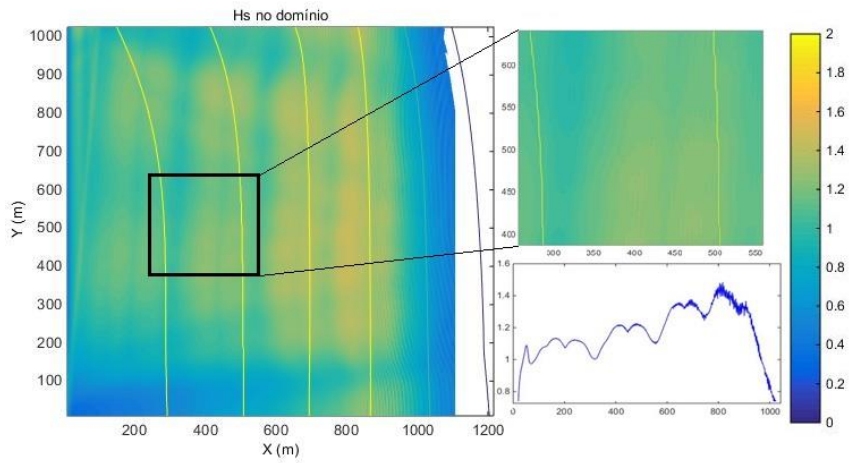
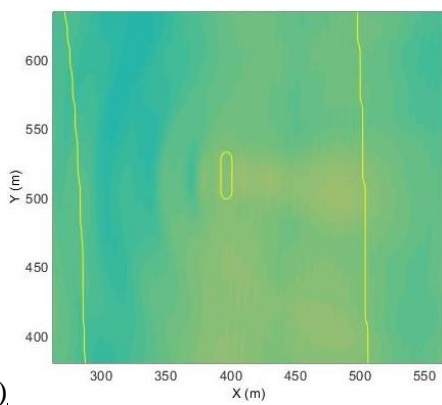


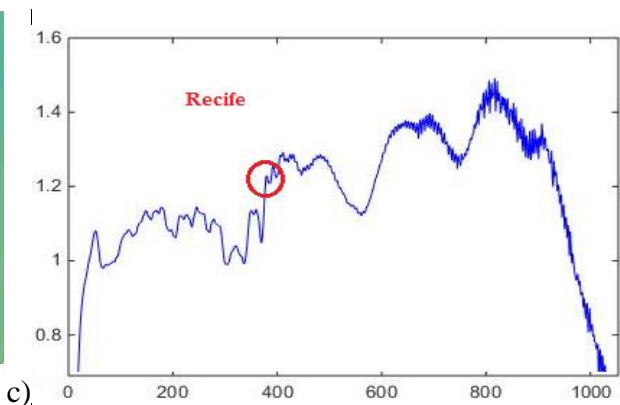
Figura 7.11 –  $H_s$  para Nm,  $H_{si}=1$  m,  $T_i=10$  s,  $Dir_i=5^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$



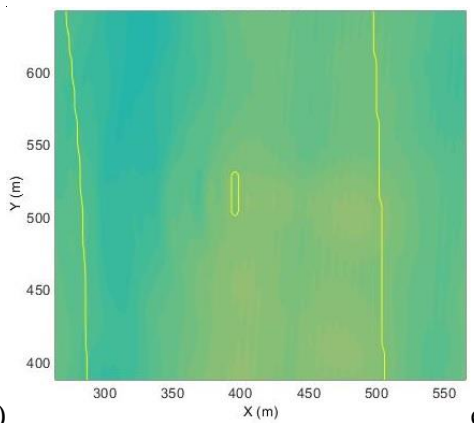
a)



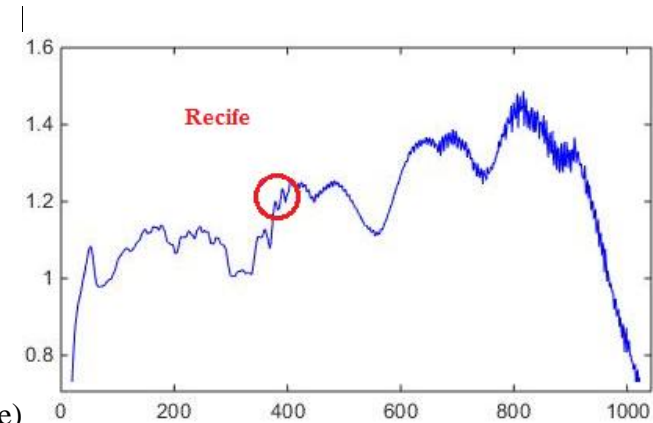
b)



c)



d)



e)

Figura 7.12 –  $H_s$  para Nm,  $H_{si}=1$  m,  $T_i=10$  s,  $Dir_i=5^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$

### 7.3.2 - Velocidade máxima

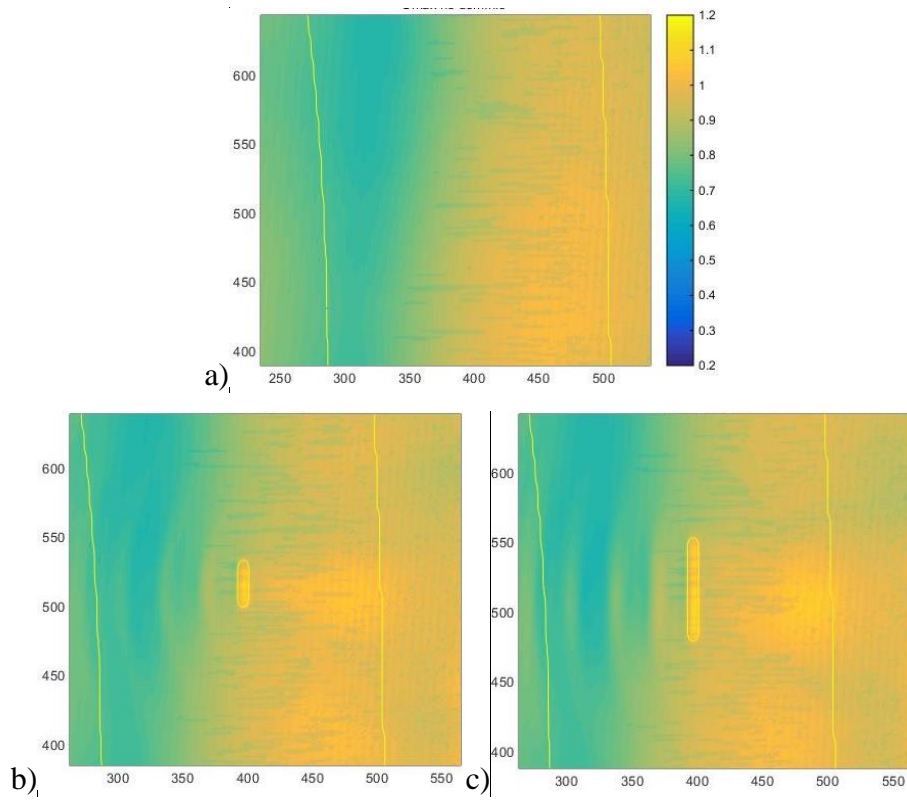


Figura 7.13 –  $U_{max}$  para Nm,  $H_{si}=1$  m,  $T_i=10$  s,  $Dir_i=5^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ;

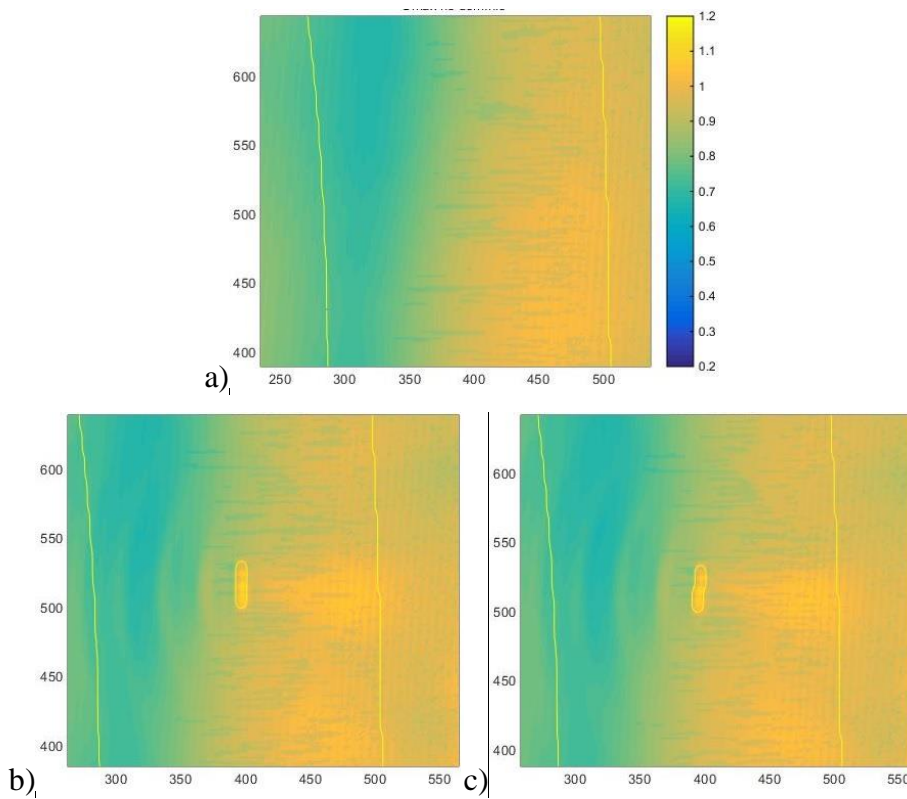


Figura 7.14 –  $U_{max}$  para Nm,  $H_{si}=1$  m,  $T_i=10$  s,  $Dir_i=5^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$

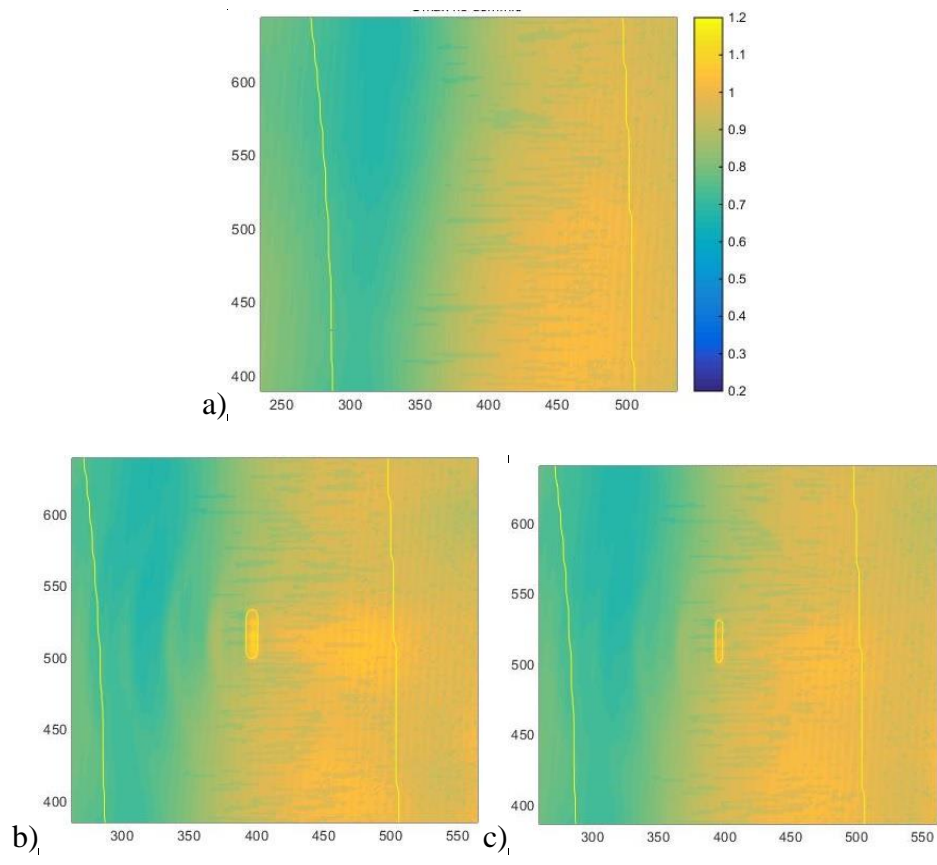


Figura 7.15 –  $U_{max}$  para  $Nm$ ,  $H_{si}=1$  m,  $T_i=10$  s,  $Dir_i=5^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$

### 7.3.3 - Linha de rebentação

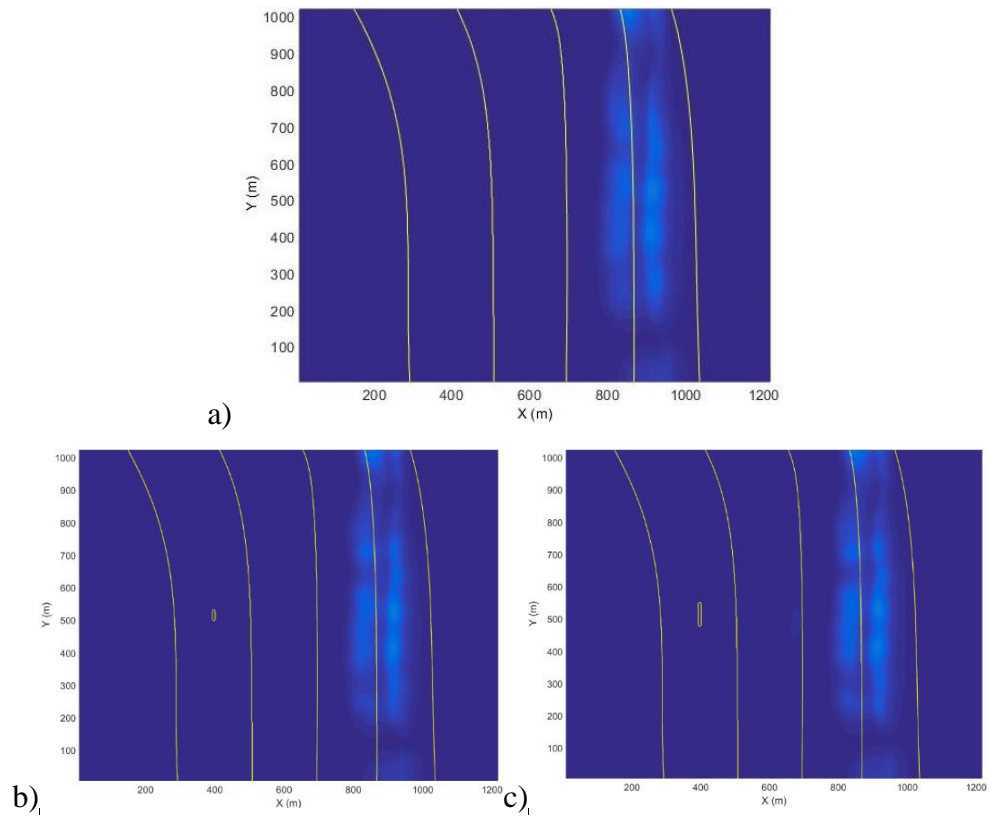


Figura 7.16 – LR para  $N_m$ ,  $H_{si}=1$  m,  $T_i=10$  s,  $Dir_i=5^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ;

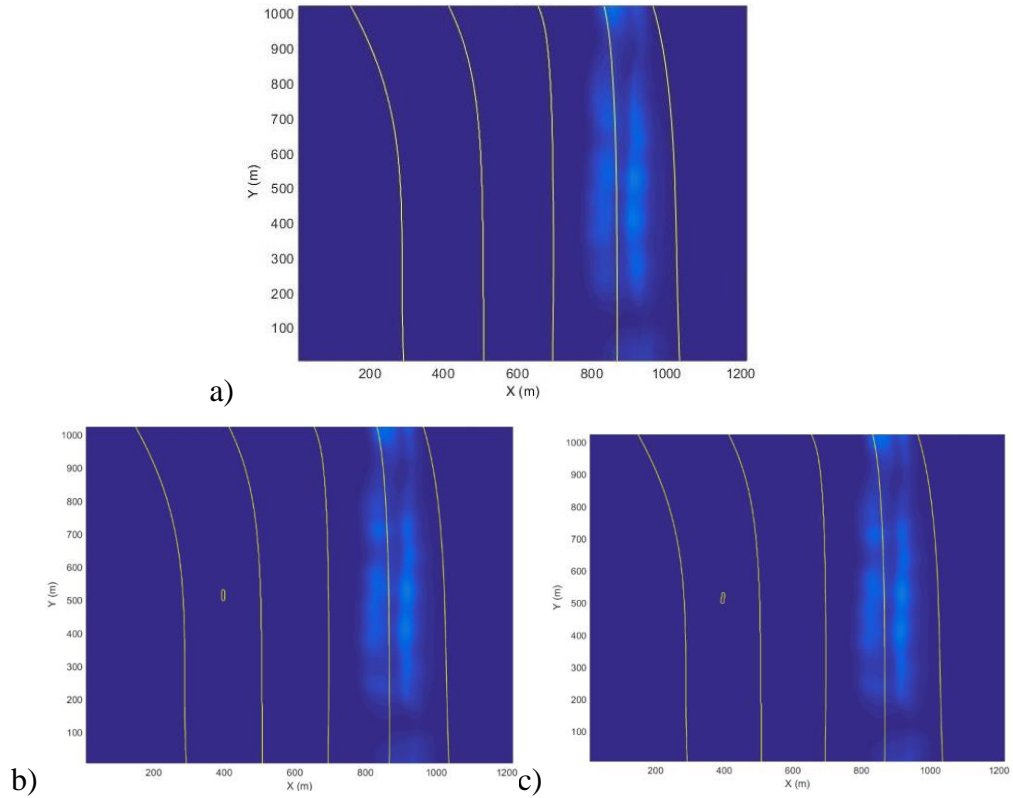


Figura 7.17 - LR para  $N_m$ ,  $H_{si}=1$  m,  $T_i=10$  s,  $Dir_i=5^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$

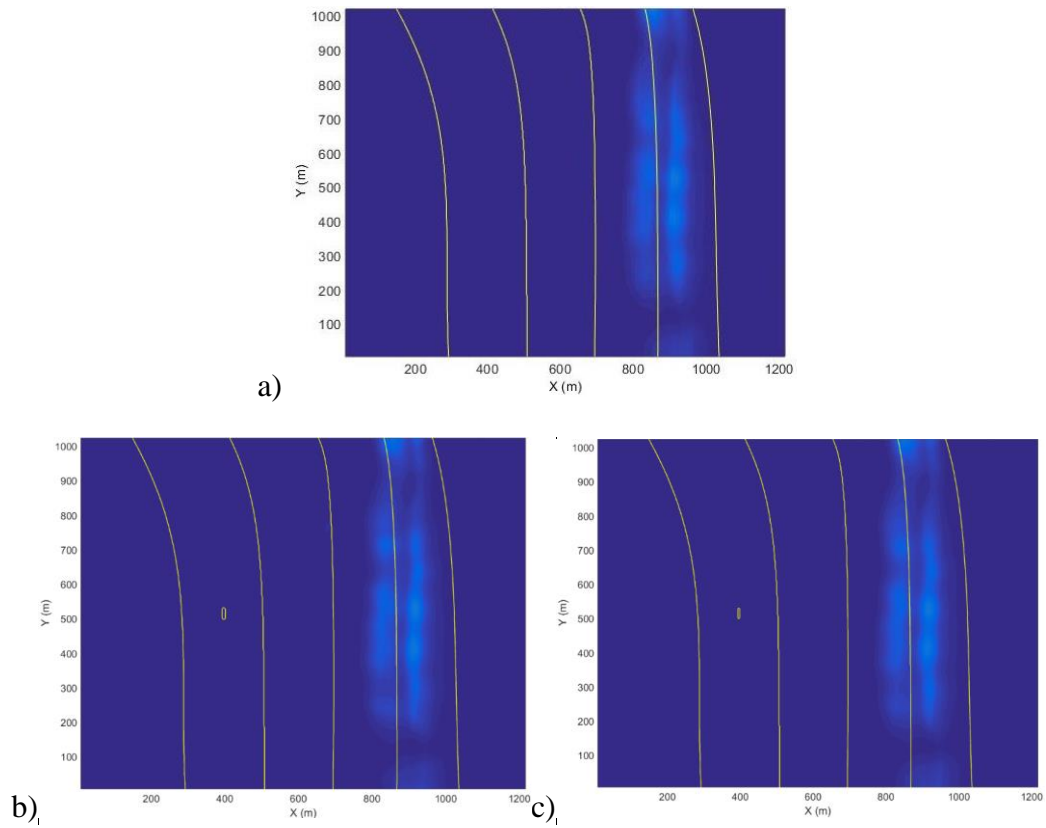


Figura 7.18 – LR para  $N_m$ ,  $H_{si}=1$  m,  $T_i=10$  s,  $Dir_i=5^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$

#### 7.4 - Resultados para NM, $T_i=10$ s, $dir_i$ $0^\circ$ ( $H_{si}=1$ m & 2 m)

Apresentam-se as seguintes comparações:

- Comparação entre  $H_{si}=1$  m e  $H_{si}=2$  m para perfil 1, tamanho 30 m e  $rot=0$  e sem recife

##### 7.4.1 - Altura de onda

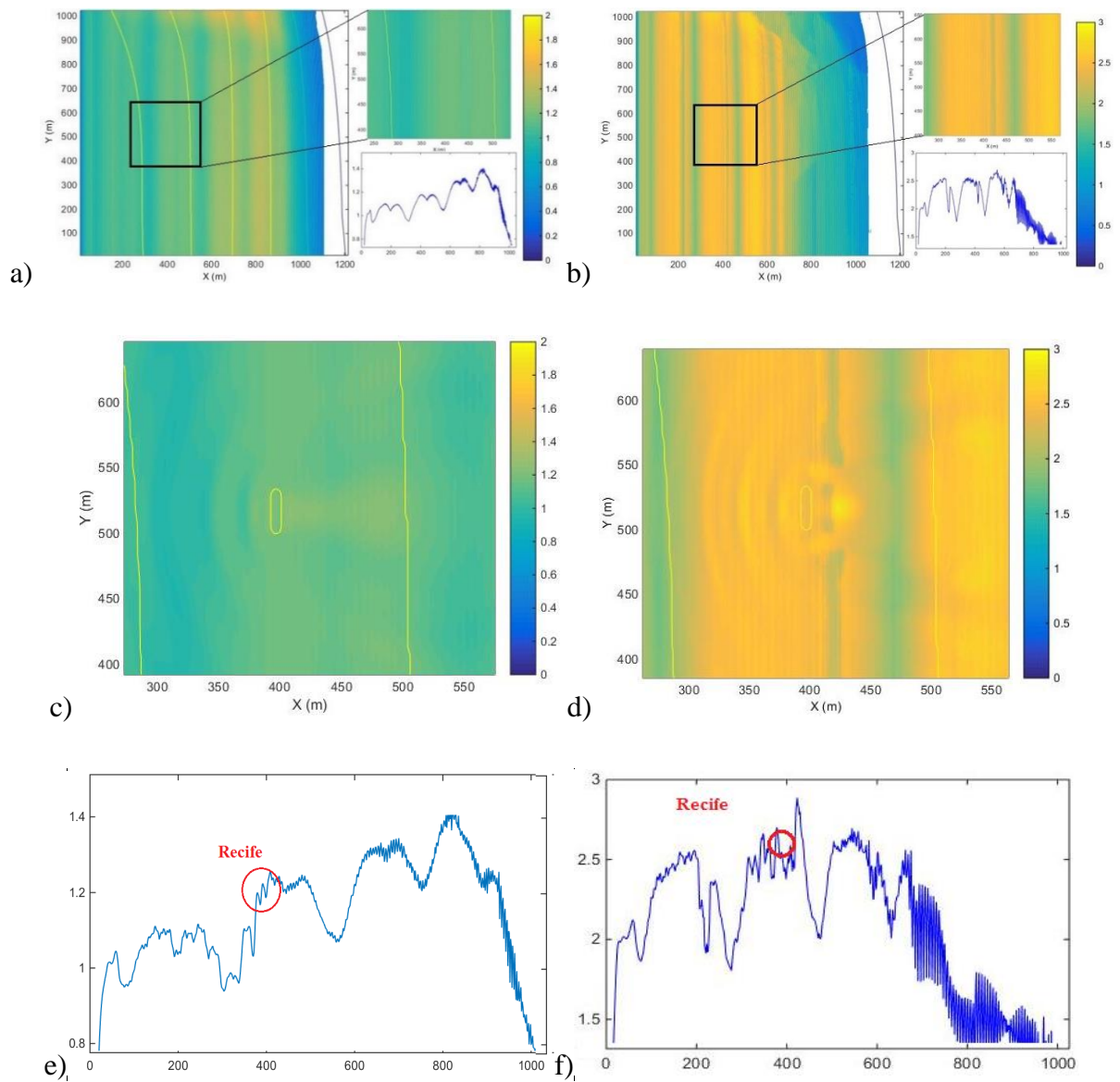


Figura 7.19 –  $H_s$  para  $N_m$ ,  $Dir_i=0^\circ$  a)  $H_{si}=1$  m, sem recife; b)  $H_{si}=2$  m, sem recife; c)  $H_{si}=1$  m, P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$  d)  $H_{si}=2$  m, P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$  e) em  $y=517$  para  $H_{si}=1$  m, P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$  f) em  $y=517$  para  $H_{si}=2$  m, P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$

#### 7.4.2 - Velocidade máxima

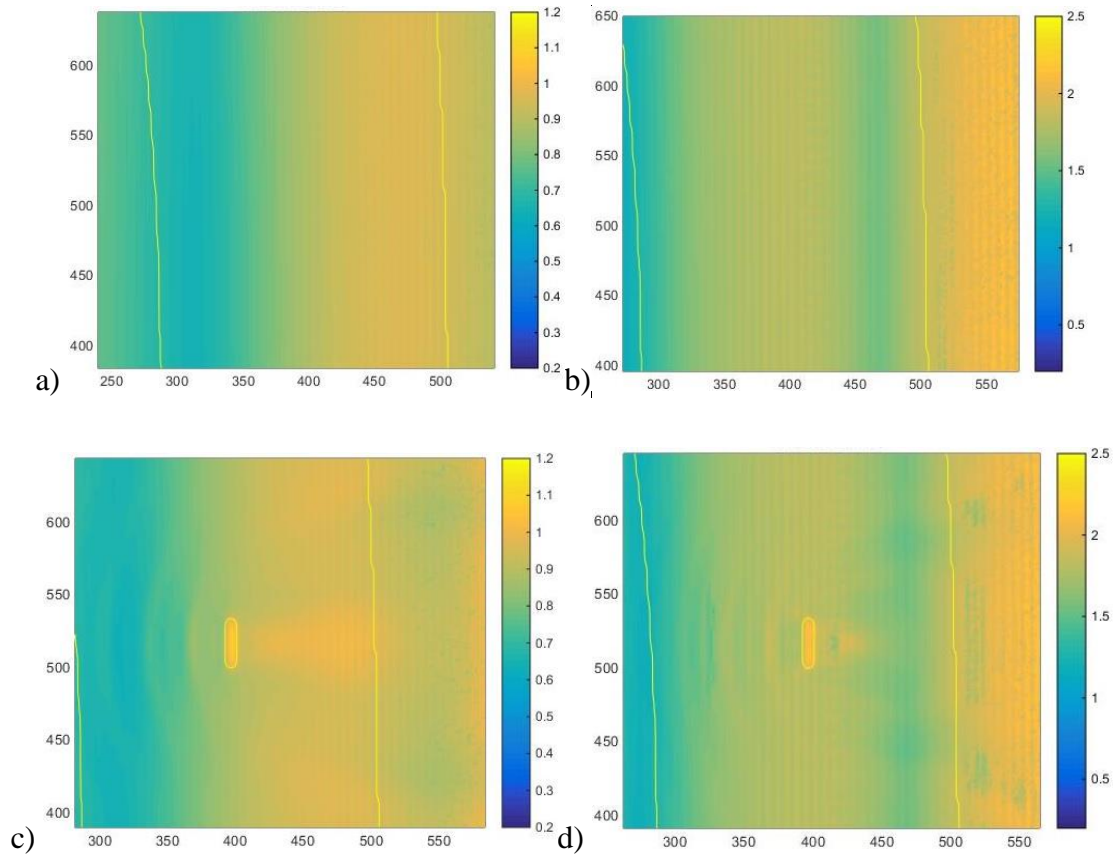


Figura 7.20 –  $U_{max}$  para Nm,  $Dir_i=0^\circ$  a)  $H_{si}=1$  m, sem recife; b)  $H_{si}=2$  m, sem recife; c)  $H_{si}=1$  m, P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$  d)  $H_{si}=2$  m, P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$

#### 7.4.3 - Linha de rebentação média

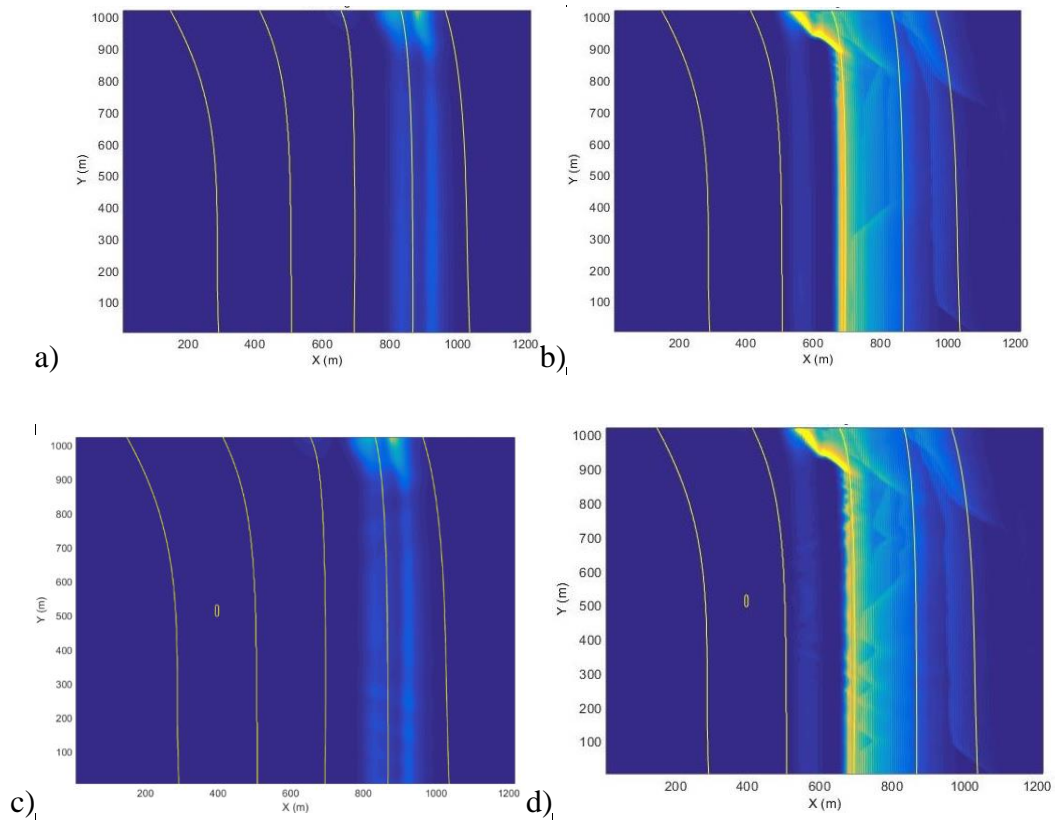


Figura 7.21 – LR para Nm,  $Dir_i=0^\circ$  a)  $H_{si}= 1$  m, sem recife; b)  $H_{si}= 2$  m, sem recife; c)  $H_{si}= 1$  m, P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$  d)  $H_{si}= 2$  m, P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$

### 7.5 - Resultados para Nm, Bm e Pm, $T_i=10$ s, $dir_i 0^\circ$

Apresentam-se as seguintes comparações:

- Comparação entre NM, BM e PM, tamanho 30, perfil 1  $rot=0^\circ$  e sem recife

### 7.5.1 - Altura de onda

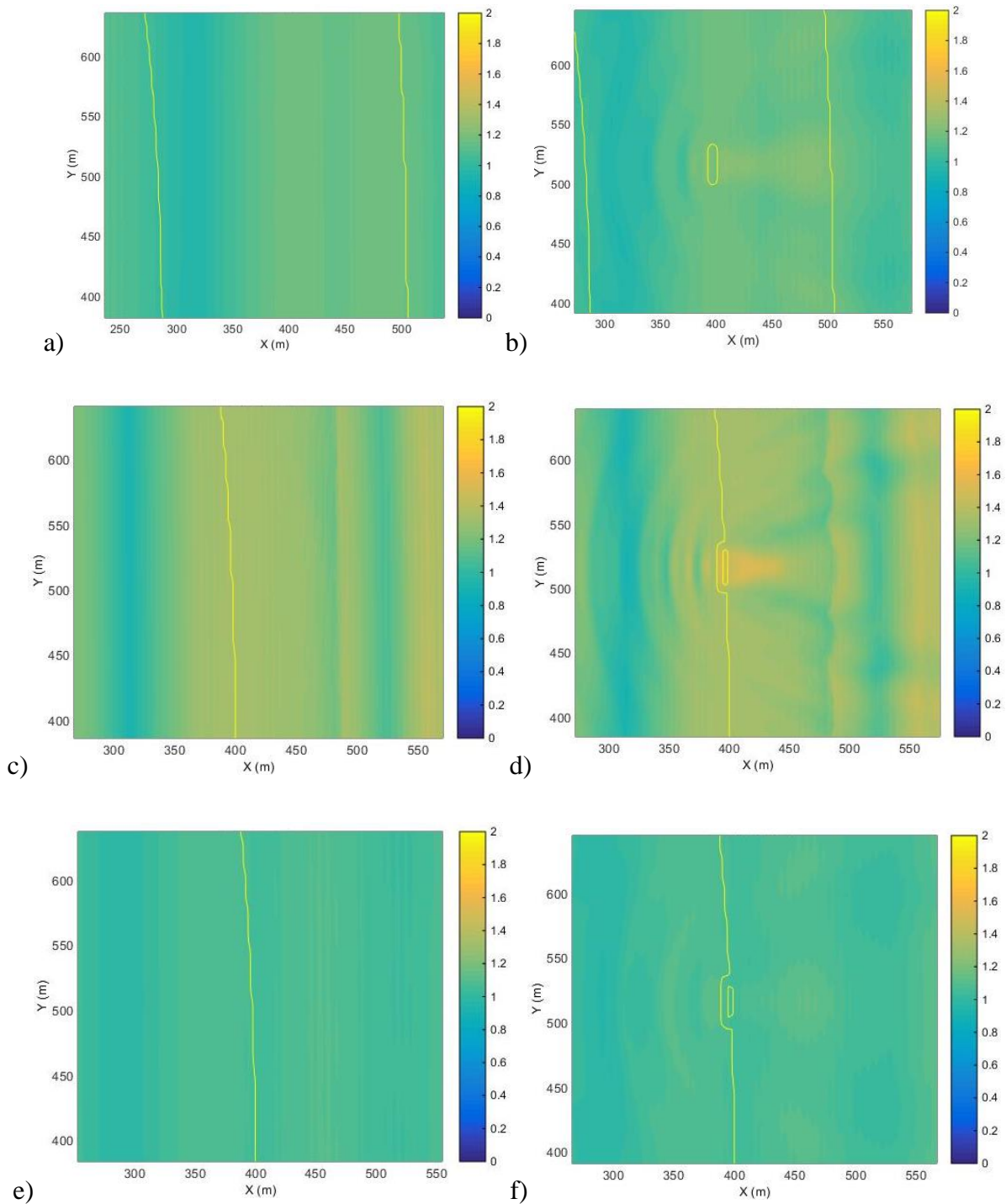


Figura 7.22 –  $H_s$  para  $H_{si}=1$  m,  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) Nm, sem recife; b) Nm, P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) Bm, sem recife; d) Bm, P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; e) Pm, sem recife; f) Pm, P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$

### 7.5.2 - Linha de rebentação média

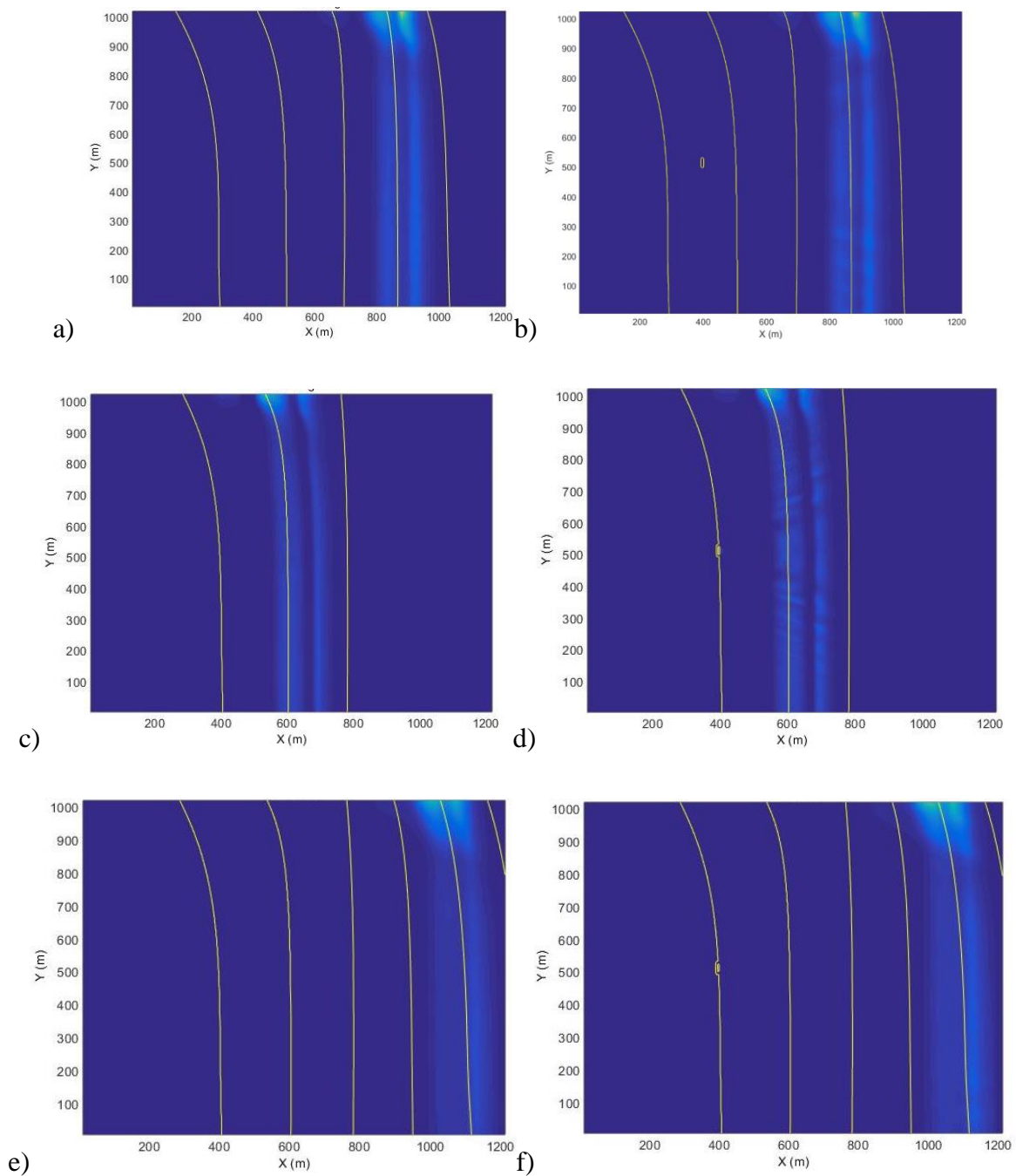


Figura 7.23 – Linha de rebentação para  $H_{si}=1$  m,  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) Nm, sem recife; b) Nm, P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) Bm, sem recife; d) Bm, P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; e) Pm, sem recife; f) Pm, P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$



## 8 - ANÁLISE DE RESULTADOS

### 8.1 - Introdução

A análise de resultados é dividida em dois grupos referentes a:

- Análise das comparações realizadas das soluções de recife estudadas;
- Análise relativa à comparação das várias condições marítimas incidentes;

### 8.2 - Comparação entre configurações de recifes

#### Comparação entre c30 e c70 para: P1 com rot0° e sem recife

Relativamente à altura de onda significativa,  $H_s$ , Figura 7.1 ao comparar a) referente à situação sem recife com b) e d), situações que tem recife é possível verificar o que o recife tem alguma influência, apresentando uma mancha mais clara, indicando um  $H_s$  mais elevado, a jusante do recife. Os gráficos com os cortes em  $y=517m$  mostram que  $H_s$  aumenta nas situações com recife em aproximadamente 5 cm. Comparando os dois comprimentos, c30 e c70, é possível verificar que não existe qualquer diferença de  $H_s$  em termos de valores absolutos, apenas uma mancha mais larga no c70 a jusante do recife, fruto deste ser mais comprido.

Relativamente à velocidade, Figura 7.4, as conclusões são muito semelhantes às anteriores. Observa-se uma ligeira alteração na velocidade devido à existência do recife, porém essa alteração limita-se a uma variação da componente da velocidade,  $u$ , de aproximadamente 0.1 m/s quer no recife c30 quer no recife c70. Comparando as velocidades correspondentes aos dois comprimentos, de forma análoga ao realizado para  $H_s$ , a zona onde ocorre um aumento de velocidade no c70 é um pouco mais extensa, fruto de este recife ser mais comprido. Porém, os valores das velocidades são iguais nos dois comprimentos.

Relativamente à linha de rebentação,  $L_r$ , Figura 7.7 observa-se que esta não se altera com a presença de recife, estando marcada a jusante do recife em  $x= 850m$

#### Comparação entre rot0° e rot5° para: P1 com c30 e sem recife

Relativamente à altura de onda significativa,  $H_s$ , Figura 7.2 comparando as duas rotações,  $rot0^\circ$  e  $rot5^\circ$ , é possível verificar que não existe qualquer diferença de  $H_s$  em termos de valores absolutos nem na extensão da zona onde  $H_s$  aumenta em comparação ao caso sem recife.

Comparando as velocidades, Figura 7.5, correspondentes às duas rotações, os valores das velocidades são iguais, tendo na zona a jusante dos recifes um aumento de 0.1 m/s face à situação de não recife.

Relativamente à linha de rebentação,  $L_r$ , Figura 7.8 observa-se que esta não se altera com a presença de recife, estando marcada a jusante do recife em  $x= 850m$

#### Comparação entre P1 e P2 para: c30 com $rot0^\circ$ e sem recife

Relativamente à altura de onda significativa,  $H_s$ , Figura 7.3, é possível verificar que P1 tem uma influência maior que P2 no que diz respeito à amplificação da altura de onda na zona do domínio próxima do recife. O recife P2 não tem praticamente influência sendo os resultados obtidos com este perfil pouco diferentes dos obtidos na situação sem recife

Relativamente às velocidades máximas, Figura 7.6, é notória a influência dos dois recifes no aumento da componente da velocidade,  $u$ , face à situação sem recife. Porém, como no caso da altura significativa, é notório um maior aumento da velocidade causado pela presença do recife P1 do que pelo recife P2.

Relativamente à linha de rebentação,  $L_r$ , Figura 7.9 observa-se que esta não se altera com a presença de recife, estando marcada a jusante do recife em  $x= 850m$

### **8.3 - Comparação das condições de incidência**

#### Comparação entre $Dir_i0$ e $Dir_i5$

Não se observa diferença no funcionamento das soluções de recife quer para o caso de  $Dir=0^\circ$  e  $Dir=5^\circ$ . O que se observa em  $Dir=0^\circ$  tanto na análise de  $H_s$ , velocidade e linha de rebentação também se observa em  $Dir=5^\circ$ , sendo as regiões afetadas pela existência do recife semelhantes embora a sua forma se altere com a direção das ondas incidentes..

#### Comparação entre $H_{sj}=1 m$ e $H_{sj}=2 m$

Relativamente à altura de onda significativa,  $H_s$ , Figura 7.19, observa-se que o impacto do recife se observa tanto para a situação de  $H_{si} = 1\text{m}$  como para  $H_{si} = 2\text{m}$ . Apesar de ser um impacto reduzido este é visível nos dois casos com manchas mais claras, correspondentes a alturas de onda significativas mais elevadas, na zona do recife. O impacto do recife quando na condição de  $H_{si} = 2\text{m}$  é maior do que em  $H_{si} = 1\text{m}$  podendo isso ser observado nos gráficos correspondentes a  $H_s$  em  $y = 517\text{m}$ , onde se observa um pico em  $H_s$  a jusante do recife.

Relativamente às velocidades máximas,  $U_{\max}$ , Figura 7.20, observa-se que para as duas alturas de onda incidentes o impacto da existência de recife é praticamente igual. Em ambos os casos aparece uma mancha mais clara a jusante do recife correspondente a um aumento da componente  $u$  da velocidade. Em  $H_{si} = 1$  é mais evidente do que para  $H_{si} = 2\text{m}$  devido à diferentes escalas utilizadas.

Relativamente à linha de rebentação,  $L_r$ , Figura 7.21 observa-se que quer para  $H_{si} = 1\text{m}$  quer para  $H_{si} = 2\text{m}$ , esta não altera a sua localização. Porém para  $H_{si} = 2\text{m}$  é visível que a presença do recife altera minimamente a direção da linha de rebentação, traduzido pelas linhas amarelas.

#### Comparação entre Nm, Bm e Pm

Relativamente à altura onda significativa,  $H_s$ , Figura 7.22, observa-se que a influência do recife é mais evidente à medida que diminui o nível de maré. Para Bm observa-se uma maior influência do recife traduzida em maiores valores de  $H_s$  a jusante do recife do que para Nm. Por sua vez em Pm é possível verificar que a influência do recife relativamente a  $H_s$  é praticamente nula.

Relativamente às linhas de rebentação,  $L_r$ , Figura 7.23 observa-se que o posicionamento destas, nas situações com recife, não se altera relativamente às situações sem recife, para qualquer nível de maré. Para Nm a linha de rebentação com e sem recife está localizada em  $x = 850\text{m}$  Para Pm a linha de rebentação com e sem recife está situada em  $x = 1100\text{m}$ . Finalmente, para Bm, a linha de rebentação para as situações com e sem recife, está situada em  $x = 600\text{m}$ . Os três níveis de maré apresentam posicionamentos de  $L_r$  distintos, mas nos três esse posicionamento é igual na situação sem recife e com recife.



## 9 - CONCLUSÕES

Neste capítulo são respondidas três questões que se levantam posteriormente à análise dos resultados:

- Qual o recife que proporciona uma alteração mais significativa nas condições de agitação marítima?
- O local de implementação e a configuração de recife proporcionam uma alteração nas condições marítimas capaz de modificar os parâmetros de surfabilidade e assim melhorar as condições para a prática de *surf*?
- O recife poderá funcionar como proteção costeira?

Com base na análise de resultados efetuada das comparações das diferentes configurações de recife a Tabela 9.1, representa um resumo da análise qualitativa:

Tabela 9.1 – Quadro de conclusões referente às diferentes configurações de recife

		Comparação de configurações			
		<i>c30 &amp; c70</i>	<i>rot0 &amp; rot5</i>	<i>P1 &amp; P2</i>	
<i>Nm</i>	<i>Altura de onda</i>	<i>c70</i>	-	<i>P1</i>	
<i>H<sub>si</sub>= 1m</i>	<i>Velocidade</i>	<i>c70</i>	-	<i>P1</i>	
<i>Dir<sub>i</sub>=0</i>	<i>Lr</i>	-	-	-	

	<i>Não influencia</i>
	<i>Influencia pouco</i>
	<i>Influencia</i>

Nesta tabela estão representadas as comparações de comprimentos, rotação e geometria de perfil (dados de entrada da segunda linha) e os resultados obtidos através do modelo numérico, nomeadamente altura de onda significativa, velocidade e linha de rebentação (dados de entrada da segunda coluna). Estes dados são cruzados, obtendo-se uma conclusão qualitativa com base nos resultados e da análise destes efetuados no capítulo anterior. Essa conclusão faz-se com um gradiente de três cores apresentado ao lado da tabela em questão e ainda é escrito qual o parâmetro que está a provocar influência; se não existir influência não é escrita coisa alguma. Analisando os dois comprimentos é possível concluir que o comprimento de 70 m é o mais apropriado, lembrando que a diferença de altura de onda significativa e de velocidade máxima não está nos valores absolutos dos resultados mas sim na área de influência do recife; ou seja, um comprimento maior de recife faz com que a região onde se modificam altura de onda significativa e a velocidade máxima seja mais comprida ao longo do eixo das ordenadas, podendo-se concluir que o comprimento do recife é proporcional à área de influência que este tem. Analisando as duas rotações de recife é possível concluir que estas não têm qualquer

impacto e portanto deve-se optar pela que for mais pratica aplicar no processo de colocação do recife. Por último é evidente que a escolha passa pela geometria do perfil 1. Nos resultados de altura de onda significativa e de velocidade máxima o perfil 1 modificou substancialmente as condições de agitação marítima na zona do recife. De realçar que a posição da linha de rebentação não se alterou em nenhuma configuração de recife. Pode-se então concluir nesta tabela que a melhor configuração para o recife será:

- Comprimento = 70m
- Rotação= 0° ou 5°
- Perfil 1

De forma análoga é possível também construir um quadro de conclusões das comparações realizadas das diferentes condições de incidência, Tabela 9.2:

Tabela 9.2 – Quadro de conclusões referente às comparações das condições de incidência

	<i>Comparação de condições de incidência</i>			
	<i>Dir0 &amp; Dir5</i>	<i>h<sub>si</sub>=1 &amp; h<sub>si</sub>=2</i>	<i>B<sub>m</sub>, N<sub>m</sub>, P<sub>m</sub></i>	
<i>Altura de onda</i>	-	2	<i>B<sub>m</sub></i>	<i>Não influencia</i>
<i>Velocidade</i>	-	-	-	<i>Influencia pouco</i>
<i>L<sub>r</sub></i>	-	-	-	<i>Influencia</i>

Esta tabela, Tabela 9.2 é lida da mesma forma que a tabela anterior, Tabela 9.1, tendo na segunda linha, como dados de entrada, as comparações de direção incidente, altura de onda significativa incidente e nível de maré; e tendo na primeira coluna os resultados obtidos através do modelo numérico, nomeadamente altura de onda significativa, velocidade máxima e linha de rebentação. Comparando as direções da agitação incidente é possível concluir que o recife irá funcionar de igual forma tanto para a direção incidente de 0° como para a direção incidente de 5°. Comparando as alturas de onda significativas incidentes observa-se que o recife corresponde melhor para alturas de onda maiores fazendo uma amplificação mais acentuada para o caso de  $H_{si} = 2m$ . Comparando os três níveis de maré é possível concluir que é para Baixa-mar que o recife funciona melhor tendo uma amplificação da altura de onda mais acentuada que nos outros níveis de maré. De realçar que a posição da linha de rebentação não se alterou com nenhuma das hipóteses de condições de incidência. Pode-se então concluir nesta tabela que a melhor combinação da agitação marítima incidente passa por:

- Direção incidente = 0° ou 5°
- Altura de onda incidente = 2 metros
- Baixa-mar

Por último e de forma análoga também é possível construir um quadro de conclusões referente à comparação das situações com recife e sem recife:

Tabela 9.3 – Quadro de conclusões referente à comparação da situação com recife e sem recife

	<i>Influência do recife</i>		
<i>Altura de onda</i>			<i>Não influencia</i>
<i>Velocidade</i>			<i>Influencia pouco</i>
<i>Lr</i>			<i>Influencia</i>

Esta tabela representa a influência do recife nos resultados obtidos através do modelo numérico. Conclui-se que a existência do recife tem influência no aumento da altura de onda significativa e na velocidade máxima na zona do domínio. Porém estes aumentos não são suficientes para que o a posição da linha de rebentação se altere. O esperado seria que as ondas “sentissem” o fundo onde está implantado o recife aumentando a altura de onda significativa e a componente u da velocidade fazendo com que as ondas rebentassem antes do que rebentam sem a presença do recife.

Como a posição linha de rebentação não altera conclui-se que este recife para estas condições de incidência, para a batimetria deste local e neste sítio de implantação não altera as condições para a prática de *surf*.

Contudo poderá funcionar para proteção costeira no sentido em que poderá reduzir o transporte longitudinal de sedimentos. Essa questão poderá ser trabalhada em trabalhos futuros. A título de exemplo apresenta-se Figura 9.1 das velocidades máximas e mínimas das componentes v da velocidade (componente da velocidade na direção perpendicular às ondas). Na figura é possível observar que tanto a componente  $V_{max}$  como a componente  $V_{min}$  altera-se muito quando comparadas nas situações com recife e sem recife.

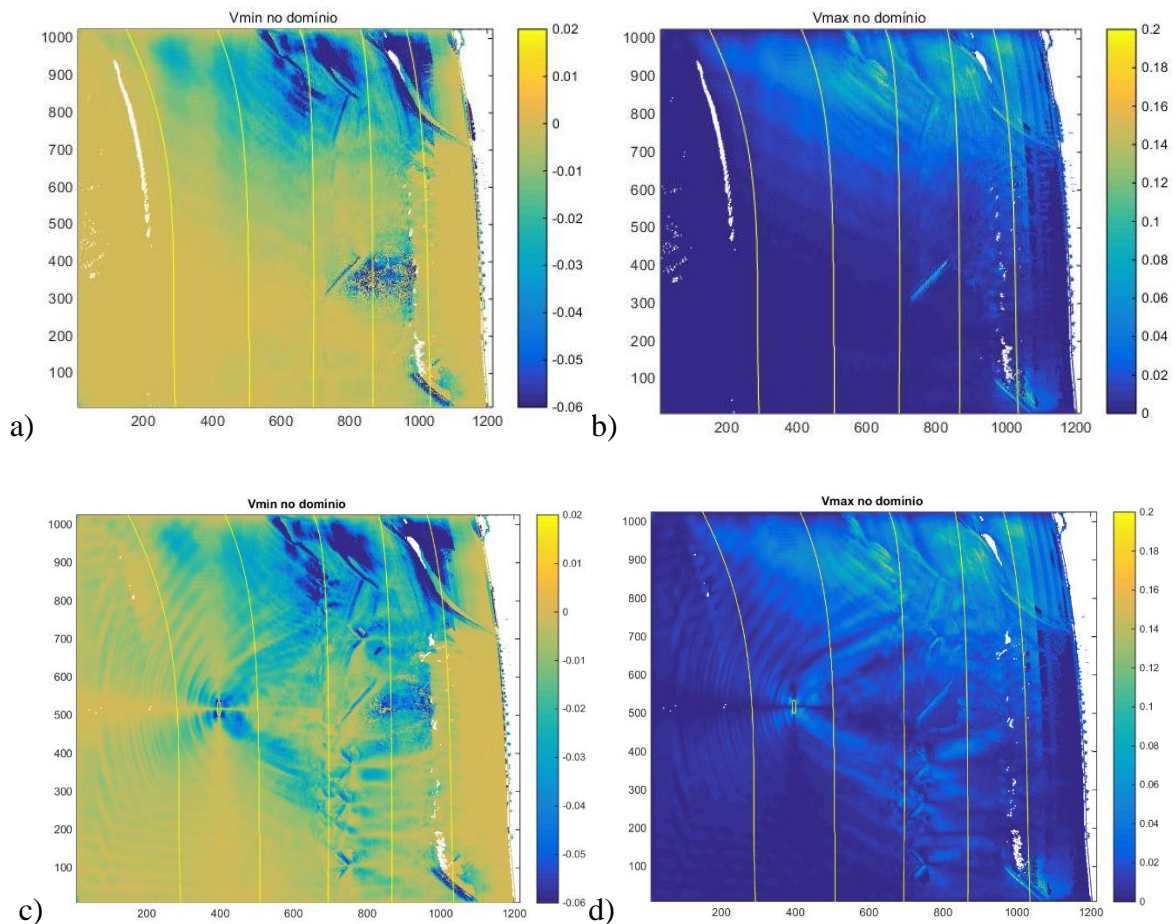


Figura 9.1 – Componente  $v$  da velocidade para  $Nm$   $H_{si}=2m$ ,  $Dir_i=0^\circ$  a)  $V_{min}$ , sem recife; b)  $V_{max}$  sem recife; c)  $V_{min}$  P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; e); f)  $V_{max}$  P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$

Neste trabalho testou-se várias hipóteses de implantação de recife artificial na praia do Barranco das Belharucas, Albufeira, com a finalidade de melhorar as condições para a prática de *surf*. Primeiramente foram efetuadas as revisões bibliográficas existentes sobre o tema e depois pensado em distintas soluções de recife com diferentes configurações. De seguida implantou-se esses recifes na batimetria existente na zona de estudo e limitou-se um domínio de cálculo. Após isto foi necessário indicar as condições de agitação incidentes no início do domínio.

De seguida passou-se ao estudo das condições de agitação, nomeadamente altura de onda significativa, velocidade máxima e posição da linha de rebentação para futura comparação da situação sem e com recife e comparação das diferentes configurações de recife. Para tal foi utilizado primeiramente o modelo numérico de propagação de ondas Coullwave, Lynett e Liu (2002), e posteriormente a ferramenta de cálculo Matlab para analisar as influências que os

recifes na alteração das condições marítimas da zona para esta ficar com melhores condições para a prática de *surf*.

Conclui-se com este estudo que dadas condições de modelação numérica, os recifes originalmente pensados para melhorar as condições de *surf* na praia do Barranco das Belharucas não têm influência na localização da linha de rebentação e conseqüentemente não conseguem alterar as condições de agitação observada para condições propícias para a prática de *surf*. O estudo poderá prosseguir revendo a geometria do perfil, sítio de implantação e fazendo um estudo mais aprofundado das condições de agitação à entrada do domínio de cálculo. Porém este estudo poderá prosseguir mas na vertente de recife artificial com a finalidade de proteção costeira.



## BIBLIOGRAFIA

- Aguiar, L. G. M. (2006). Em Busca da Forma Ideal de um Fundo Artificial para Surfe. Tese de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- Alves, J.; Sebastião, L.; Bicudo, P. (2007a). "Caracterização hidrográfica da praia de S. Pedro para modelação e implementação de um recife artificial para a prática de Surf", Comunicação das 5as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Lisboa, Outubro de 2007.
- Alves, J.; Sebastião, L.; Bicudo, P. (2007b). "Levantamento da Batimetria para o Recife Artificial para o Surf de São Pedro", Relatório CMC/IST/FCUL/LNEC- COOR/07.
- Battjes, J.A. (1974) – Computation of set-up, longshore currents, run-up and overtopping due to wind-generated waves. Ph. D. thesis. Technical University of Delft.
- Berckoff J.C.W., 1972, "Computation of Combined Refraction-Diffraction ", Proc. of the 13th Coastal Eng. Conf., ASCE, pp 471,490.
- Bicudo, P.; Mendes, L.S.; Monteiro, P.P. (2007b). "Soluções para o recife artificial". Relatório CMC/IST/FCUL/LNEC- COOR/04 (em publicação).
- Bicudo, P.; Monteiro, P.P.; Mendes, L.S.; Custódio, A.M.O.; Costa, H.P. (2007a). "Avaliação das alternativas para a localização do projecto do recife para a melhoria do surf em São Pedro do Estoril". Relatório CMC/IST/FCUL/LNEC- COOR/04.
- Booij, N., Ris, R., Holthuijsen, L. (1999). – "A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation". J. Geographical Research, C4, 104, 7649-7666.
- Coli, A.B.; Santos, J.A.; Fortes, C.J.; Capitão, R.; Carvalho, M.M. (1999) – Metodologia de propagação de regimes de agitação marítima do largo para a costa: análises dos modelos BACKTRACK-REFSPEC e SWAN. 6º Congresso da Água, Porto, Portugal.
- Dalrymple, R.A.; Kirby, J.T. (1991) - REFDIF 1 Version 2.3. Documentation Manual. Combined Refraction/Diffraction Model. CACR Report n.º 91-2, University of Delaware, January, 1991.

- Fortes, C.J.E.M.; Pinheiro, L.; Santos, J.A.; Capitão, R. (2006) - SOPRO – Pacote integrado de modelos para avaliação dos efeitos das ondas em portos. Revista da Tecnologia da Água, Edição I, Março.
- Fortes C.J.; Capitão, R.; Neves, M.G.; Monteiro, P.P.; Mendes, L.S. (2007) “Viabilidade da implementação de um recife artificial para a prática de surf na praia de São Pedro do Estoril e criação de uma estrutura de protecção e amarração do submarino Barracuda. Estudos de modelação numérica e física. Recifes artificiais para o surf: Revisão Bibliográfica”.
- Fortes C.J.; Capitão, R.; Neves, M.G.; Monteiro, P.P.; Mendes, L.S. (2007) “Viabilidade da implementação de um recife artificial para a prática de surf na praia de São Pedro do Estoril e criação de uma estrutura de protecção e amarração do submarino Barracuda. Estudos de modelação numérica e física. Recifes artificiais para o surf: Metodologias de trabalho”.
- Fortes C.J.; Capitão, R.; Neves, M.G.; Monteiro, P.P.; Mendes, L.S. (2007a). Viabilidade da implementação de um recife artificial para a prática de surf na praia de São Pedro do Estoril e criação de uma estrutura de protecção e amarração do submarino Barracuda. Estudos de modelação numérica e física. Regimes de agitação marítima. Relatório 172/07. Abril.
- Fortes, C.J.; Mendes, L.; Neves, M.G.; Monteiro, P.; Palha, A.; Capitão, R.; Bicudo, P.; Custódio, A.M.; Costa, H.; Almeida, N.; Cardoso, N.; Carias, L.; Fialho, M.J.; Carvalho, L. (2007b) - Estudo da viabilidade de um recife artificial para surf na praia de São Pedro do Estoril. Comunicação para o IV Congresso de Planeamento de Zonas Costeiras. Madeira, Outubro 2007.
- Fortes C.J.; Neves, M.G.; Mendes, L.S.; Monteiro, P.P. (2007c). Viabilidade da implementação de um recife artificial para a prática de surf na praia de São Pedro do Estoril e criação de uma estrutura de protecção e amarração do submarino Barracuda. Estudos de modelação numérica e física. Recifes artificiais para o surf: Revisão Bibliográfica. Relatório /07. Abril (em publicação).
- Henriquez, M. (2004). Artificial Surf Reefs. Tese de mestrado. Delft University of Technology.

- Hutt, J.A.; Black, K.P.; Mead, S.T. (2001) - Classification of surf breaks in relation to surfing skill. In: Black, K.P. (ed.), Natural and Artificial reefs for Surfing and Coastal Protection. Journal of Coastal Research Special Issue No. 29, pp. 66-81.
- Lynett, P., Liu, P. L. (2002) – “Modeling Wave Generation, Evolution, and Interaction with Depth Integrated, Dispersive Wave Equations”. COULWAVE Code Manual Cornell University Long and Intermediate Wave Modeling Package, 2002.
- Mendes, L.S.; Neves, M.G.; Fortes C.J.; Monteiro, P.P. (2007). “Programa MOREIAS. Análise do funcionamento de um recife artificial. Aplicações”. Relatório /07-NPE. Julho (em preparação).
- Mendes, L. et al. (2007) “Metodologia Para análise do Desempenho de um Recife Artificial para Surf na Praia São Pedro do Estoril”.
- Mendonça, A., Fortes, C. J., Capitão, R., Neves, M. G., Antunes do Carmo, J. S. (2010) “Simulação da Propagação de Ondas Sobre um Recife Artificial. Modelação numérica com o modelo COULWAVE”.
- Mendonça, A.; Fortes, C.J.; Capitão, R.; Neves, M.G.; Antunes do Carmo, J.S. (2010b). “Simulação da propagação de ondas sobre um recife artificial. Modelação numérica com o modelo DREAMS. 10º Congresso da Água – Marcas d’Água, Algarve, 2 a 24 de Março, cdrom.
- Monteiro, P.P.; Mendes, L.S.; Custódio, A.M.O.; Costa, H.P. (2007a) - Avaliação das alternativas para a localização do projecto do recife para a melhoria do surf em São Pedro do Estoril. Relatório CMC/IST/FCUL/LNEC- COOR/04.
- Monteiro, P.P.; Fortes, C.J.; Neves, M.G.; Mendes, L.S. (2007b). “Regime de agitação marítima na praia de São Pedro do Estoril”. Comunicação das 5<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária. Lisboa, Outubro.
- Muilwijk, M. P. (2005). Artificial Surf Reef on Maasvlakte 2. Tese de mestrado. Delft University of Technology.
- Neves, D. (2009) “Utilização de um Sistema de Informação Geográfica na Modelação Numérica de Propagação de Ondas em Zonas Portuárias”.
- Neves, M.G.; Fortes C.J.; Mendes, L.S.; Monteiro, P.P. (2007). “Viabilidade da implementação de um recife artificial para a prática de surf na praia de São Pedro do Estoril e criação de uma estrutura de protecção e amarração do submarino Barracuda.

Estudos de modelação numérica e física. Metodologias de trabalho”. Relatório 182/07-NPE.

- Over, R. (2006). Surfability of an ASR in Irregular Waves. Tese de mestrado. Delft University of Technology.
- Pinheiro, L.; Fortes, C.J.; Neves, M.G.; Santos, J. A. (2005). An Operational Tool for Wave Regime Characterization and Propagation. Application to the Port of Sines. Fifth International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis. WAVES 2005. Madrid, Espanha, 3 a 7 de Julho.
- Pinheiro, L.; Palha, A.; Fortes, C.J. (2007). “Evoluções recentes do pacote informático SOPRO”. Comunicação das 5<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária. Lisboa.
- Reis, C.S.; Antunes do Carmo J.S.; Freitas, H. (2005). “Leirosa sand dunes: A case study on coastal protection.” Proc. IMAM - Maritime Transportation and Exploitation of Ocean and Coastal Resources, Lisbon, 26-30 September, 1469-1474. Ed. Taylor & Francis / Balkema. ISBN Vol. 2: 0 415 39374 4, cd-rom: 0 415 39433 3.
- Reis, C.S.; Freitas, H. (2002). “Rehabilitation of the Leirosa sand dunes”. In: Littoral 2002: The Changing Coasts. Eurocoast/EUCC (Porto, 22-26 September), III, 381-384.
- Ten Voorde, M., Neves, M. G., Antunes do Carmo, J. S. (2008) – “Estudo Preliminar da Geometria de um Recife Artificial para Protecção Costeira e para a Prática de Surf na Costa Oeste Portuguesa”. Revista da Gestão Costeira Integrada 8(1), 2008, pp. 65 – 79.
- Trung, L. H. (2006). Interacting Artificial Surf Reefs. Tese de mestrado. Delft University of Technology.
- Van Ettinger, H. D. (2005). Artificial Surf Reef Design: Dutch Swell Conditions. Tese de mestrado. Delft University of Technology.
- Walker, J.R. (1974) - Recreational Surf Parameters. Hawaii: University of Hawaii, James K.K. Look Laboratory of Oceanographic Engineering, Technical Report No. 30.
- Wei, G., Kirby, J. T. (1995) – “A time-dependent numerical code for extended Boussinesq equations”. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering 120, 1995, pp. 251 - 261.

- Wei, G., Kirby, J. T., Grilli, S. T., And Subramanya, R. (1995) – “A fully nonlinear Boussinesq model for surface waves. Part I. Highly nonlinear unsteady waves”. *Journal of Fluid Mechanics* 294, 1995, pp. 71 - 92.
- Wei, G., Kirby, J. T. (1995) – “A time-dependent numerical code for extended Boussinesq equations”. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering* 120, 1995, pp. 251 - 261.
- Wei, G., Kirby, J. T., Grilli, S. T., And Subramanya, R. (1995) – “A fully nonlinear Boussinesq model for surface waves. Part I. Highly nonlinear unsteady waves”. *Journal of Fluid Mechanics* 294, 1995, pp. 71 - 92.
- West, A. (2002). *Wave-focusing Surfing Reefs – a New Concept*. Tese de mestrado. Delft University of Technology.
- Walker, J.R. (1974) - *Recreational Surf Parameters*. Hawaii: University of Hawaii, James K.K. Look Laboratory of Oceanographic Engineering, Technical Report No. 30.
- Noosa, Austrália. ICM Report (1999). *Recommendations for Noosa Main Beach Restoration & Protection*. Outubro.
- Praia da Macumba, Brasil. Aguiar, L. G. M. (2006). *Em Busca da Forma Ideal de um Fundo Artificial para Surfe*. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro
- Dubai, Emirados Árabes Unidos. Mocke, G., Smit, F., Fernando, S. (2003). *Coastal protection and amenity value of an artificial surf reef for Dubai*. Artificial Surf Reef Conference 2003, Nova Zelândia.
- Praia de Cocoa, Flórida, EUA. Hearin, J. M. (2006). *Preliminary Design of a Multi-Purpose Artificial Reef for Cocoa Beach, Florida - Executive Summary*. Brevard County Tourism Development Council.
- Oil Piers, Estados Unidos da América. Mead, S., Black, K., Scarfe, B., Harris, L., Sample, J., Blenkinsopp, C. (2004). *Oil Piers Reef – Phase II - Detailed Design of an Offshore Submerged Reef for Erosion Control at Oil Piers, Ventura County, California*. ASR Lda.

- Praia de Conche des Baleines, França. Courtadon, B., Black, K. (2003). Artificial Surfing Reef for coastal protection in Diamond Head, France. Proceedings of the 3rd International Surfing Reef Symposium, Raglan
- Praias de Sanur e Kuta, Indonésia. Prasetya, G., Black, K. P. (2003). Sanur and Kuta Beaches in Bali: Cases for removing of coastal protection to offshore reef. Proceedings of the 3rd International Surfing Reef Symposium, Raglan, New Zealand.
- New Plymouth, Nova Zelândia. New Plymouth Beach/Reef Scoping Study. ASR Lda. Apresentação de slides.
- Opunake, Nova Zelândia. McComb, P., Black, K., Mead, S., Hutt, J. (2001). Opunake Bay Surfing Reef Feasibility Study, Volume 1 – Report. ASR Lda. Junho.
- Praia de Orewa, Nova Zelândia. Mead, S., Black, K., Scarfe, B., Blenkinsopp, C., Beamsley, B., Frazerhurst, J. (2005), Reef Feasibility Study at Orewa, New Zealand; Multi-Purpose Reef at Orewa Beach, Hibiscus Coast, Auckland, New Zealand.
- Newquay, Inglaterra. Weight, A. (2004). Artificial Reef in Newquay, UK. Proceedings of the Institution of Civil Engineering. Paper 13688.
- Batimetrias\_Portugal\_NPE\_GIS Instituto Hidrográfico Português

<http://www.surfportugal.pt/noticias-surf-portugal/ambiente/6283-sos-salvem-o-surf-toma-posicao-final-sobre-os-impactes-das-urbanizacoes-para-carcavelos> (data da última consulta a 31/12/2016)

[http://desporto.sapo.pt/mais\\_modalidades/artigo/2014/04/23/surf-e-uma-industria-triplo-a](http://desporto.sapo.pt/mais_modalidades/artigo/2014/04/23/surf-e-uma-industria-triplo-a) (data da última consulta a 31/12/2016)

[http://economico.sapo.pt/noticias/surf-tem-retorno-mediatico-acima-de-20-milhoes\\_202650.html](http://economico.sapo.pt/noticias/surf-tem-retorno-mediatico-acima-de-20-milhoes_202650.html) (data da última consulta a 31/12/2016)

[http://www.worldsurfingreserves.org/sites/default/files/imce\\_uploads/documents/WSR\\_Ericeira\\_book\\_preview-final.pdf](http://www.worldsurfingreserves.org/sites/default/files/imce_uploads/documents/WSR_Ericeira_book_preview-final.pdf) (data da última consulta a 31/12/2016)

<http://pt.surf-forecast.com/breaks/Barranco-da-Belharucas> (data da última consulta a 31/12/2016)

[http://www.wannasurf.com/spot/Europe/Portugal/South/barranco\\_da\\_belharucas/](http://www.wannasurf.com/spot/Europe/Portugal/South/barranco_da_belharucas/) (data da última consulta a 31/12/2016)

<http://bandeiraazul.abae.pt/index.php?p=awarded&s=table> (data da última consulta a 31/12/2016)

[http://www.revistademarinha.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2679:instituto-hidrografico-apresenta-a-pagina-de-apoio-ao-surf-&catid=101:actualidade-nacional&Itemid=290](http://www.revistademarinha.com/index.php?option=com_content&view=article&id=2679:instituto-hidrografico-apresenta-a-pagina-de-apoio-ao-surf-&catid=101:actualidade-nacional&Itemid=290) (data da última consulta a 31/12/2016)

<http://surfbang.com/features/2009/11/first-artificial-surf-reef-opens-in-europe.html> (data da última consulta a 31/12/2016)

<https://www.youtube.com/watch?v=F0PslWKkbf4> (documentário sobre o recife boscombe) (data da última consulta a 31/12/2016)

<http://www.dailymail.co.uk/news/article-1372879/Britains-3-2m-artificial-surf-reef-closed-2-years-unsafe.html> (data da última consulta a 31/12/2016)

<http://www.hidrografico.pt/previsao-surf-algarve-barlavento.php> (data da última consulta a 31/12/2016)

[http://www.loiczsouthasia.org/pdfdocuments/coastrack\\_july\\_dec\\_2010.pdf](http://www.loiczsouthasia.org/pdfdocuments/coastrack_july_dec_2010.pdf) (data da última consulta a 31/12/2016)

<http://www.telegraph.co.uk/news/uknews/8424616/Artificial-surf-reef-in-Bournemouth-closed-to-the-public.html> (data da última consulta a 31/12/2016)

<http://www.asrltd.com/projects/kovalam-coastal-protection.php> (data da última consulta a 31/12/2016)

<http://www.geomatica.no.sapo.pt> (data da última consulta a 31/12/2016)

<http://www.asrltd.com/media/project-pdf/kovalam-coastal-protection.pdf> (data da última consulta a 31/12/2016)

<http://www.bnps.co.uk> (data da última consulta a 31/12/2016)



## ANEXO

O anexo é dividido em duas partes:

- Anexo A: referente ao modelo numérico COULWAVE onde é apresentado um guia;
- Anexo B: referente a todos os resultados obtidos pelo modelo numérico COULWAVE.



## Anexo A

### Dados a inserir no COULWAVE

Segue-se a lista de ficheiros que são necessários para o modelo numérico Coulwave, com uma breve descrição dos mesmos:

- *x\_topo.dat*: este ficheiro representa cada valor do eixo das abcissas. Esses valores são escritos em ordem crescente numa coluna;
- *y\_topo.dat*: este ficheiro representa cada valor do eixo das ordenadas. Esses valores são escritos em ordem crescente numa coluna;
- *size\_topo.dat*: este ficheiro traduz o tamanho da malha de cálculo. Composto por 1 coluna e 2 linha em que cada valor representa o número de divisões;
- *f\_topo.dat*: este ficheiro representa as cotas  $z$  de cada ponto de coordenadas  $(x,y)$ . É escrito numa coluna e em  $n_x*n_y$  linhas. Os valores de  $z$  são inseridos de da esquerda para a direita e de baixo para cima, por esta ordem;
- *ts\_locations.dat*: este ficheiro contém as coordenadas  $(x,y)$  das sondas onde se pretende obter parte dos resultados. Estas coordenadas são escritas numa coluna e até 60 linhas, pois o programa COULWAVE permite no máximo 60 sondas para obter resultados;
- *tide.dat*: este ficheiro é escrito com um só valor que representa o nível da maré.

Tabela A.1 – Ficheiros de *input* do Coulwave

<i>x_topo.dat</i>	<i>y_topo.dat</i>	<i>f_topo.dat</i>	<i>ts_locations.dat</i>	<i>size_topo.dat</i>
$x_1$	$y_1$	$z_1$	$1(x,y)$	$n_x$
$x_2$	$y_2$	$z_2$	$2(x,y)$	$n_y$
.	.	.	.	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
$x_n$	$y_n$	$z(n_x*n_y)$	$N(x,y)$	

### Guia prático de funcionamento do modelo numérico COULWAVE

Para ajudar na escolha dos parâmetros utilizados no COULWAVE vão-se testar várias hipóteses de *inputs* aplicadas a um exemplo real. Esse exemplo foi um caso de estudo, elaborado pela engenheira Ana Luísa onde o objetivo do trabalho seria a implementação de um recife artificial e verificar como a agitação marítima era influenciada por esse recife. Para esse estudo utilizou-se como modelação numérica o programa COULWAVE. Porém a versão utilizada nesse estudo é referente a 2006. É preciso então fazer uma analogia e verificar qual são os melhores parâmetros a aplicar na versão 2010. O exemplo analisado apresenta as seguintes condições de cálculo:

-Altura de onda incidente ( $h_s$ ) = 2 metros;

-Período de onda ( $t_s$ ) = 10 s;

-Ângulo de incidência das ondas =  $0^\circ$

-Batimetria com o recife: domínio de cálculo, onde a batimetria é dada de com um espaçamento de 2 metros em x e em y, sendo que o x varia de 0 a 2014 metros e o y de 0 a 970 metros. As marcas apresentadas (x) representam as posições das sondas onde se pretende que o programa dê resultados legíveis (sem serem encriptados) ao longo do tempo.

Apesar de o ficheiro *sim\_set.dat* indicar os parâmetros pretendidos para a execução do COULWAVE, é possível alterá-los nos vários menus quando se inicia o programa. Existem ao todo 8 menus onde é possível fazer as diferentes escolhas de modos de cálculo, parâmetros de cálculo e definir as condições de agitação incidentes.

O primeiro menu aparece quando o programa *pCOULWAVE.exe* é executado e na sua pasta existem os dados atrás mencionados no mesmo diretório, assim como o ficheiro *batch.dat* e o ficheiro *mpich.dll*. Caso estas premissas não se verifiquem, o programa não inicia, dando erro.

O programa dá a informação que detetou o ficheiro *sim\_set* e que vai retirar a informação dos parâmetros nele escritos. Ainda dá a nota de que esses parâmetros são alteráveis ao longo dos menus do programa. Ainda neste passo o programa indica o número de processadores que irá usar (1 processador); não dá diretamente para alterar esta opção. O facto de estar trabalhar 1 processador enquanto o programa corre é vantajoso no que diz respeito à utilização do computador pois em computadores com 2 processadores é possível fazer outras tarefas enquanto o programa corre. A desvantagem será o tempo que o programa demorará a resolver

as equações. Neste menu é possível dividir o domínio de cálculo de acordo com o número de processadores utilizados, ou seja dividir igualmente um domínio em subdomínios e cada processador calcular cada um desses domínios. Por exemplo se fossem usados 4 processadores para o cálculo de 1 domínio o ideal seria dividir x e y em 2, ficando  $2 \times 2 = 4$  domínios para 4 processadores. No caso desta investigação como o só se trabalhou com um processador então x e y têm uma só divisão que representa um só domínio para um processador de cálculo.

No próximo menu é escolhido um conjunto de parâmetros que definem o modo de como o programa efetua os cálculos.

No primeiro parâmetro (ID 1) é possível escolher entre “Surface wave evolution” e “Wave generation by submarine landslide”. A segunda opção diz respeito à evolução das da superfície das ondas criadas através do movimento do fundo do mar. Segundo o “COULWAVE code manual”, Liu & Lynnet, 2008, esta opção, no geral, ainda não está pronta para ser usada correctamente. Escolhe-se então a opção “Surface wave evolution”.

No segundo parâmetro (ID 2) é possível escolher entre “1D Simulation” e “2D Simulation”. A simulação 1D e 2D são referentes ao plano horizontal. A simulação 1D destina-se à análise de perfis analisando apenas uma linha do domínio; por sua vez, a simulação 2D analisa todo o domínio no espaço.

No terceiro parâmetro (ID 3) é possível escolher entre “Linear Simulation”, “Weakly Nonlinear Simulation” e ainda “Fully Nonlinear Simulation”. No caso do modelo numérico ser referente a uma simulação de uma agitação marítima junto à costa e com rebentação, o modelo não poderá ser linear. A escolha de “Weakly Nonlinear Simulation” (simulação fracamente não linear) reduz o tempo de execução do programa entre 15% a 25 %, porém, é possível que ocorram erros quando a amplitude de onda é muito elevada. Como para o caso em estudo se pretende introduzir várias alturas de ondas incidentes, optou-se então por “Fully Nonlinear Simulation” (simulação totalmente não linear).

No quarto parâmetro (ID 4) é possível escolher a frequência de dispersão utilizada pelo modelo. As escolhas possíveis são “Arbitrary level”, “depth-averaged” e “shallow water”. Arbitrary level deverá ser o escolhido pois a altura e velocidades para números de onda maiores ( $h/\lambda > 0.25$ ) são melhor calculadas. A desvantagem será o tempo de cálculo que aumentará com esta escolha. “Depth-averaged” decresce o tempo de cálculo mas só poderá ser usado para números de onda menores ( $h/\lambda < 0.20$ ). “Shallow water” deverá ser escolhido quando se tratam de equações não dispersivas referentes a ondas muito longas. Para esse efeito existe

modelos numéricos com capacidade de resolução de cálculo muito mais rápido que o Coulwave.

No quinto parâmetro (ID 40) poderá ser feita a escolha entre “one-layer” e “two-layer”. O modelo de uma camada trata-se do convencional modelo Boussinesq-type e o segundo ao modelo de duas camadas Lynett e Liu (2004).

No sexto parâmetro (ID 41) é possível escolher entre “Irrotational model “ e “weakly rotational simulation” a diferença será que o modelo fracamente rotacional inclui both weak horizontal and vertical vorticity.

No sétimo parâmetro (ID 42) é possível entre “Finite Difference Solver” (FD) e “Finite Volume solver” (FV). A solução pelas diferenças finitas (FD) é a opção tradicional usada no código original do Coulwave. Reduz bastante o tempo de cálculo, porém o sistema poderá ficar mais instável e dar erro antes de acabar o tempo de simulação pretendido. Através das diferenças finitas (FD) os modelos ficam mais estável e menos propício à ocorrência de erros. Porém o tempo de cálculo de FV é superior em 50 a 100 % do FD.

No oitavo parâmetro e último deste menu (ID 5) é possível especificar a condição de onda. É possível escolher entre “*solitary wave*”, “*sine wave*” e “*wave spectrum*”. A primeira opção será referente a solução analítica para equações fracamente não lineares. A última opção “*Wave spectrum*” necessita de um *input spectrum* feito em matlab. A opção “*sine wave*” ou seja, onda sinusoidal é a opção regular e por isso a escolhida.

Segue-se uma lista de vários parâmetros referidos nos menus da **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**:

- Initial/characteristic depth: profundidade (m) no, ou muito próximo ao, gerador de onda no interior do domínio, sem ou com adicionar a maré?
- Incident angle of waves: ângulo relativo ao eixo x. Melhor que seja próximo à zero (no máximo em torno de  $\pm 15^\circ$ ).
- Location of source wavemaker: coordenada x da linha geradora de onda no interior do domínio, de preferência em região de profundidade constante. Caso x seja igual a zero, o modelo irá criar uma área para trás ( $x < 0$ ) para absorver a onda gerada na direção oposta a x.

- Sine wave wavelength: comprimento da onda estimado na profundidade do gerador. Na linha abaixo, o modelo informa o período da onda associado. Por método iterativo, pode-se chegar ao período desejado.
- Simulation time in seconds: o tempo de simulação deve ser significativamente maior que o tempo necessário para estabilizar o sinal do gerador.
- Number of grid points per wavelength: 30 a 50 (o máximo que conseguir - quanto maior, mais bem será representada a onda – que não é mais senoidal, e maior será o tempo de cálculo e a capacidade requerida do computador).
- Courant number: 0.1 a 0.5 (fracamente não linear). 0,25 por defeito.
- Boundary conditions: (1) parede solida-refletiva; (2) enviando onda através da fronteira. Quando utilizado um gerador dentro do domínio, deve-se optar por (1) em todas as fronteiras.
- Sponge layer absorbers: (0) não usa; (1) usa. Normalmente, se usa essa esponja nas fronteiras de entrada e saída de ondas (left e right wall), nas laterais pode-se usar ou não, depende do domínio (se for uma bacia de ondas, por exemplo, não se usa). A escolha errada pode acarretar em DOMAIN ERROR e parar o modelo.
- Bottom friction coefficient (coeficiente de atrito no fundo): 0,001 a 0,1. Quanto maior o valor adotado menor será a altura da onda dentro do domínio.
- Width of sponge layer, in wavelengths (largura da camada absorvente, em função do comprimento da onda): 0.5 a 1 (valores maiores requerem maior capacidade computacional).
- Smoothing depth profile using 4-point filter: (0) não usa; (1) usa. O uso do filtro irá ajudar na estabilidade, já que reduz a curvatura do fundo, que pode ser bem acentuada em alguns casos. Ao contrário, o resultado pode ficar bem diferente do real ao suavizar a batimetria de maneira irreal

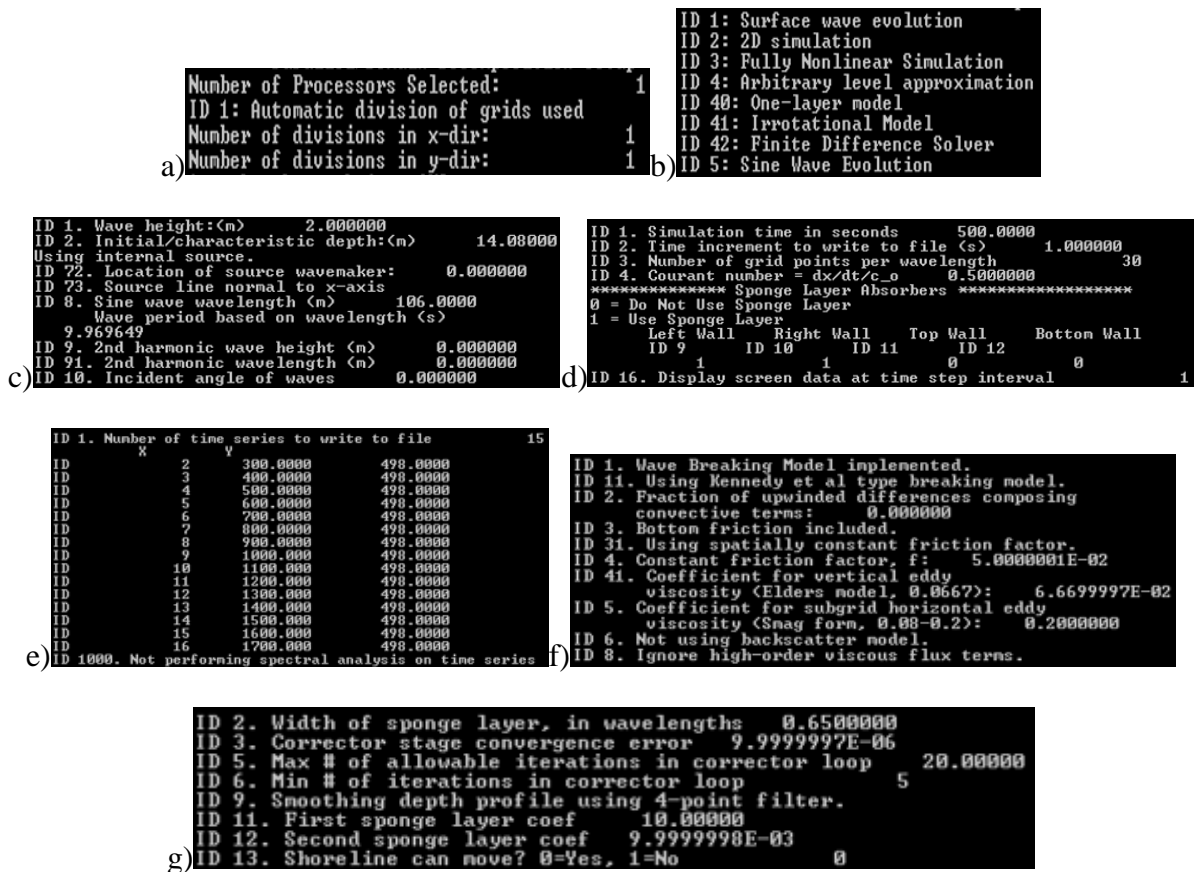


Figura A.1- Ilustração do ambiente gráfico do modelo numérico COULWAVE referente ao menu: a) 1; b) 2; c) 3; d) 4; e) 5; f) 6; g)7

## Anexo B

Os resultados obtidos de todas as diferentes combinações de perfil, comprimento, rotação e condições de agitação incidente serão divididos em grupos de 9 gráficos para o caso de nível de maré (Figura B.1) e de 3 gráficos para os casos de Baixa-mar e Preia-mar. No próximo capítulo apresentam-se os resultados em todo domínio de cálculo produzidos pelo modelo numérico e trabalhados com o auxílio da ferramenta de cálculo MATLAB. São analisados os seguintes resultados:

- $H_s$  – altura de onda em todo o domínio;
- $U_{min}$ ,  $U_{max}$ ,  $U_m$  – Componente da velocidade mínima, máxima e média de onda na direção de propagação da onda;
- $V_{min}$ ,  $V_{max}$ ,  $V_m$  - Componente da velocidade mínima, máxima e média de onda na direção perpendicular à direção de propagação da onda;
- Linha de Rebentação;
- Número de Iribarren.

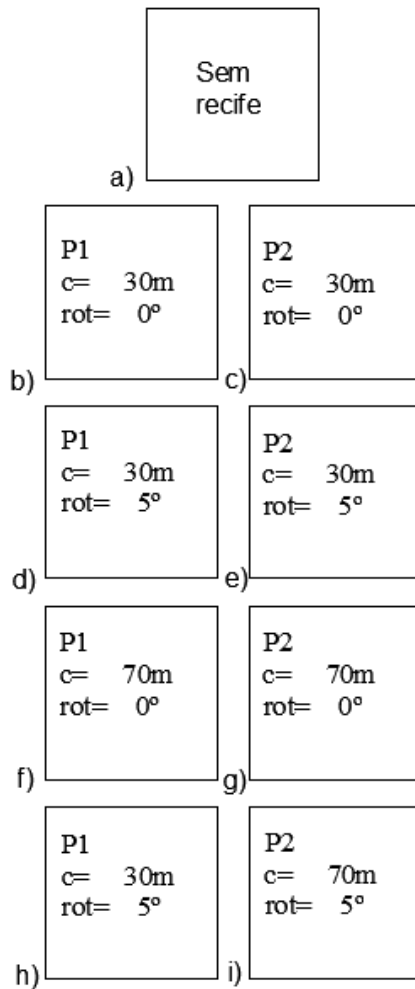


Figura B.1 – Ilustração do modo em que os resultados irão ser apresentados para NM, tendo a situação, a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°; d) P1, c=30 m, rot=5°; e) P2, c=30 m, rot=5°; f) P1, c=70 m, rot=0°; g) P2, c=70 m, rot=0°; h) P1, c=70 m, rot=5°; i) P2, c=70 m, rot=5°.

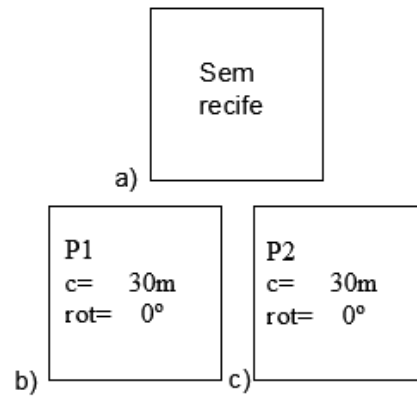


Figura B.2 – Ilustração do modo em que os resultados para BM e PM serão apresentados para a situação de a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$

**Altura de onda**

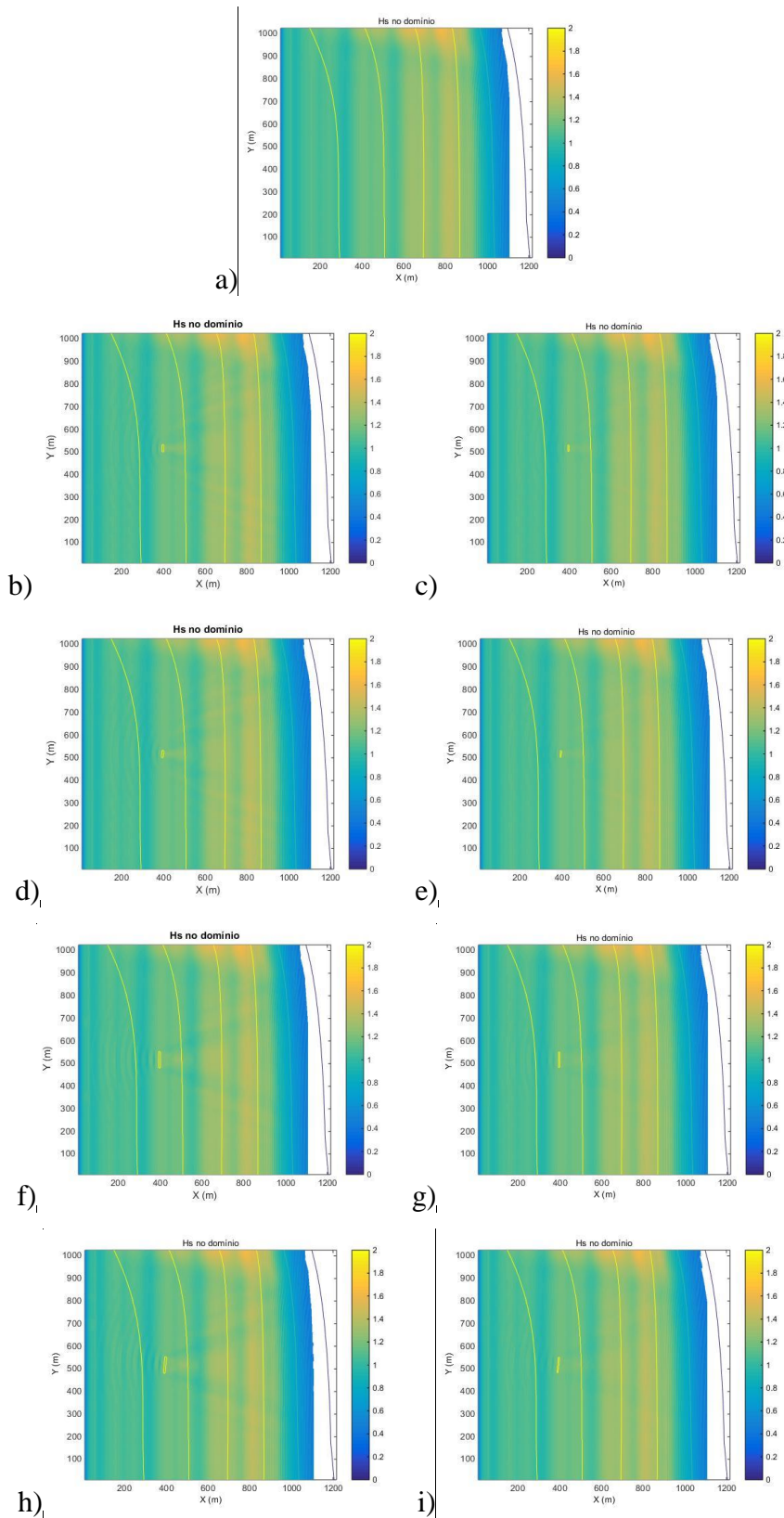


Figura B.3 – Altura de onda para NM,  $H_{si}=1$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; d) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; e) P2,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; f) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; g) P2,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; h) P1,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$ ; i) P2,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$ .

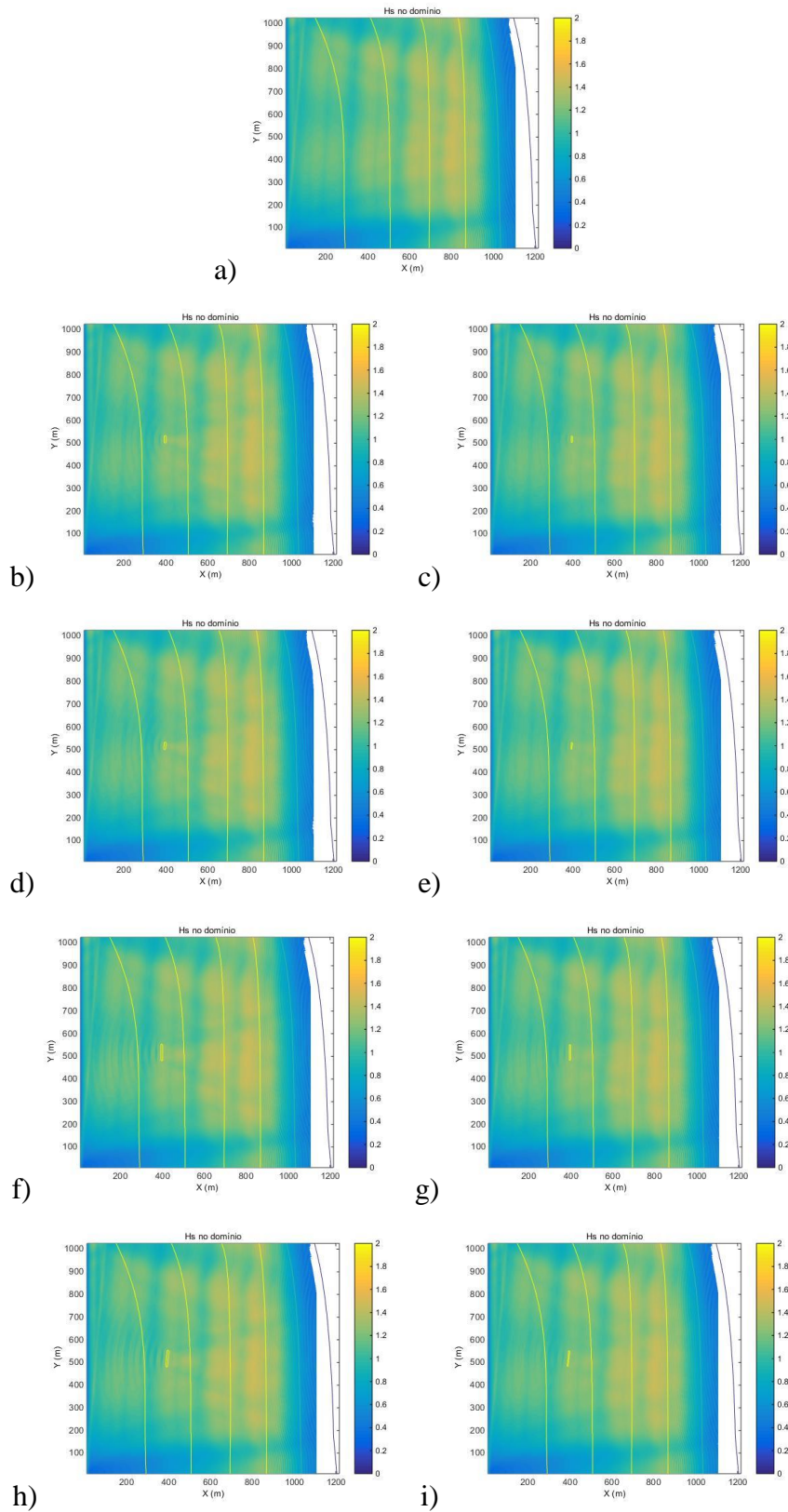


Figura B.4 – Altura de onda para NM,  $H_{si}=1$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=5^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; d) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; e) P2,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; f) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; g) P2,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; h) P1,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$ ; i) P2,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$

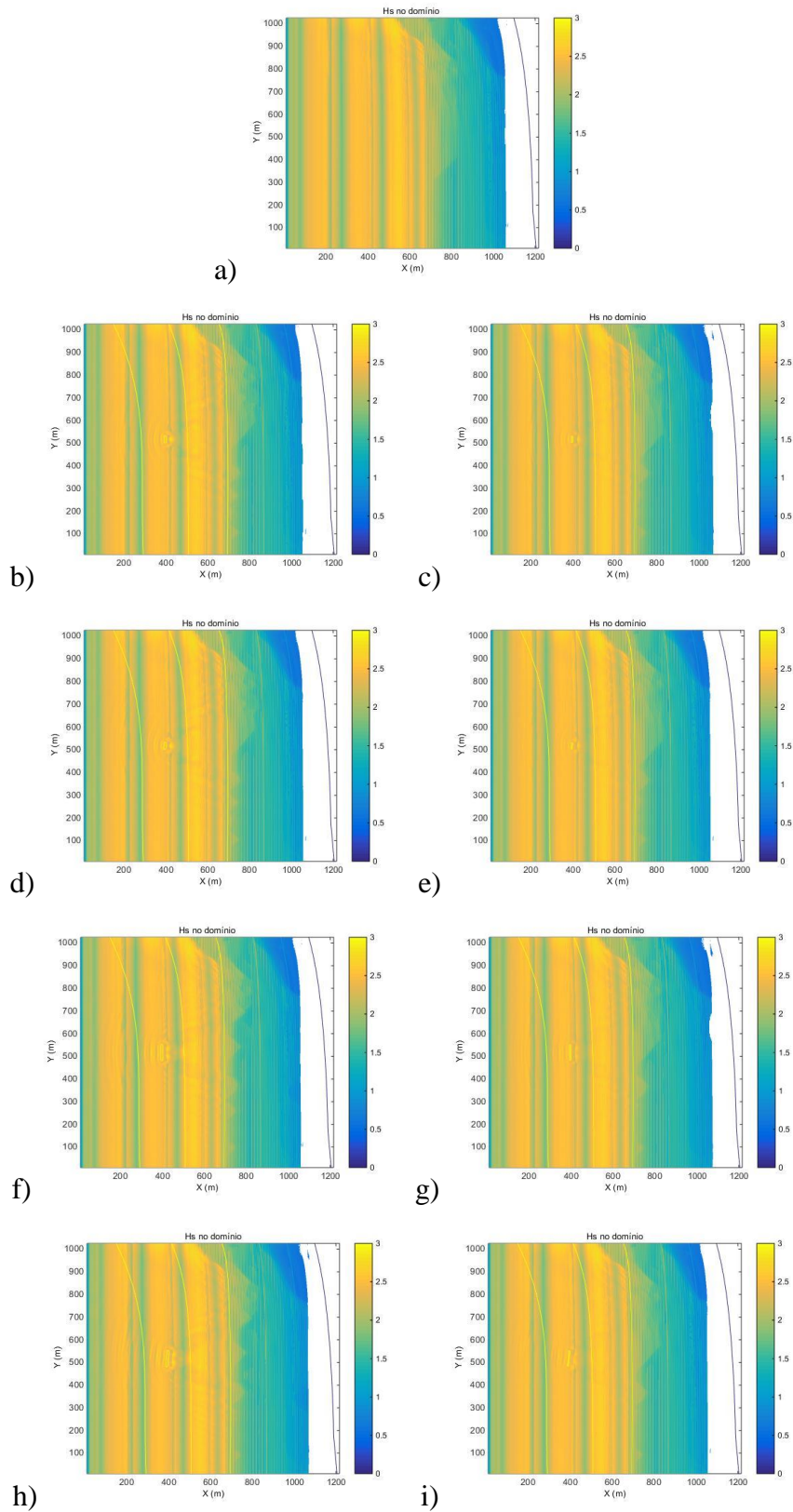


Figura B.5 – Altura de onda para NM,  $H_{si}=2$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; d) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; e) P2,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; f) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; g) P2,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; h) P1,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$ ; i) P2,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$

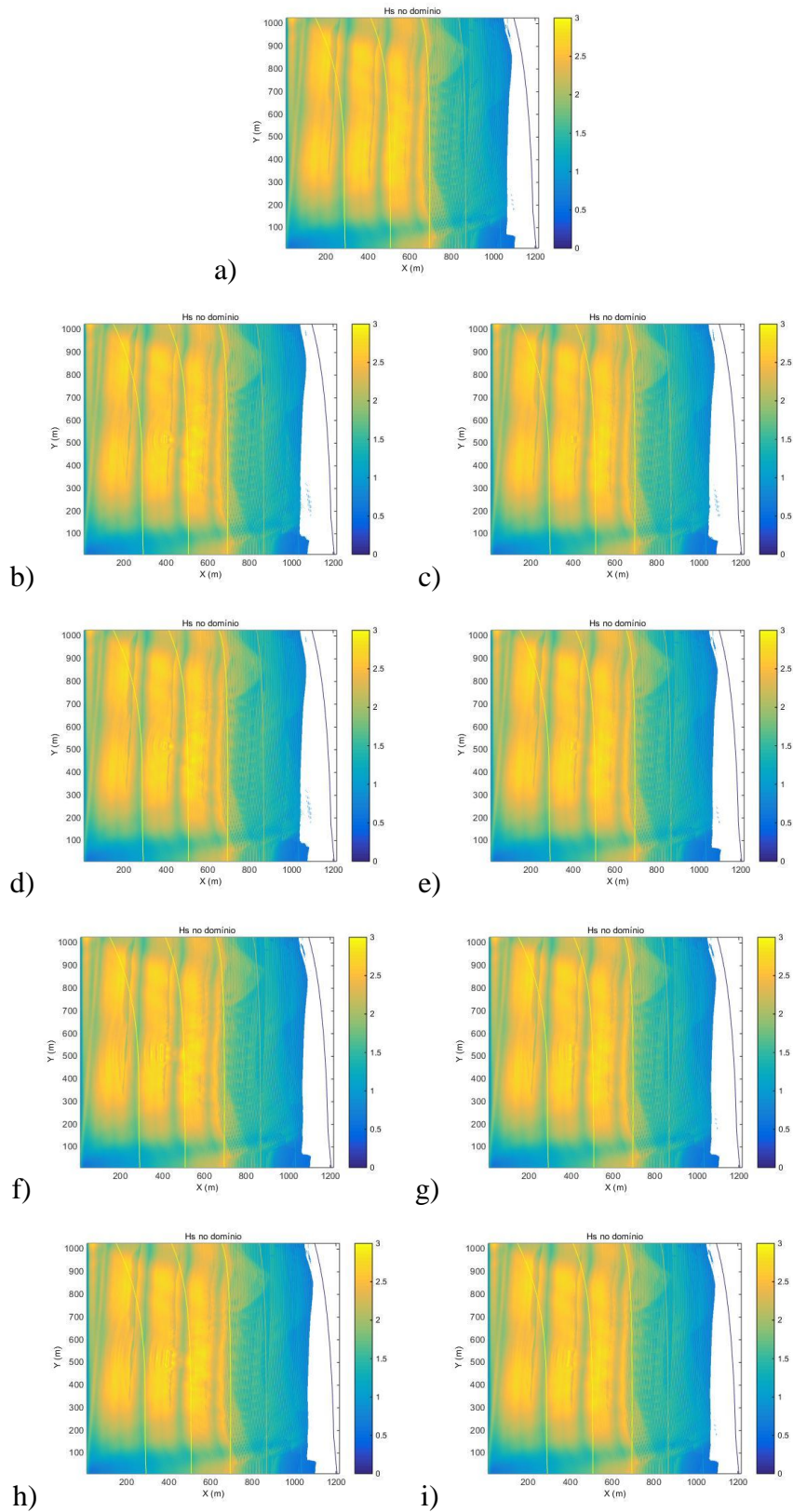


Figura B.6 – Altura de onda para NM,  $H_{si}=2$  m e  $T_1=10$  s,  $Dir_1=5^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; d) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; e) P2,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; f) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; g) P2,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; h) P1,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$ ; i) P2,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$

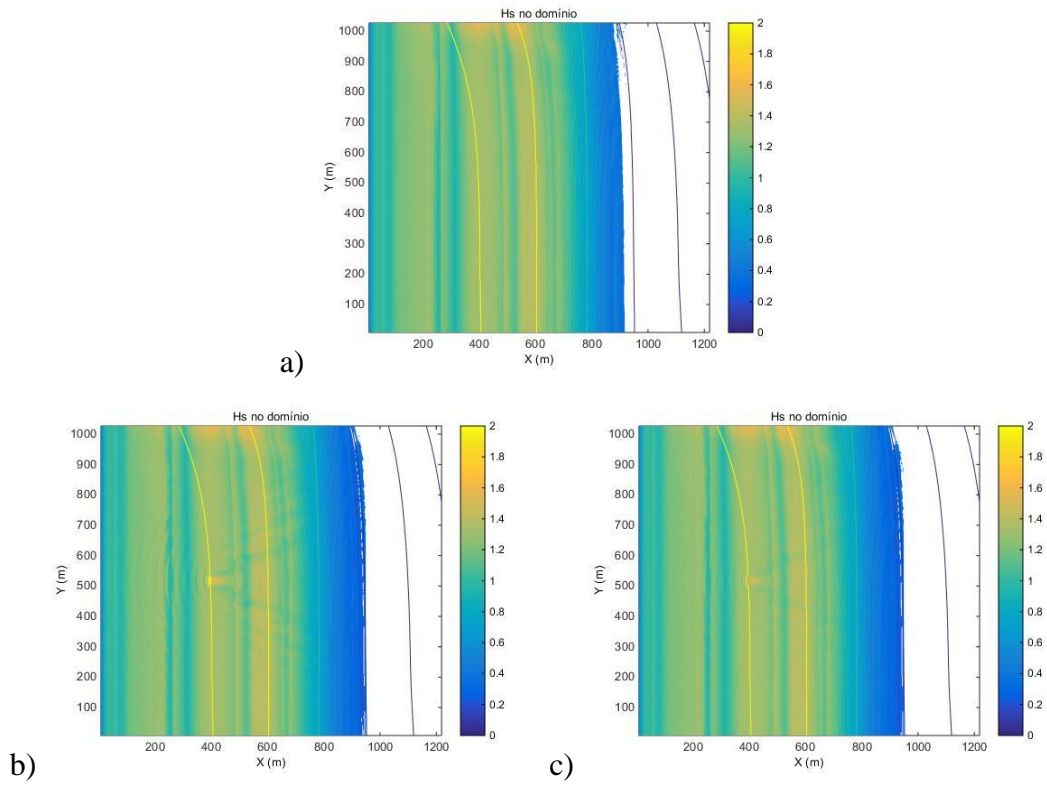


Figura B.7 – Altura de onda para BM,  $H_{si}=1$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$

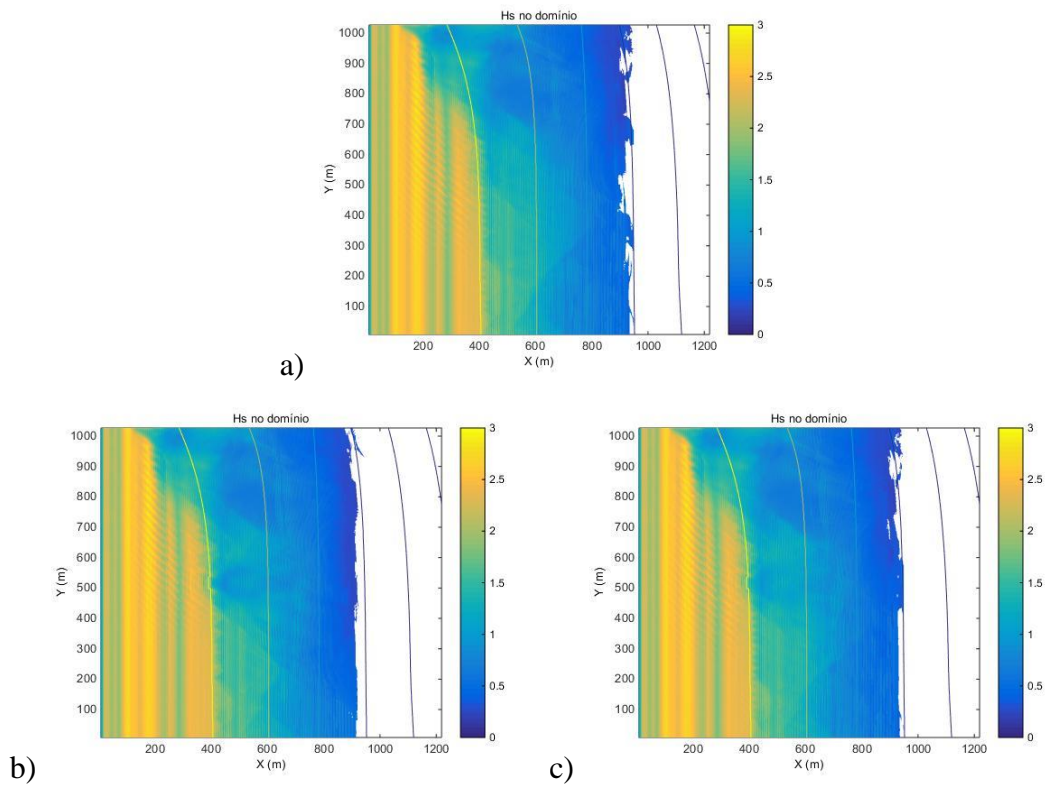


Figura B.8 – Altura de onda para BM,  $H_{si}=2$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$

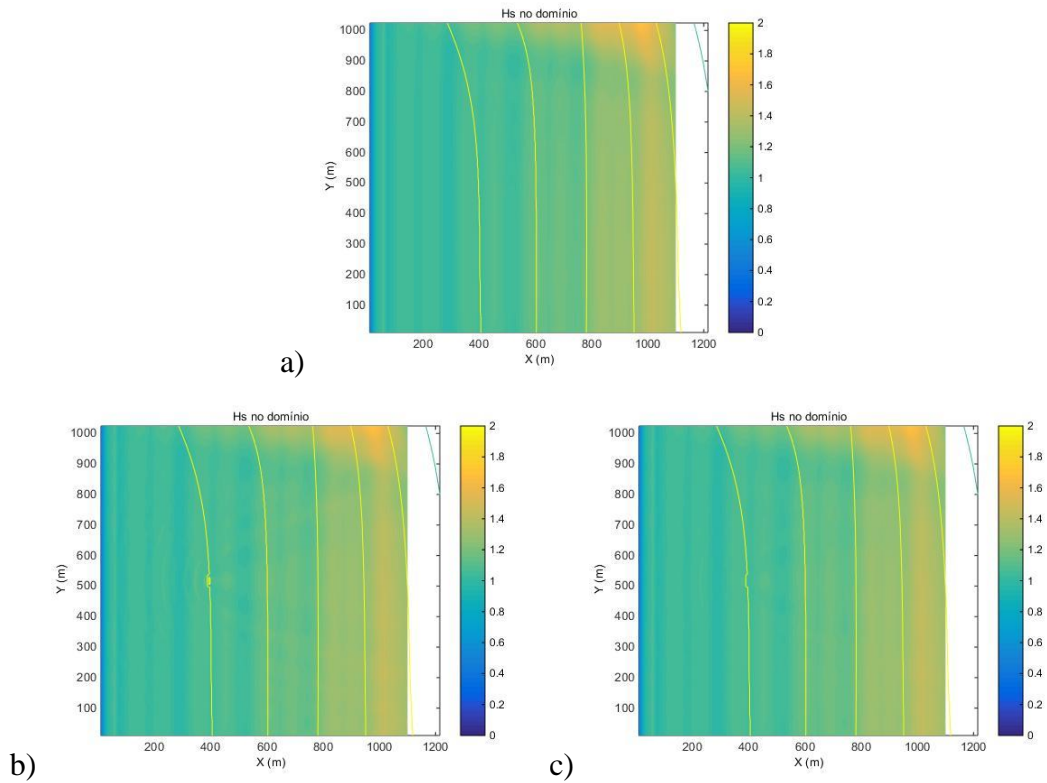


Figura B.9 – Altura de onda para PM,  $H_{si}=1$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$

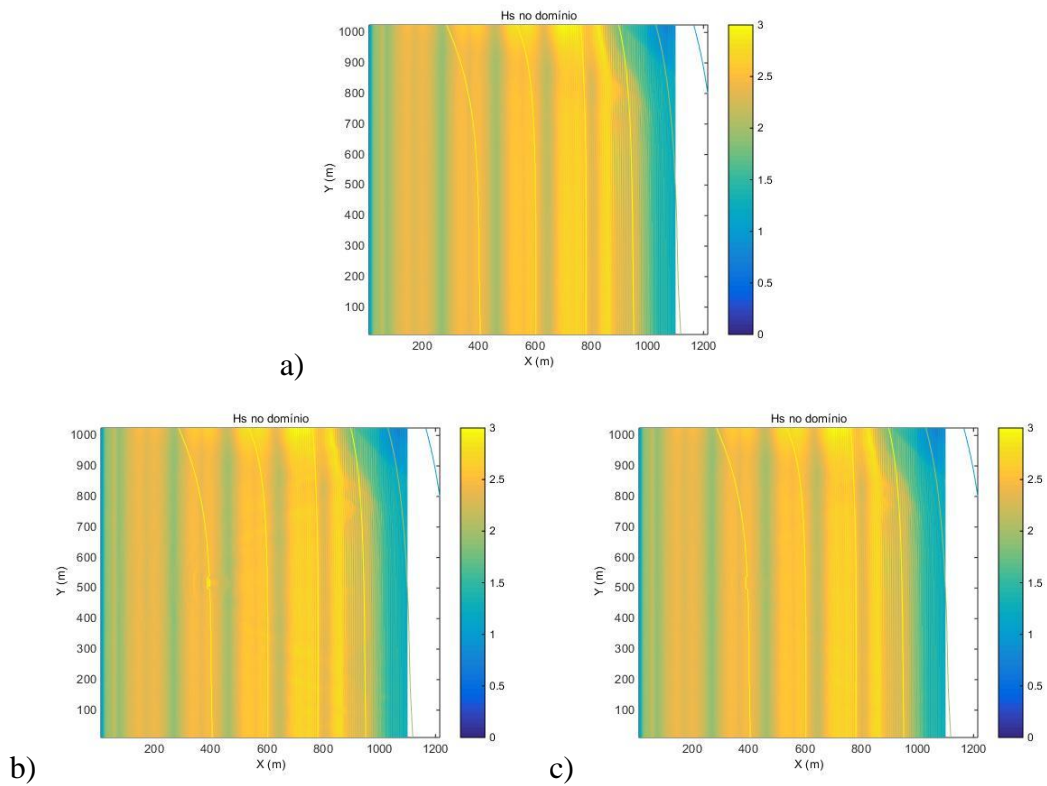


Figura B.10 – Altura de onda para PM,  $H_{si}=2$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0$

## Linha de rebentação

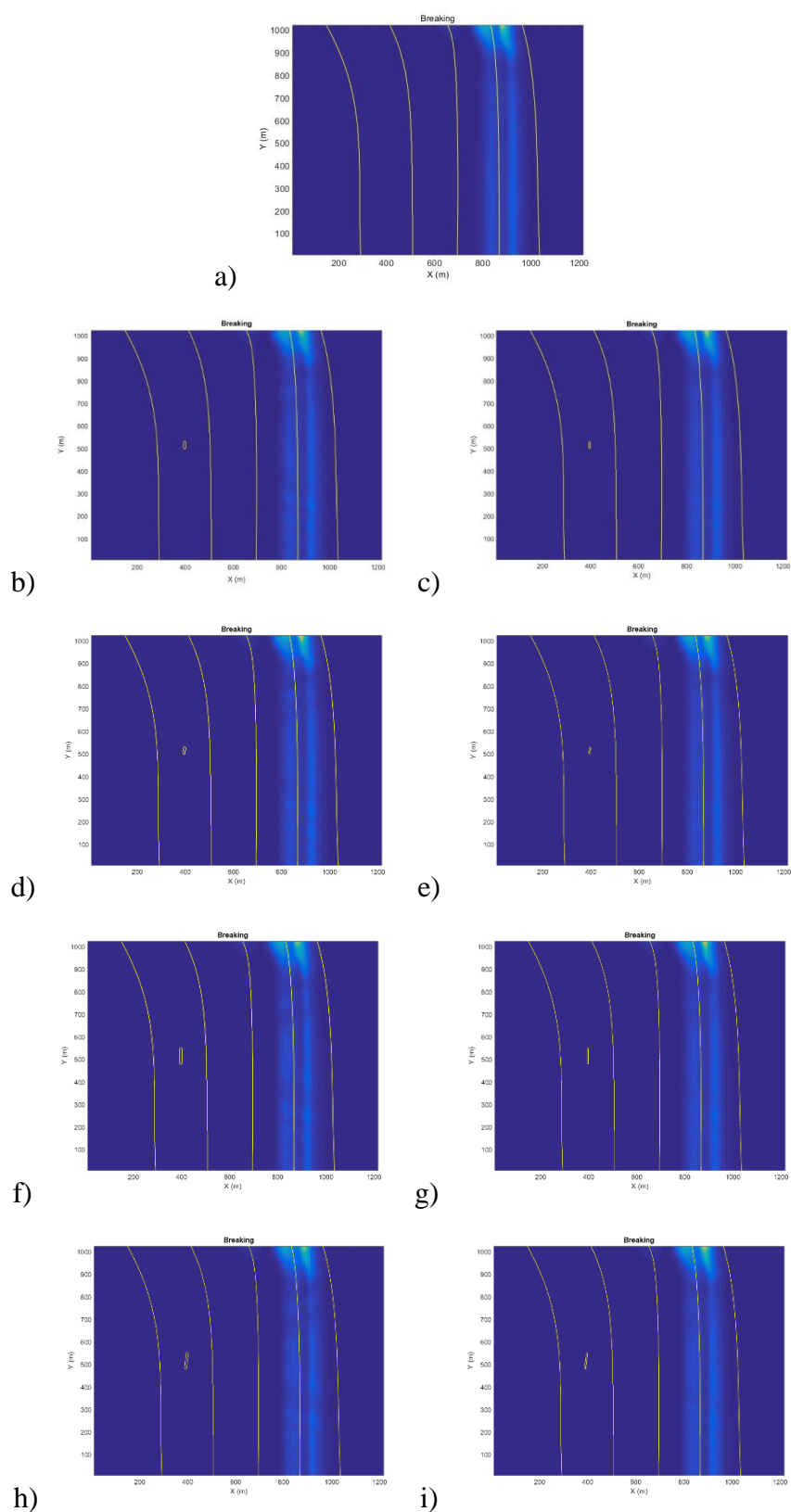


Figura B.11 – Linha de Rebentação para NM,  $H_{Si}=1$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; d) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; e) P2,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; f) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; g) P2,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; h) P1,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$ ; i) P2,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$

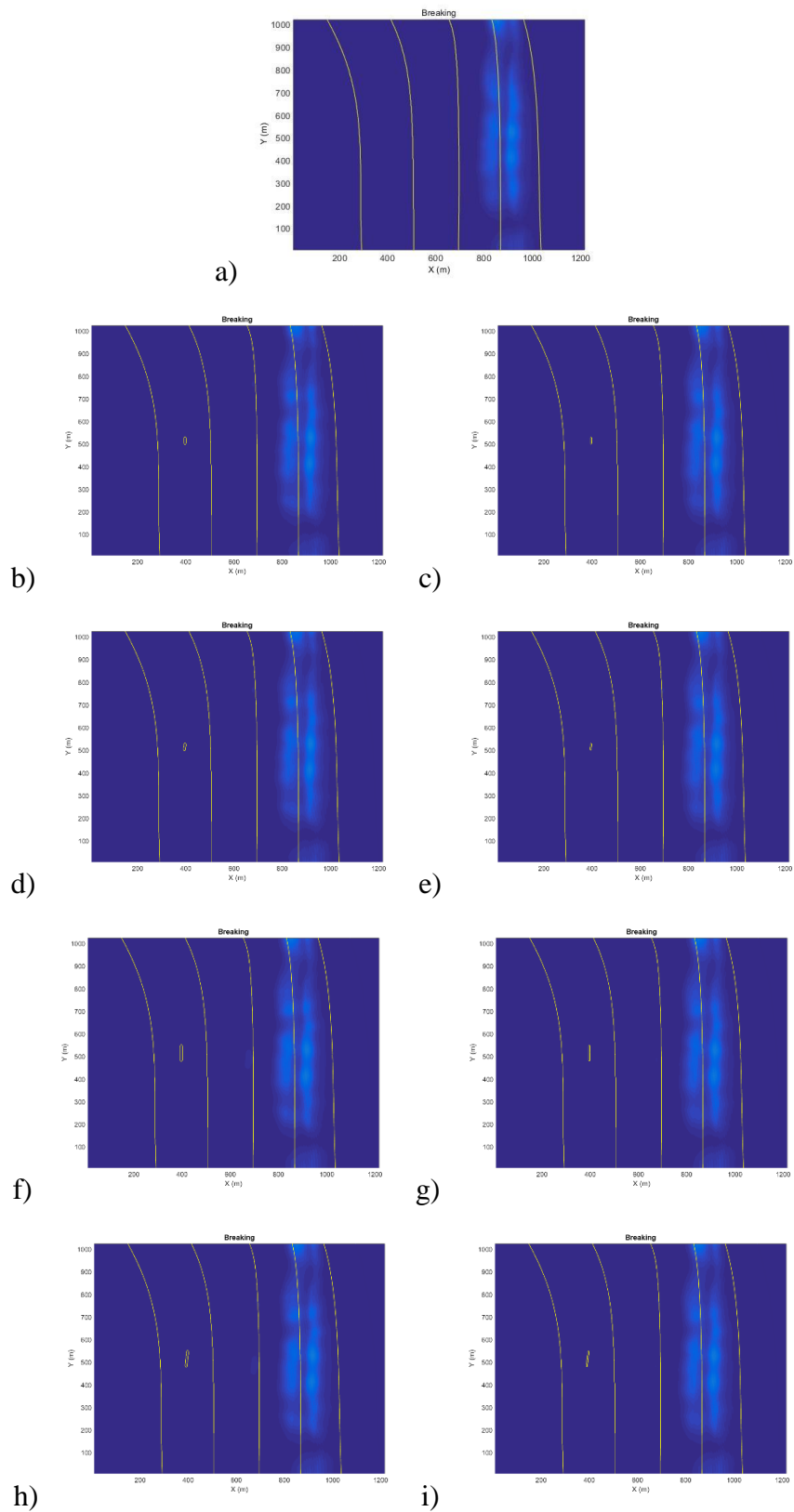


Figura B.12 – Linha de Rebentação para NM,  $H_{si}=1$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=5^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; d) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; e) P2,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; f) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; g) P2,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; h) P1,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$ ; i) P2,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$

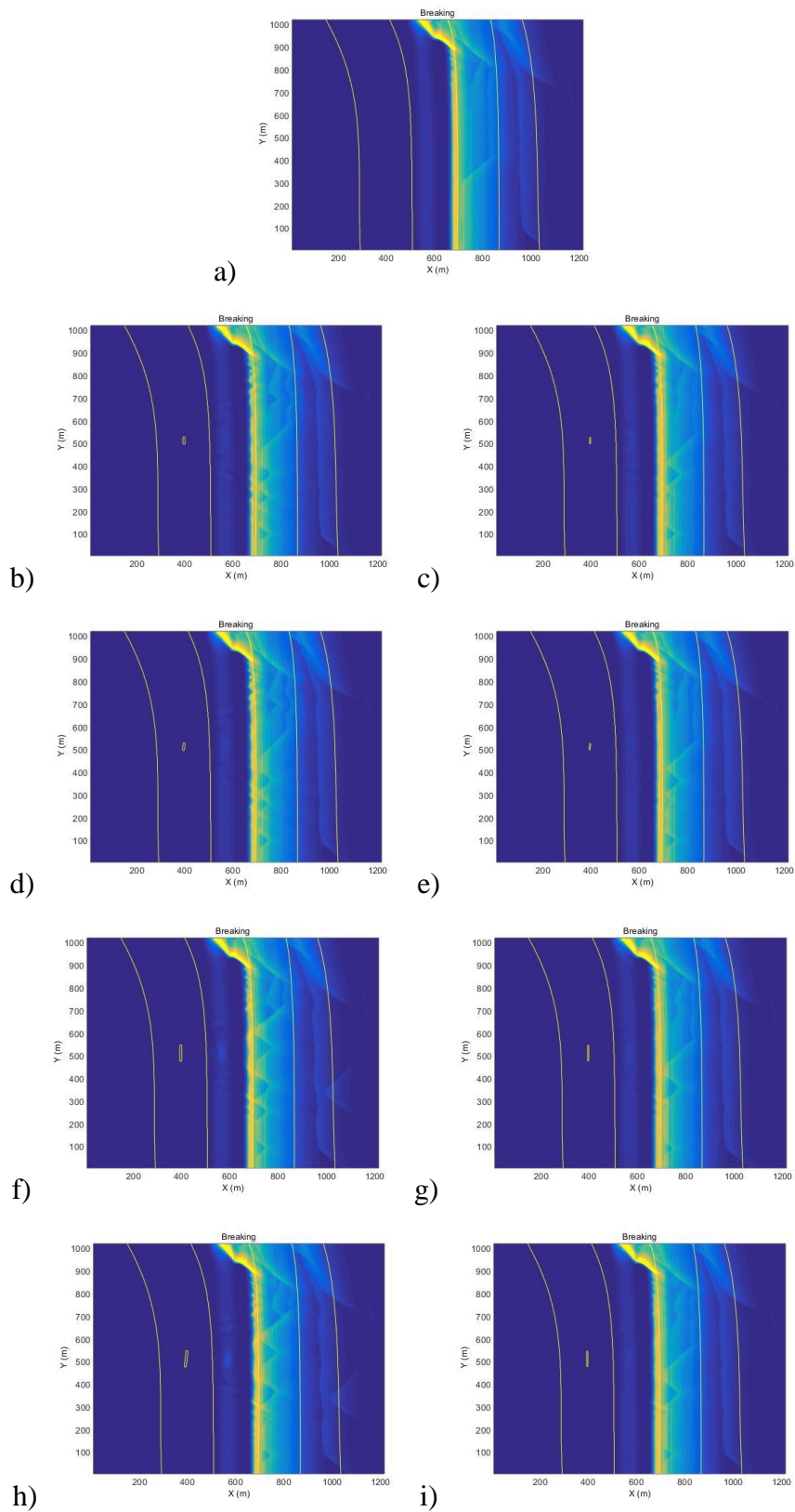


Figura B.13 – Linha de Rebentação para NM,  $H_{si}=2$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; d) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; e) P2,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; f) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; g) P2,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; h) P1,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$ ; i) P2,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$

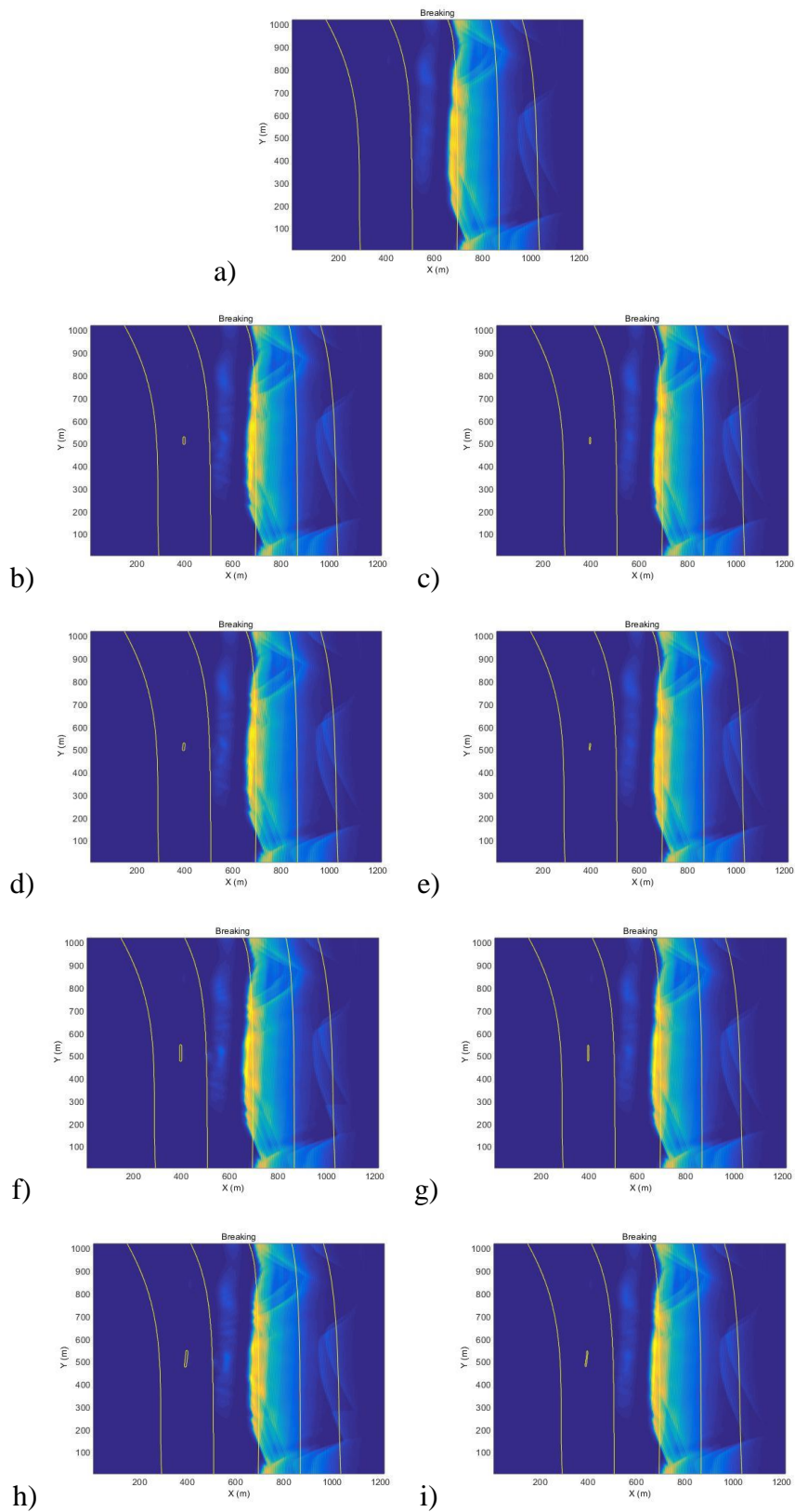


Figura B.14 – Linha de Rebentação para NM,  $H_{si}=2$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=5^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; d) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; e) P2,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; f) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; g) P2,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; h) P1,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$ ; i) P2,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$

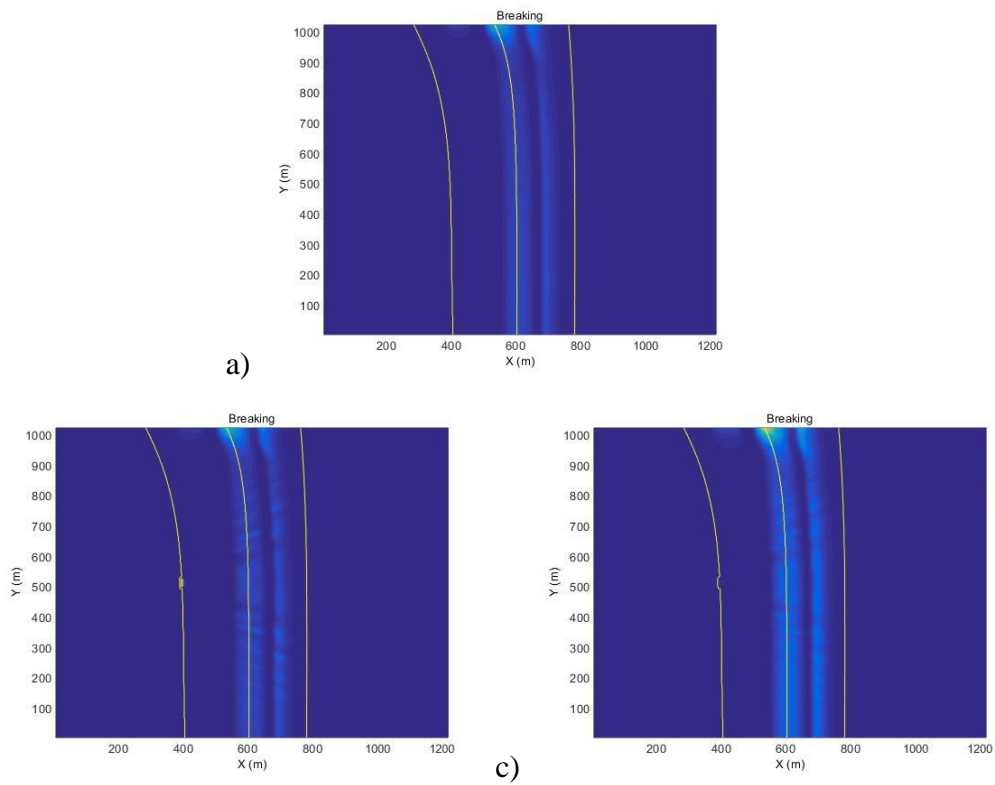


Figura B.15 – Linha de Rebentação para BM,  $H_{si}=1$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$

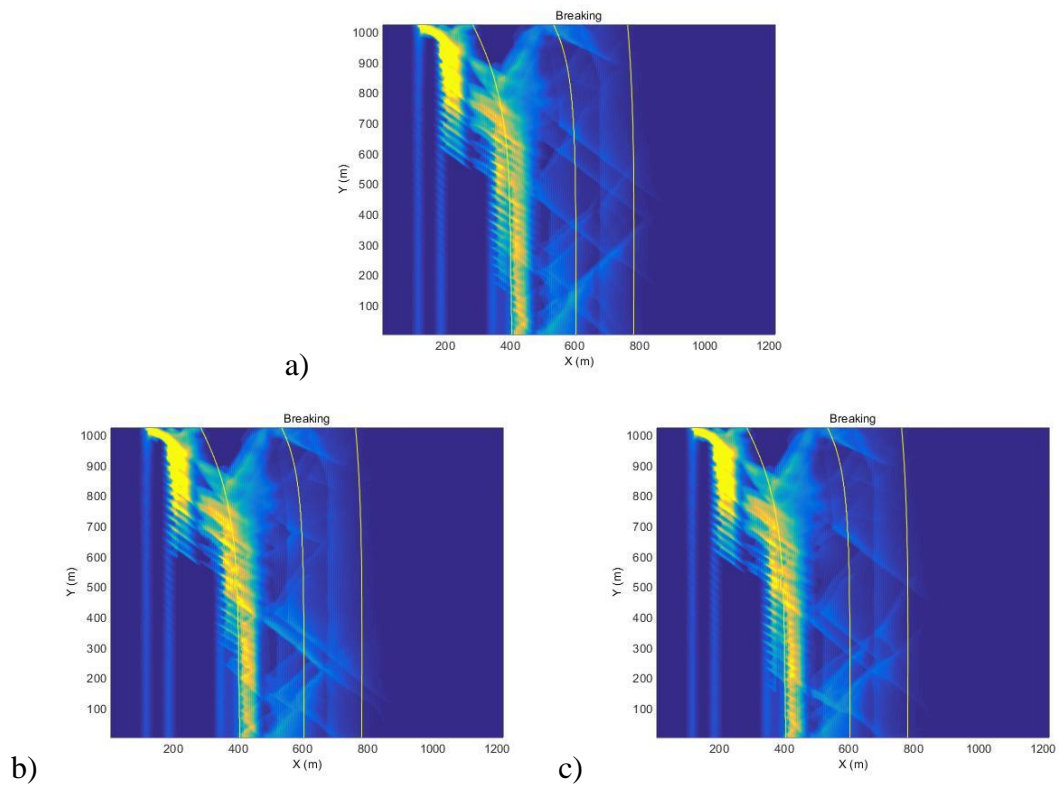


Figura B.16 – Linha de Rebentação para BM,  $H_{si}=2$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$

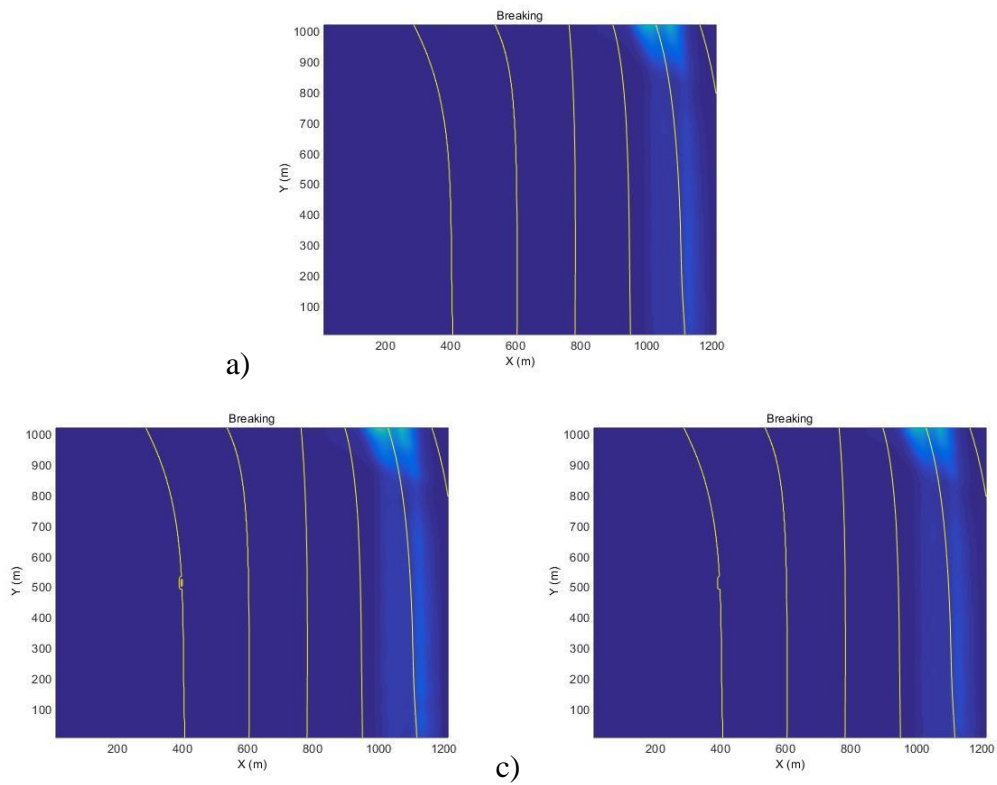


Figura B.17 – Linha de Rebentação para PM,  $H_{si}=1$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$

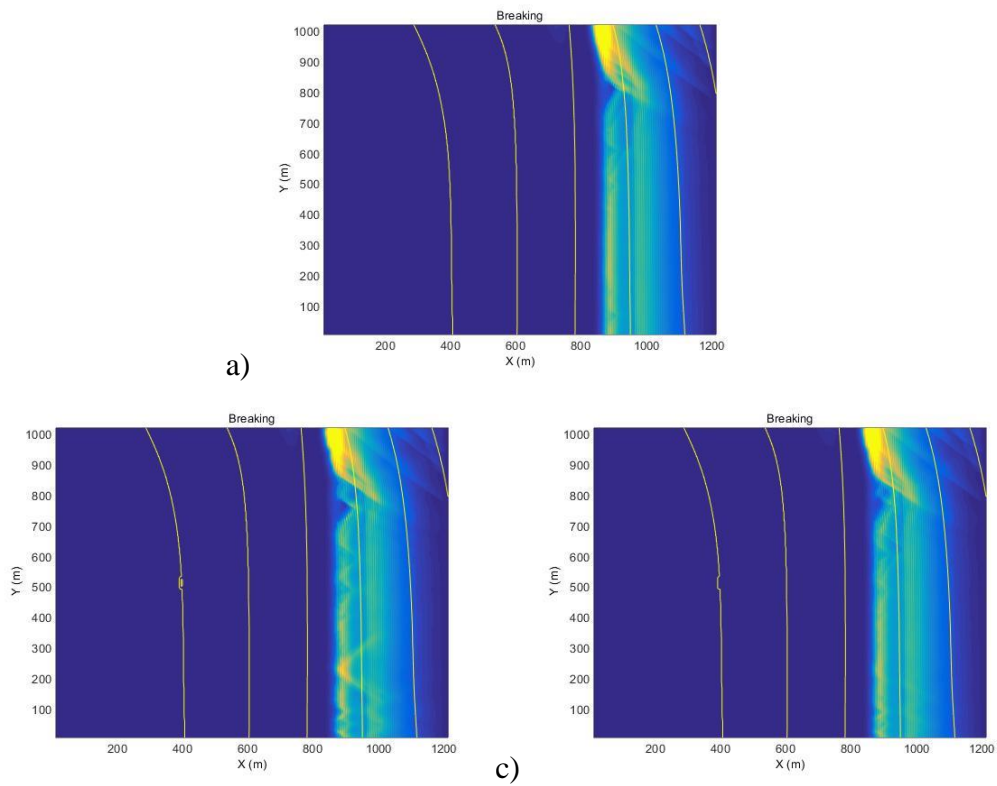


Figura B.18 – Linha de Rebentação para PM,  $H_{si}=2$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$

## Velocidades máximas

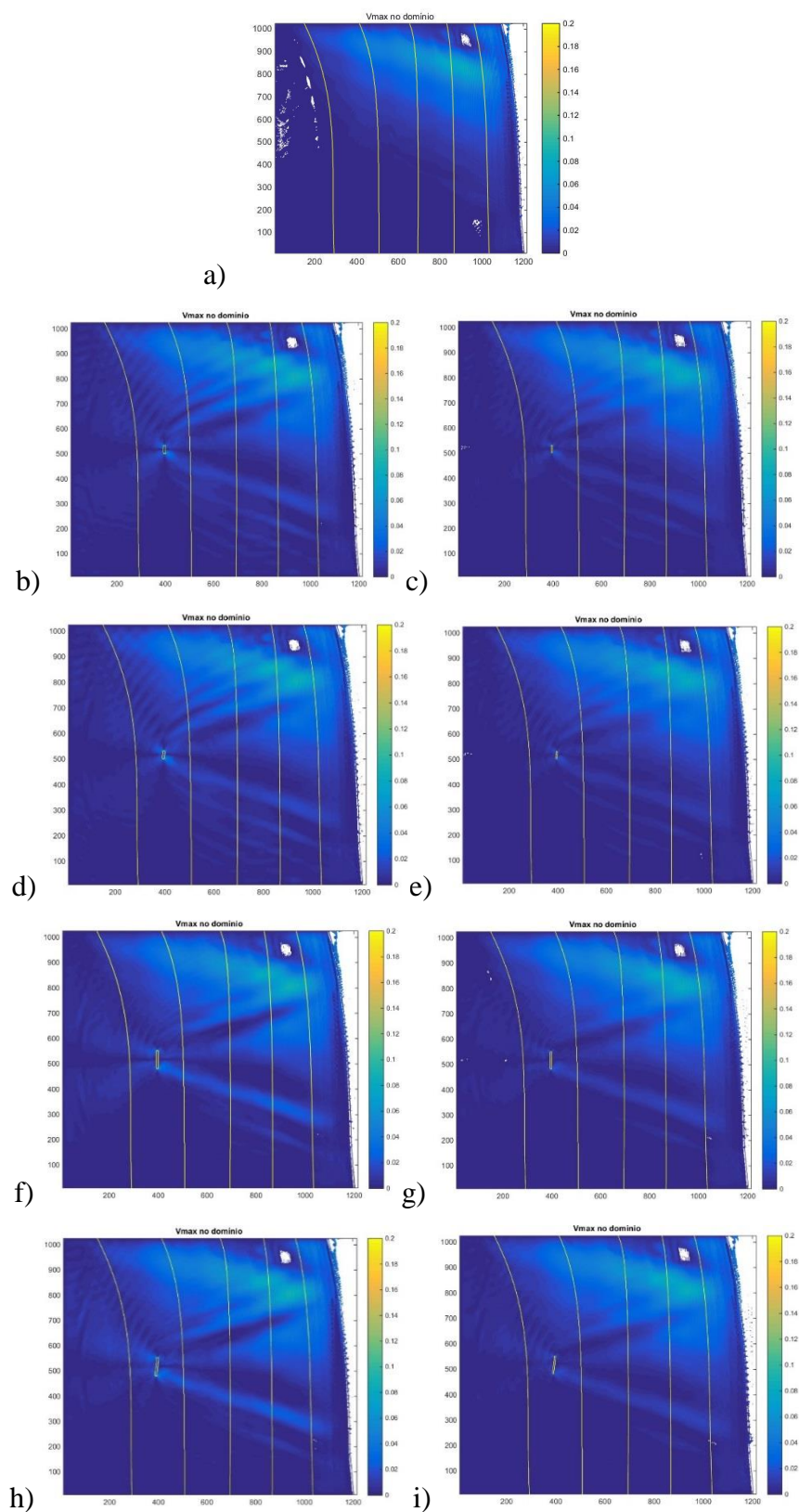


Figura B.19 –  $V_{max}$  para NM,  $H_{si}=1$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; d) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; e) P2,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; f) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; g) P2,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; h) P1,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$ ; i) P2,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$

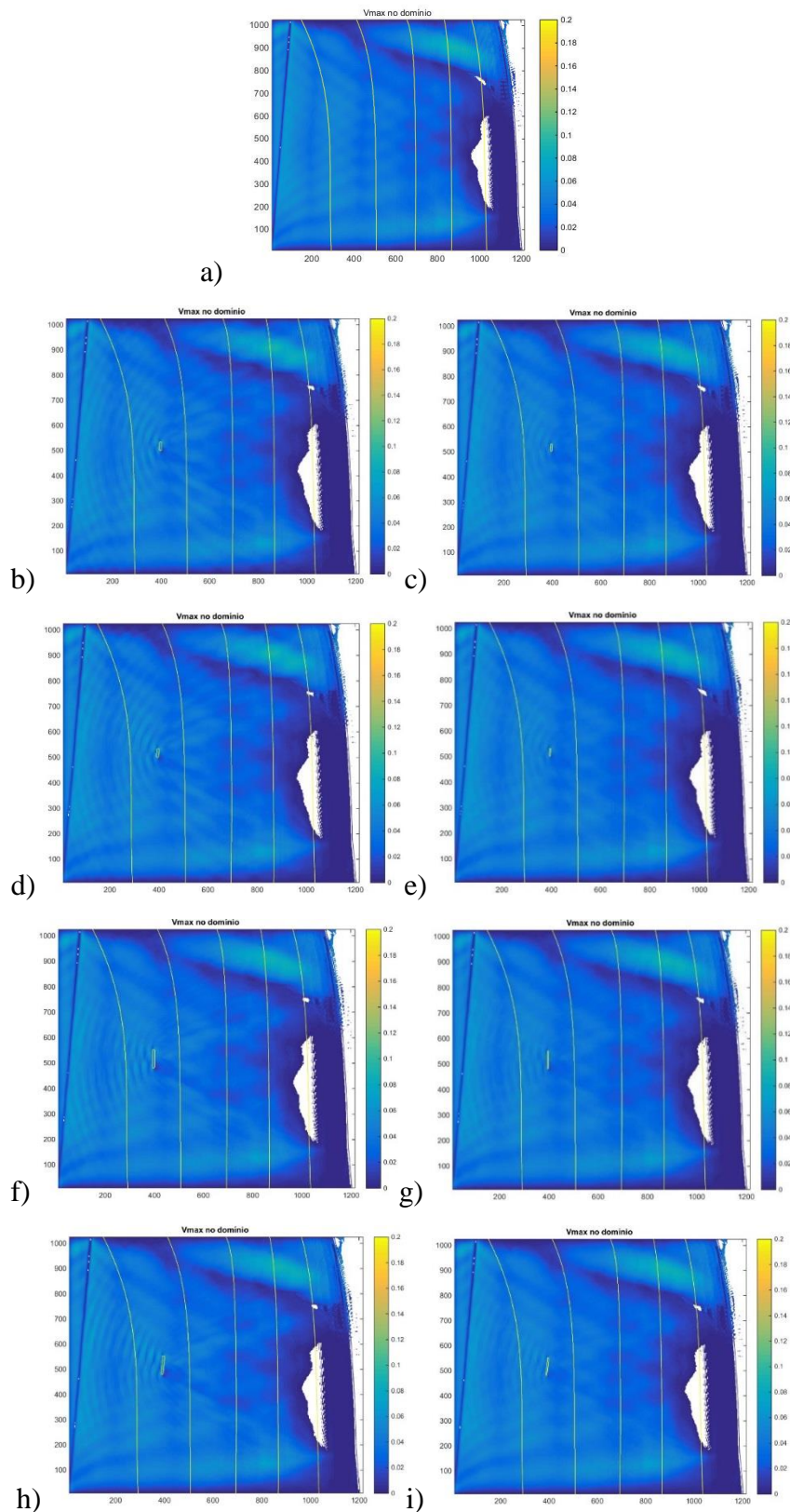


Figura B.20 – Vmax para NM,  $H_{si}=1$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=5^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; d) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; e) P2,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; f) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; g) P2,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; h) P1,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$ ; i) P2,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$

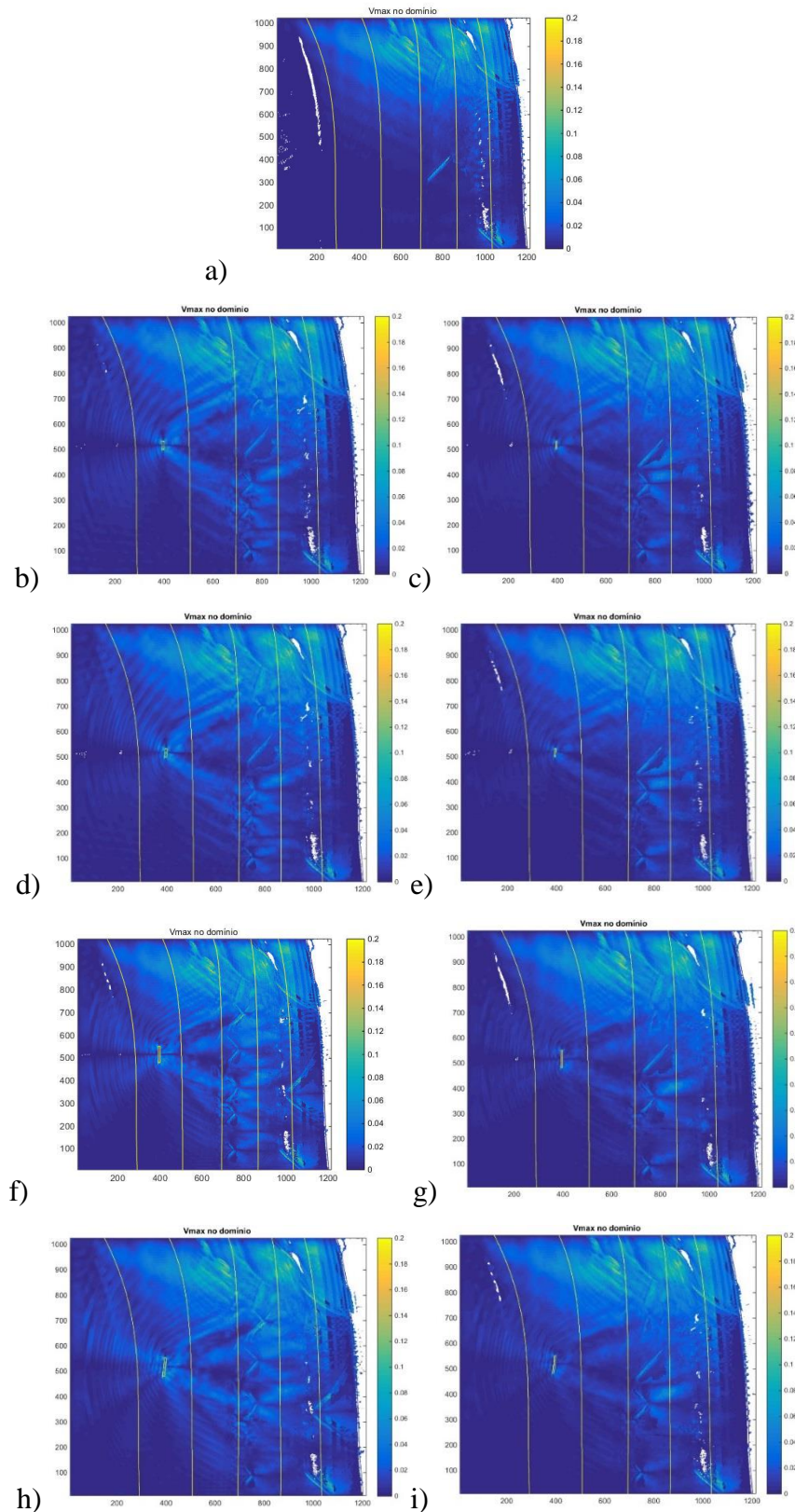


Figura B.21 – Vmax para NM,  $H_{si}=2$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; d) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; e) P2,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; f) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; g) P2,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; h) P1,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$ ; i) P2,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$

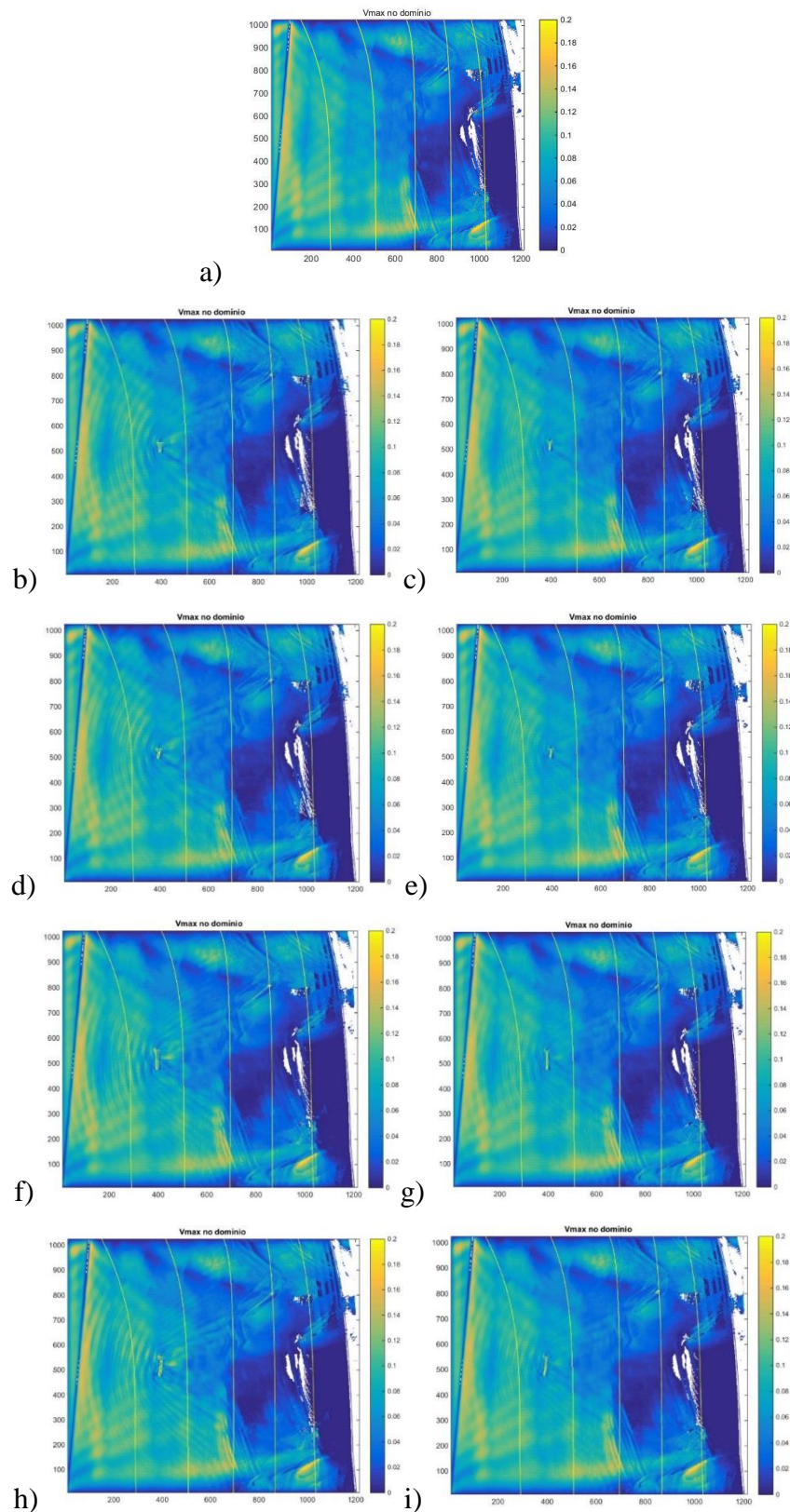


Figura B.22 – Vmax para NM, Hsi=2 m e  $T_i=10$  s,  $\text{Diri}=5^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $\text{rot}=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $\text{rot}=0^\circ$ ; d) P1,  $c=30$  m,  $\text{rot}=5^\circ$ ; e) P2,  $c=30$  m,  $\text{rot}=5^\circ$ ; f) P1,  $c=70$  m,  $\text{rot}=0^\circ$ ; g) P2,  $c=70$  m,  $\text{rot}=0^\circ$ ; h) P1,  $c=70$  m,  $\text{rot}=5^\circ$ ; i) P2,  $c=70$  m,  $\text{rot}=5^\circ$

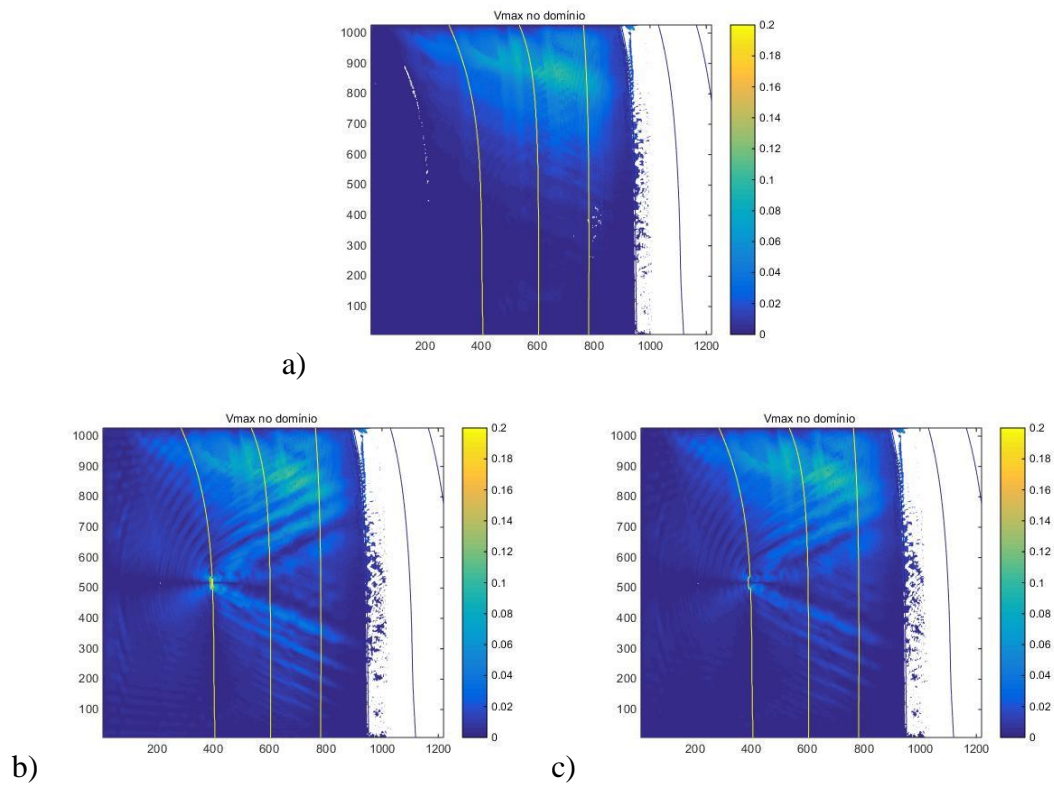


Figura B.23 – Vmax para BM, Hsi=1 m e Ti=10 s, Diri= 0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°

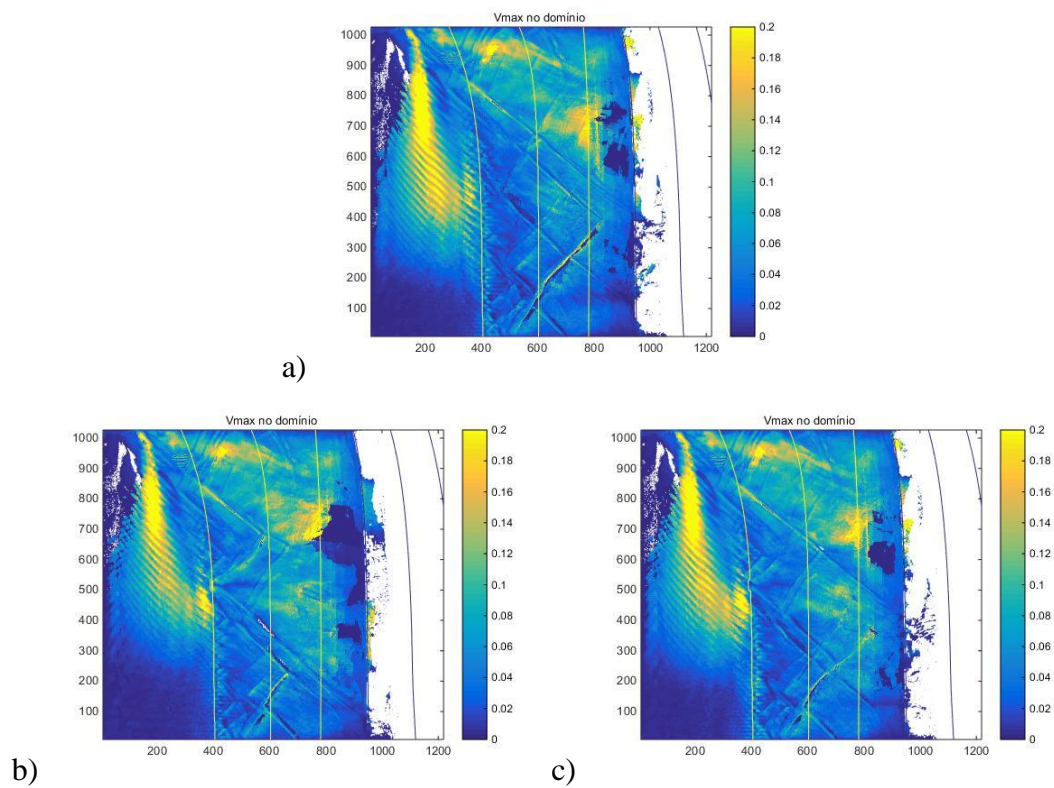
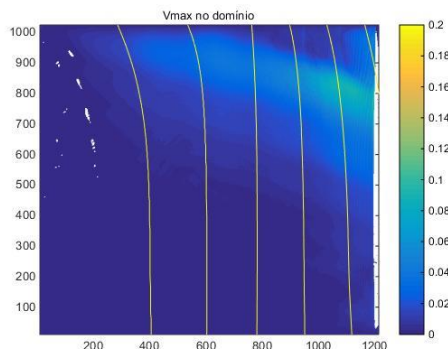
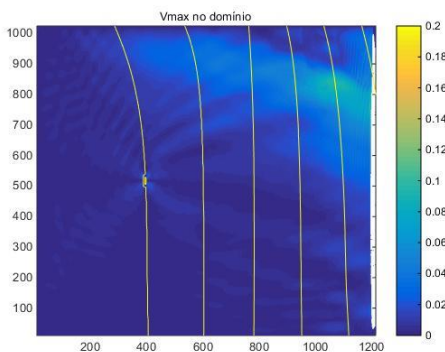


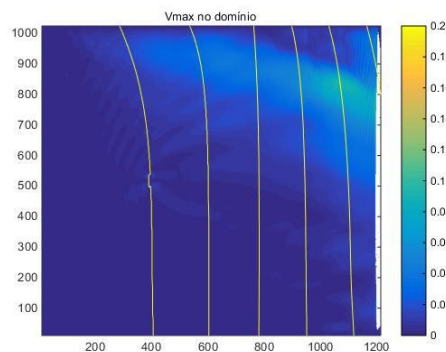
Figura B.24 – Vmax para BM, Hsi=2 m e Ti=10 s, Diri= 0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°



a)

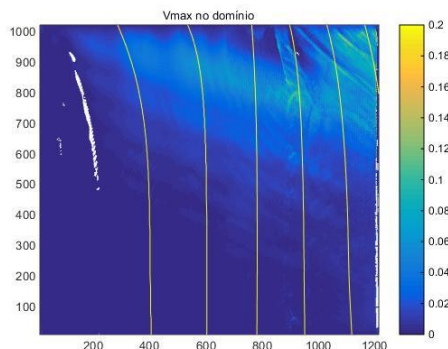


b)

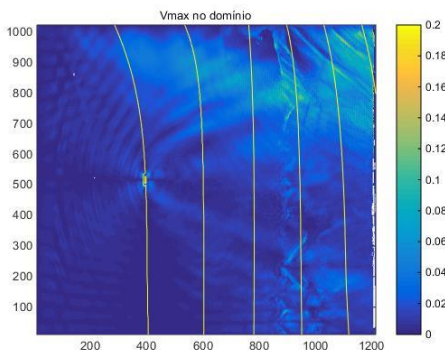


c)

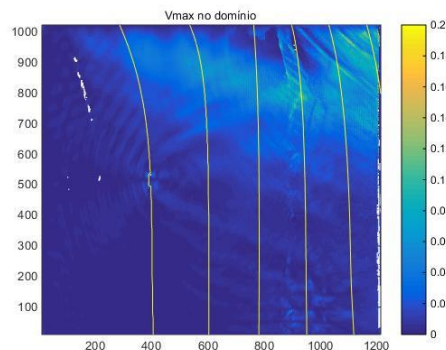
Figura B.25 – Vmax para PM, Hsi=1 m e  $Ti=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$



a)



b)



c)

Figura B.26 – Vmax para PM, Hsi=2 m e  $Ti=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0$

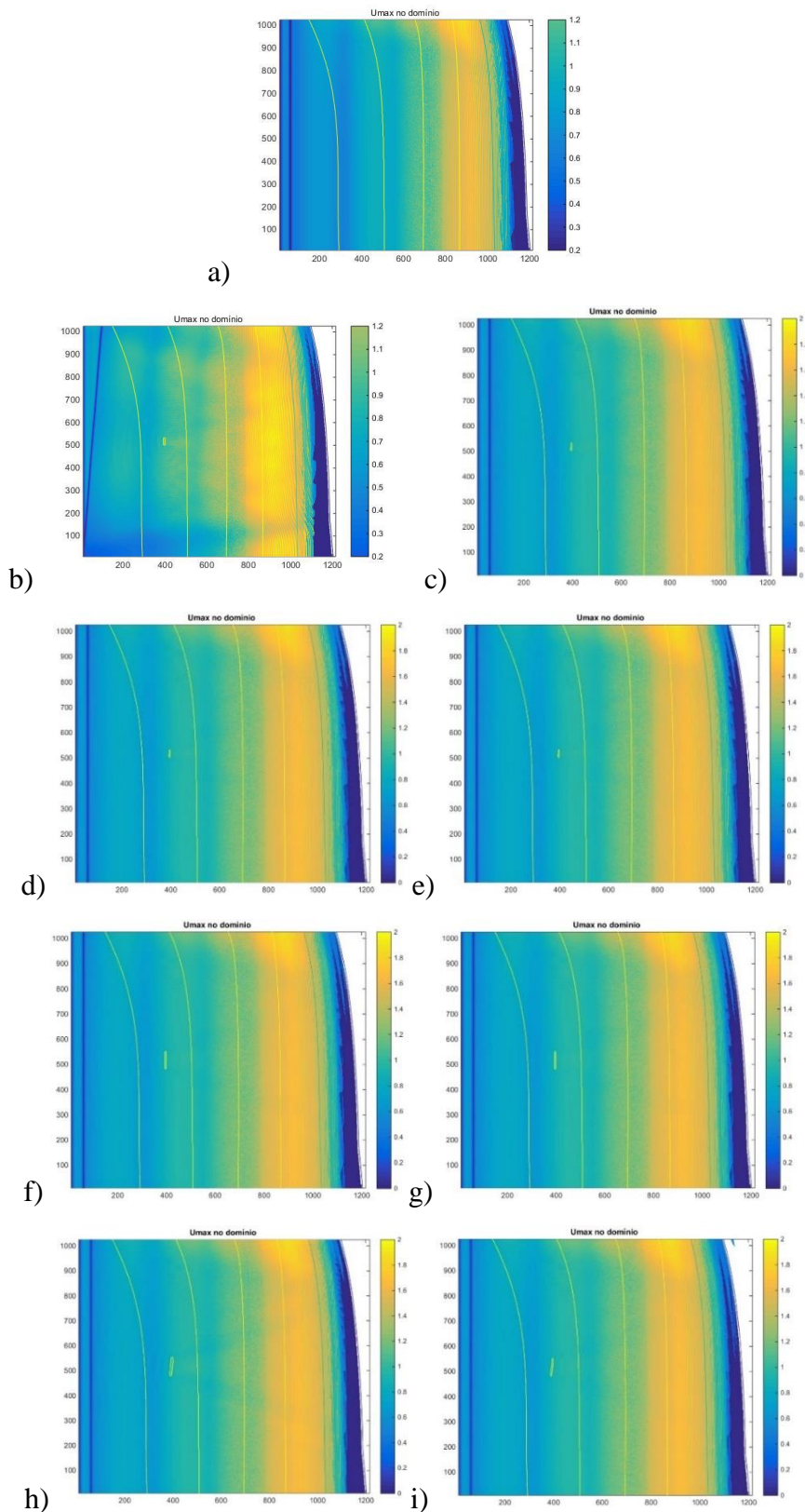


Figura B.27 – Umax para NM, Hs=1 m e T=10 s, Dir=0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°; d) P1, c=30 m, rot=5°; e) P2, c=30 m, rot=5°; f) P1, c=70 m, rot=0°; g) P2, c=70 m, rot=0°; h) P1, c=70 m, rot=5°; i) P2, c=70 m, rot=5°

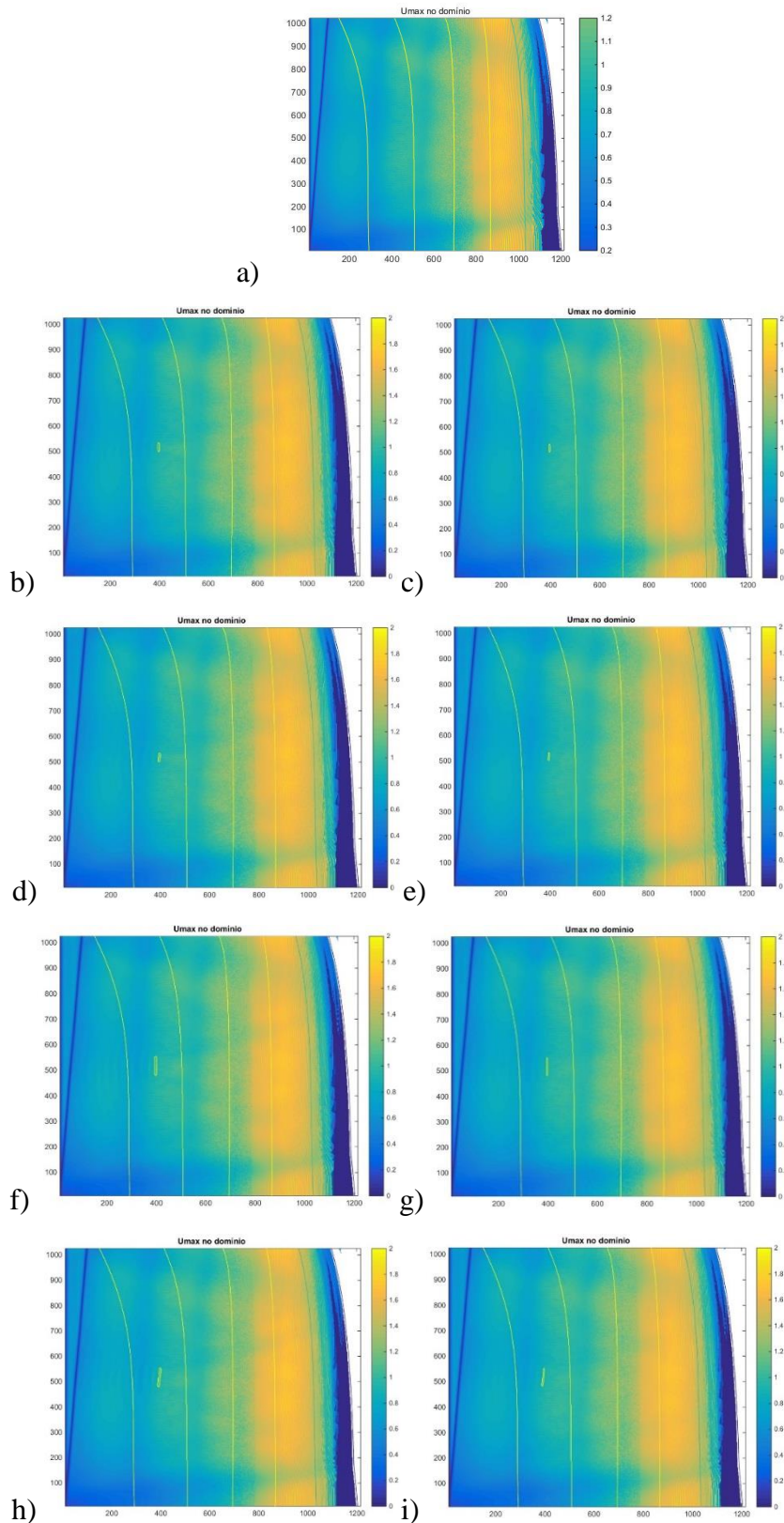


Figura B.28 –  $U_{max}$  para NM,  $H_{si}=1$  m e  $T_i=10$  s,  $Diri=5^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; d) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; e) P2,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; f) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; g) P2,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; h) P1,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$ ; i) P2,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$

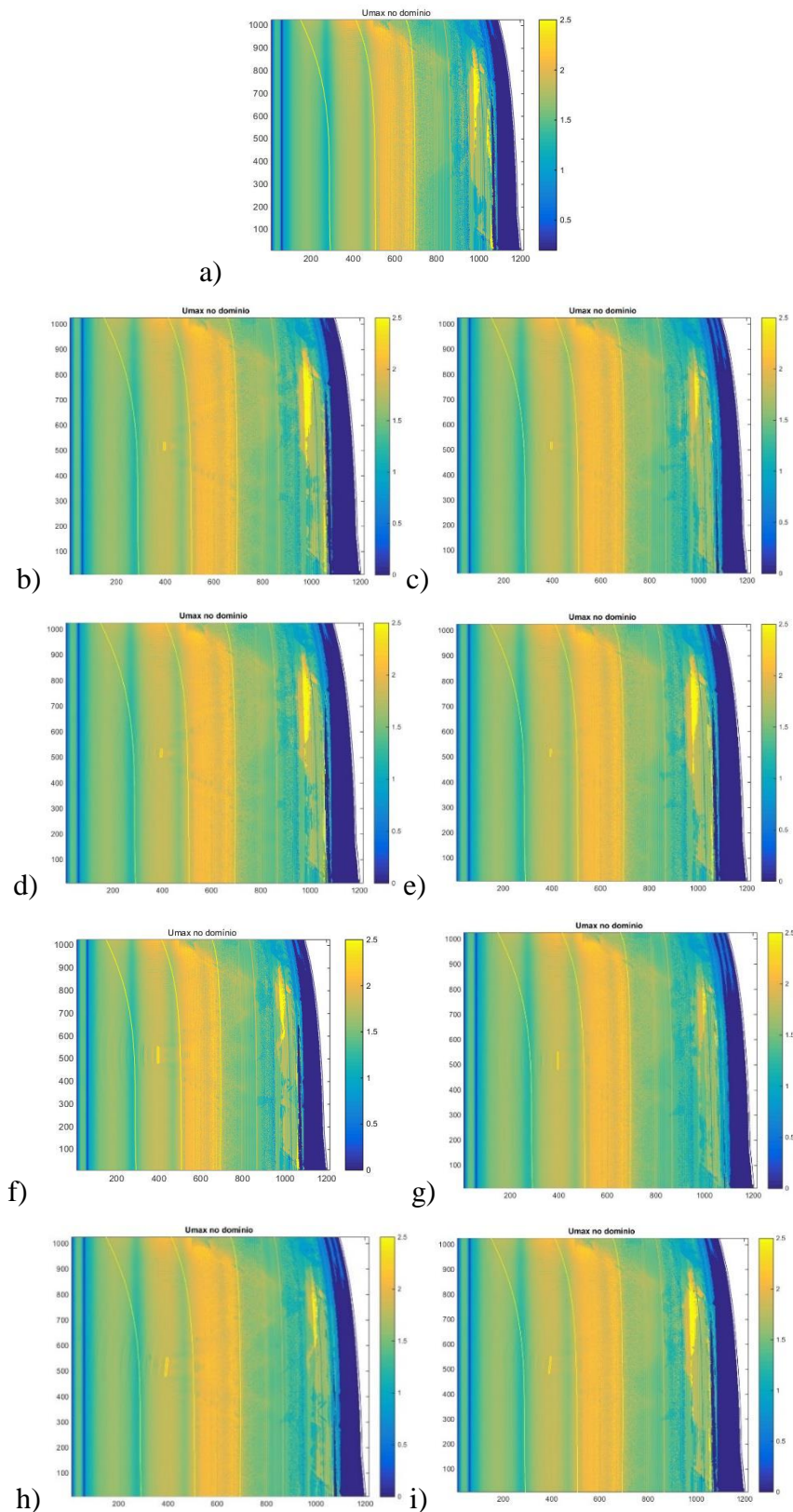


Figura B.29 –  $U_{max}$  para NM,  $H_{si}=2$  m e  $T_i=10$  s,  $Diri=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; d) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; e) P2,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; f) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; g) P2,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; h) P1,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$ ; i) P2,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$

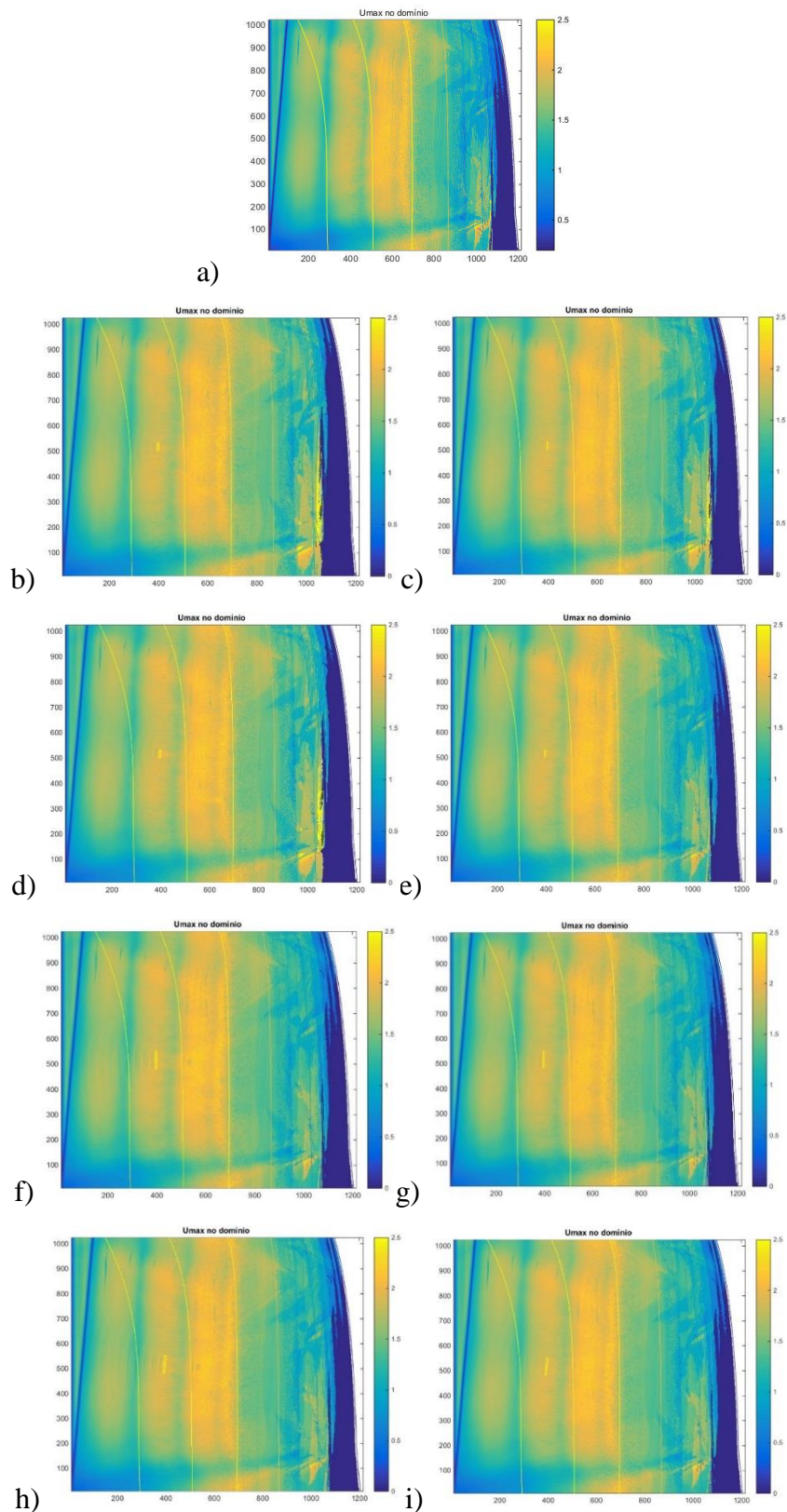
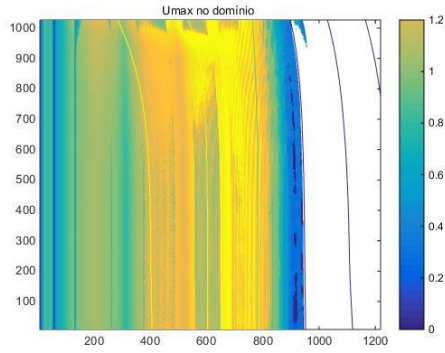
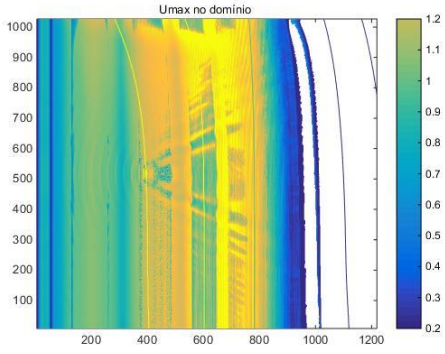


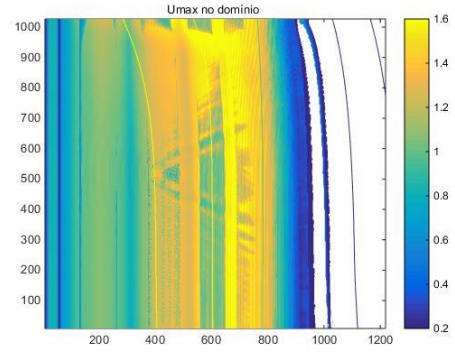
Figura B.30 –  $U_{max}$  para NM,  $H_{si}=2$  m e  $T_i=10$  s,  $Diri=5^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; d) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; e) P2,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; f) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; g) P2,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; h) P1,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$ ; i) P2,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$



a)

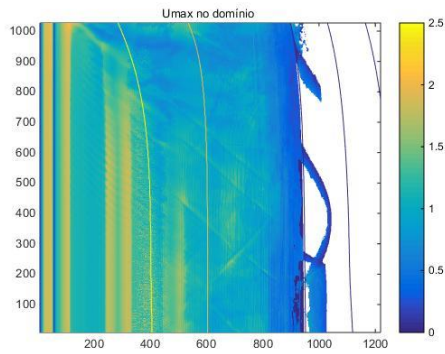


b)

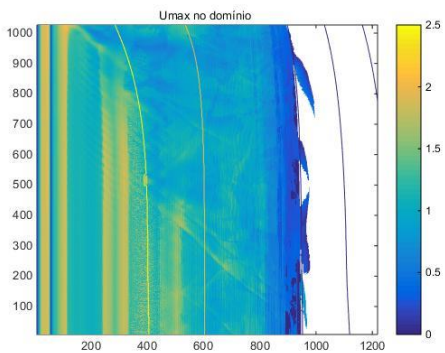


c)

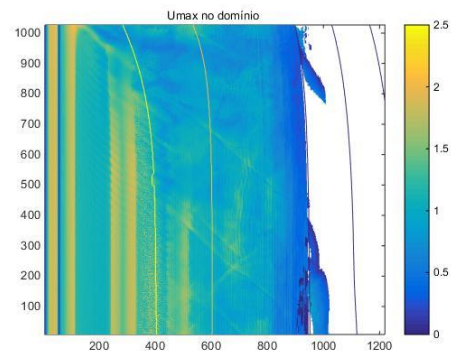
Figura B.31 – Umax para BM, Hsi=1 m e  $Ti=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$



a)



b)



c)

Figura B.32 – Umax para BM, Hsi=2 m e  $Ti=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$

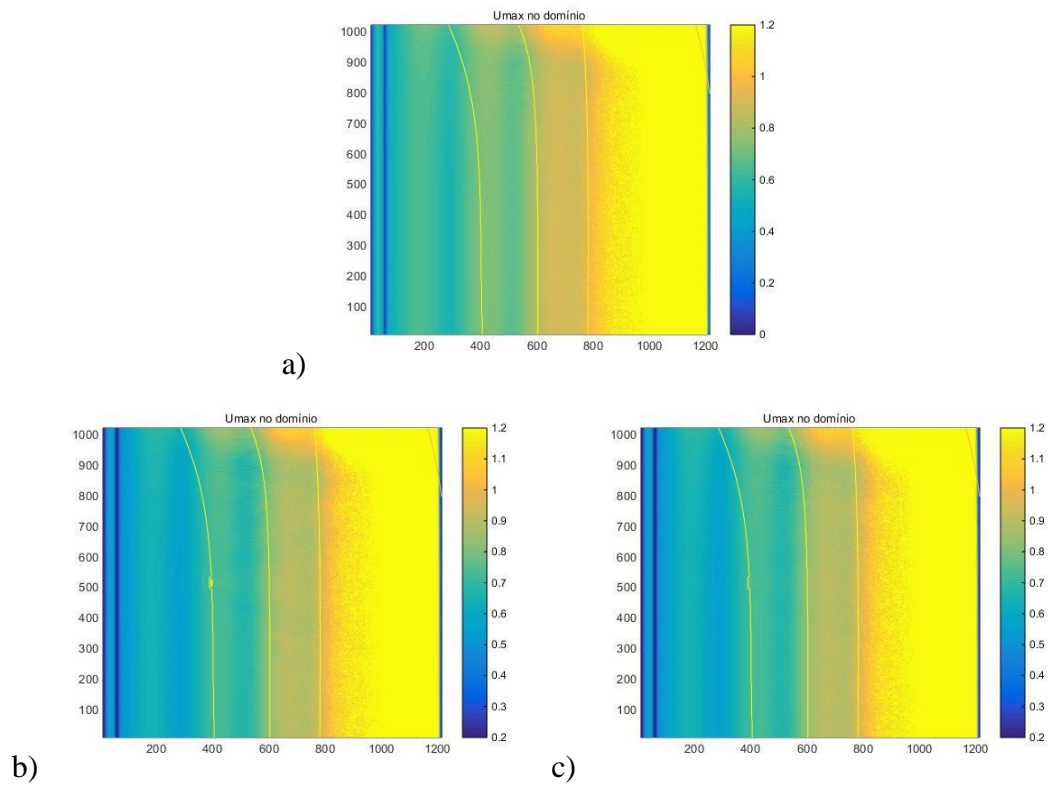


Figura B.33 –  $U_{max}$  para PM,  $H_{si}=1$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$

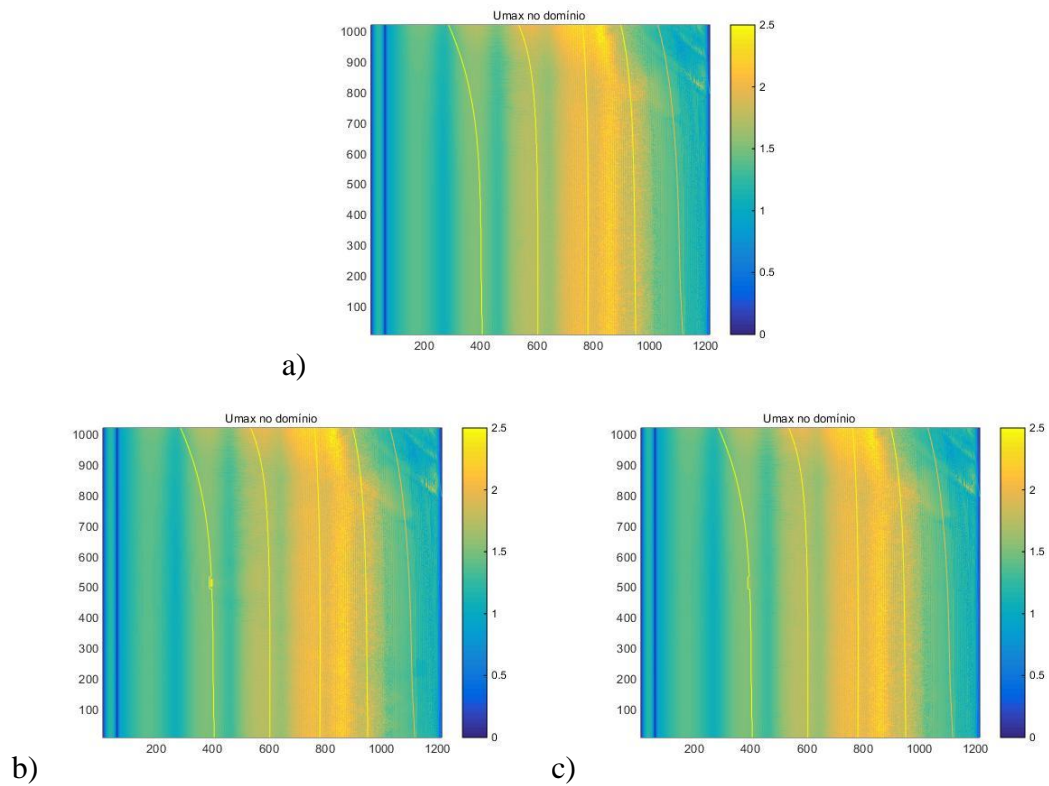


Figura B.34 –  $U_{max}$  para PM,  $H_{si}=2$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$

## Velocidades mínimas

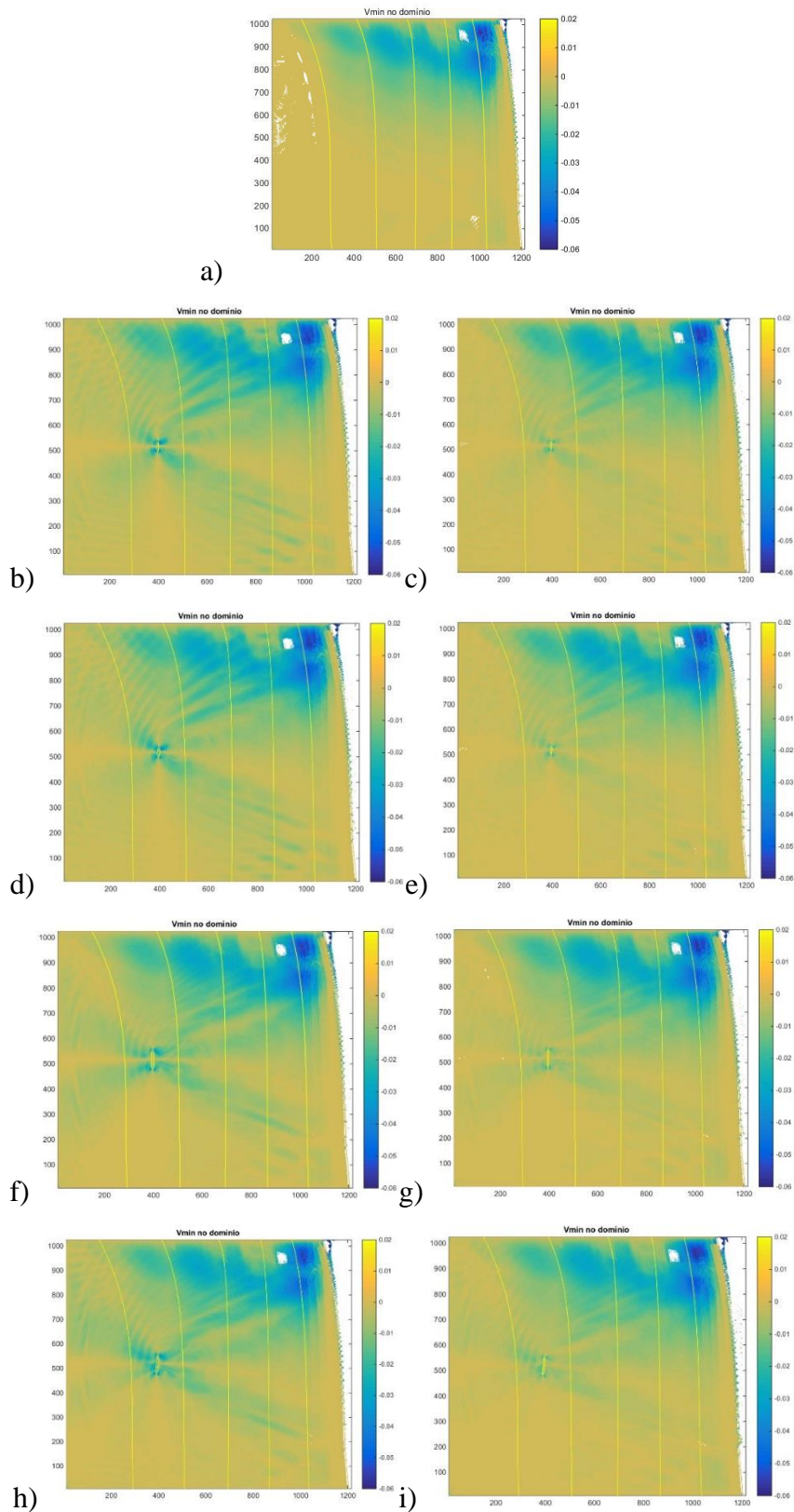


Figura B.35 –  $V_{min}$  para NM,  $H_{si}=1$  m e  $T_i=10$  s,  $Diri=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; d) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; e) P2,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; f) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; g) P2,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; h) P1,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$ ; i) P2,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$

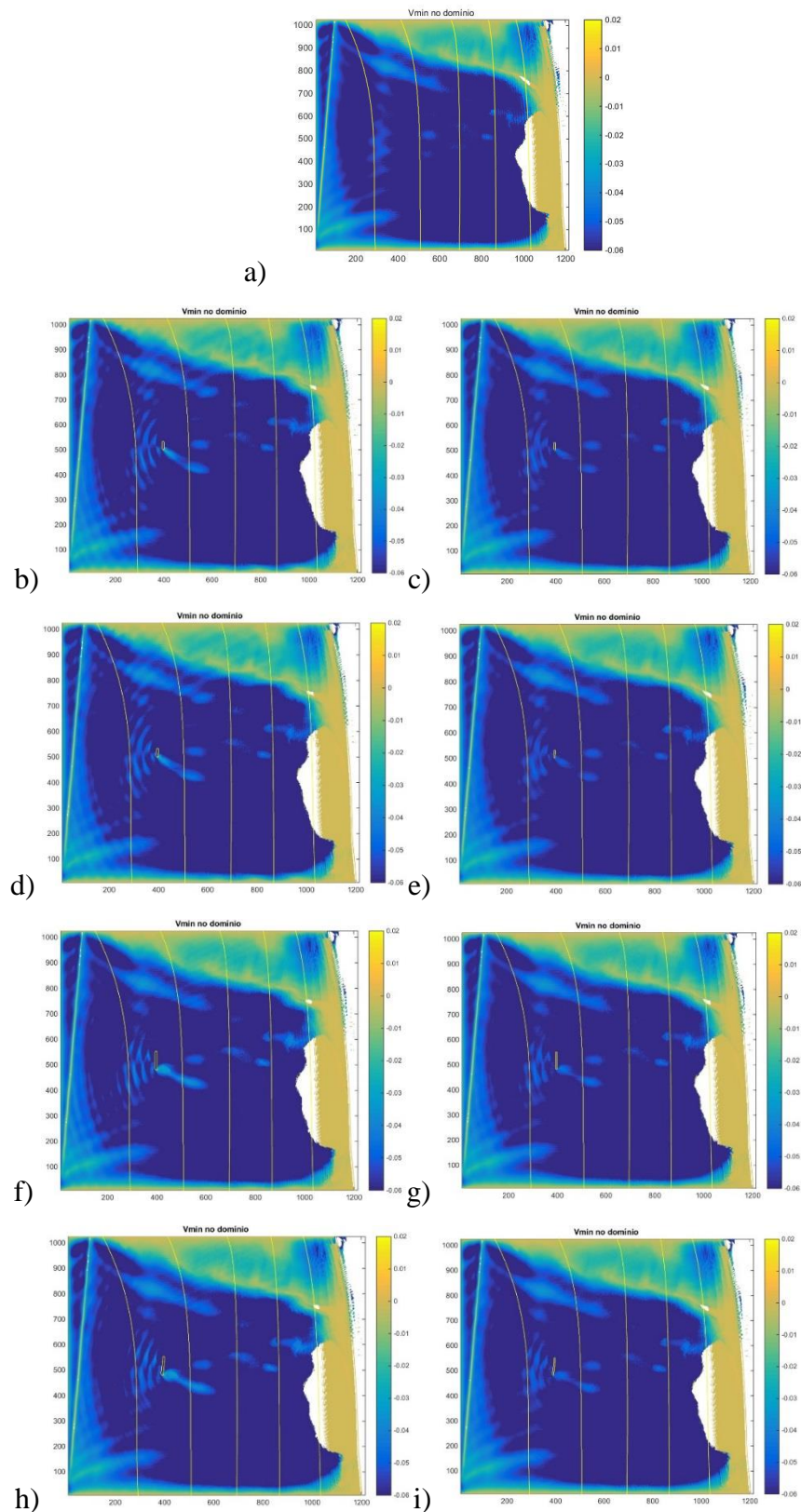


Figura B.36 –  $V_{min}$  para NM,  $H_{si}=1$  m e  $T=10$  s,  $Diri=5^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; d) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; e) P2,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; f) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; g) P2,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; h) P1,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$ ; i) P2,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$

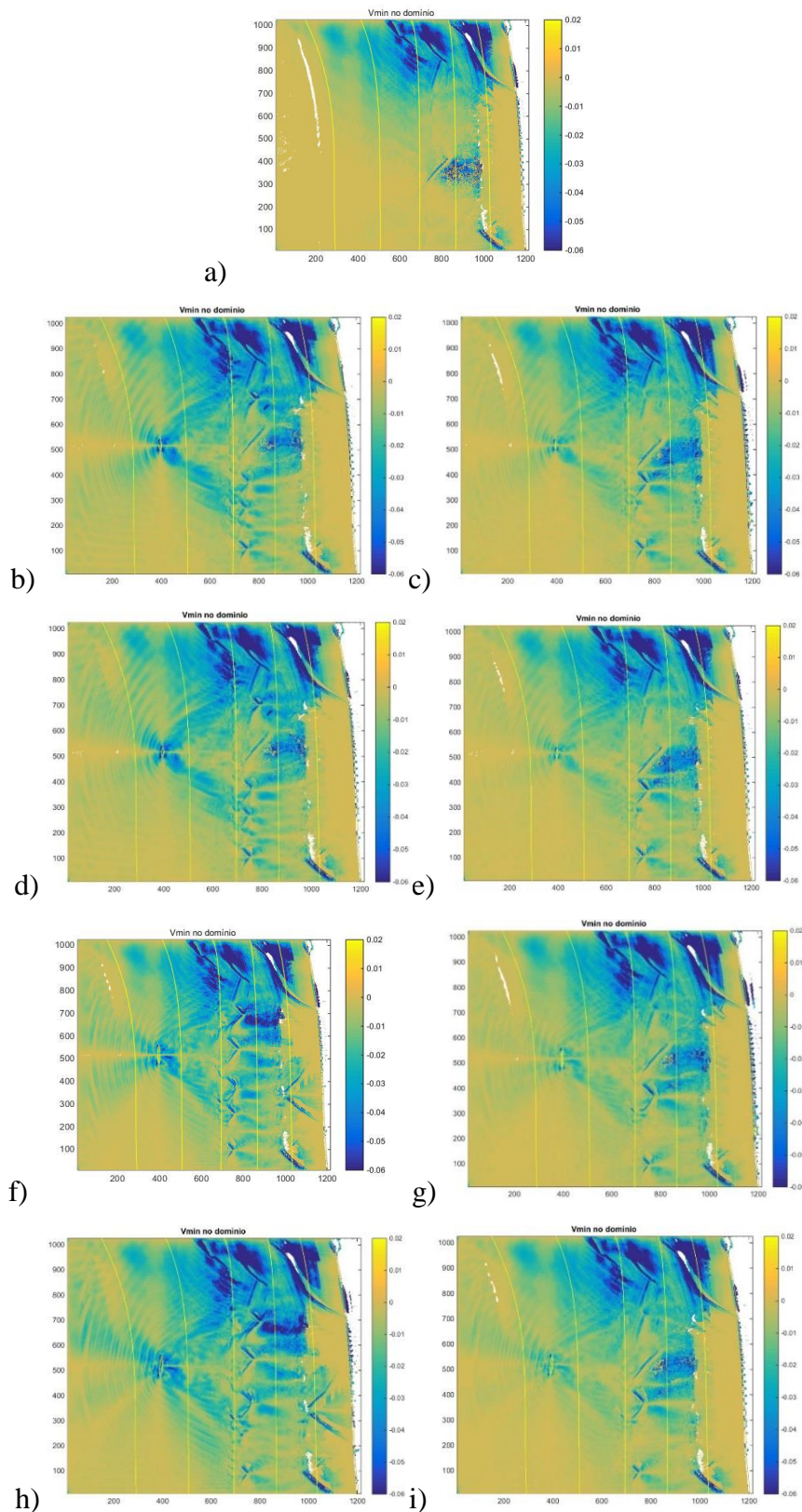


Figura B.37 –  $V_{min}$  para NM,  $H_{si}=2$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; d) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; e) P2,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; f) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; g) P2,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; h) P1,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$ ; i) P2,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$

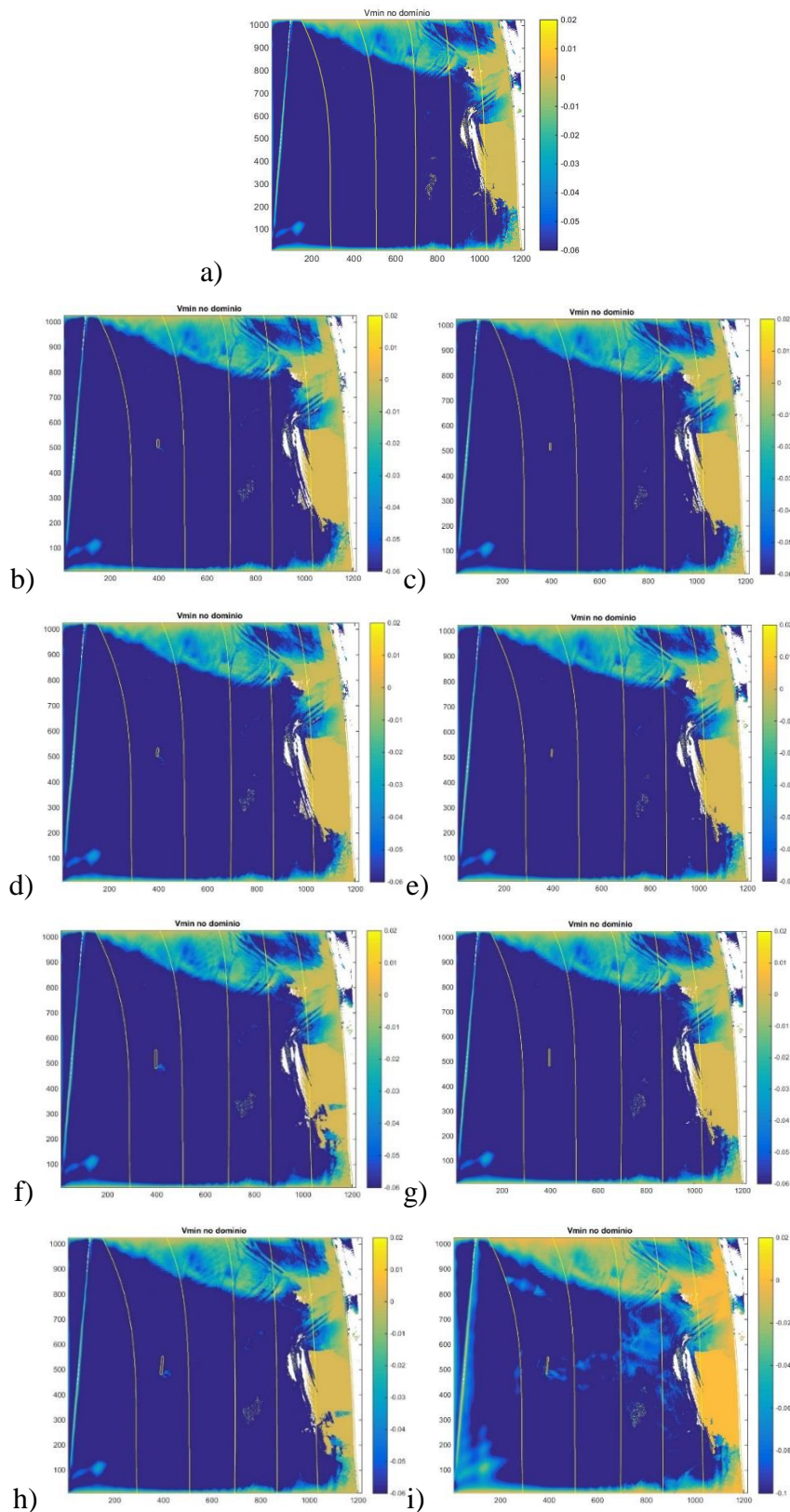


Figura B.38 –  $V_{min}$  para NM,  $H_{si}=2$  m e  $T_i=10$  s,  $Diri=5^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; d) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; e) P2,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; f) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; g) P2,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; h) P1,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$ ; i) P2,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$

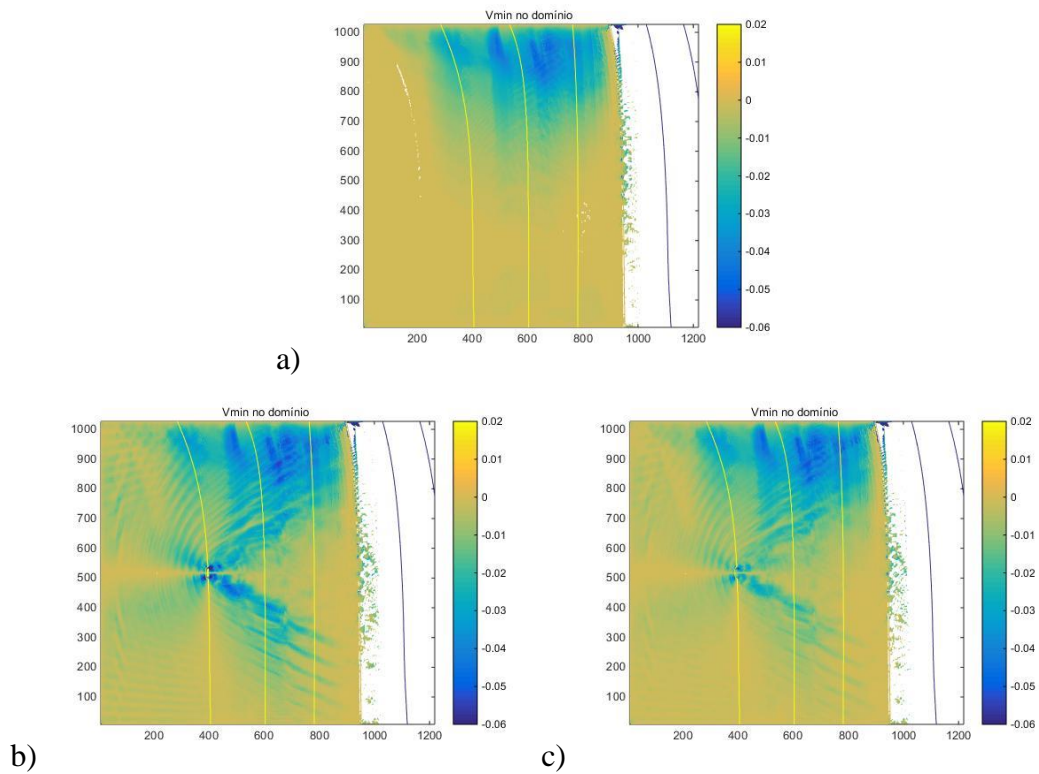


Figura B.39 – Vmin para BM, Hsi=1 m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$

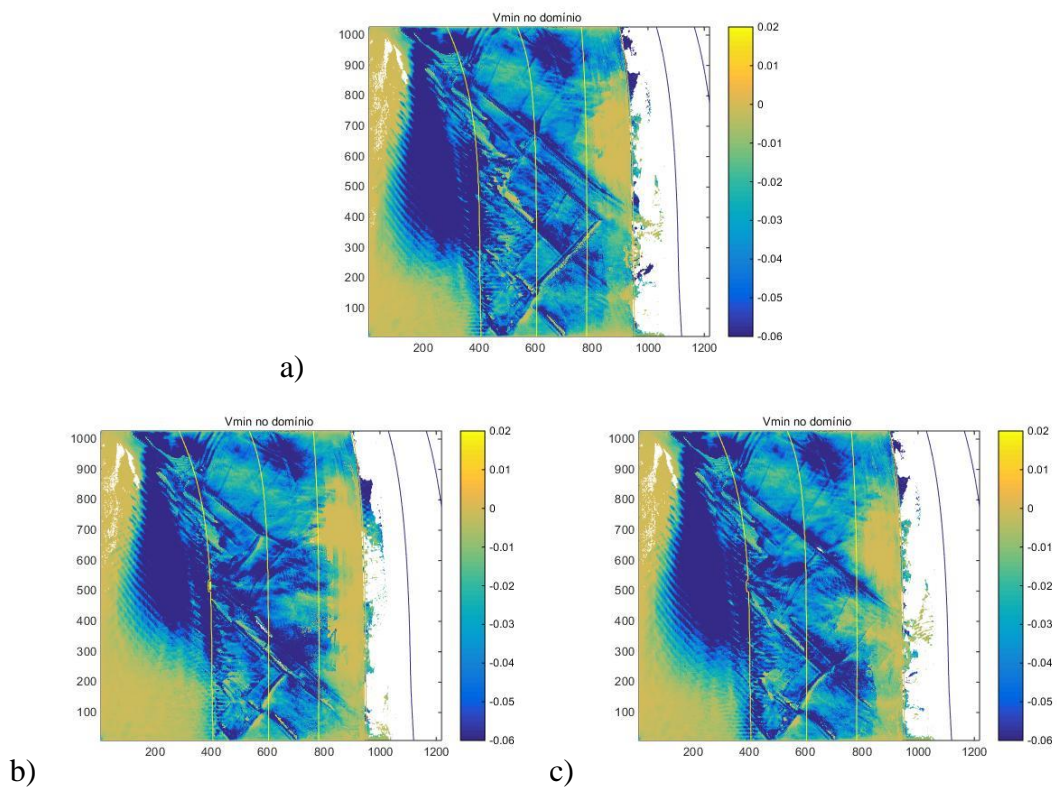
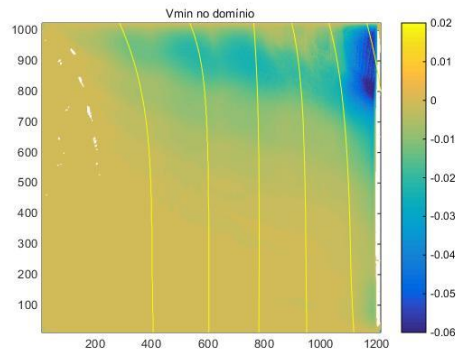
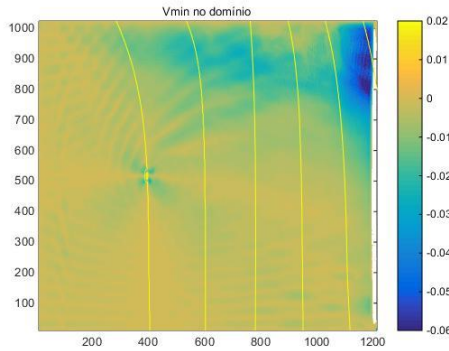


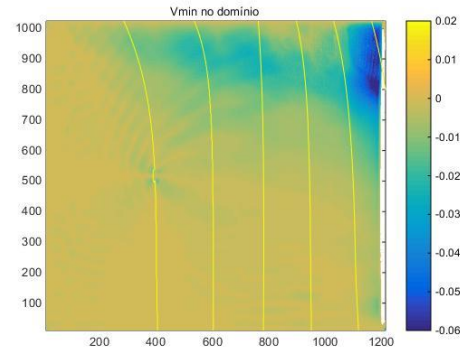
Figura B.40 – Vmin para BM, Hsi=2 m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$



a)

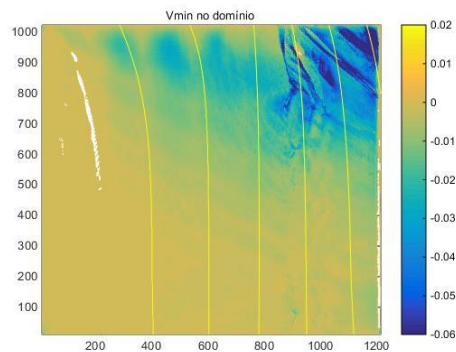


b)

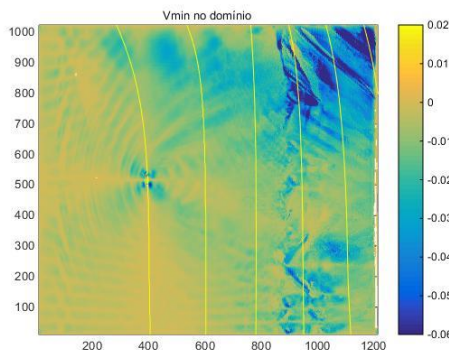


c)

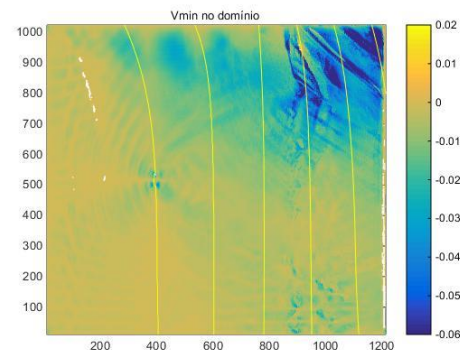
Figura B.41 – Vmin para PM, Hsi=1 m e  $Ti=10$  s,  $Diri=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$



a)



b)



c)

Figura B.42 – Vmin para PM, Hsi=2 m e  $Ti=10$  s,  $Diri=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$

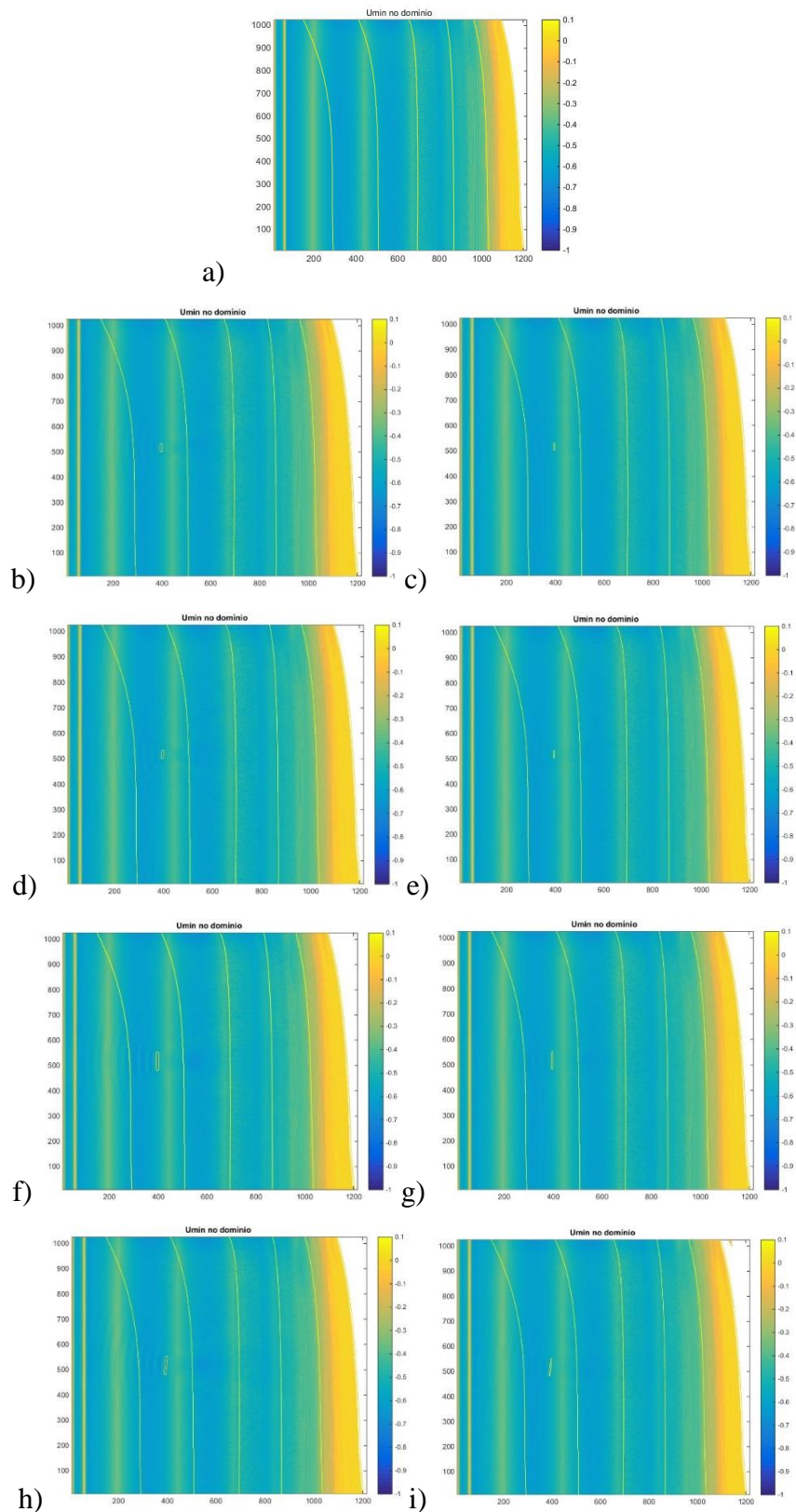


Figura B.43 –  $U_{min}$  para NM,  $H_{si}=1$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; d) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; e) P2,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; f) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; g) P2,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; h) P1,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$ ; i) P2,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$

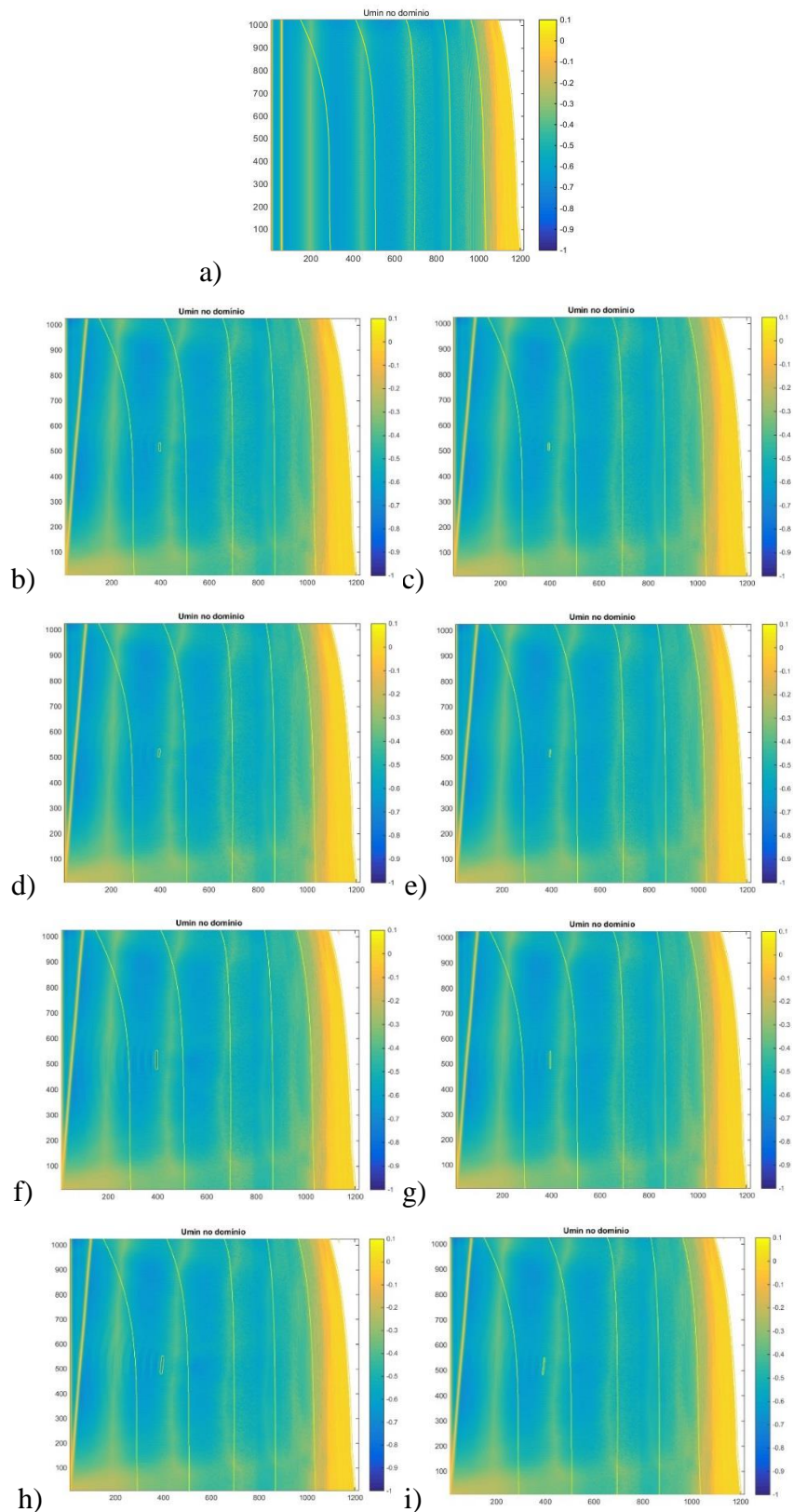


Figura B.44 – Umin para NM, Hsi=1 m e Ti=10 s, Diri=5° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°; d) P1, c=30 m, rot=5°; e) P2, c=30 m, rot=5°; f) P1, c=70 m, rot=0°; g) P2, c=70 m, rot=0°; h) P1, c=70 m, rot=5°; i) P2, c=70 m, rot=5°

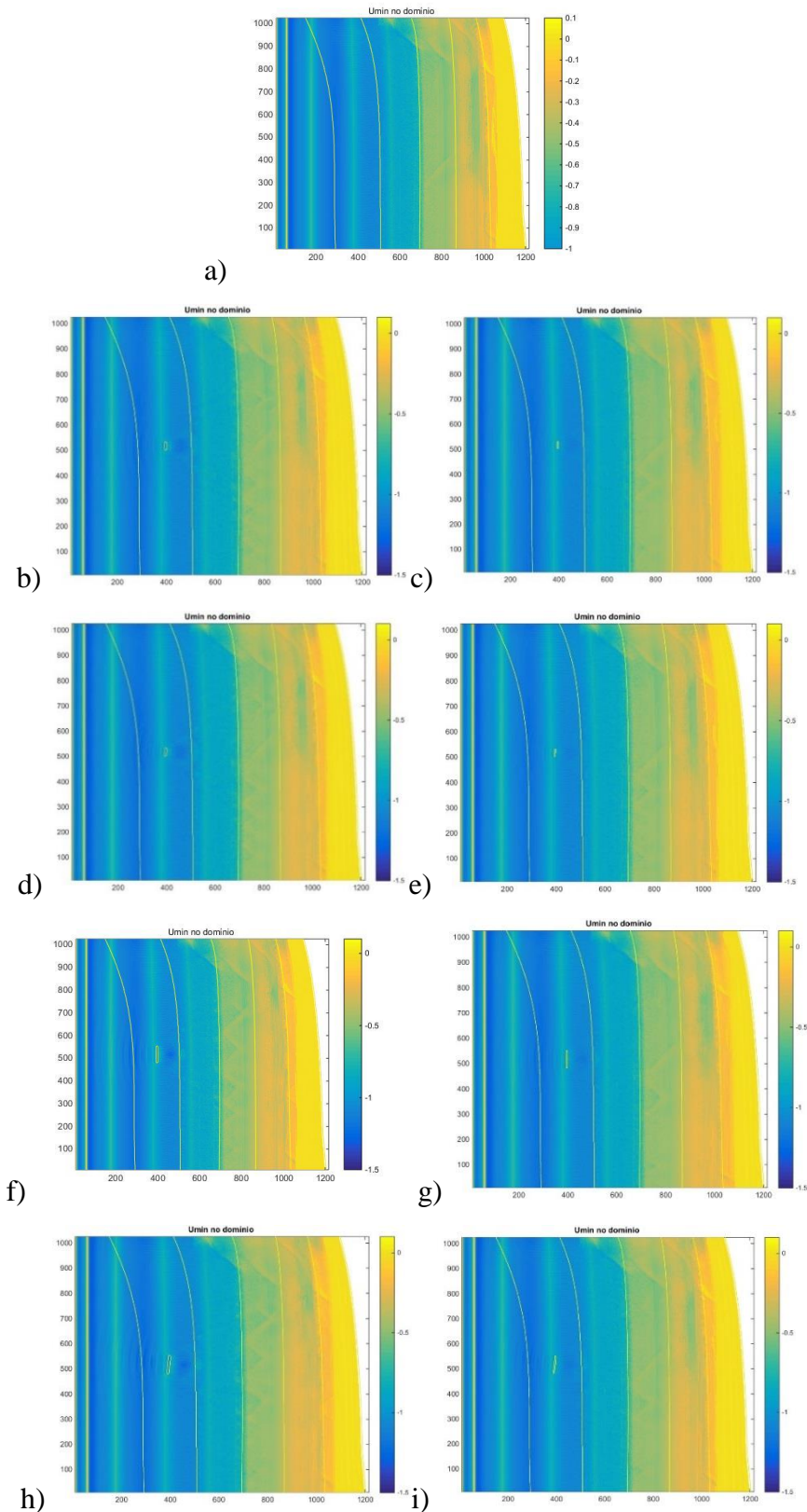


Figura B.45 – Umin para NM, Hsi=2 m e Ti=10 s, Diri=0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°; d) P1, c=30 m, rot=5°; e) P2, c=30 m, rot=5°; f) P1, c=70 m, rot=0°; g) P2, c=70 m, rot=0°; h) P1, c=70 m, rot=5°; i) P2, c=70 m, rot=5°

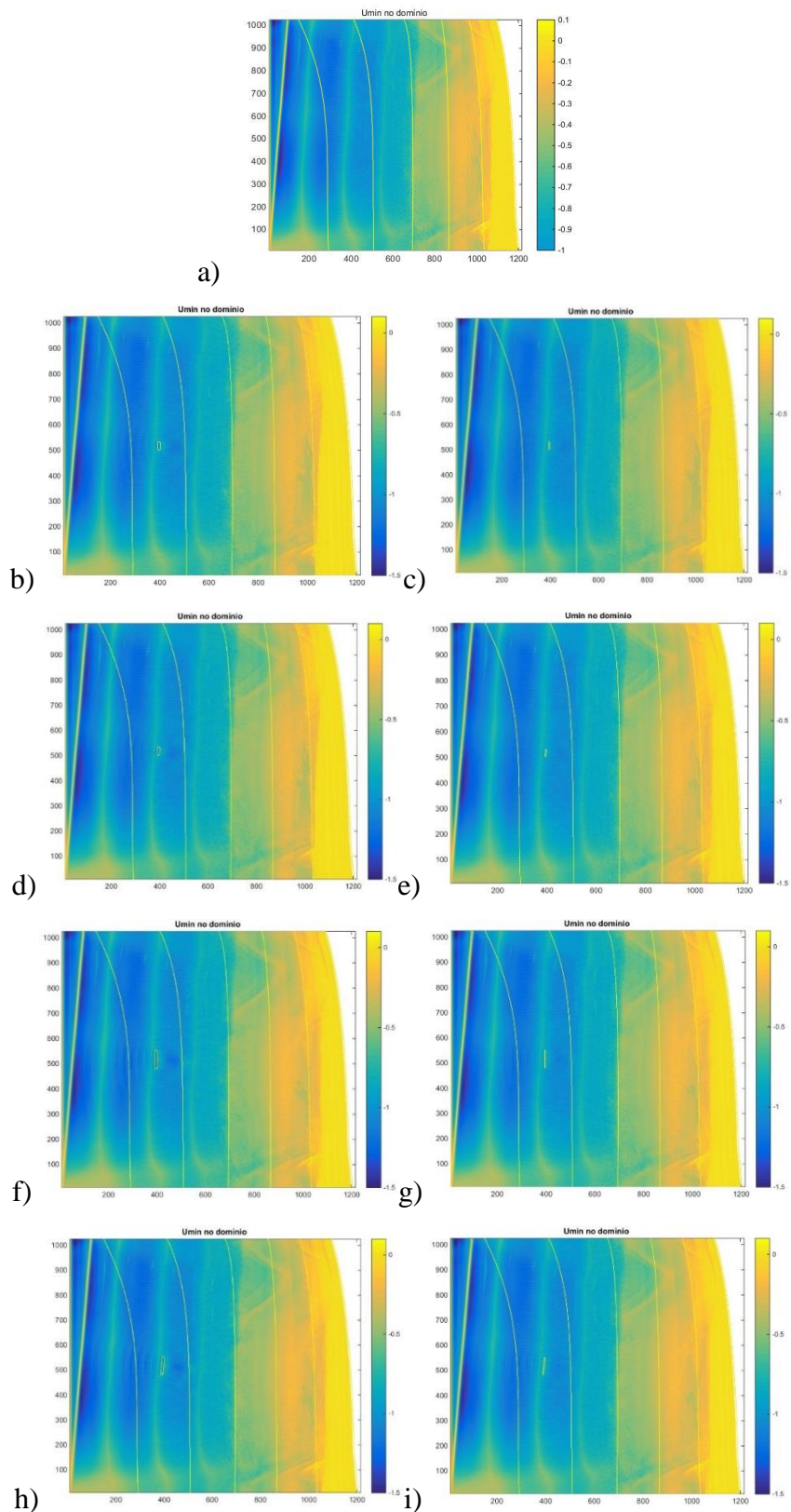
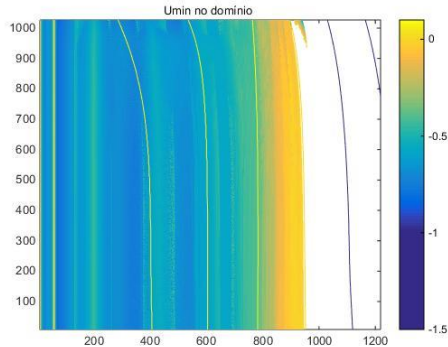
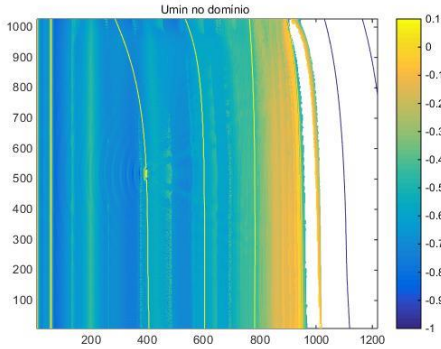


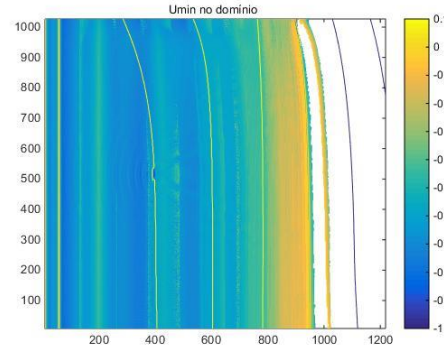
Figura B.46 – Umin para NM, Hsi=2 m e Ti=10 s, Diri=5° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°; d) P1, c=30 m, rot=5°; e) P2, c=30 m, rot=5°; f) P1, c=70 m, rot=0°; g) P2, c=70 m, rot=0°; h) P1, c=70 m, rot=5°; i) P2, c=70 m, rot=5°



a)

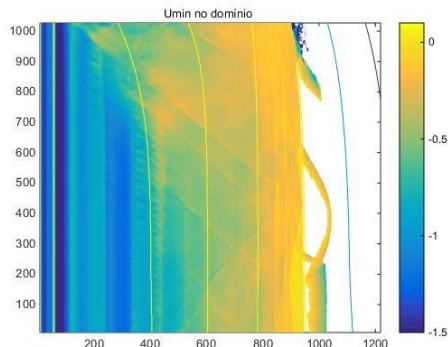


b)

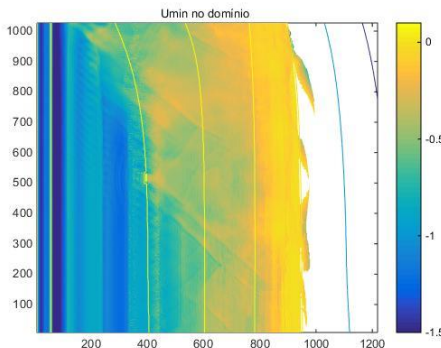


c)

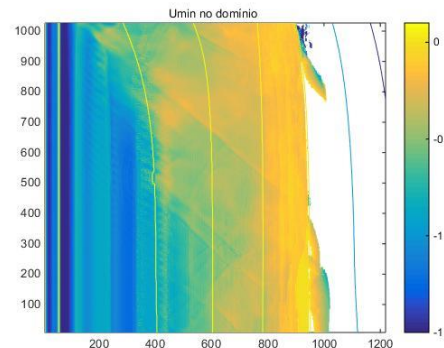
Figura B.47 – Umin para BM, Hsi=1 m e Ti=10 s, Dir= 0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°



a)

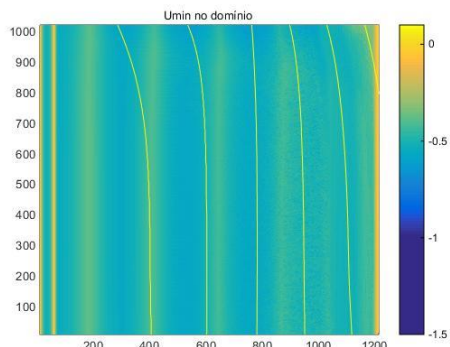


b)

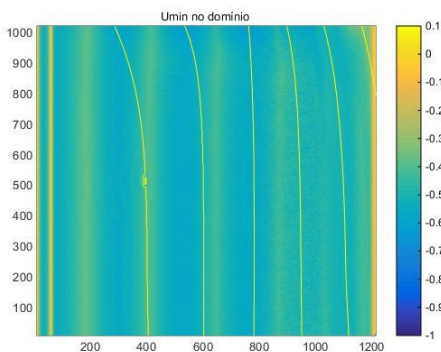


c)

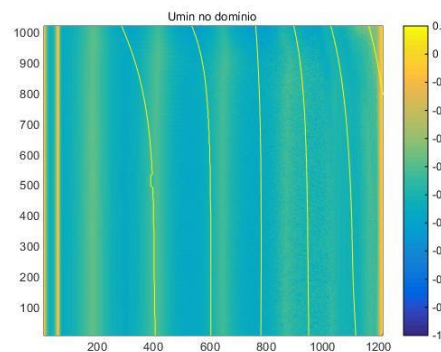
Figura B.48 – Umin para BM, Hsi=2 m e Ti=10 s, Dir= 0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°



a)

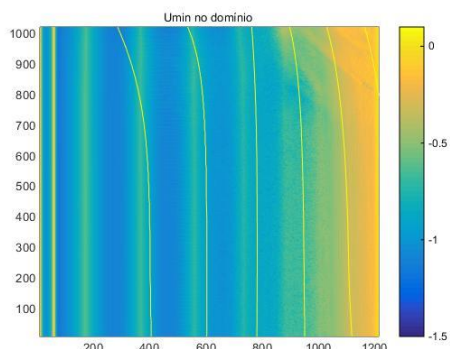


b)

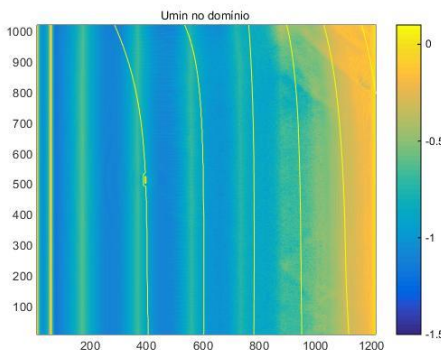


c)

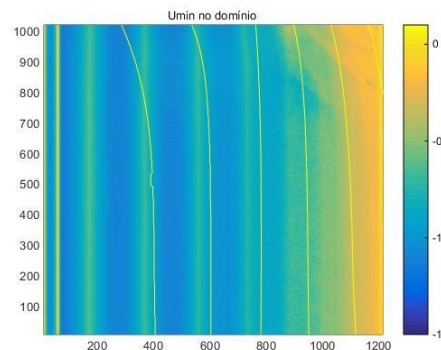
Figura B.49 – Umin para PM, Hsi=1 m e Ti=10 s, Dir= 0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°



a)



b)



c)

Figura B.50 – Umin para PM, Hsi=2 m e Ti=10 s, Dir= 0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°

## Médias

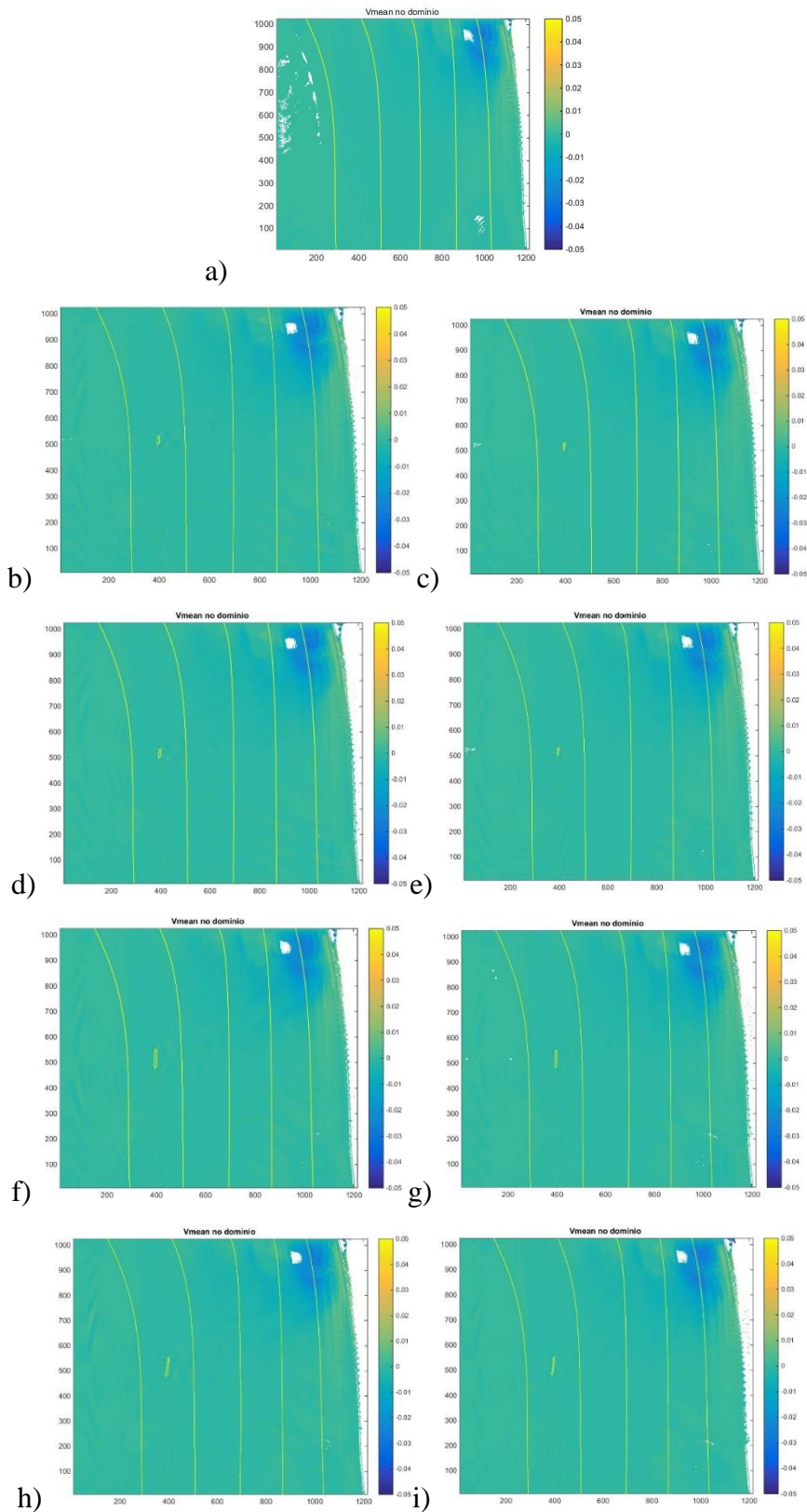


Figura B.51 –  $V_m$  para NM,  $H_s=1$  m e  $T=10$  s,  $Dir=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; d) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; e) P2,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; f) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; g) P2,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; h) P1,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$ ; i) P2,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$

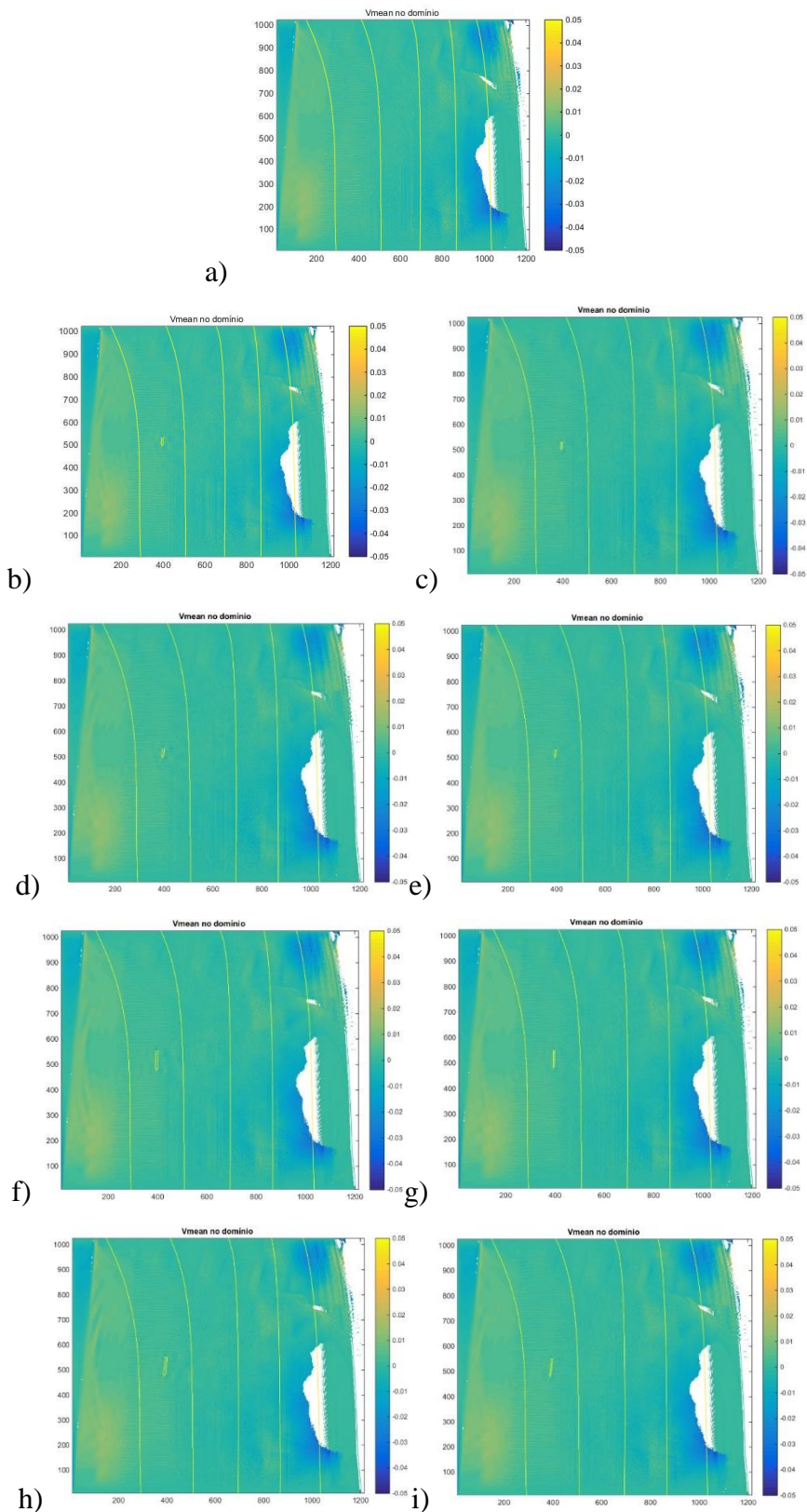


Figura B.52 –  $V_m$  para NM,  $H_s=1$  m e  $T=10$  s,  $Dir=5^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; d) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; e) P2,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; f) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; g) P2,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; h) P1,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$ ; i) P2,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$

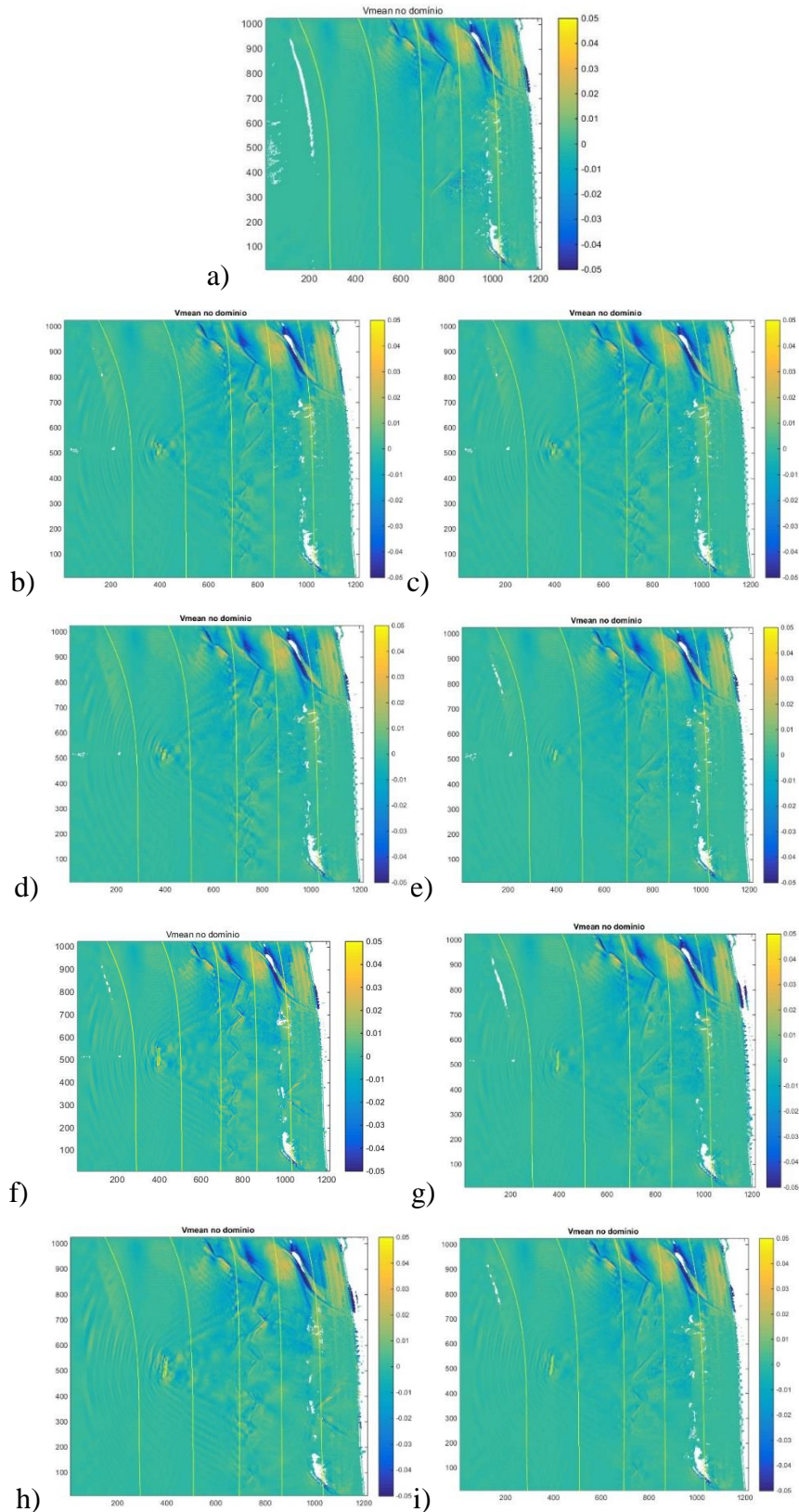


Figura B.53 –  $V_m$  para NM,  $H_{si}=2$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; d) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; e) P2,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; f) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; g) P2,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; h) P1,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$ ; i) P2,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$

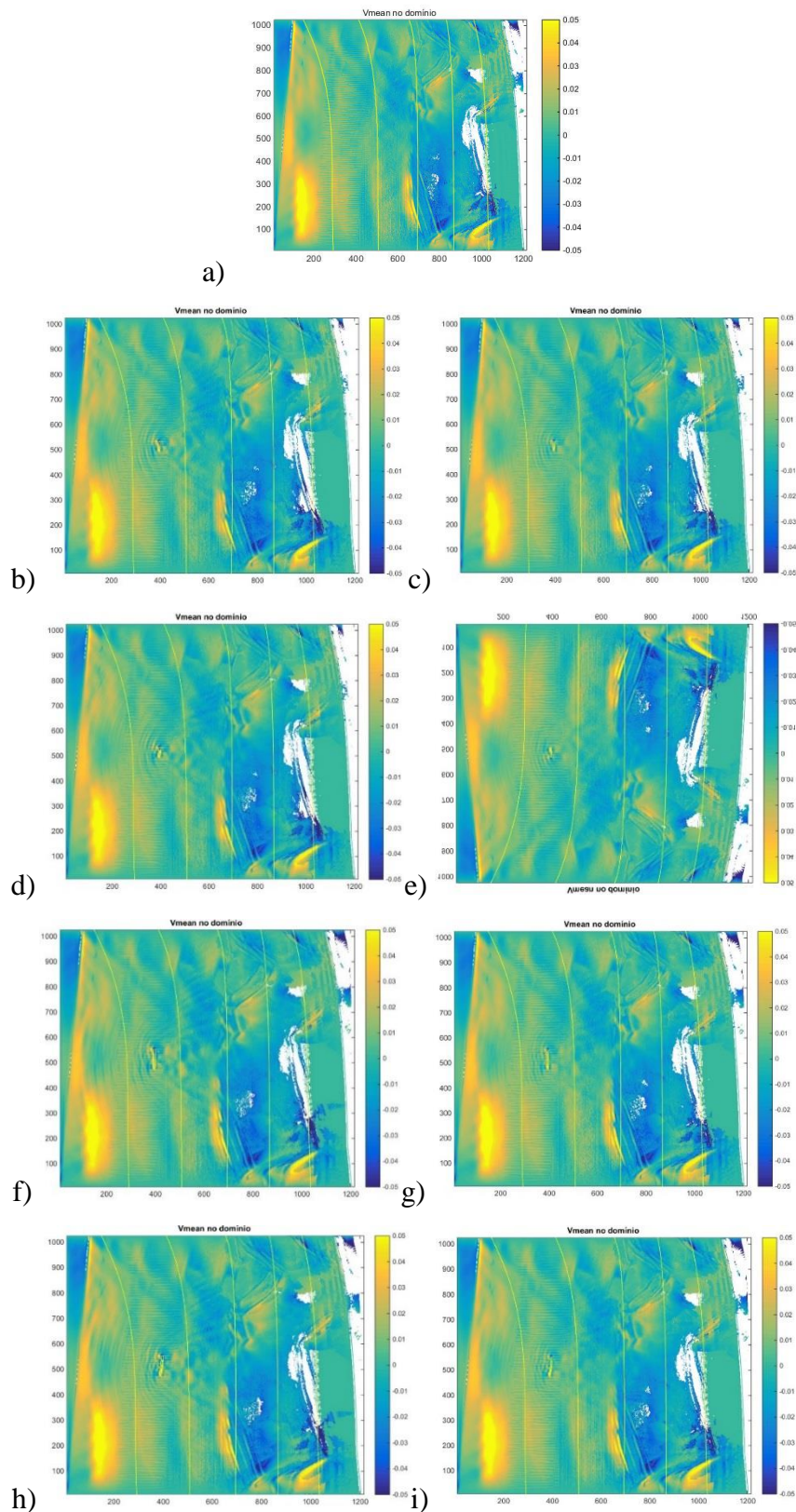
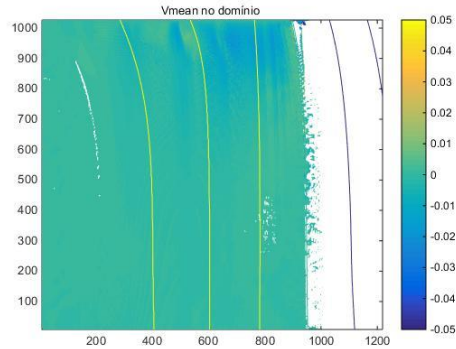
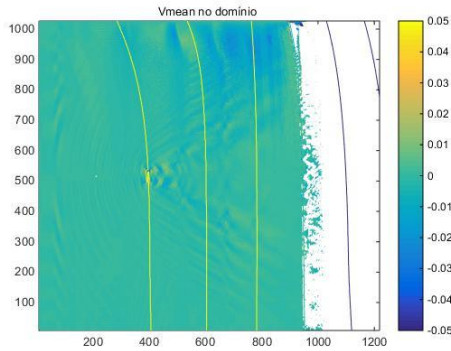


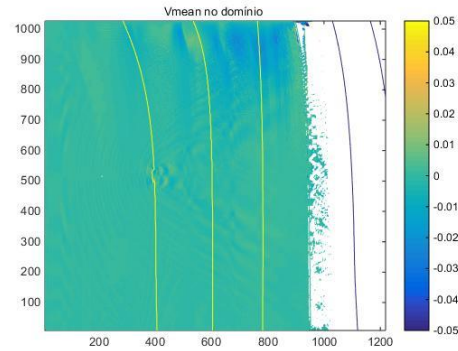
Figura B.54 –  $V_m$  para NM,  $H_{si}=2$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=5^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; d) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; e) P2,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; f) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; g) P2,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; h) P1,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$ ; i) P2,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$



a)

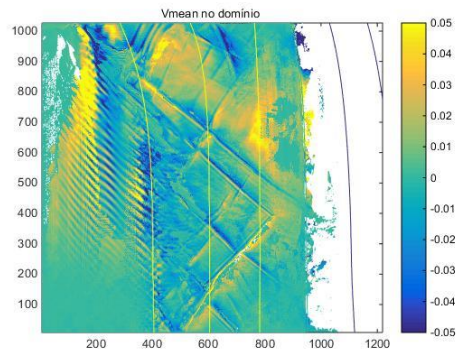


b)

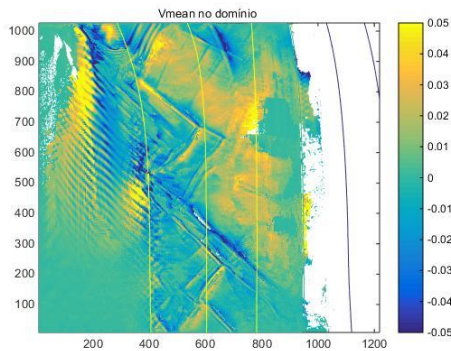


c)

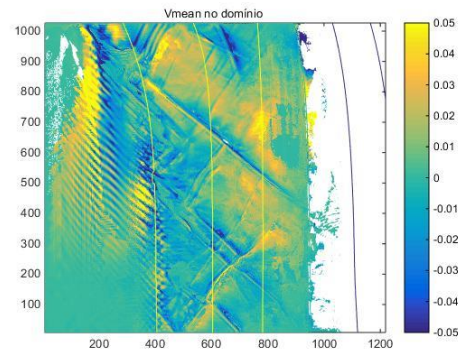
Figura B.55 –  $V_m$  para BM,  $H_{si}=1$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$



a)

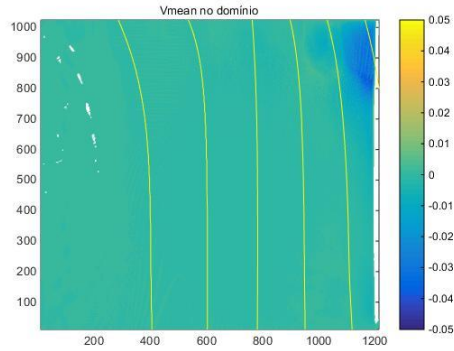


b)

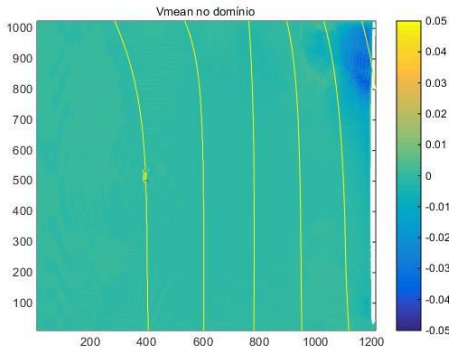


c)

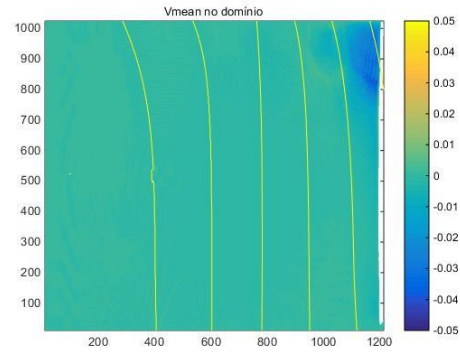
Figura B.56 –  $V_m$  para BM,  $H_s=2$  m e  $T=10$  s,  $Dir=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$



a)

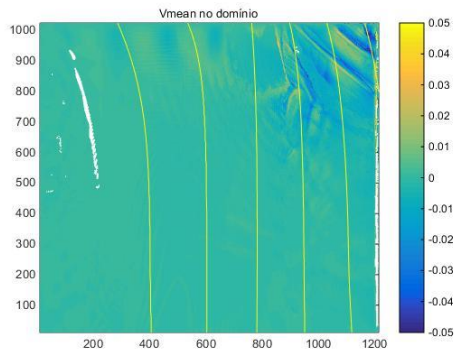


b)

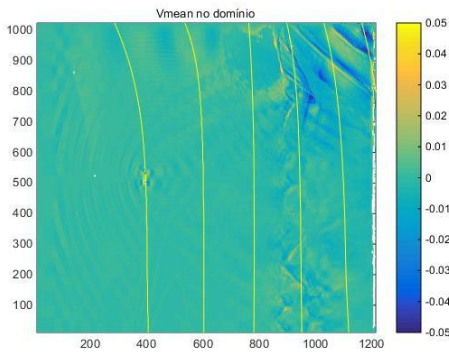


c)

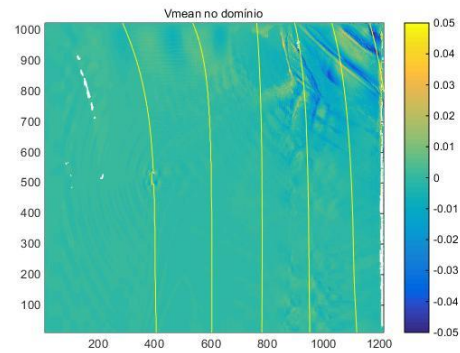
Figura B.57 –  $V_m$  para PM,  $H_{si}=1$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$



a)



b)



c)

Figura B.58 –  $V_m$  para PM,  $H_{si}=2$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$

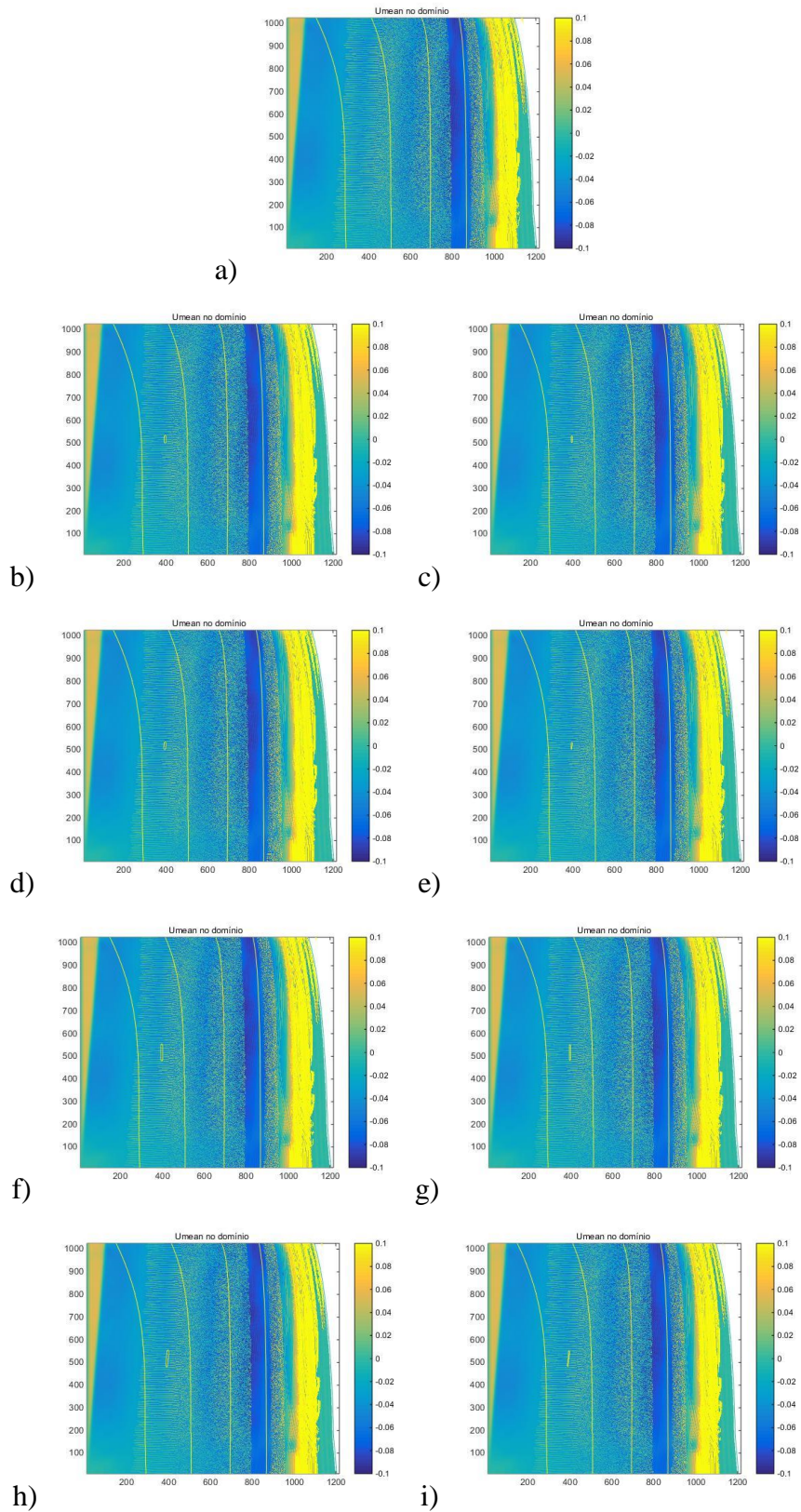


Figura B.59 – Um para NM, Hsi=1 m e  $Ti=10$  s,  $Diri=5^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; d) P1,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; e) P2,  $c=30$  m,  $rot=5^\circ$ ; f) P1,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; g) P2,  $c=70$  m,  $rot=0^\circ$ ; h) P1,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$ ; i) P2,  $c=70$  m,  $rot=5^\circ$

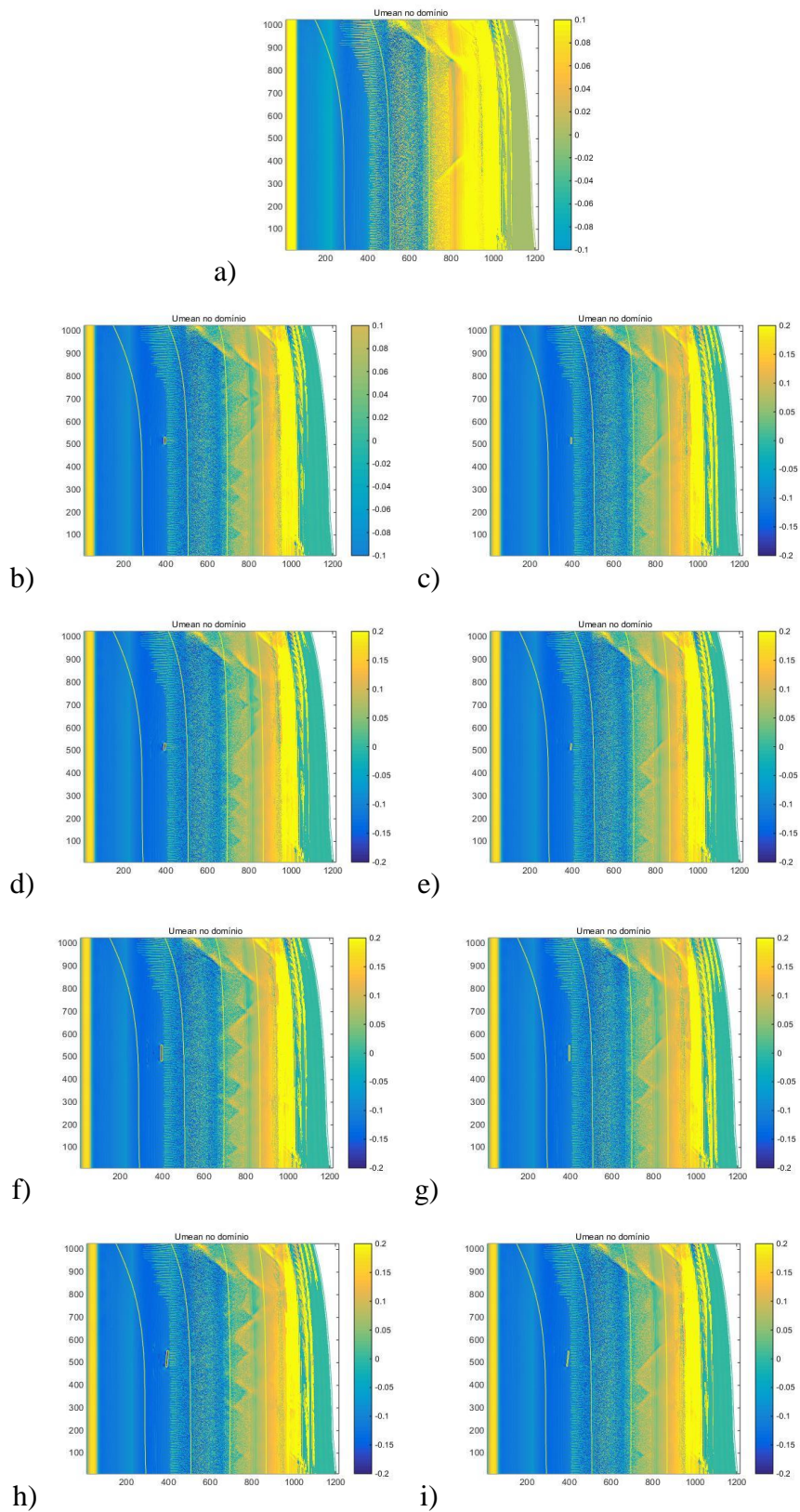


Figura B.60 – Um para NM, Hsi=2 m e Ti=10 s, Diri=0° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°; d) P1, c=30 m, rot=5°; e) P2, c=30 m, rot=5°; f) P1, c=70 m, rot=0°; g) P2, c=70 m, rot=0°; h) P1, c=70 m, rot=5°; i) P2, c=70 m, rot=5°

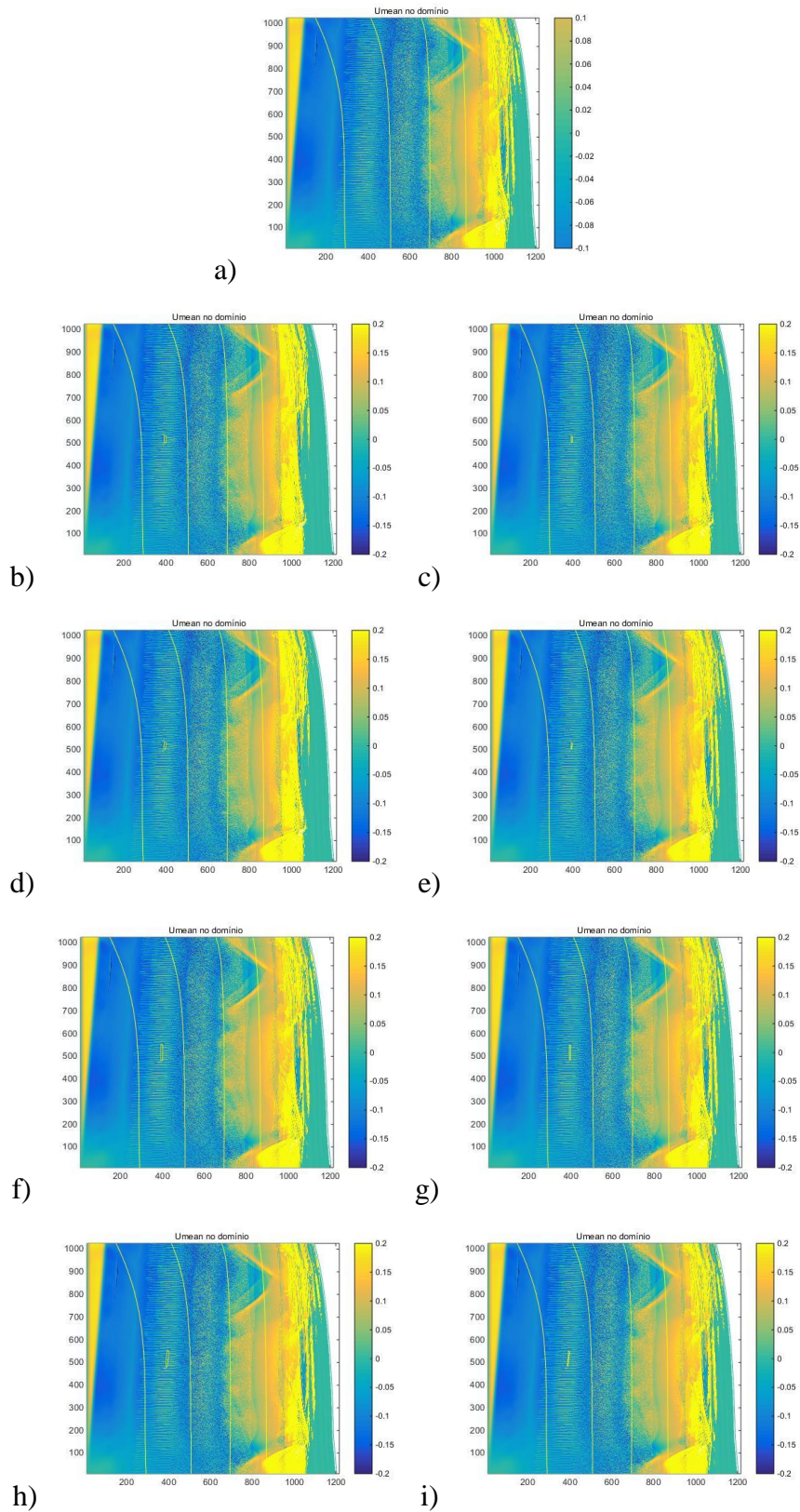
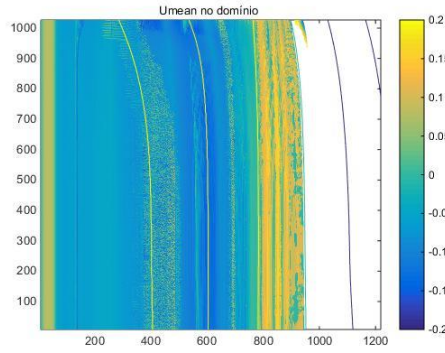
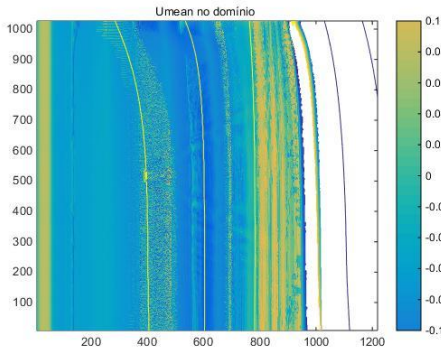


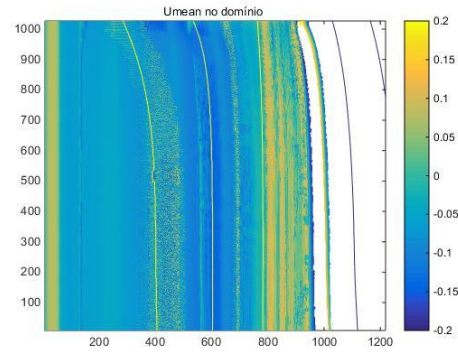
Figura B.61 – Um para NM, Hsi=2 m e Ti=10 s, Diri=5° a) sem recife; b) P1, c=30 m, rot=0°; c) P2, c=30 m, rot=0°; d) P1, c=30 m, rot=5°; e) P2, c=30 m, rot=5°; f) P1, c=70 m, rot=0°; g) P2, c=70 m, rot=0°; h) P1, c=70 m, rot=5°; i) P2, c=70 m, rot=5°



a)

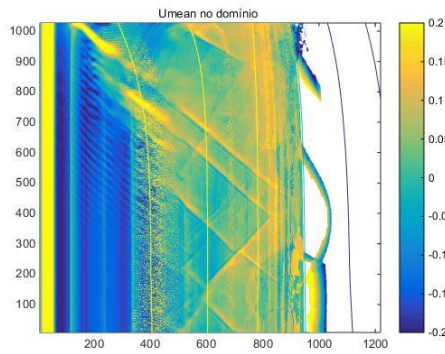


b)

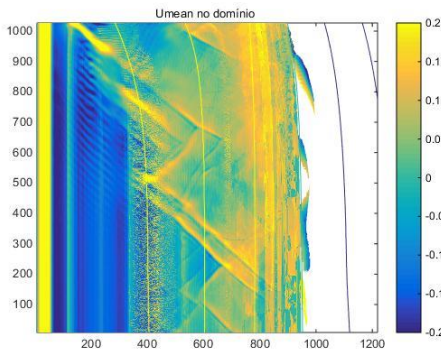


c)

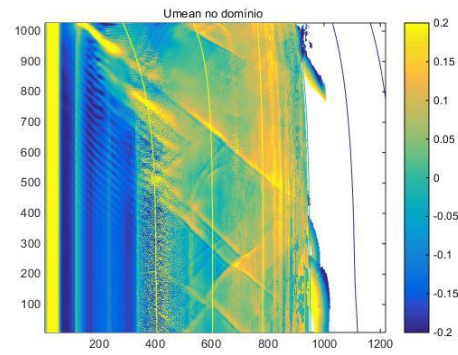
Figura B.62 – Um para BM,  $H_{si}=1$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$



a)

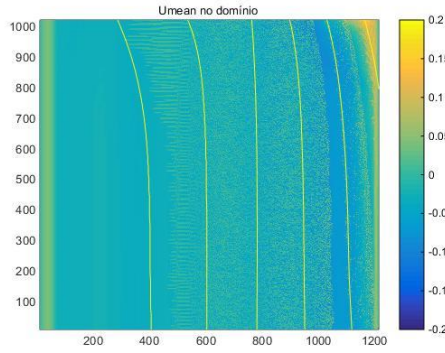


b)

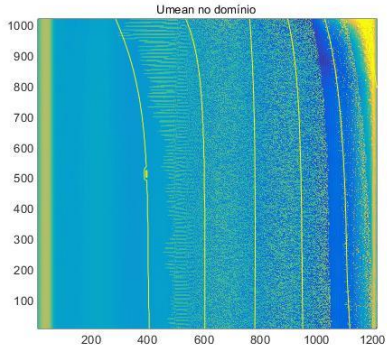


c)

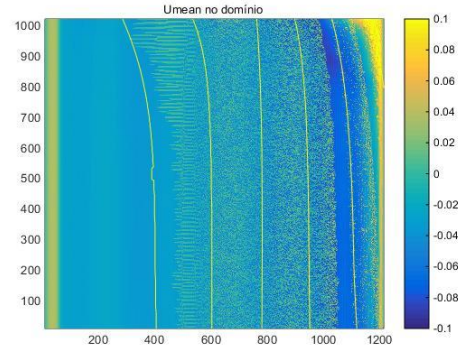
Figura B.63 – Um para BM,  $H_{si}=2$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$



a)

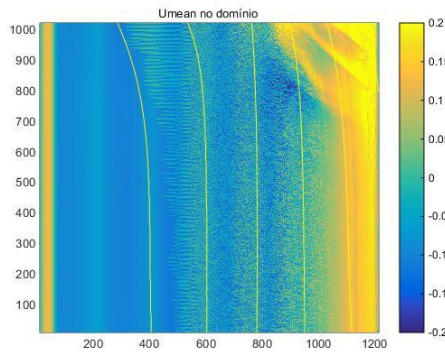


b)

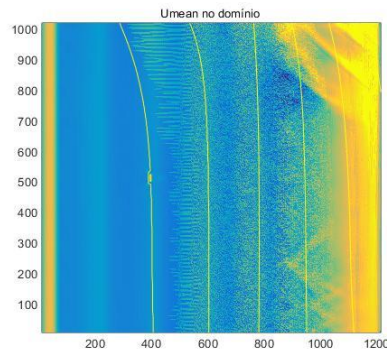


c)

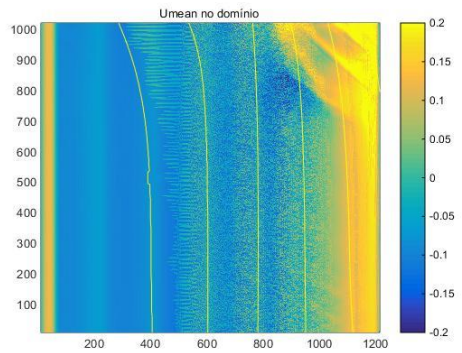
Figura B.64 – Um para PM,  $H_{si}=1$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$



a)



b)



c)

Figura B.65 – Um para PM,  $H_{si}=2$  m e  $T_i=10$  s,  $Dir_i=0^\circ$  a) sem recife; b) P1,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$ ; c) P2,  $c=30$  m,  $rot=0^\circ$