

MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO PARA ATENDER ÀS PREVISÍVEIS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS COM IMPLICAÇÃO EM INTERVENÇÕES COSTEIRAS

ÁLVARO PEDRO MARTINS FONTEBOA DA SILVA

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

Orientador: Professor Doutor Fernando Francisco Machado Veloso Gomes

JULHO DE 2011

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2010/2011

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2010/2011 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010.*

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

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

Aos meus Pais e Irmão

*Nada na vida deve ser temido, apenas compreendido.
Agora é hora de compreender mais, para temer menos.*

Marie Curie

AGRADECIMENTOS

A concretização desta dissertação não teria sido possível sem o incentivo, contributo e apoio de pessoas e instituições, em relação às quais gostaria de demonstrar a minha gratidão.

Ao meu orientador, Professor Veloso Gomes, pela dedicação desde o início, pelo apoio e motivação em todos os momentos. À sua orientação preocupada e atenta, que me ensinou a ter uma visão crítica e consciente sobre as várias problemáticas desta dissertação, o meu profundo agradecimento.

À minha família que possibilitou com um esforço reconhecido, que eu tivesse a oportunidade de seguir o curso com que sempre sonhei. Pela paciência, compreensão e esforço, a minha gratidão.

Aos meus colegas de curso que sempre me ajudaram quando foi necessário e aos amigos, principalmente à Daniela, pela ajuda e força em todos os momentos, um agradecimento sincero.

Ao Engenheiro Paulo Santos, pela sua dedicação a esta dissertação e pelo seu contributo, o meu muito obrigado.

À Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto pela qualidade de ensino prestado e por me conceder as condições para conseguir chegar até aqui, o meu obrigado.

RESUMO

As Alterações Climáticas constituem uma temática de preocupação global que afecta, directa ou indirectamente, toda a população mundial nas suas vivências e actividades.

Apesar da percepção das mudanças que ocorrem diariamente no clima, ainda é escassa a consciencialização dos impactos que representam, o papel que cada um tem na contribuição para a diminuição dos efeitos das Alterações Climáticas, e as medidas de adaptação necessárias.

Esta dissertação tenta, numa primeira etapa, alertar para as actuais Mudanças Climáticas e quais as suas causas e tendências, incidindo de uma forma mais focalizada nas áreas costeiras. Indicam-se, ainda, quais os impactos mais prováveis nas zonas costeiras e nas intervenções de defesa costeira.

Após o enquadramento do tema, a investigação recai na análise das expressões usadas no pré-dimensionamento de blocos utilizados nas estruturas costeiras de taludes. Nesta etapa, pretende-se perceber que parâmetros influenciam o dimensionamento desses blocos, de que forma o fazem e qual a importância de cada parâmetro relativamente aos restantes. Em simultâneo, comparam-se as formulações usadas para o estudo.

Esta análise permite realizar um estudo para estruturas costeiras em geral, com o objectivo de perceber que modificações podem ser realizadas para colmatar o efeito das Mudanças Climáticas.

No final, são apresentadas várias medidas de adaptação às Mudanças Climáticas para estruturas de taludes, portos e para o sistema costeiro em geral.

São propostas medidas de carácter estrutural para estruturas de taludes, medidas específicas para portos, medidas específicas para novos projectos e medidas de carácter organizacional e legislativo. Algumas destas medidas têm origem nas conclusões das investigações e cálculos realizados, outras têm um carácter inovador e terão de ser aprofundadas no futuro.

Não se pretende apresentar soluções para todos os problemas das zonas costeiras, pois tal não é possível, face às incertezas existentes no tema das Alterações Climáticas, particularidades regionais e locais de cada sistema costeiro e imprevisibilidade das acções marítimas. Pretende-se, sim, alertar para as possíveis consequências que podem advir dessas Alterações Climáticas, quais as ordens de grandeza e qual o caminho possível para as actuais e futuras adaptações.

PALAVRAS-CHAVE: Alterações Climáticas, tendências, áreas costeiras, medidas de adaptação, incertezas.

ABSTRACT

Climate Changes are an issue of global concern and they affect, directly or indirectly, the world's population in their lives and activities.

Despite the perception of the changes that occur daily in the climate, the awareness of the impacts they represent and the role each one has, as well the contribution to decrease Climate Changes and the necessary adjustments, is still scarce.

This thesis attempts, at a first stage, to alert for the current Climate Changes and understanding their causes and trends, focusing on coastal areas. In addition, it indicates, though, which are the most likely impacts to coastal zone and coastal defense interventions.

After framing the subject, the research focuses in the analysis of the formulas used in the design of rubble-mound structures. At this stage, it is intended to evaluate which parameters influence the design of those structures, how they do it and what is the importance of each parameter in comparison to the other. At the same time, formulations used in the study are compared.

This analysis allows to make a study for general coastal structures, in order to realize the changes that may be made to account for the effect of Climate Changes.

In the end, it presents various measures of adaptation to Climate Change that may be applied to rubble-mound structures, ports and the coastal system in general.

Structural measures are proposed for rubble-mound structures, specific measures for ports and new projects, and organizational and legislative measures. Some of these measures result from the conclusions of the investigation and calculations carried out, others were thought specifically for this dissertation.

It is not intended to present solutions to all problems of the coastal areas, as this is not possible, due to the uncertainties in Climate Change issues, regional and local characteristics of each coastal system and unpredictability of the sea actions. It is intended, to alert to the possible consequences that may arise from those changes in climate, to analyze the orders of magnitude of their impacts, and to define possible ways for current and future adaptations.

KEYWORDS: Climate Changes, trends, coastal areas, measures of adaptation, uncertainties.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v

1. ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS: ENQUADRAMENTO GERAL DEFINIÇÕES E TENDÊNCIAS

1.1. OBJECTIVOS.....	3
1.2. DINÂMICA COSTEIRA, OCUPAÇÃO DO SOLO E ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS	3
1.3. VARIABILIDADE CLIMÁTICA E ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS	4
1.3.1. DISTINÇÃO DE CONCEITOS ENTRE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS, VARIABILIDADE CLIMÁTICA E ACÇÕES ANTRÓPICAS	4
1.3.2. VARIABILIDADE CLIMÁTICA	6
1.3.3. ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS	8
1.3.4. ACÇÕES ANTRÓPICAS.....	11
1.3.5. SITUAÇÃO ACTUAL E FUTURA DO CLIMA GLOBAL, REGIONAL E LOCAL	11
1.3.5.1. Uma questão de escala.....	11
1.3.5.2. Temperatura.....	11
1.3.5.3. Padrões e tendências da temperatura	13
1.3.5.4. Sistemas de <i>Feedback</i>	14
1.4. SISTEMAS AFECTADOS	14
1.5. PREVISÍVEIS ALTERAÇÕES DAS ACÇÕES DE PROJECTO.....	16
1.5.1. NÍVEIS DE ÁGUA	16
1.5.2. NÚMERO E PERSISTÊNCIA DE TEMPESTADES	20
1.5.3. ALTURA DE ONDA	22
1.5.4. RUMOS.....	25
1.5.5. CORRENTES MARÍTIMAS.....	28
1.5.6. SEDIMENTOS	29
1.6. INCERTEZAS	31

2. ANÁLISE DE EXPRESSÕES E CENÁRIOS

2.1. EXPRESSÕES USADAS	35
------------------------------	----

2.1.1. EXPRESSÃO DE HUDSON	36
2.1.2. EXPRESSÃO DE VAN DER MEER	37
2.1.2.1. Enrocamento	37
2.1.2.2. Cubos	39
2.1.2.3. Tetrápodes.....	40
2.2. COMPARAÇÃO DE EXPRESSÕES.....	41
2.2.1. IMPLICAÇÃO DA ALTERAÇÃO DOS PARÂMETROS DAS EXPRESSÕES NO PESO DOS BLOCOS	42
2.2.1.1. Análise da altura de onda.....	42
2.2.1.2. Análise da inclinação do talude	43
2.2.1.3. Análise do coeficiente de estabilidade	44
2.2.1.4. Análise do coeficiente de permeabilidade	45
2.2.1.5. Análise do nível de danos admitidos	46
2.2.1.6. Análise do número de ondas.....	47
2.2.1.7. Análise do período de onda.....	50
2.2.2. IMPLICAÇÃO DA ALTERAÇÃO DA ALTURA DE ONDA NAS EXPRESSÕES CONSIDERADAS	53
2.2.2.1. Análise da inclinação	53
2.2.2.2. Análise do nível de danos	56
2.2.2.3. Análise da permeabilidade	61
2.3. ANÁLISE DE ALTERAÇÕES NOS PARÂMETROS DE ONDULAÇÃO	
PARA ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA E PORTUÁRIAS GERAIS	61
2.3.1. CONDIÇÕES LOCAIS	62
2.3.2. SUBIDA NO NÍVEL MÉDIO DO MAR E ALTERAÇÃO DA ONDA DE PROJECTO	64
2.3.2.1. Variação no peso dos blocos	66
2.3.2.2. Variação na inclinação do talude.....	71
2.3.2.3. Variação no nível de danos	74
2.3.2.4. Variação da permeabilidade.....	77
2.3.3. ALTERAÇÃO DO NÚMERO DE ONDAS	78
2.3.4. ALTERAÇÕES NO PERÍODO DE ONDA.....	78
2.3.5. VARIAÇÃO DO COEFICIENTE DE ESTABILIDADE	85
2.3.6. ALTERAÇÃO NO TRANSPORTE SEDIMENTAR.....	86
2.3.7. ALTERAÇÃO NOS GALGAMENTOS	90

3. PROPOSTAS DE MEDIDAS DE COMPENSAÇÃO	95
3.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	97
3.2. ESTRUTURAS EXISTENTES	98
3.2.1. MEDIDAS ESTRUTURAIS	98
3.2.2. MEDIDAS APLICÁVEIS A PORTOS	113
3.3. NOVOS PROJECTOS	116
3.4. MEDIDAS DE CARÁCTER ORGANIZACIONAL E LEGISLATIVO	116
3.5. ORGANIZAÇÃO TEMPORAL	117
3.6. CONCLUSÕES SOBRE AS MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO	118
 4. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	 121

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. – Alterações Climáticas, visão segundo o IPCC	5
Figura 1.2. – Alterações Climáticas e Variabilidade Climática, visão segundo a UNFC.....	5
Figura 1.3. – Alterações Climáticas, Variabilidade Climática E Acções Antrópicas visão segundo esta dissertação	6
Figura 1.4. – Ciclos de Milankovitch, IPCC (2007a)	7
Figura 1.5. – Erupção vulcânica, Islândia 2010 (Fonte: Agência Reuters).....	7
Figura 1.6. – Evolução da temperatura no século XX, IPCC (2007a)	8
Figura 1.7. – Evolução dos gases de estufa CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O na atmosfera entre o ano 0 e o ano 2000, IPCC (2007a).....	9
Figura 1.8. – Contribuição das Acções Antrópicas e Naturais para a força radiactiva (W/m ²), IPCC (2007a).....	10
Figura 1.9. – Esquema das Mudanças Climáticas e suas consequências	12
Figura 1.10. – Previsão do aumento da temperatura global até ao ano 2300, IPCC (2007a).....	14
Figura 1.11. – Obra aderente – Cortegaça, Portugal.....	15
Figura 1.12. – Posicionamento do parâmetro: Nível de água.....	16
Figura 1.13. – Previsão da variação dos calotes polares, IPCC (2007a), no Ártico (cima) e no Antártico (baixo).....	17
Figura 1.14. – Previsão da subida do nível do mar, IPCC (2007a)	18
Figura 1.15. – Consequências do aumento do nível do mar	19
Figura 1.16. – Efeito da subida do nível do mar: (a) praia, (b) estrutura de defesa costeira	20
Figura 1.17. – Posicionamento do parâmetro: Número e Persistência de tempestades.....	20
Figura 1.18. – Padrões de circulação atmosférica (Fonte: http://rst.gsfc.nasa.gov).....	21
Figura 1.19. – Posicionamento do parâmetro: Altura de onda	22
Figura 1.20. – Processo de formação de ondas, Veloso Gomes (1990).....	23
Figura 1.21. – Relação entre altura de onda e os factores que a influenciam, Veloso Gomes (1990).....	23
Figura 1.22. – Alteração da altura de onda devido ao aumento do nível de água	24
Figura 1.23. – Relação entre velocidade do vento e altura de onda, Veloso Gomes (1990).....	24

Figura 1.24. – Efeito do aumento do fetch	25
Figura 1.25. – Posicionamento do parâmetro: Rumos.....	25
Figura 1.26. – Rumos actuais em Portugal Continental.....	26
Figura 1.27. – Rumos previstos para Portugal Continental, visão segundo SIAM II (2006).....	27
Figura 1.28. – Rumos para Portugal Continental no caso de uma rotação inversa ao esperado	27
Figura 1.29. – Posicionamento do parâmetro: Correntes marítimas	28
Figura 1.30. – Corrente do Golfo (Fonte: http://www.heatingoil.com/blog/green-power-ocean-currents-development/)	28
Figura 1.31. – Circulação marítima na cordilheira da Gronelândia (adaptado IES, 2006).....	28
Figura 1.32. – Posicionamento do parâmetro: Sedimentos	29
Figura 1.33. – Tipificação do actual padrão de transporte de sedimentos	30
Figura 1.34. – Provável padrão de sedimentos no futuro	30
Figura 2.1. – Quebramar de taludes – Leixões, Portugal.....	35
Figura 2.2. – Factor de permeabilidade de Van Der Meer 1988 (CEM, 2006).	39
Figura 2.3. – Relação entre H e W para as expressões de Hudson e de Van Der Meer	42
Figura 2.4. – Relação entre H e $\cotg(\theta)$ para as expressões de Hudson e de Van Der Meer	43
Figura 2.5. – Relação entre KD e W – Expressão de Hudson, Enrocamento, Cubos e Tetrápodes	44
Figura 2.6. – Relação entre P e W - Expressão de Van Der Meer, Rebentação mergulhante, Enrocamento	45
Figura 2.7. – Relação entre P e W - Expressão de Van Der Meer, Rebentação oscilante, Enrocamento	46
Figura 2.8. – Relação entre S e W – Expressão de Van Der Meer, Enrocamento	47
Figura 2.9. – Relação entre Nz e W – Expressão de Van Der Meer, Enrocamento	48
Figura 2.10. – Relação entre Nz e W – Expressão de Van Der Meer, Cubos	48
Figura 2.11. – Relação entre Nz e W – Expressão de Van Der Meer, Rebentação mergulhante, Tetrápodes	49
Figura 2.12. – Relação entre Nz e W – Expressão de Van Der Meer, Rebentação oscilante, Tetrápodes.....	49
Figura 2.13. – Relação entre T e W – Expressão de Van Der Meer, Rebentação mergulhante, Enrocamento	50
Figura 2.14. – Relação entre T e W – Expressão de Van Der Meer, Rebentação oscilante, P=0.1, Enrocamento	50

Figura 2.15. – Relação entre T e W – Expressão de Van Der Meer, Rebentação oscilante, P=0.4, Enrocamento.....	51
Figura 2.16. – Relação entre T e W – Expressão de Van Der Meer, Rebentação oscilante, P=0.5, Enrocamento.....	51
Figura 2.17. – Relação entre T e W – Expressão de Van Der Meer, Rebentação oscilante, P=0.6, Enrocamento.....	51
Figura 2.18. – Relação entre T e W – Expressão de Van Der Meer, Cubos	52
Figura 2.19. – Relação entre T e W – Expressão de Van Der Meer, Rebentação mergulhante, Tetrápodes	52
Figura 2.20. – Relação entre T e W – Expressão de Van Der Meer, Rebentação oscilante, Tetrápodes	52
Figura 2.21. – Relação entre H e $\cotg(\theta)$ – Expressão de Hudson.....	53
Figura 2.22. – Relação entre H e $\cotg(\theta)$ – Expressão de Van Der Meer, Rebentação mergulhante, Enrocamento	54
Figura 2.23. – Relação entre H e $\cotg(\theta)$ – Expressão de Van Der Meer, Rebentação oscilante, P=0.1, Enrocamento.....	54
Figura 2.24. – Relação entre H e $\cotg(\theta)$ – Expressão de Van Der Meer, Rebentação oscilante, P=0.4, Enrocamento.....	55
Figura 2.25. – Relação entre H e $\cotg(\theta)$ – Expressão de Van Der Meer, Rebentação oscilante, P=0.6, Enrocamento.....	55
Figura 2.26. – Relação entre H e S – Expressão de Van Der Meer, Rebentação mergulhante, Enrocamento	56
Figura 2.27. – Relação entre H e S – Expressão de Van Der Meer, Rebentação oscilante, P=0.1, Enrocamento.....	56
Figura 2.28. – Relação entre H e S – Expressão de Van Der Meer, Rebentação oscilante, P=0.4, Enrocamento.....	57
Figura 2.29. – Relação entre H e S – Expressão de Van Der Meer, Rebentação oscilante, P=0.5, Enrocamento.....	57
Figura 2.30. – Relação entre H e S – Expressão de Van Der Meer, Rebentação oscilante, P=0.6, Enrocamento.....	57
Figura 2.31. – Relação entre H e Nod – Expressão de Van Der Meer, Cubos, Nod1=2 e Nz=5000.....	58

Figura 2.32. – Relação entre H e Nod – Expressão de Van Der Meer, Cubos, Nod1=2 e Nz=6000	58
Figura 2.33. – Relação entre H e Nod – Expressão de Van Der Meer, Cubos, Nod1=1.5 e Nz=5000	59
Figura 2.34. – Relação entre H e Nod – Expressão de Van Der Meer, Rebentação mergulhante, Tetrápodes, Nod1=1.5 e Nz=5000	59
Figura 2.35. – Relação entre H e Nod – Expressão de Van Der Meer, Rebentação mergulhante, Tetrápodes, Nod1=1.5 e Nz=6000	60
Figura 2.36. – Relação entre H e Nod – Expressão de Van Der Meer, Rebentação mergulhante, Tetrápodes, Nod1=1 e Nz=5000	60
Figura 2.37. – Relação entre H e P – Expressão de Van Der Meer, Rebentação mergulhante, Enrocamento.....	61
Figura 2.38. – Relação entre Hmax, Hs e T, dados Leixões (LNEC,1996).	63
Figura 2.39. – Relação entre altura de onda significativa e os períodos de onda, Coelho (2005)	79
Figura 2.40. – Rumos para Leixões (adaptado de Coelho, 2005).	87
Figura 2.41. – Significado das variáveis da expressão proposta por Pedersen (1996), CEM (2006)	90
Figura 3.1. – Legenda dos esquemas das medidas de adaptação	98
Figura 3.2. – Construção de muro-cortina.....	99
Figura 3.3. – Aumento do muro de coroamento.....	100
Figura 3.4. – Aumento da cota de coroamento e reforço do talude abrigado.....	101
Figura 3.5. – Aumento da cota de coroamento e reforço do talude do lado exposto	102
Figura 3.6. – Aumento da cota de coroamento e reforço dos taludes exposto e abrigado	103
Figura 3.7. – Muro-cortina, aumento da cota de coroamento e reforço do talude abrigado.....	104
Figura 3.8. – Diminuição da inclinação do talude exposto	105
Figura 3.9. – Extensão do pé-de-talude segundo uma plataforma	106
Figura 3.10. – Construção de um quebramar submerso do lado exposto à ondulação	107
Figura 3.11. – Aumento da permeabilidade da estrutura	108
Figura 3.12. – Introdução de ancoragens ou pregagens na estrutura.....	109
Figura 3.13. – Alteração no peso dos blocos mantendo o mesmo tipo de bloco.....	110
Figura 3.14. – Alteração do tipo de blocos usados	111
Figura 3.15. – Construção de tapete de protecção	112

ÍNDICE DE TABELAS

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1. – Projeções para a taxa de subida do nível do mar (adaptado IPCC, 2007a).....	18
Tabela 2.1. – Tipos de blocos considerados.....	35
Tabela 2.2. – Valores de KD para enrocamento, CEM (2006)	36
Tabela 2.3. – Valores de KD para cubos, CEM (2006).....	37
Tabela 2.4. – Valores de KD para tetrápodes, SPM (1984)	37
Tabela 2.5. – Valores do parâmetro S recomendados para enrocamento, CEM (2006)	39
Tabela 2.6. – Nível de danos admitidos para cubos, CEM (2006)	40
Tabela 2.7. – Nível de danos admitidos para tetrápodes, CEM (2006).....	41
Tabela 2.8. – Comparação dos métodos de Hudson e de Van Der Meer	41
Tabela 2.9. – Dados iniciais para análise de permeabilidade para enrocamento associado a rebentação oscilante, expressão de Van Der Meer	46
Tabela 2.10. – Dados iniciais para Nod e Nz para análise da influência do número de ondas no peso de cubos e tetrápodes	48
Tabela 2.11. – Estruturas tipo de defesa costeira e portuárias, e cotas dos fundos	62
Tabela 2.12. – Valores de altura significativa, altura máxima e respectivos períodos de retorno. Dados de Leixões, LNEC (1996).....	63
Tabela 2.13. – Condições locais para cada uma das estrutura consideradas	64
Tabela 2.14. – Previsão da subida do nível do mar no próximo século	65
Tabela 2.15. – Previsão de Hmax e respectiva variação face aos valores actuais.....	65
Tabela 2.16. – Variação em W devido a uma variação de H – Hudson	66
Tabela 2.17. – Variação de W devido a uma variação de H – Van Der Meer, RM, Enrocamento.....	67
Tabela 2.18. – Variação de W devido a uma variação de H – Van Der Meer, RO, P=0.1, Enrocamento	67
Tabela 2.19. – Variação de W devido a uma variação de H – Van Der Meer, RO, P=0.4, Enrocamento	68
Tabela 2.20. – Variação de W devido a uma variação de H – Van Der Meer, RO, P=0.5, Enrocamento	68
Tabela 2.21. – Variação de W devido a uma variação de H – Van Der Meer, RO, P=0.6, Enrocamento	69
Tabela 2.22. – Variação de W devido a uma variação de H – Van Der Meer, RM e RO, Cubos	69
Tabela 2.23. – Variação de W devido a uma variação de H – Van Der Meer, RM, Tetrápodes	70

Tabela 2.24. – Variação de W devido a uma variação de H – Van Der Meer, RO, Tetrápodes	70
Tabela 2.25. – Variação de $\cotg(\Theta)$ devido a uma variação de H – Hudson	71
Tabela 2.26. – Variação de $\cotg(\Theta)$ devido a uma variação de H – Van der Meer, RM, Enrocamento	72
Tabela 2.27. – Variação de $\cotg(\Theta)$ devido a uma variação de H – Van der Meer, RO, P=0.1, Enrocamento	72
Tabela 2.28. – Variação de $\cotg(\Theta)$ devido a uma variação de H – Van der Meer, RO, P=0.4, Enrocamento	73
Tabela 2.29. – Variação de $\cotg(\Theta)$ devido a uma variação de H – Van der Meer, RO, P=0.6, Enrocamento	73
Tabela 2.30. – Variação de S devido a uma variação de H – Van Der Meer, RM, Enrocamento	74
Tabela 2.31. – Variação de S devido a uma variação de H – Van Der Meer, RO, P=0.1, Enrocamento	75
Tabela 2.32. – Variação de S devido a uma variação de H – Van Der Meer, RO, P=0.4, Enrocamento	75
Tabela 2.33. – Variação de S devido a uma variação de H – Van Der Meer, RO, P=0.5, Enrocamento	76
Tabela 2.34. – Variação de S devido a uma variação de H – Van Der Meer, RO, P=0.6, Enrocamento	76
Tabela 2.35. – Variação de P devido a uma variação de H – Van Der Meer, RM, Enrocamento	77
Tabela 2.36. – Análise de uma tempestade de 2 dias	78
Tabela 2.37. – Previsão do número de ondas	78
Tabela 2.38. – Variação de T, regressão LNEC (1996)	80
Tabela 2.39. – Variação de W, regressão LNEC (1996)	81
Tabela 2.40. – Variação de T, regressão de Soulsby (1997)	81
Tabela 2.41. – Variação de W, regressão de Soulsby (1997)	82
Tabela 2.42. – Variação de T, regressão linear de Coelho (2005)	82
Tabela 2.43. – Variação de W, regressão linear de Coelho (2005)	83
Tabela 2.44. – Variação de T, regressão logarítmica de Coelho (2005)	83
Tabela 2.45. – Variação de W, regressão logarítmica de Coelho (2005)	84

Tabela 2.46. – Variação de W em função de KD - Hudson	85
Tabela 2.47. – Variação do caudal sólido com a variação de H, Kamphuis (2002).	88
Tabela 2.48. – Variação do caudal sólido com a variação de rumos, Kamphuis (2002)	88
Tabela 2.49. – Variação do caudal sólido com a variação de H, CERC (1984)	89
Tabela 2.50. – Variação do caudal sólido com a variação de rumos, CERC (1984).....	89
Tabela 2.51. – Influência da variação da altura de onda no caudal de galgamento das estruturas.....	91
Tabela 2.52. – Variação do período de onda para cada estrutura de acordo com a variação da altura de onda	92
Tabela 2.53. – Influência da variação do período de onda no caudal de galgamento das estruturas.....	93
Tabela 3.1. – Escala temporal para aplicação de medidas	118

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

SÍMBOLOS

°	– ângulo em Graus
°C	– graus Celcius
γ_r	– peso volúmico do material dos blocos [KN/m ³]
γ_w	– peso volúmico da água [KN/m ³]
θ	– ângulo do talude com a horizontal [°]
θ_b	– ângulo entre a direcção da incidência da onda e a normal à praia [°]
CFC	– clorofluorcarbonetos
CH ₄	– metano
CO ₂	– dióxido de carbono
d	– profundidade de água [m]
d ₅₀	– diâmetro mediano dos sedimentos [m]
D _{n50}	– diâmetro médio dos blocos [m]
E	– Este
g	– aceleração da gravidade [m ² /s]
H	– altura de onda de projecto [m]
H _{max}	– altura de onda máxima fisicamente possível [m]
H _s	– altura de onda significativa [m]
H _{sb}	– altura de onda significativa na rebentação [m]
H _{sf}	– altura de onda significativa final [m]
H _{si}	– altura de onda significativa inicial [m]
KD	– coeficiente de estabilidade
L _{om}	– comprimento de onda [m]
m _b	– declive da rebentação
N	– Norte
N ₂ O	– óxido nitroso
NNW	– Nor-Noroeste
Nod	– nível de estragos admitidos para os cubos e tetrápodes
NW	– Noroeste
N _z	– número de ondas
P	– factor de permeabilidade
q	– galgamento [m ³ /s/m de estrutura]

qf – galgamento final

qi – galgamento inicial

Qs – caudal sólido longitudinal [Kg/s]

S – densidade do material dos blocos [yr/yw]

S – factor associado ao nível de danos admitidos nos blocos de enrocamento

S – Sul

T – período de onda [s]

T – período de retorno [anos]

T_{HS} – período de onda associado à altura de onda significativa [s]

Tom – período de onda médio [s]

Tp – período de pico [s]

W – Oeste

W – peso dos blocos do manto resistente de uma estrutura de taludes [KN]

WNW – Oeste-Noroeste

ABREVIATURAS

AA – Acções Antrópicas

AC – Alterações Climáticas

CEM – Coastal Engineering Manual

CS – Coastal Structures

CSB – Coastal Structures and Breakwaters

IES – Institute for Environment and Sustainability

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MOC – Meridional Overturning Circulation

MP – previsão mais provável

NAO – North Atlantic Oscillation

NF – nível médio final das águas do mar

NI – nível médio inicial das águas do mar

O – previsão optimista

P – previsão pessimista

PMAV – preia mar de águas vivas

ppm – partes por milhão

ppb – partes por bilião

RM – rebentação mergulhante

RO – rebentação oscilante

SIAM – Scenarios, Impacts and Adaptation Measures

SPM – Shore Protection Manual

SRES – Special Report on Emission Scenarios

UNFC – United Nations Framework Convention

VC – Variabilidade Climática

VDM – Van Der Meer

WES – Waterways Experiment Station

1

ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS: ENQUADRAMENTO GERAL DEFINIÇÕES E TENDÊNCIAS

1.1. OBJECTIVOS

No que respeita aos objectivos principais desta dissertação, estes partem, numa primeira fase, do estudo das Alterações Climáticas, através da recolha de informação em várias bases de dados e literárias.

Com base nos dados recolhidos pretende-se distinguir e explicar os vários conceitos associados às Alterações Climáticas.

É objectivo desta dissertação tentar avaliar quais as possíveis mudanças no clima e condições marítimas, a curto, médio e longo prazo, assim como quantificar as tendências observadas e previsões para o futuro. É através das tendências e previsões dos vários fenómenos, que se tornará possível prever os impactos e alterações nas estruturas costeiras.

Pretende-se averiguar, posteriormente, qual a influência de cada parâmetro físico, hidráulico, climático e marítimo, no dimensionamento dos blocos utilizados nas estruturas costeiras de taludes e consequente estabilidade da estrutura, utilizando-se para tal as expressões de Hudson (1959) e de Van Der Meer (1988). Com este fim é realizada uma análise de sensibilidade dos vários parâmetros das duas expressões, para perceber qual o peso de cada parâmetro no peso final dos blocos.

Com o objectivo de perceber a forma como as condições locais influenciam os efeitos das Mudanças Climáticas, pretende-se realizar um conjunto de simulações para obras gerais da costa portuguesa, com base nas tendências previstas e também na análise realizada às expressões empregues no dimensionamento dos blocos.

Espera-se que no final desta dissertação seja possível propor um conjunto de medidas para minimizar os efeitos negativos das alterações climáticas, baseadas na consulta bibliográfica realizada, nos cálculos efectuados e na apresentação de medidas de carácter inovador.

Na realização desta dissertação estiveram ainda envolvidos alguns objectivos pessoais, tais como:

- Aplicação dos conhecimentos adquiridos no MIEC da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e direccionados para as obras marítimas do ramo de Hidráulica;
- Desenvolvimento de um trabalho que permita aliar Engenharia Civil aos conceitos de ambiente e desenvolvimento sustentável;
- Desenvolvimento de um estudo com aplicação prática e que aborde conceitos inovadores;
- Criação de uma base para servir de ponto de partida para a realização de outras dissertações e investigações no âmbito das Alterações Climáticas e/ou intervenções costeiras;
- Apresentação de uma dissertação de âmbito geral, com uma linguagem e conceitos acessíveis a todos os indivíduos interessados no tema abordado.

1.2. DINÂMICA COSTEIRA, OCUPAÇÃO DO SOLO E ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

As zonas costeiras são regiões sujeitas quase sempre a acções marítimas permanentes. Estas traduzem-se em acções hidrostáticas devido à existência de uma massa de água salgada, que varia ao longo do tempo, de acordo com as marés. Traduzem-se, também, em acções hidrodinâmicas, de maior importância e com maior impacto do que as anteriores, e que resultam das condições de agitação marítima, rebentação das ondas, rumos da agitação, correntes marítimas e movimentação de sedimentos no sistema.

Estas acções fazem-se sentir nas zonas costeiras a nível mundial há milhões de anos, sem que tenha existido intervenção humana, de qualquer tipo. No entanto, o Homem, rapidamente, percebeu a grande quantidade de recursos associados às zonas costeiras e fixou-se. Com o aumento das actividades económicas, ocorreu um crescimento exponencial na actividade humana, usando-se o mar como fonte de alimento, transporte e trocas económicas.

A importância do mar e das zonas costeiras foi aumentando, mantendo as funções do passado e acrescentando novas, como a indústria e o turismo. De facto, é no litoral que frequentemente se localizam os principais centros económicos e, por consequência, os maiores centros empregadores e maiores centros populacionais.

Com esta evolução, o Homem atendeu, ao longo do tempo, à necessidade de se proteger a si e aos seus bens, e deu início à construção de portos, quebra-mares e estruturas aderentes, para conter as acções do mar.

A problemática surge pela existência, particularmente nas últimas décadas, de um desequilíbrio entre ocupação do solo, acções do mar e estruturas de protecção.

Por um lado, a elevada ocupação territorial nas zonas costeiras leva à procura de terrenos mais próximos da linha de costa, por vezes, em cima de dunas e arribas, para habitação ou espaços de actividade económica. Simultaneamente, esta pressão habitacional e económica levou à construção dos portos em zonas com condições de agitação marítima muito energéticas.

Por outro lado, as acções do mar continuam o seu processo dinâmico que frequentemente se traduz em processos erosivos. Vem-se a constatar uma intensificação destes processos nas últimas décadas, quer devido às Alterações Climáticas introduzidas pelo Homem, quer pela própria Variabilidade Natural do planeta. Tal facto conduziu a uma degradação mais rápida das estruturas costeiras, avanço do mar sobre a costa e afectação de sistemas e zonas populacionais mais frágeis.

Para agravar este desequilíbrio, as intervenções costeiras por parte das organizações governamentais, nem sempre foram as mais correctas, tanto a nível do ordenamento do território, como no planeamento das obras costeiras.

É necessário tomar consciência das tendências das Alterações Climáticas e dos seus potenciais impactos no futuro, actuar no sentido da reorganização do ordenamento litoral e equacionar medidas para tornar as estruturas de protecção costeira mais eficientes, face às novas condições locais.

1.3. VARIABILIDADE CLIMÁTICA E ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

1.3.1. DISTINÇÃO DE CONCEITOS ENTRE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS, VARIABILIDADE CLIMÁTICA E ACÇÕES ANTRÓPICAS

Actualmente, existem várias perspectivas sobre os conceitos de Alteração Climática e Variabilidade Climática.

De acordo com o IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007a), as Alterações Climáticas referem-se a mudanças do clima, que podem ser identificadas como alterações no valor médio e/ou variabilidade das suas propriedades, e que persistem por um tempo alargado, tipicamente décadas ou mais. Esta definição considera a possibilidade de qualquer mudança no clima ser uma Alteração Climática, sendo esta devido a acções exteriores (como variações na radiação solar ou vulcanismo), por mudanças externas (como alteração na composição da atmosfera devido às

actividades da Era Industrial), ou por efeitos da variabilidade interna (associada aos períodos de retorno de um dado fenómeno natural). A figura 1.1 apresenta um esquema interpretativo desta visão.

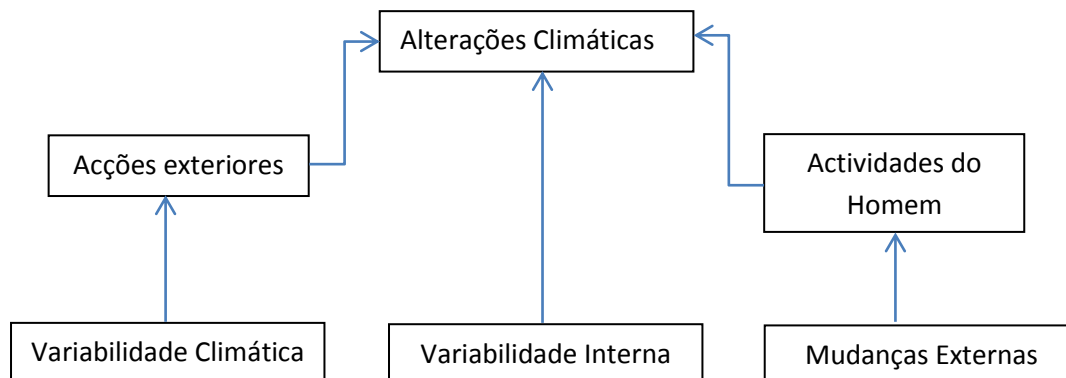


Figura 1.1. Alterações Climáticas, visão segundo o IPCC.

Por outro lado, o IPCC (2007a) refere que a visão da UNFC (United Nations Framework Convention), considera que uma Alteração Climática se refere a uma alteração relacionada directa ou indirectamente com a actividade humana. O esquema desta interpretação é apresentado na figura 1.2., e traduz-se por uma separação de termos entre Variabilidade e Alterações Climáticas, mas que se influenciam, mutuamente.

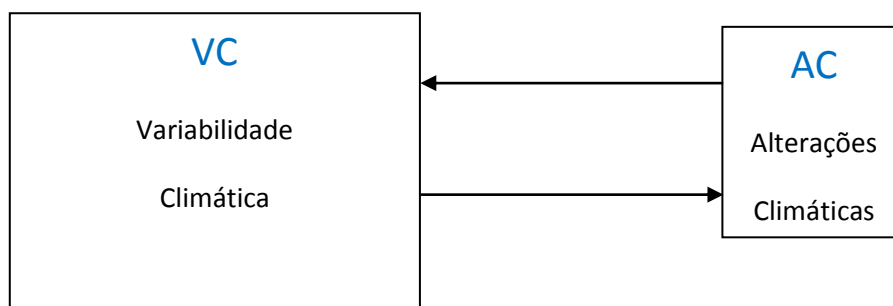


Figura 1.2. Alterações Climáticas e Variabilidade Climática, visão segundo a UNFC.

Para este estudo, foram adaptadas três considerações, que se apresentam como viáveis e mais clarificadoras da relação entre os vários conceitos:

1 – Consideração de “Acções Antrópicas” como uma definição complementar, mas distinta dos conceitos “Alteração Climática” e “Variabilidade Climática”.

Este termo descreve as acções por parte do Homem que não afectam directamente o clima, mas alteram, pelo menos localmente ou regionalmente, os impactos das Alterações Climáticas e da Variabilidade Climática e que será mais desenvolvido no decorrer deste trabalho.

2 – Consideração de uma nova interacção, figura 1.3, entre Variabilidade Climática e Alterações Climáticas, considerando também as Acções Antrópicas.

3 – Utilização do conceito “Mudanças Climáticas” para englobar a Variabilidade Climática, as Alterações Climáticas e o agravamento de impactos pelas Acções Antrópicas.

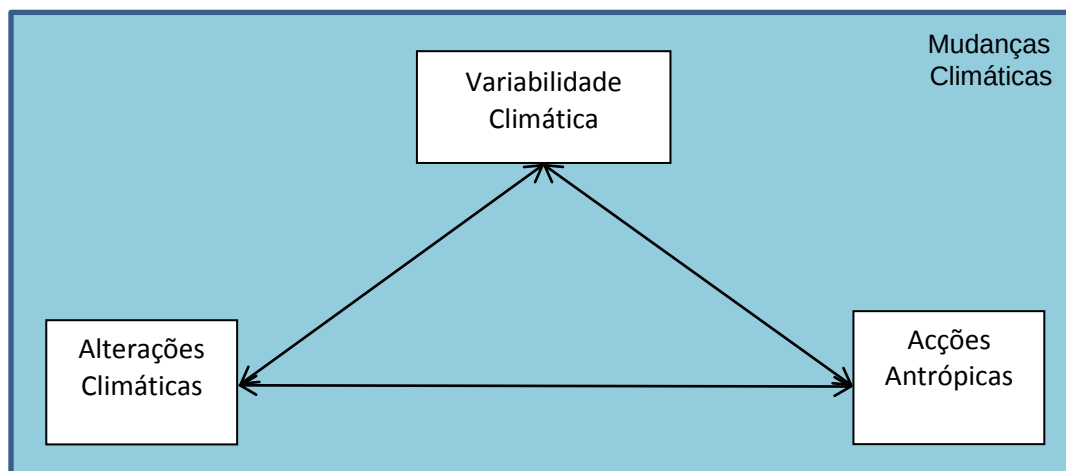


Figura 1.3. Alterações Climáticas, Variabilidade Climática e Acções Antrópicas, visão segundo esta dissertação.

Esta nova representação estabelece uma distinção de conceitos, mas considera a influência de uns sobre os outros e permite “representar” qualquer acção climática numa extremidade ou num local intermédio do triângulo, de acordo com a intensidade da relação que se estabelece com os vértices. Este esquema não é estático, mas permite uma representação dinâmica, com a possibilidade de representar sobre o triângulo uma seta de tendência futura. Este esquema será usado para posicionar cada acção climática de acordo com a influência que recebe das Alterações Climáticas, Variabilidade Climática e Acções Antrópicas.

1.3.2. VARIABILIDADE CLIMÁTICA

A Variabilidade Climática, de acordo com a proposta deste estudo (figura 1.3), está associada aos períodos de retorno de um dado fenómeno ou acção climática e pode ter uma escala temporal de segundos, minutos, horas, dias, semanas, meses, anos, séculos ou milénios. Como exemplo, a evaporação e os períodos das ondas e vagas têm uma escala temporal de segundos, a temperatura e os temporais têm uma escala de horas, as estações do ano têm uma escala de meses, os fenómenos associados a cheias e secas uma escala de anos e os fenómenos associados a movimentos de translação da Terra e do Sol, podem chegar a uma escala de séculos ou milénios.

Por outro lado, a Variabilidade Climática estende-se também aos fenómenos naturais associados à variação da radiação solar e às erupções vulcânicas.

De acordo com o IPCC (2007a), relativamente à radiação solar, a sua variação deve-se à alteração das órbitas da Terra em torno do Sol, designados por ciclos de Milankovitch (figura 1.4.) que mudam a quantidade de radiação que chega a cada latitude em cada estação do ano e que podem ser determinados com grande precisão.

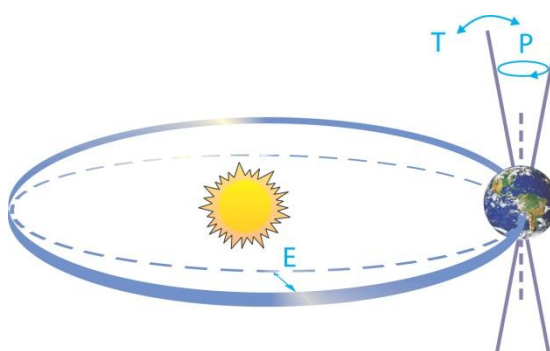


Figura 1.4. Ciclos de Milankovitch, IPCC (2007a).

As erupções vulcânicas, figura 1.5, são fenômenos naturais, de difícil previsão e que conduzem à libertação de calor, mas principalmente de gases – vapor de água, dióxido de carbono, enxofre, azoto e aerossóis, contribuindo para a alteração do clima. A sua influência é, no entanto, pouco conhecida e estudada, principalmente, na sua relevância actual em relação às Alterações Climáticas.



Figura 1.5. Erupção vulcânica, Islândia 2010 (Fonte: Agência Reuters).

De acordo com o IPCC (2007a), devido a inexistência de outros factores antrópicos relevantes, terão sido as acções naturais responsáveis pelas eras glaciares do passado.

• Poderá o clima actual ser justificado através da Variabilidade Climática?

Uma das principais questões levantadas, actualmente, pela sociedade é se o clima dos últimos séculos, das últimas décadas ou se o clima “actual”, pode ser justificado apenas pela Variabilidade Climática.

Segundo o IPCC (2007a), tal é muito improvável, pois a aplicação de modelos tendo apenas em conta factores naturais, conduz a valores muito diferentes dos valores reais constatados ao longo do tempo.

A figura 1.6 apresenta um mapa com as temperaturas observadas entre 1900 e 2000, bem como simulações com modelos, considerando apenas acções naturais ou acções naturais e antropogénicas. A sua análise permite verificar que a temperatura, ao longo do século XX, apenas consegue ser explicada por uma perspectiva que englobe Variabilidade e Alterações Climáticas.

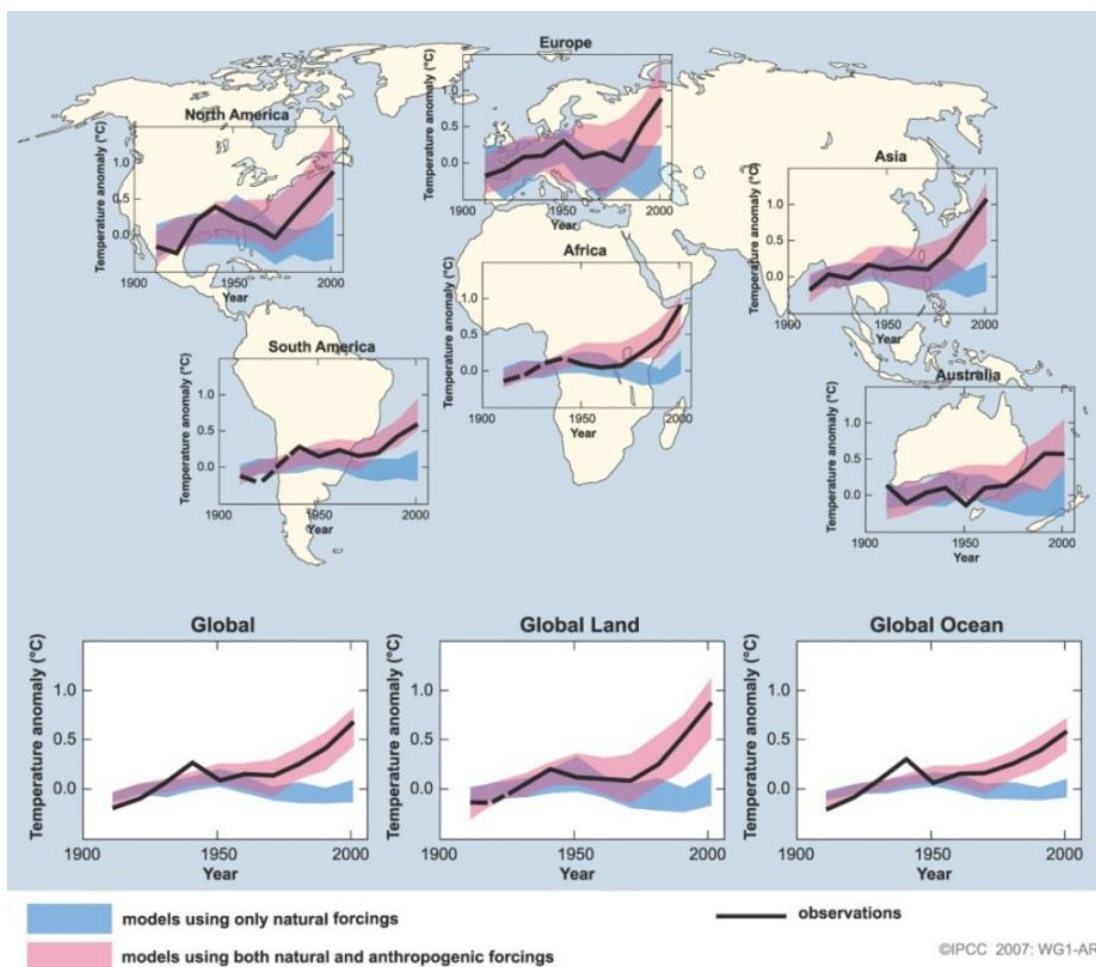


Figura 1.6. Evolução da temperatura no século XX, IPCC (2007a).

1.3.3. ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

Segundo o IPCC (2007b), o termo *Alterações Climáticas* está associado, principalmente, às mudanças no clima, verificadas a partir da Revolução Industrial. Esta teve início em meados do século XVIII e expandiu-se pelo mundo a partir do século XIX. A sua actividade deu origem a mudanças na atmosfera terrestre, pela alteração dos gases de estufa, aerossóis e nebulosidade.

• Componentes das emissões de origem nas actividades do Homem

Além das emissões poluentes das indústrias, outras actividades humanas desenvolveram-se, tal como os meios de transporte e a grande produção de electricidade nas centrais a carvão, contribuindo também para a libertação de gases de estufa para a atmosfera.

A origem e tendência de emissão dos principais gases de efeito de estufa mais importantes são apresentadas de seguida, de acordo com os dados do IPCC (2007a):

→ O **dióxido de carbono** (CO₂) aumentou 35% na era industrial devido a actividades humanas tal como a queima de combustíveis fósseis e a remoção de florestas, que reduz a sua absorção. A sua

concentração passou de um valor pré-industrial de 280 ppm para 379 ppm no ano de 2005. Estes valores excedem os mais elevados dos últimos 650 000 anos, com uma taxa de 1.9 ppm por ano.

- O **metano** (CH_4) tem origem na agricultura, agro-pecuária, exploração de gás natural, pântanos e aterros. Os seus valores passaram da era pré-industrial até 2005, de 715 ppb para 1774 ppb, excedendo também os valores dos últimos 650 000 anos. No entanto, existem dados que apontam para uma diminuição na taxa de crescimento.
- Mais de um terço do **óxido nitroso** (N_2O) provém de emissões antropogénicas, principalmente da agricultura, através do uso de fertilizantes e queima de combustíveis fósseis. Este gás aumentou do valor pré-industrial de 270 ppb para 319ppb em 2005.

Na figura 1.7, são apresentadas as evoluções do dióxido de carbono, metano e óxido nitroso entre o ano 0 e o ano 2000.

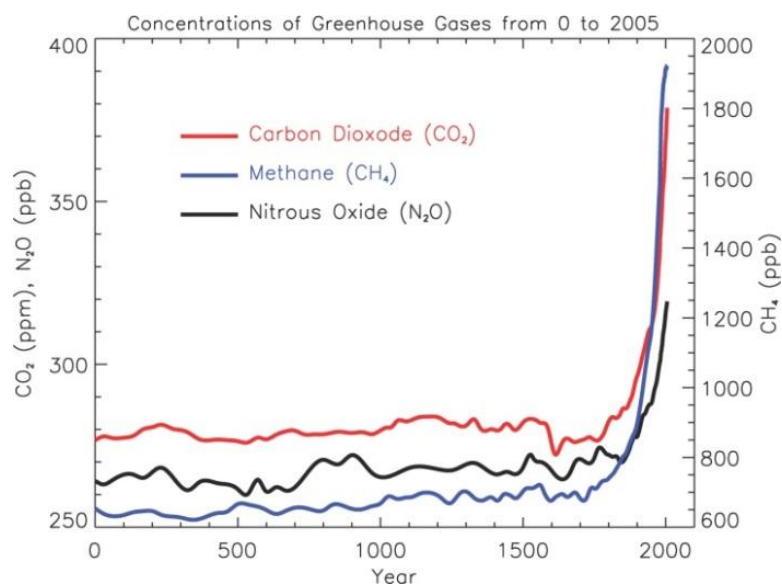


Figura 1.7. Evolução dos gases de estufa CO_2 , CH_4 e N_2O na atmosfera entre o ano 0 e o ano 2000, IPCC (2007a).

→ Os **aerossóis** são pequenas partículas emitidas pela queima de combustíveis e queima de biomassa, que libertam partículas de enxofre, componentes orgânicos e partículas de carbono. Pela sua reflectividade produzem um efeito de arrefecimento.

→ O **ozono** estratosférico tem como função proteger a Terra contra os raios ultravioletas. Já o ozono troposférico está relacionado com a produção de óxido nitroso, monóxido de carbono e hidrocarbonetos, contribuindo a sua existência para o aquecimento global.

→ Os **halocarbonetos** aumentaram na atmosfera devido às actividades humanas, como a inclusão de CFC (clorofluorcarbonetos) nos processos de refrigeração. O seu principal problema é a capacidade para destruir o ozono estratosférico.

→ A formação de **vapor de água** é um efeito indirecto dos outros gases de estufa, devido ao aumento do poder de evaporação. As nuvens têm um efeito similar aos gases de estufa, compensando, no entanto, pela sua reflectividade. Este facto, faz com que o balanço final possa ser o arrefecimento da Terra ou então pode gerar o aquecimento.

A figura 1.8 apresenta a contribuição de cada uma das Acções Antrópicas e Naturais. Cada elemento é representado pela força radiactiva, expressa pela quantidade de energia (Watt) por unidade de área (m^2), entre os anos de 1750 e 2005.

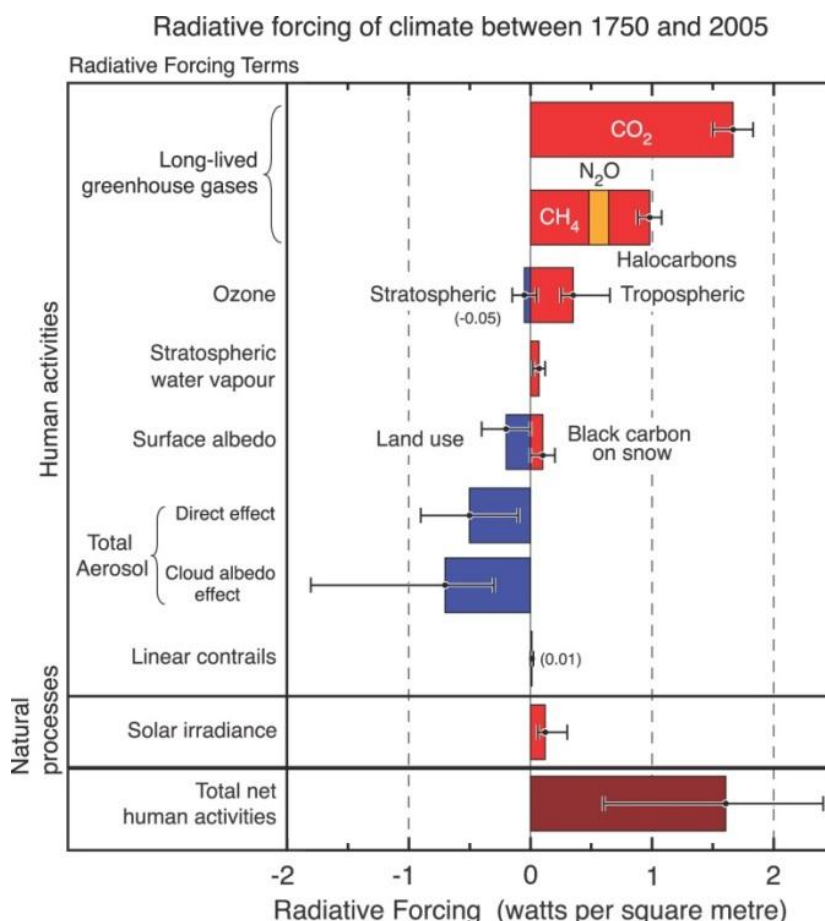


Figura 1.8. Contribuição das Acções Antrópicas e Naturais para a força radiactiva (W/m^2), IPCC (2007a).

Estas alterações induzem uma influência directa sobre os sistemas costeiros, mas, principalmente, indirecta, através da alteração da temperatura e dos seus efeitos no sistema global climático, mais aprofundado nos subcapítulos seguintes sobre as previsíveis alterações das acções de projecto.

1.3.4. ACÇÕES ANTRÓPICAS

Como já referido anteriormente, para este estudo foi destacado este conceito, de forma a colmatar a ausência de referência a acções que, sem terem influência directa sobre as acções climáticas, alteram os seus efeitos a nível local e regional.

Nos sistemas costeiros, as Acções Antrópicas são mais recentes do que as Alterações Climáticas, tendo em conta que, segundo Veloso Gomes (1990), só há menos de 100 anos se sentem as suas consequências sobre os sistemas costeiros de uma forma mais notória.

São exemplos de **acções antrópicas negativas** as dragagens para extracção de areias para construção civil e infra-estruturas portuárias, a construção de barragens e albufeiras que dificultam a passagem de sedimentos e diminuem a força erosiva do rio, a construção de edificações e vias de comunicação em dunas e sistemas costeiros frágeis.

Porém, também, existem **acções antrópicas com carácter positivo**, principalmente, para colmatar os problemas criados pelas negativas, como intervenções de protecção costeira e alimentação artificial de areia. No caso das intervenções de protecção costeira, algumas podem apresentar também impactos negativos, pelo que cada caso deve ser estudado de forma independente.

1.3.5. SITUAÇÃO ACTUAL E FUTURA DO CLIMA GLOBAL, REGIONAL E LOCAL

1.3.5.1. Uma questão de escala

Em primeiro lugar, é necessário distinguir os termos global, regional e local.

Na utilização de um parâmetro como o nível do mar, facilmente, é perceptível que a subida média global não poderá ser a mesma em todos os oceanos, mares e locais, pois existem características físicas e climáticas que variam de acordo com a latitude e existem fenómenos como o Anticiclone dos Açores que tem influência na Europa, e especialmente, em Portugal.

Por isso, é fundamental obter dados dos vários marégrafos, para determinar a tendência verificada ao longo dos anos, numa dada região mais ampla sob o ponto de vista geográfico.

Se for necessário realizar um estudo para uma dada intervenção de defesa costeira, por exemplo, poderá não ser aceitável usar os valores nacionais, pois o nível do mar é influenciado pelas fronteiras físicas, fundos e por fenómenos climáticos, particulares de um dado local. Neste caso são necessários registos locais e utilização de modelação matemática para estabelecer previsões para a subida do nível do mar, com um intervalo de confiança superior.

Deste modo, a **escala local** restringe-se a um sítio ou área geográfica de algumas centenas de metros a poucas centenas de quilómetros, a **escala regional** vai de alguns quilómetros a centenas de quilómetros (malha considerada nos modelos de Alterações Climáticas) e a **escala global** pode relacionar-se com uma malha planetária, de oceanos ou de continentes.

Acerca da escala existem algumas problemáticas, dada a dificuldade de estabelecer o seu valor para alguns parâmetros. Por outro lado, nos modelos aplicados na análise das mudanças climáticas existem dificuldades na passagem da escala global para a escala regional ou para a escala local.

1.3.5.2. Temperatura

Segundo o IPCC (2007a), as mudanças no balanço de radiação da Terra são os principais motivos para a geração de Mudanças Climáticas. Contudo, as causas para tais variações são muito diferentes,

podendo ter origem na Variabilidade Climática ou nas Alterações Climáticas, e traduzindo-se fisicamente na sua maioria pela alteração de temperatura.

As consequências da alteração da temperatura traduzem-se por mudanças no sistema climático, tal como apresentado na figura 1.9.

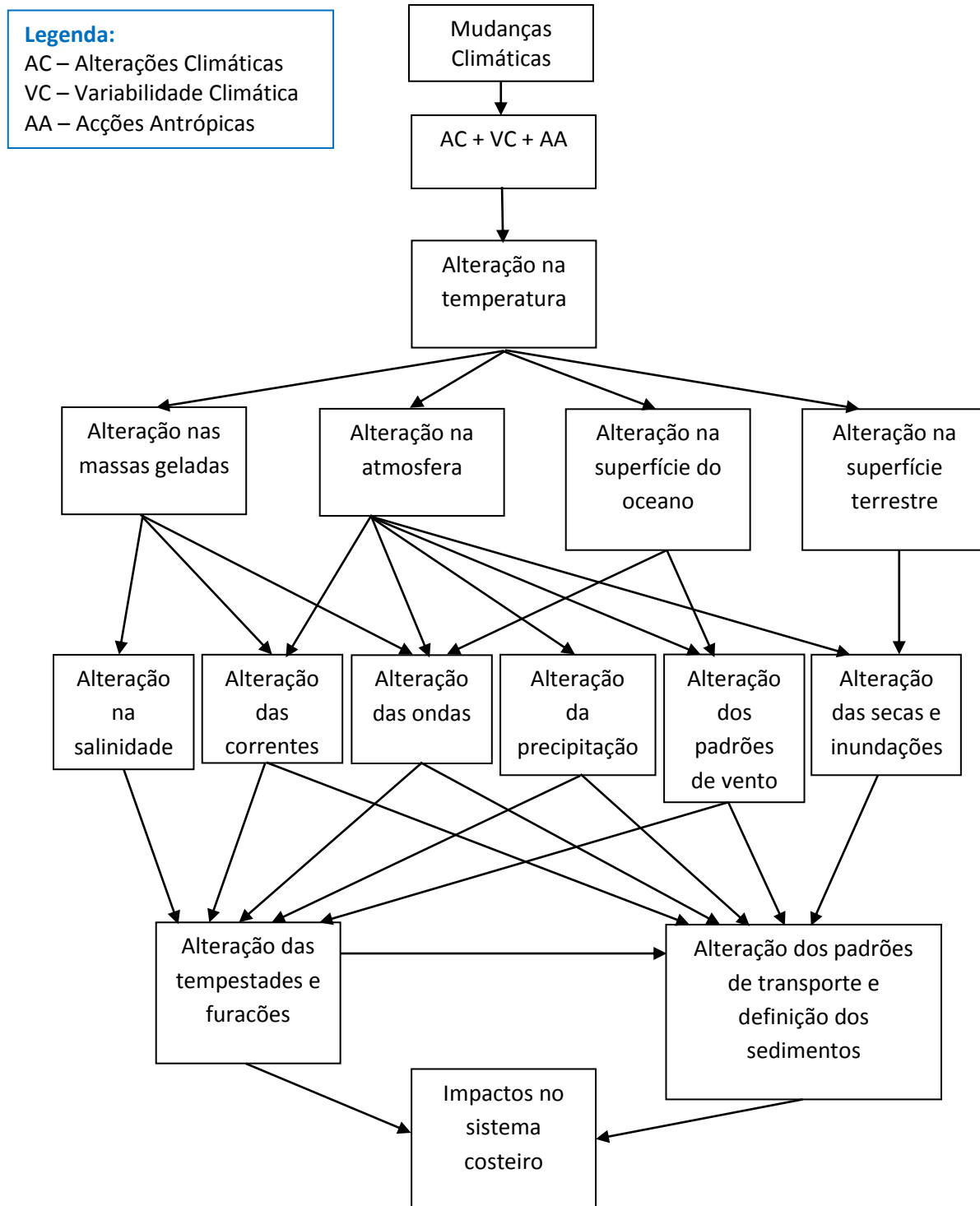


Figura 1.9. Esquema das Mudanças Climáticas e suas consequências.

Como é possível verificar, existem consequências directas da alteração da temperatura, tal como o degelo e alterações na atmosfera, que conduzirão por sua vez a alterações secundárias em cadeia, influenciando-se em muitos casos, mutuamente, até chegar às alterações na zona costeira.

1.3.5.3. Padrões e tendências da temperatura

De acordo com o IPCC (2007a), durante muitos períodos quentes que aconteceram na história, mais de 500 milhões de anos, a Terra terá provavelmente estado sem qualquer gelo. Esta teoria é apoiada nas marcas encontradas nas rochas, verificando-se entre os **períodos glaciares e interglaciares** uma mudança de temperatura média de 4 a 7°C. Segundo o IPCC (2007a), a última vez que as regiões polares estiveram, significativamente quentes por um período extenso, há cerca de 125 000 anos atrás, a redução do gelo Ártico levou a um aumento entre 4 e 6 metros do nível médio do mar, quando a temperatura seria 3 a 5°C superior à do presente, devido à diferença de órbita da Terra.

Para os próximos anos, e tendo em conta o cenário actual, os modelos do IPCC (2007a) indicam um valor máximo de aumento da temperatura para o século XXI de 5°C, com alguns locais da Terra a sofrer uma variação semelhante à verificada no final da idade do gelo, o que indica uma subida de temperatura fora do normal.

Uma das grandes problemáticas em volta das Mudanças Climáticas está relacionada com a existência de idades glaciares e interglaciares, associadas à **variação na concentração de CO₂** no passado, muitos milhões de anos antes da Era Industrial.

Para o primeiro facto, a sua explicação está relacionada com a Variabilidade Natural do planeta como já referido. Como mostra o IPCC (2007a), nos períodos glaciares, verificaram-se concentrações de CO₂ com cerca de 190 ppm e nos períodos interglaciares cerca de 280 ppm. Este segundo aspecto relaciona-se com o facto de num período glacial se iniciar um arrefecimento que se agrava com o decaimento do CO₂. Esta diminuição do CO₂, por sua vez, reflecte a sua maior solubilidade em água mais fria, alterações na superfície e profundidade dos oceanos, mudança no fitoplâncton e trocas com o oceano.

O IPCC (2007a) indica também, que é provável que o aumento de gases de efeito de estufa por si só, cause mais aquecimento do que os observados pelos gases vulcânicos e aerossóis, e que para as duas próximas décadas ocorra um aquecimento de 0.2°C por década nos cenários SRES do IPCC. Os cenários SRES são estabelecidos com um grande número de variáveis e modelos, pelo que, face à sua complexidade, não são desenvolvidos nesta dissertação.

Na figura 1.10, são apresentados vários cenários do IPCC para a evolução da temperatura global.

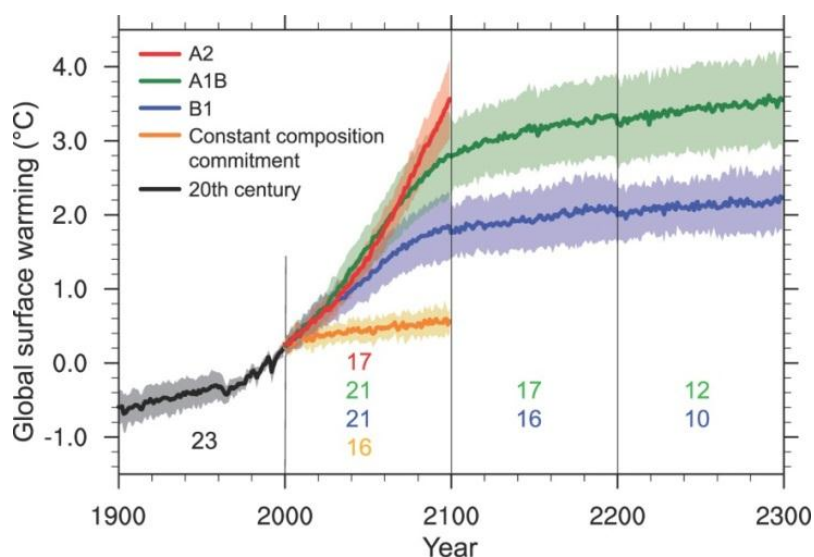


Figura 1.10. Previsão do aumento da temperatura global até ao ano 2300, IPCC (2007a).

O impacto e a tendência das acções com influência nos sistemas costeiros e intervenções costeiras são apresentados nos subcapítulos 1.4 e 1.5.

1.3.5.4. Sistemas de *Feedback*

Existem muitos mecanismos de *Feedback*, isto é, respostas do sistema climático às Alterações Climáticas, Variabilidade Climática e às Acções Antrópicas, e que podem amplificar (*Feedback* positivo), ou diminuir (*Feedback* negativo) os efeitos das mudanças no clima.

Dados do IPCC (2007a) indicam que o **degelo** revela solo escuro e superfícies de água que se encontram debaixo da camada de neve e gelo, que por sua vez absorvem mais calor, provocam mais aquecimento e mais degelo, reforçando o ciclo.

Outro exemplo, dado pelo IPCC (2007b), é o **efeito borboleta**, que suporta a teoria de que a alteração do vento num dado local, pode progredir e propagar-se, alterando o padrão de vento num local distante.

Por outro lado, o aumento dos gases de estufa causa o aquecimento da Terra, que gera um aumento da **evaporação** e assim o aumento da concentração de vapor de água na atmosfera, que também é um gás de efeito de estufa, reforçando o ciclo.

Um importante mecanismo de *Feedback* está relacionado com as **nuvens**. Estas absorvem radiação infravermelha e criam um efeito de estufa. Por outro lado, as nuvens também reflectem a radiação proveniente do Sol, arrefecendo a Terra. De acordo com o IPCC (2007a), a mudança do tipo de nuvem, da sua localização, conteúdo de água, altitude, tamanho e forma das partículas, influencia o grau com que a nebulosidade pode arrefecer ou aquecer a Terra.

1.4. SISTEMAS AFECTADOS

As mudanças no clima, referidas anteriormente, poderão afectar todos os locais do globo, incluindo países centrais e zonas mais afastadas do mar, através de fenómenos de secas e inundações extremas.

Porém, as zonas potencialmente mais afectadas pelo clima serão as **zonas costeiras**, sujeitas a inundações, ventos fortes, precipitação extrema e acção directa de ondas.

Para agravar mais a situação, muitas das zonas costeiras têm uma densidade populacional extremamente elevada, albergando os principais centros de decisão, pólos comerciais, industriais e turísticos, o que lhes confere uma elevada importância social e económica.

Segundo o IES (Institute for Environment and Sustainability) (2006), é esperado que 75% da população humana viva nas zonas costeiras em 2050, sendo de esperar uma competição extrema por espaço com o ecossistema natural.

De acordo com o SIAM II (2006), no caso de Portugal, a importância das zonas litorais chega a 85% do PIB, com um terço do litoral ocupado por edifícios urbanos, estruturas industriais e portuárias e uma densidade populacional litoral de 215 hab./Km², muito superior à média nacional de 125 hab./Km².

De acordo com o mesmo estudo, numa análise à estabilidade das zonas costeiras portuguesas, cerca de um quarto da extensão costeira mostra sintomas de instabilidade, caracterizando-se por vulnerabilidade elevada, como consequência da sua natureza arenosa e baixo relevo: sectores entre o estuário do Douro e Nazaré; entre o estuário do Sado e Sines; e entre Ancão e o estuário do Guadiana.

Por outro lado, os sectores entre o estuário do Tejo e o estuário do Sado; entre Sines e o Cabo de S. Vicente; e entre Nazaré e o estuário do Tejo, são rochosos e em larga medida de relevo elevado.

• Estruturas de defesa

Face à vulnerabilidade de muitas zonas costeiras a nível mundial, à importância das actividades sociais e económicas e às Alterações Climáticas, cada vez mais prejudiciais para todo o sistema costeiro, o Homem teve a necessidade de proteger os seus bens e iniciou a construção de estruturas para diminuir os riscos de inundações e galgamentos, ao mesmo tempo que absorvem com mais ou menos eficiência, as acções que incidem sobre a costa, figura 1.11. Os quebra-mares portuários proporcionam planos de água mais abrigados em relação à agitação marítima, proporcionando níveis de segurança e operacionalidade não possíveis em costa “aberta”.



Figura 1.11. Obra aderente – Cortegaça, Portugal

Algumas estruturas costeiras, como os esporões de madeira, são projectadas para horizontes temporais de poucos anos, mas a maioria dessas estruturas são construídos com enrocamento ou blocos de betão, tal como acontece nos esporões, quebra-mares e obras aderentes, sendo projectados para horizontes de cerca de 100 anos.

Segundo o CSB (Coastal Structures and Breakwaters) (1992), no caso das estruturas projectadas para um pequeno período de vida, a sua substituição permite, facilmente, a adaptação às novas condições existentes. Para as estruturas com um período de vida muito elevado, tal como 100 anos, é necessária uma manutenção controlada, assim como a selecção de medidas para adaptar as estruturas existentes às novas condições locais e a definição de medidas a adoptar para em novos projectos, para que seja preparada a sua adaptação às Mudanças Climáticas.

1.5. PREVISÍVEIS ALTERAÇÕES DAS ACÇÕES DE PROJECTO

Neste subcapítulo são apresentadas as tendências dos principais parâmetros que têm implicações sobre as zonas costeiras, estruturas portuárias e de defesa costeira, e os seus efeitos.

1.5.1. NÍVEIS DE ÁGUA

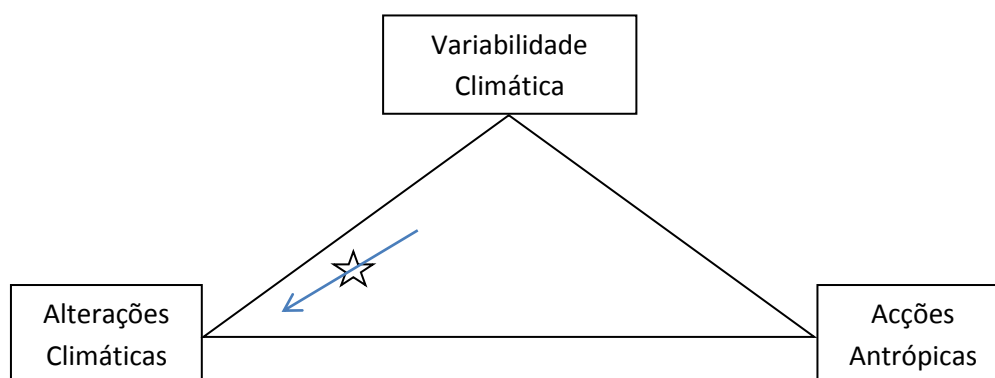


Figura 1.12. Posicionamento do parâmetro: Nível de água

(Nota: estrela indica o actual posicionamento do parâmetro e a seta a tendência futura)

Conforme referido anteriormente, actualmente, a Terra está a sofrer um processo de aquecimento, devido às Mudanças Climáticas. De acordo com o IPCC (2007a), um aumento da temperatura no oceano a nível global é sentido até aos 3000 metros de profundidade, pois este absorve cerca de 80% do aumento de temperatura, levando à sua expansão térmica e à subida do nível do mar.

Por outro lado, o aumento global da temperatura acelera o processo de degelo das massas geladas. Observações do IPCC (2007a), indicam a uma escala global, uma diminuição da neve e gelo, há vários anos, especialmente desde 1980 e um aumento dessa taxa durante a última década, de tal forma que a maior parte das formações glaciares está a diminuir de tamanho, a cobertura de neve está a desaparecer antes da Primavera e o gelo Ártico está a diminuir em todas as estações, sendo mais dramático no Verão.

Através de satélites foi possível verificar uma diminuição das camadas geladas de 2% por década, desde 1966. No Ártico, a extensão de gelo no mar tem diminuído em média $2.7 \pm 0.6\%$ por década, e

no Verão $7.4 \pm 2.4\%$ por década. No entanto, o gelo Antártico não mostra tendências significativas de mudanças, IPCC (2007a).

Na figura 1.13 mostra-se a previsão da variação dos calotes polares entre 2080 e 2100 e comparação com os anos de 1980 a 2000.

Legenda:

JFM – Janeiro, Fevereiro e Março

JAS – Julho, Agosto e Setembro

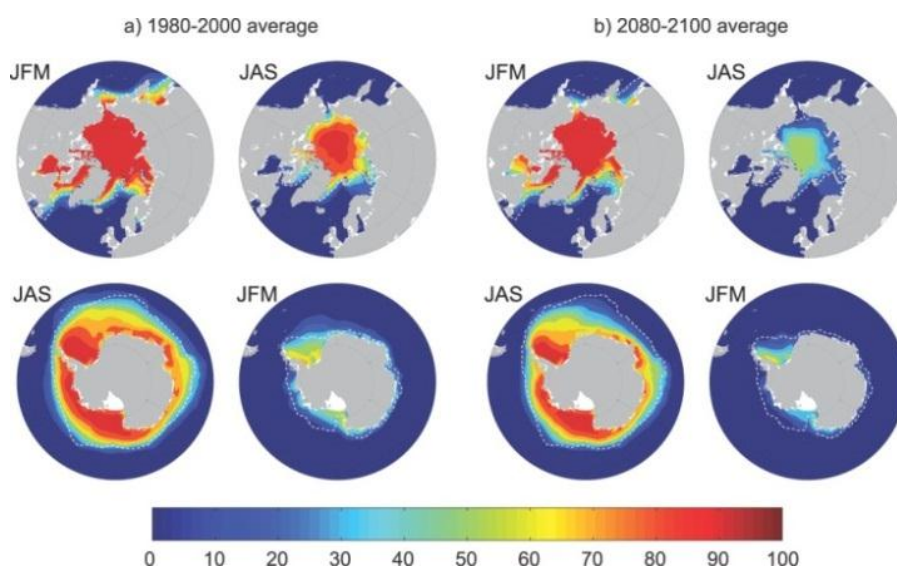


Figura 1.13. Previsão da variação dos calotes polares, IPCC (2007a), no Ártico (cima) e no Antártico (baixo).

De extrema importância e em sentido contrário é a teoria sustentada por alguns estudos, de que o degelo das massas geladas sobre o mar, não contribui para o aumento do nível do mar.

No entanto, o degelo das massas geladas que se encontram sobre terra, já tem um grande impacto sobre o nível do mar e teve, segundo o IPCC (2007a), uma contribuição de $1.2 \pm 0.4 \text{ mm/ano}$, no período de 1993 a 2003.

• Projeções

O efeito combinado da expansão térmica e do degelo das massas geladas tem um impacto directo no nível do mar. Porém, existe uma grande faixa de incerteza nos valores da subida média anual do nível do mar global.

Nos próprios estudos do IPCC, existe uma variedade de estudos com diferentes resultados e dentro de cada modelo formularam-se diferentes cenários, tanto para os dados do passado, como para as projecções de futuro. Na tabela 1.1 são apresentados alguns desses valores.

Tabela 1.1. Projecções para a taxa de subida do nível do mar (adaptado IPCC, 2007a).

Projecção (mm/ano)	Série temporal	Fonte
1.7	Século XX	IPCC (2007a)
3	1993 - Actual	IPCC (2007a), medição altimétrica por satélite
4	1990 – 2090	IES (2006)
1-2	Século XX	Church <i>et al.</i> (2001)
1.8	Século XX	Douglas (2001) e Peltier (2001)
1.5-2	Século XX	Miller e Douglas (2004)
1.7±0.4	1948-2002	Holgate e Woodworth (2004)
1.7±0.3	Século XX	Church e White (2006)
3.1±0.7	1993-2003	Cazenave e Nerem (2004)
1.3±0.2	2000 - 2020	IPCC (2007a), SRES cenário A1B
0.42±0.12	1961 - 2003	IPCC (2007a)
1.6±0.5	1993 – 2003	IPCC (2007a)
1.9±1	2080 – 2100	IPCC (2007a), SRES cenário B1
2.4±1.4	2080 – 2100	IPCC (2007a), SRES cenário AB
3.8±1.3	2080 - 2100	IPCC (2007a), SRES cenário A2

Na figura 1.14 é apresentado o gráfico com a tendência de variação do nível do mar global para o período compreendido entre 1800 e 2100, considerando cenários entre as estimativas pessimista e optimista.

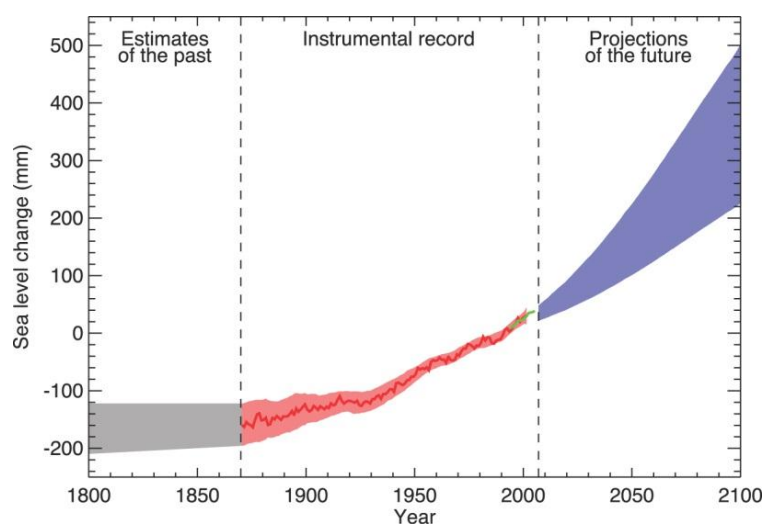


Figura 1.14. Previsão da subida do nível do mar, IPCC (2007a).

Nos estudos realizados na presente dissertação, optou-se por considerar o intervalo [0.5-4] mm/ano como valores extremos, isto é, tendo em conta os valores extremos apresentados nos vários estudos.

Importa salientar que os valores apresentados correspondem a valores globais, podendo os valores locais ser muito diferentes, de tal forma que podem existir sítios com uma tendência negativa e outros com taxas de crescimento superiores a 4 mm/ano.

• Tendências para Portugal

Em **Portugal**, segundo Dias e Taborda (1992), o nível médio do mar subiu cerca de 15 cm durante o século XX, o que dá em média 1.5mm/ano. Está previsto pelo SIAM II (2006), que a taxa de elevação não será constante ao longo do tempo, agravando-se a partir de 2040. A partir da análise dos dados dos marégrafos, realizada no mesmo estudo, as conclusões são bastante diferentes, não permitindo detectar a existência de um padrão de longo prazo.

O ajuste de uma recta por mínimos quadrados às séries de Leixões, realizada também no SIAM II (2006), com dados entre 1956 e 1985, indicam uma tendência positiva de 0.6mm/ano.

Em Cascais, dados entre 1987 e 2000, apontam uma tendência positiva de 0.9 mm/ano.

Já no caso de Viana do Castelo e Lagos, dados entre 1986 e 2000, apresentam uma tendência negativa acentuada de -1.86 cm/ano e -1.18 cm/ano, respectivamente.

A utilização destes valores deve ser feita com muito cuidado, pois não estão de acordo com a tendência observada no oceano Atlântico, podendo ser os valores influenciados por condições locais dos portos, movimento de assentamento ou elevação do terreno onde está implantado o marégrafo, qualidade de registos e tempo de registo.

• Impactos da alteração do nível do mar

Um aumento do nível do mar, tal como está previsto nos modelos globais, terá consequências sobre toda a zona costeira.

Nas zonas naturais, o principal impacto é a afectação de sistemas mais frágeis, figura 1.15, com nível de erosão mais acentuado, redução de área de praia, destruição de dunas e habitats naturais.

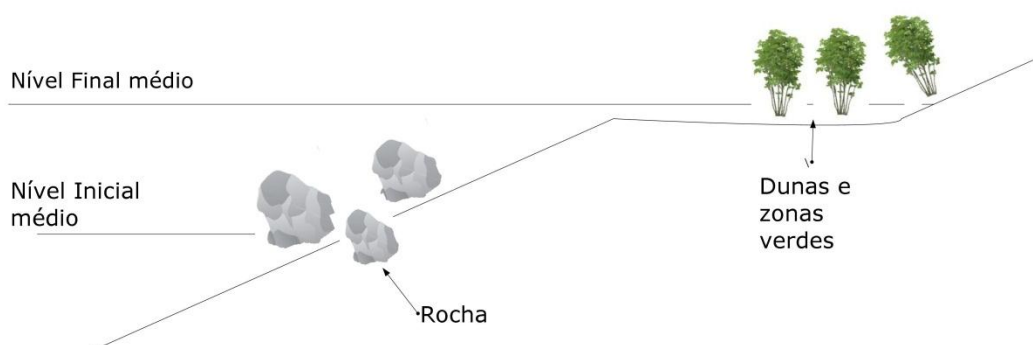


Figura 1.15. Consequências do aumento do nível do mar.

Em simultâneo, a subida do nível do mar afectará estruturas portuárias, de defesa costeira e zonas habitacionais costeiras.

O maior problema não será o valor do aumento em si, pois facilmente se aumenta a cota de coroamento de 0.5m ou 1m das estruturas, como indicam as previsões mais pessimistas, mas será o agravamento das acções hidrodinâmicas, que se reflecte em infra escavações, maiores galgamentos, alturas de onda (a abordar posteriormente), acções hidrodinâmicas e alteração no trânsito sedimentar.

Na figura 1.16, são tipificadas as mudanças de perfil da costa com a subida do nível do mar numa praia (a) e quando existe uma estrutura de protecção (b), ilustrando uma redução de sedimentos na linha de costa ou na base da estrutura, respectivamente, e uma acumulação desses mesmos sedimentos em locais mais afastados.

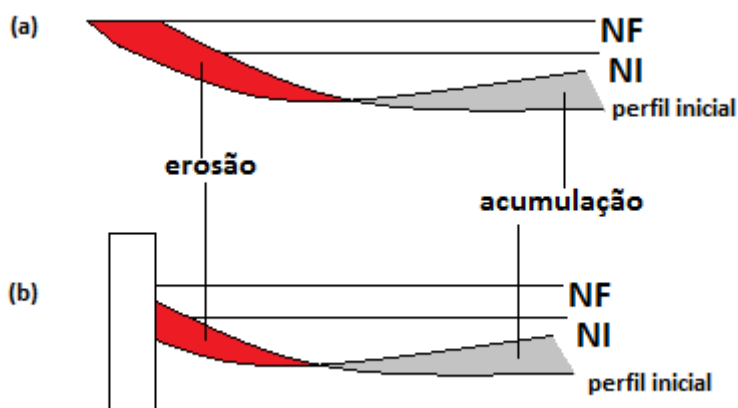


Figura 1.16. Efeito da subida do nível do mar: (a) praia, (b) estrutura de defesa costeira.

1.5.2. NÚMERO E PERSISTÊNCIA DE TEMPESTADES

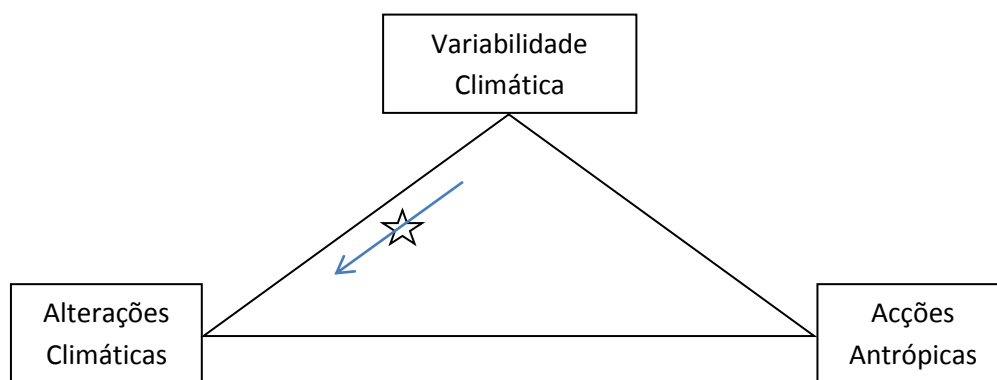


Figura 1.17. Posicionamento do parâmetro: Número e Persistência de tempestades.

Mudanças do sistema climático, em vários aspectos, com a dimensão das camadas de gelo, tipo e distribuição de vegetação, temperatura da atmosfera ou do oceano, de acordo com o IPCC (2007a), vão influenciar em grande escala os padrões de circulação da atmosfera, figura 1.18.

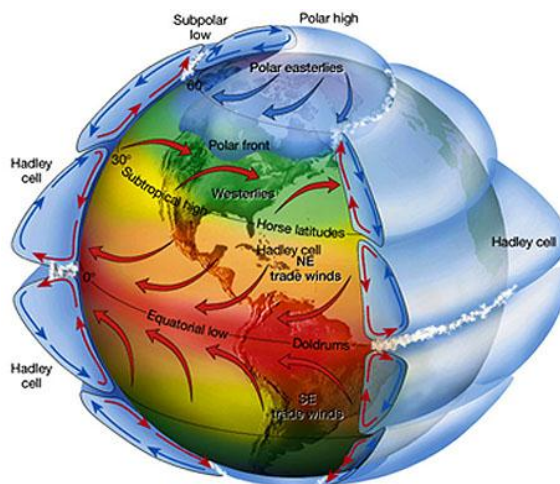


Figura 1.18. Padrões de circulação atmosférica (Fonte: <http://rst.gsfc.nasa.gov>).

Por sua vez, padrões como o El Niño e o NAO (North Atlantic Oscillation) afectam a localização e a actividade das tempestades, à volta do mundo.

• Projeções

O IPCC (2007a) reconhece que, quanto a tendências, a variabilidade multi-década e a qualidade dos registos dos ciclones tropicais antes dos registos por satélite a partir de 1970, complicam a detecção de tendências a longo prazo na actividade dos ciclones.

No entanto, o IPCC (2007a) também refere um aumento da intensidade na actividade dos ciclones tropicais desde cerca de 1970, devido ao aumento da temperatura superficial do mar tropical e à média da categoria de furacões 4 e 5 ter aumentado nos últimos 30 anos, registando-se o maior aumento no Pacífico Norte, Índia e no Sudoeste Pacífico. Conforme o mesmo estudo, também no Atlântico Norte o número de furacões aumentou no século XX, consequência da acção da NAO.

O IPCC (2007a) defende a previsão de que os furacões se tornarão no futuro mais intensos, com um aumento da velocidade do vento e um aumento da intensidade de precipitação. Juntamente, defende a existência de uma tendência para o aumento do número de tempestades e a sua maior intensidade fora dos trópicos, com a mudança de alguns graus de latitude nos trajectos das tempestades, em direcção aos pólos nos dois hemisférios.

• Tendências para Portugal

Para Portugal, Andrade *et al.* (1996), analisaram a ocorrência de temporais na costa NW entre 1865 e 1992, com base nos dados da imprensa nacional e regional, tendo detectado uma tendência para o aumento da frequência e duração dos temporais, teoria suportada pelos resultados da análise das séries de 1974 a 1994 dos ondógrafos de Sines, efectuada por Moreira *et al.* (1998).

No entanto, são conclusões criticáveis, pois as técnicas de registo foram-se alterando ao longo do tempo e existem falhas em toda a faixa de registo devido a avarias nas bóias usadas. Antigamente o registo era apenas visual, passou depois a ser desempenhado por um sistema de bóias mas que tinham

problemas de funcionamento. Mesmo com o sistema actual verificam-se, por vezes, avarias nos períodos em que a tempestade é mais intensa. Assim, as conclusões retiradas podem não corresponder à realidade.

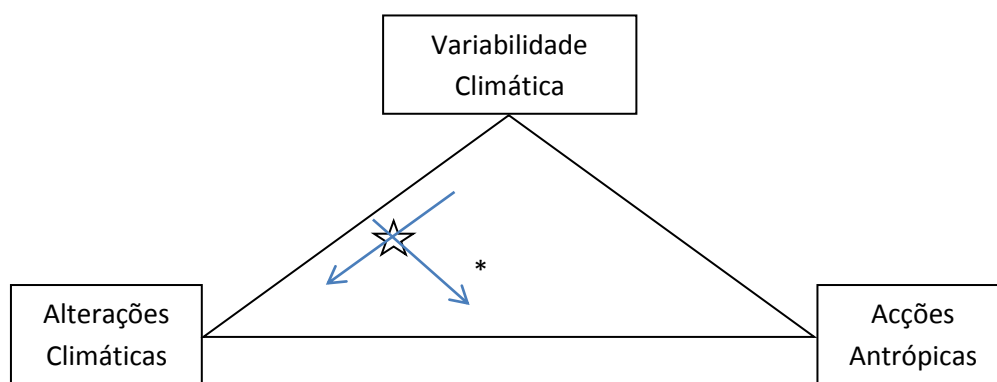
• Impacto das alterações no número de tempestades

No que diz respeito às consequências do aumento do número e intensidade de tempestades e furacões, estas fazem-se sentir nos sistemas costeiros, pelo aumento de acções de projecto, por ventos mais intensos, aumento dos estados de agitação, aumento das alturas de onda e maiores galgamentos.

De acordo com Roed e Debernard (2005), para o ano 2100, prevê-se um ligeiro aumento de temporais nos meses de Outono, ainda que não excedem os de Inverno e que associado às outras previsões relativas às tempestades, poderão reduzir a acessibilidade às zonas costeiras expostas e a eficiência das manutenções.

Segundo Veloso Gomes *et al.* (2006), a intensificação das tempestades associada ao aumento do nível do mar, será responsável por 10 a 20% da recessão total da costa.

1.5.3. ALTURA DE ONDA



* Evolução do parâmetro altura de onda pela construção de quebramares portuários

Figura 1.19. Posicionamento do parâmetro: Altura de onda.

Para entender o impacto das alterações climáticas neste parâmetro, é necessário perceber o seu processo de formação.

Na figura 1.20, é apresentado o esquema de formação de ondas. A zona de geração é o local onde a actuação de ventos intensos e persistentes conduz a um estado caótico de agitação. A agitação marítima que atinge a costa continental de Portugal tem origem no Atlântico na região dos Açores. Na zona de declínio, as ondas formadas adquirem uma orientação mais definida e na plataforma continental sofrem a influência dos fundos, onde rebentam.

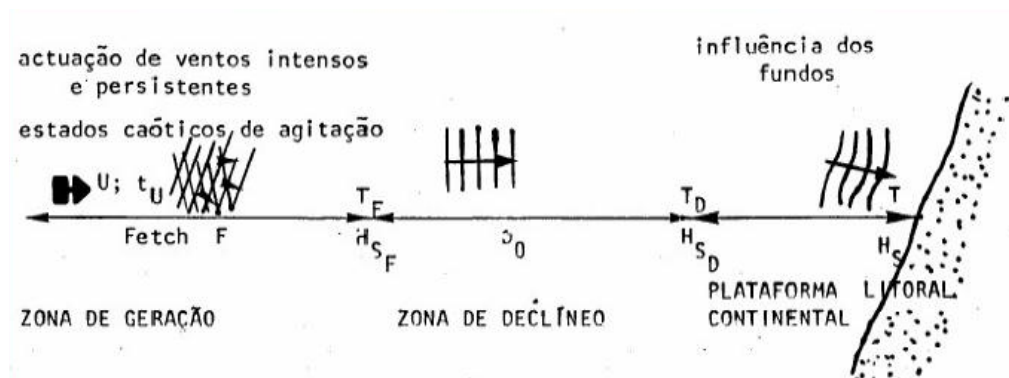


Figura 1.20. Processo de formação de ondas, Veloso Gomes (1990).

Os factores que influenciam a altura de onda em alto mar são: a velocidade do vento, a duração do vento e o fetch, isto é, o comprimento disponível para o vento actuar.

A figura 1.21 indica uma relação entre a altura de onda e os factores que a influenciam.

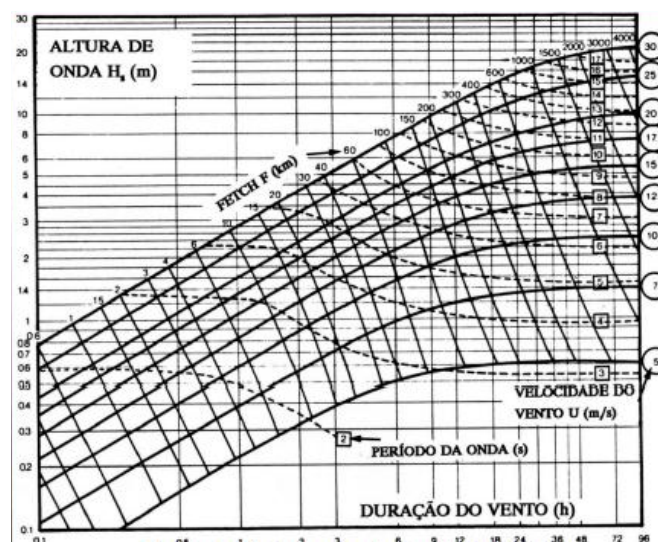


Figura 1.21. Relação entre altura de onda e os factores que a influenciam, Veloso Gomes (1990).

Relativamente à altura de onda perto da costa, esta é limitada pela profundidade da água, segundo a equação 1.1.

$$H_{\max} = 0.78 \times d \quad (1.1.)$$

Em que:

- $H_{\max}$ – altura de onda máxima fisicamente possível para uma dada profundidade de água [m];
- d – profundidade de água [m].

• Projecções

Através da análise das tendências das acções de projecto anteriores, é possível tirar algumas conclusões acerca das tendências para a variação das alturas de onda a nível local:

- O aumento do nível do mar, e portanto das profundidades de água, implica um aumento das alturas de onda junto à costa, tal como mostra a figura 1.22.

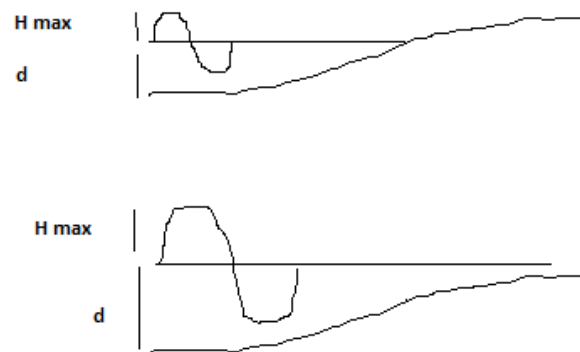


Figura 1.22. Alteração da altura de onda devido ao aumento do nível de água.

- O aumento da velocidade dos ventos que geram as ondas, conduz a um aumento da altura de onda ao largo, como é possível concluir a partir da figura 1.23.

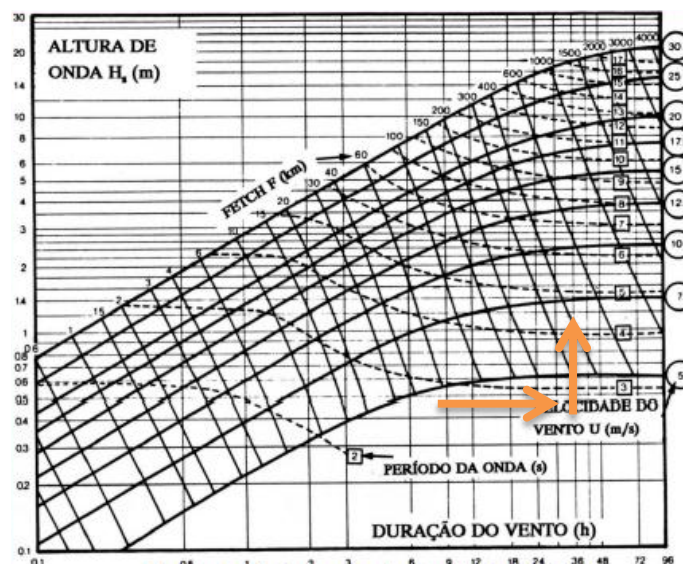


Figura 1.23. Relação entre velocidade do vento e altura de onda, Veloso Gomes (1990).

- A redução do gelo oceânico resultará em maiores valores de fetch para geração de ondas, figura 1.24. Assim, para as mesmas condições de vento, as alturas de onda esperadas são maiores.

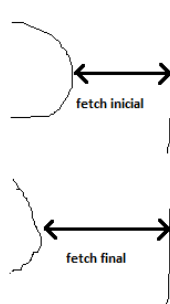


Figura 1.24. Efeito do aumento do fetch.

• Tendências para a Península Ibérica, Portugal e Mediterrâneo

Segundo Olabarrieta *et al.* (2007), a costa Atlântica, especialmente a Noroeste da Península Ibérica, é o local onde ocorre o valor máximo para a altura de onda significativa. Uma análise a longo prazo deste parâmetro mostra o seu aumento na costa Norte Atlântica e um decréscimo na costa Sul e mediterrânea no período de 1958-2001.

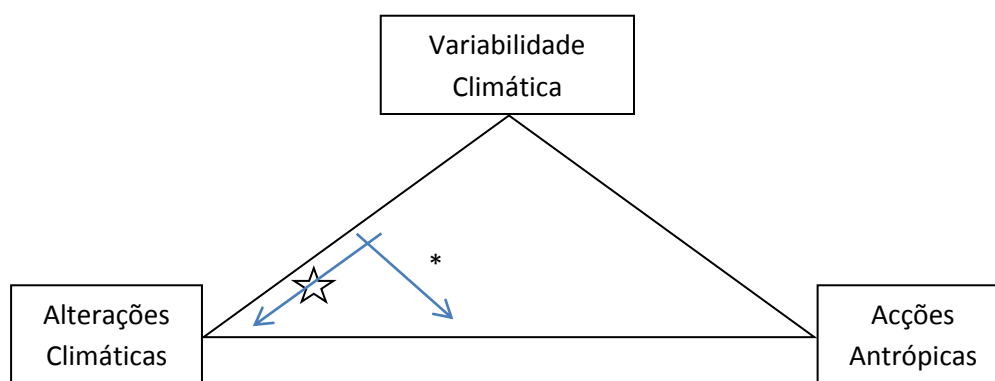
• Impacto devido a alterações na altura de onda

O aumento da altura de onda junto à costa tem como efeitos, o aumento das acções hidrodinâmicas e hidromorfológicas sobre todo o sistema costeiro e o aumento dos galgamentos. Isto cria uma redução dos períodos em que os portos estão operacionais e leva à afectação de sistemas mais sensíveis.

Uma situação problemática a considerar consiste na combinação de uma preia-mar de águas-vivas com uma tempestade, o que poderá provocar um agravamento dos danos.

Segundo o estudo Øivind *et al.* (2007), um aumento de 0.4 metros na altura de onda, tem um efeito devastador sobre as comunidades costeiras.

1.5.4. RUMOS



*Futuro do fenómeno num local devido à construção de quebramares portuários

Figura 1.25. Posicionamento do parâmetro: Rumos.

O IPCC (2007a), refere que a circulação atmosférica tem uma grande influência sobre a circulação oceânica, pela acção dos ventos na superfície da água, pela mudança de temperatura e salinidade, pela evaporação e precipitação.

Os rumos estão associados à direcção com que as ondas chegam à costa, e o seu estudo é fundamental para a realização de uma intervenção de defesa costeira ou para a construção de molhes ou quebramares, de forma a conseguir uma protecção eficiente da costa e a criação de condições de abrigo adequadas à realização das actividades portuárias.

• Projecções

A nível global, o aumento da temperatura, na perspectiva do IPCC (2007a), conduzirá a uma intensificação do ciclo hidrológico, bem como à alteração de padrões de vento, alterando os rumos.

• Tendências para Portugal

Em Portugal, na fachada ocidental, o SIAM II (2006) indica uma rotação média anual de 5° a 15° , no sentido dos ponteiros do relógio, com uma diferença mais pronunciada no verão.

• Impacto da alteração dos rumos

A figura 1.26 exemplifica esquematicamente o actual estado de rumos em Portugal, para o qual as actuais obras portuárias e costeiras estão projectadas.

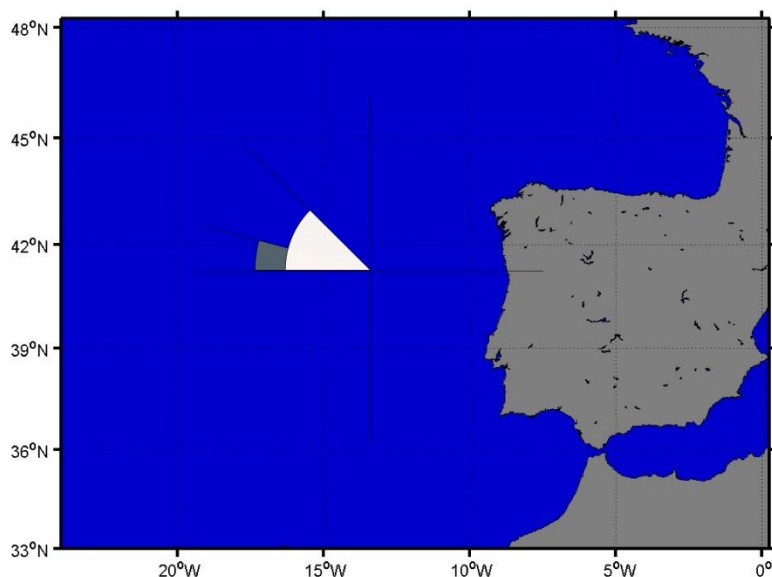


Figura 1.26. Rumos actuais em Portugal Continental.

A figura 1.27 representa a rotação prevista pelo SIAM II para a costa portuguesa. É possível verificar que esta rotação terá um efeito positivo, pois as estruturas portuárias e de defesa costeira conseguem absorver esta variação. Esta situação poderá significar que as trajectórias dos sedimentos serão deslocadas para latitudes mais a Noroeste, o que será analisado mais à frente.

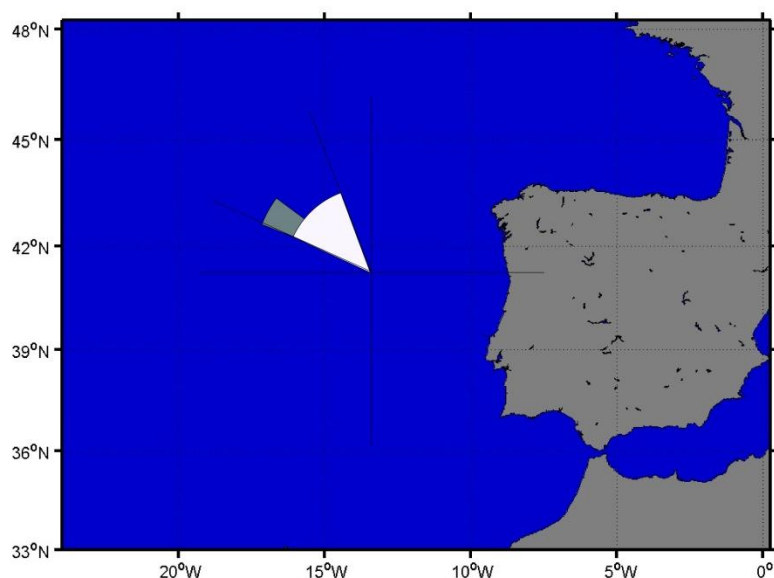


Figura 1.27. Rumos previstos para Portugal Continental, visão segundo SIAM II (2006).

A figura 1.28 representa o que aconteceria, se os rumos tivessem uma rotação em sentido contrário ao esperado. Neste caso, esta rotação agravaria as acções dentro dos portos, o que implicaria medidas adicionais, as quais se apresentarão em capítulo próprio, posteriormente.

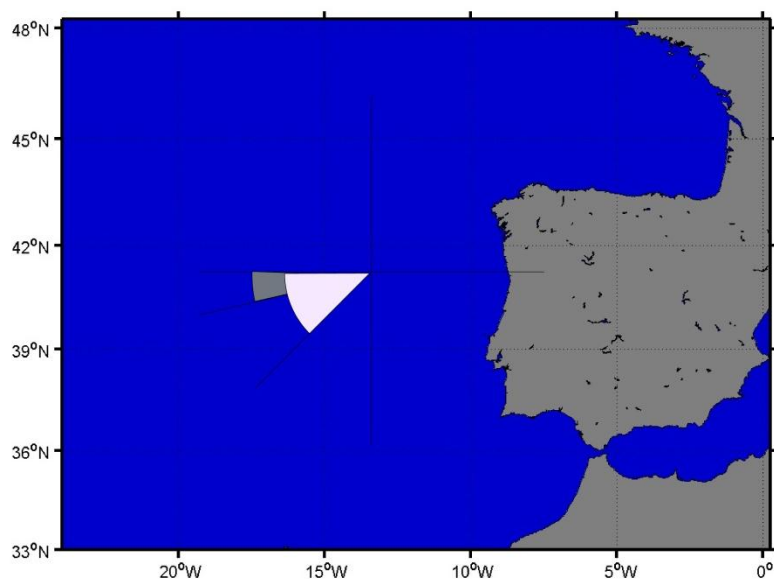
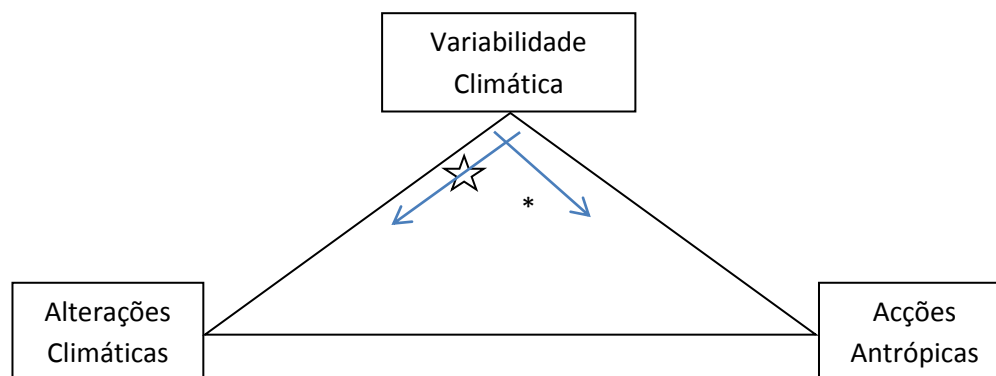


Figura 1.28. Rumos para Portugal Continental no caso de uma rotação inversa ao esperado.

1.5.5. CORRENTES MARÍTIMAS



*Evolução do fenómeno das correntes locais devido à construção de quebramares e canais de navegação

Figura 1.29. Posicionamento do parâmetro: Correntes marítimas.

Na visão do IPCC (2007a), também as mudanças nas camadas de gelo, tipo e distribuição de vegetação, mudanças na temperatura da atmosfera e do oceano, vão afectar as características dos oceanos.

No caso da Europa, o clima é muito influenciado pelas correntes marítimas do Golfo, figura 1.30, e pelo MOC (Meridional Overturning Circulation), que estabelece a bacia do Atlântico. Segundo o IES (2006), uma área-chave a este respeito é a troca de água entre o Atlântico e o Ártico. Entre a Gronelândia e a Escócia existe uma grande cordilheira submarina, a dorsal da Gronelândia, figura 1.31, e que actua como uma barreira que leva a grandes diferenças nas características do oceano de um lado e do outro.

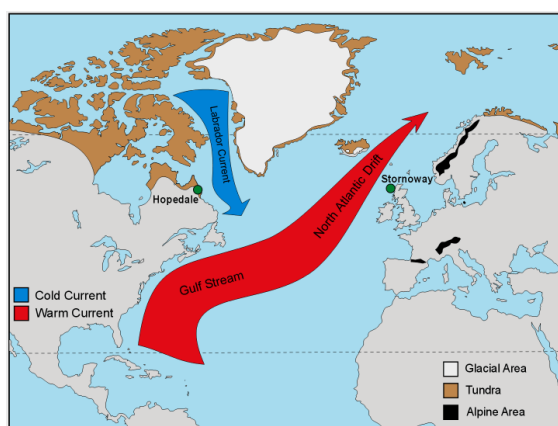


Figura 1.30. Corrente do Golfo (Fonte: <http://www.heatingoil.com/blog/green-power-ocean-currents-development/>).



Figura 1.31. Circulação marítima na cordilheira da Gronelândia (adaptado IES, 2006).

• Projeções

De acordo com o IPCC (2007a), a circulação no hemisfério Norte é actualmente maior do que a simulada para o século XX, ainda que os modelos de simulação indiquem uma redução do MOC do oceano Atlântico durante o século XXI, com valor médio de 25% [0-50%] e considerem a possibilidade de que, também, a corrente do Golfo possa sofrer alterações.

• Impactos devido à alteração das correntes marítimas

As alterações nas correntes oceânicas podem conduzir a uma mudança climática global e a mudanças nos ecossistemas.

1.5.6. SEDIMENTOS

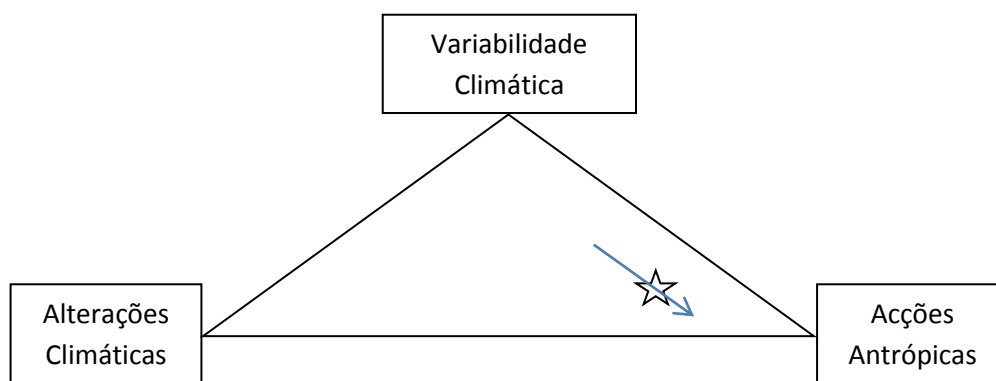


Figura 1.32. Posicionamento do parâmetro: Sedimentos.

Parte dos sedimentos provem do ciclo hidrológico, o qual origina a erosão do solo e das rochas e que, em seguida, os transporta pelos cursos de água até chegarem ao mar. A outra parte integra o próprio sistema costeiro, com transporte sedimentar ao longo da costa devido à erosão de praias e dunas pela acção do mar, e também trocas sedimentares com a plataforma continental.

Estes são fundamentais para a alimentação de praias e para contrariarem a erosão natural que o mar tem sobre as zonas costeiras.

A quantidade de sedimentos no sistema pode ser influenciada pelas mudanças climáticas, tal como a alteração da intensidade e persistência das tempestades, alteração de rumos e da precipitação. Pode ainda sofrer influência de Acções Antrópicas como as dragagens, intervenções costeiras e outras obras que alterem a passagem retenção de sedimentos.

• Projeções

Os sedimentos que integram as zonas costeiras têm uma grande importância social e económica, como a utilização de areias para construção, uso balnear das praias e outras actividades humanas nas zonas costeiras.

Na perspectiva do SIAM II (2006):

- O efeito de rotação dos rumos de 5 a 15° em sentido horário pode traduzir-se numa variação positiva de cerca de 20% na taxa de transporte sedimentar residual relativamente à situação de referência, mantendo-se o transporte predominante para Sul.
- Não se prevêem à priori aumentos da alimentação sedimentar da faixa costeira a partir de fontes exteriores, tal como provenientes da rede hidrológica.

No entanto, seria necessário um estudo mais aprofundado sobre quais as possíveis alterações neste parâmetro. A figura 1.33 apresenta o gráfico que ilustra o actual sistema de transporte de sedimentos da rede hidrográfica.

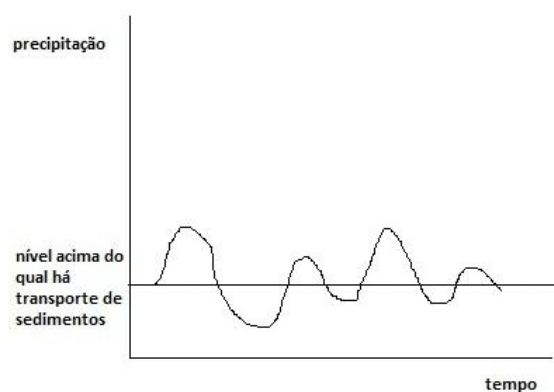


Figura 1.33. Tipificação do actual padrão de transporte de sedimentos.

Se diminuir a precipitação total, mas aumentar a sua intensidade tal como previsto, a nova situação será traduzida pelo gráfico 1.34, isto é, menores períodos propícios ao transporte de sedimentos, mas com maior energia. Se existissem sedimentos disponíveis para esse transporte, poderia haver maiores volumes significativos mas com uma maior irregularidade na distribuição temporal.

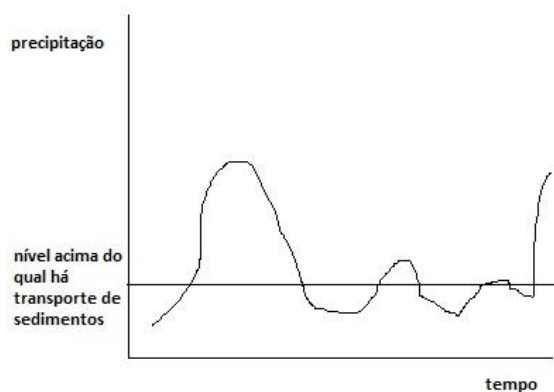


Figura 1.34. Provável padrão de sedimentos no futuro.

Outro estudo possível de realizar a este respeito é o efeito da acção do mar sobre os sedimentos recentes e perceber se é mais favorável um transporte inferior mais contínuo ou um esporádico mas de valor muito superior, isto é, se permanecem em maior quantidade no sistema de uma forma ou de outra.

- Não se prevê uma diminuição do esforço de extracção de areia necessária às indústrias de construção civil, mas existe um maior controlo ambiental.
- Nas zonas húmidas, como os estuários, é possível que a retenção de uma maior quantidade de sedimentos obrigue a um maior esforço de dragagem.
- As Acções Antrópicas referentes à alimentação artificial de praias com areias e à construção de campos de esporões têm tentado contrariar a diminuição de sedimentos no sistema, promovendo a sua retenção.
- A construção de barragens tem sido uma Acção Antrópica muito negativa para o transporte de sedimentos, criando uma barreira física que impede a sua passagem e diminui a força do curso de água, com diminuição da força erosiva do mesmo.

• Impactos da alteração dos sedimentos

A diminuição da quantidade de sedimentos no sistema costeiro, levará a um recuo da linha de costa, cerca de 1m/ano segundo o SIAM II (2006), assim como a um rebaixamento dos fundos nos locais de implantação das estruturas costeiras, uma diminuição das áreas de praia e a uma maior exposição das zonas mais sensíveis à acção do mar.

No entanto, o valor do mesmo intervalo não é generalizável a toda a costa portuguesa e certamente terá uma margem de incerteza muito elevada.

1.6. INCERTEZAS

Após a realização da pesquisa bibliográfica para a redacção deste capítulo é possível concluir que os estudos relativos às Mudanças Climáticas e aos seus impactos estão associados a grandes incertezas.

Tal afirmação é confirmada na própria bibliografia, onde os autores assumem dúvidas nas tendências dos vários factores climáticos, ou pela análise comparativa dos vários estudos consultados onde são apresentadas conclusões díspares.

Apresentam-se algumas das incertezas encontradas:

- Informações contraditórias quanto à importância das erupções vulcânicas face às Alterações Climáticas resultantes das actividades humanas;
- Pouca informação relativamente ao papel dos aerossóis e do seu peso nas Mudanças Climáticas, face aos outros gases de efeito de estufa;
- Não consideração dos sistemas de *Feedback* nas simulações futuras dos fenómenos climáticos;
- Conclusões muito díspares quanto a tendências passadas, presentes e futuras, na avaliação da subida do nível médio das águas do mar;
- Falta de informação a respeito da contribuição do degelo para a subida efectiva do nível do mar;

- A forma de obtenção das tendências de rotação dos rumos da agitação marítima pelo SIAM II (2006), não é clara;
- Falta de informação quanto à influência das correntes marítimas e atmosféricas nas Mudanças Climáticas e seus respectivos pesos face a outros factores;
- Falhas nos estudos quanto às causas e importância das mesmas, na diminuição dos sedimentos no sistema costeiro;
- Desconhecimento se é mais eficaz no fornecimento dos sedimentos às zonas costeiras, um caudal sólido inferior mais contínuo ou um caudal sólido elevado mas com ocorrências esporádicas (influência do regime de caudais de precipitação no transporte e fixação dos sedimentos provenientes das bacias hidrográficas);
- Em alguns casos, bases de dados com poucos anos de registo detalhado, o que torna as tendências estatísticas pouco fiáveis.
- Os dados relativos a períodos anteriores à introdução dos sistemas de registo mais avançados (telemetria) podem ter associado um elevado grau de incerteza. Por exemplo, a medição dos rumos de vento era realizada por quadrante e não com a precisão do grau como hoje ocorre. Também a medição da altura de onda significativa era realizada por simples observação, enquanto hoje em dia, os ondógrafos permitem uma medição mais rigorosa e em tempo real. Outros aspectos a ter em conta é a verificação das dinâmicas e a quantificação dos estragos, pois são feitos actualmente em zonas de elevadíssima densidade populacional, mas que no passado eram despovoadas ou apenas povoadas por pescadores. Assim, as conclusões quanto à evolução dos impactos do mar sobre a zona costeira podem apenas traduzir a elevada pressão populacional e económica que estas zonas passaram a suportar.

2

ANÁLISE DE EXPRESSÕES E CENÁRIOS

2.1. EXPRESSÕES USADAS

Neste capítulo, são apresentadas algumas expressões usadas, habitualmente, no pré-dimensionamento dos blocos utilizados na construção de quebra-mares de taludes, figura 2.1., e das restantes estruturas de defesa costeira de taludes constituídas por blocos. É também feita uma análise das várias variáveis que intervêm nas expressões consideradas, tendo em conta aspectos hidráulico-estruturais importantes para o correcto dimensionamento de uma estrutura costeira.

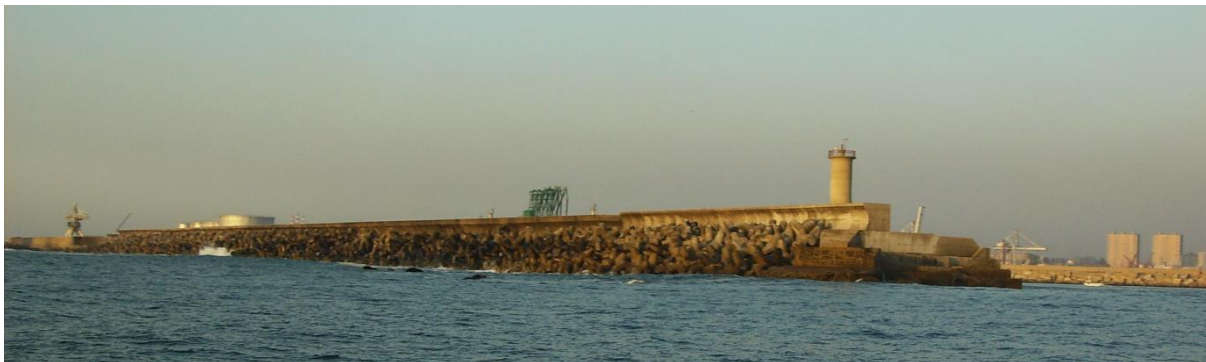


Figura 2.1. Quebramar de taludes – Leixões, Portugal.

Os tipos de blocos sobre os quais recai a análise estão indicados na tabela 2.1. Esta escolha está relacionada com o facto de serem os blocos mais usados na costa portuguesa e os mais adequados a condições marítimas muito energéticas, por não serem frágeis.

Tabela 2.1. Tipos de blocos considerados.

Tipo de bloco	Origem	Imagem
Enrocamento	-	
Blocos cúbicos Antifer/Modificados	França (1969)	



2.1.1. EXPRESSÃO DE HUDSON

Hudson (1959), na sequência do trabalho experimental realizado, propôs a equação 2.1, que se aplica, em geral, à determinação do peso dos blocos do manto resistente das estruturas costeiras de taludes e que corresponde à expressão do W.E.S. (Waterways Experiment Station).

$$W = \frac{\gamma_r \times H^3}{KD \times (S - 1)^3 \times \cot g(\theta)} [KN] \quad (2.1.)$$

Em que:

- W – peso dos blocos do manto resistente [KN];
- γ_r – peso volúmico do material dos blocos [KN/m³];
- H – altura de onda de projecto [m];
- KD – coeficiente empírico de estabilidade;
- S – densidade do material dos blocos [γ_r/γ_w];
- γ_w – peso volúmico da água [KN/m³];
- θ – ângulo do talude com a horizontal [°].

Segundo CEM (2006), o coeficiente de estabilidade KD é dado em função do tipo, forma e localização dos blocos, forma de colocação, rugosidade, angulosidade, encaixe, permeabilidade e número de fiadas por camadas. Os seus valores são apresentados nas tabelas 2.2, 2.3 e 2.4.

Tabela 2.2. Valores de KD para enrocamento, CEM (2006).

Blocos	Forma da rocha	Colocação	KD, Danos [0-5]%	
			C/ rebentação	S/ rebentação
Enrocamento	Lisa arredondada	Aleatório	1,2	2,4
	Rugosa Angular	Aleatório	2	4
	Rugosa Angular	Especial	5,8	7

Tabela 2.3. Valores de KD para cubos, CEM (2006).

Blocos	Nível de danos	KD	
		Inclinação 1:1,5	Inclinação 1:2
Cubos	D=0%	3,9-5,3	2,9-4
	D=4%	8,1-12	6,1-8,8

Tabela 2.4. Valores de KD para tetrápodes, SPM (1984).

Blocos	KD
Tetrápodes	4 - 8,3

2.1.2. EXPRESSÃO DE VAN DER MEER

A expressão de Van Der Meer surge em 1988, suprimindo algumas falhas do método de Hudson. Este método considera condições de rebentação, consideração de estruturas com diferentes permeabilidades do núcleo e filtros, percentagem de danos, profundidade da base da estrutura relativamente ao nível médio do mar e ângulo de repouso do material.

Para os diferentes materiais escolhidos e tipos de rebentação, as expressões são dadas pelas equações 2.2 a 2.8.

2.1.2.1. Enrocamento

• Rebentação mergulhante ($\xi_m < \xi_{mc}$)

Para o dimensionamento de blocos de enrocamento, com condições de rebentação mergulhante, usa-se a equação 2.2. de Van Der Meer 1988 (adaptado CEM, 2006).

$$\frac{H}{\Delta \times Dn_{50}} = 6.2 \times P^{0.18} \times \left(\frac{S}{\sqrt{N_z}} \right)^{0.2} \times \xi_m^{-0.5} \quad (2.2.)$$

• Rebentação oscilante ($\xi_m > \xi_{mc}$)

Para o dimensionamento de blocos de enrocamento, com condições de rebentação oscilante, usa-se a equação 2.3. de Van Der Meer 1988 (adaptado CEM, 2006).

$$\frac{H}{\Delta \times Dn_{50}} = 1.0 \times P^{-0.13} \times \left(\frac{S}{\sqrt{N_z}} \right)^{0.2} \times \sqrt{\cot g(\theta)} \times \xi_m^p \quad (2.3.)$$

O parâmetro ξ_m da expressão de Van Der Meer é dado pela equação 2.4.

$$\xi_m = \frac{\tan \theta}{(H / L_0)^{0.5}} \quad (2.4.)$$

O parâmetro ξ_{mc} da expressão de Van Der Meer é dado pela equação 2.5.

$$\xi_{mc} = (6.2P^{0.31}(\tan \theta)^{0.5})^{\frac{1}{P+0.5}} \quad (2.5.)$$

Em que:

→ H – altura de onda de projecto [m];

$$\rightarrow \Delta = \frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1 \quad ;$$

→ γ_r – peso volúmico dos blocos [KN/m³];

→ γ_w – peso volúmico da água [KN/m³];

→ D_{n50} – diâmetro médio dos blocos [m];

→ P – factor de permeabilidade;

→ S – factor associado ao nível de danos admitidos;

→ N_z – número de ondas;

→ θ – ângulo do talude [°];

$$\rightarrow L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \quad - \text{comprimento de onda ao largo [m];}$$

→ g – aceleração da gravidade [m²/s];

→ T – período de onda médio [s].

▪ Limites de aplicabilidade

→ Quebramares não galgáveis;

→ 2 Camadas de blocos;

→ Agitação não limitada pela profundidade;

→ $20 < \gamma < 31 \text{ KN/m}^3$, $3.5 < \xi < 6$, $0.1 \leq P \leq 0.6$, $0.005 \leq S_m \leq 0.06$, $N_z \leq 7500$.

▪ Factor de permeabilidade - P

O factor de permeabilidade, figura 2.2, depende da organização da estrutura, considerando-se geralmente os valores de 0.1, 0.4, 0.5 e 0.6, sendo que o primeiro valor não se usa para quebramares,

mas apenas para estruturas aderentes. Na análise realizada consideraram-se todos os valores possíveis para todas as estruturas a fim de perceber a importância e a influência deste parâmetro.

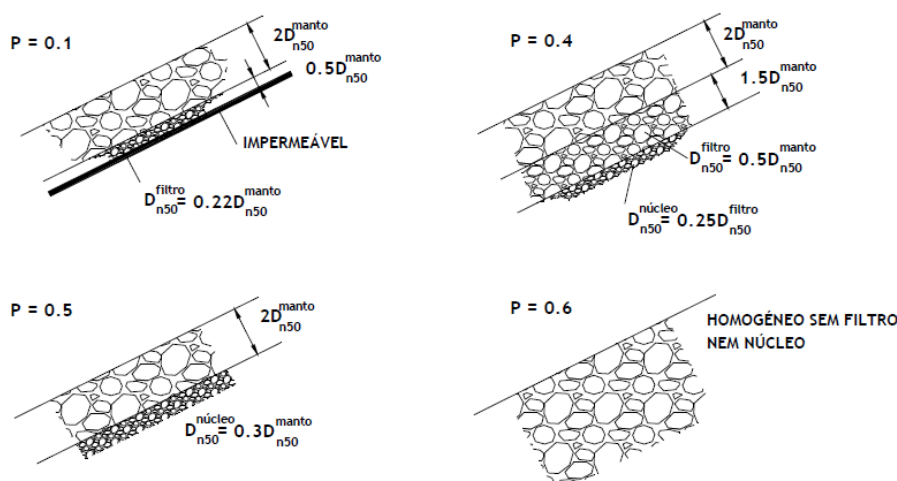


Figura 2.2. Factor de permeabilidade de Van Der Meer (CEM, 2006).

▪ Nível de danos na estrutura - S

O nível de danos está relacionado com o número de blocos deslocados e depende da inclinação do talude para o enrocamento. Os valores recomendados para mantos resistentes são apresentados na tabela 2.5.

Tabela 2.5. Valores do parâmetro S recomendados para enrocamento, CEM (2006).

Inclinação do talude	Estragos iniciais	Estragos intermédios	Ruína
1/1,5	2	3-5	8
1/2	2	4-6	8
1/3	2	6-9	12
1/4-1/6	2	8-12	17

2.1.2.2. Cubos

No dimensionamento de cubos para quebramares não galgáveis e para grandes profundidades relativas, a expressão de Van Der Meer é dada pela equação 2.6.

$$\frac{H}{\Delta \times D_n} = \left(6.7 \times \frac{Nod^{0.4}}{Nz^{0.3}} + 1.0 \right) \times \left(\frac{H}{L_0} \right)^{-0.1} \quad (2.6.)$$

Em que:

→ Nod – nível de danos admitidos para os cubos;

→ Todas as outras variáveis têm o mesmo significado das consideradas para o enrocamento.

▪ **Limites de aplicabilidade**

→ Quebramares não galgáveis;

→ 2 Camadas de blocos aleatórios;

→ Agitação não limitada pela profundidade;

→ $3.5 < \xi_m < 6$, $N_z \leq 7500$, $\cotg = 1.5$.

▪ **Nível de danos na estrutura – Nod**

O nível de danos recomendados a considerar no estudo destes blocos é dado pela tabela 2.6.

Tabela 2.6. Nível de danos admitidos para cubos, CEM (2006).

Bloco	Inclinação do talude	Início dos danos	Danos intermédios	Ruína
Cubos	1/1,5	0	-	2

2.1.2.3. Tetrápodes

• **Rebentação Mergulhante** ($\xi_m < \xi_{mc}$)

Para o dimensionamento de tetrápodes, com condições de rebentação mergulhante, usa-se a equação 2.7. de Jong (1996) (adaptado CEM, 2006).

$$\frac{H}{\Delta \times D_n} = \left(8.6 \times \frac{Nod^{0.5}}{Nz^{0.25}} + 3.94 \right) \times \left(\frac{H}{L_0} \right)^{0.2} \quad (2.7.)$$

• **Rebentação Oscilante** ($\xi_m > \xi_{mc}$)

Para o dimensionamento de tetrápodes, com condições de rebentação oscilante, usa-se a equação 2.8. de Van Der Meer 1988 (adaptado CEM, 2006).

$$\frac{H}{\Delta \times D_n} = \left(3.75 \times \frac{Nod^{0.5}}{Nz^{0.25}} + 0.85 \right) \times \left(\frac{H}{L_0} \right)^{-0.2} \quad (2.8.)$$

Em que:

→ Todas as variáveis têm o mesmo significado das variáveis das expressões para o enrocamento e tetrápodes.

▪ Limites de aplicabilidade

- Quebramares não galgáveis;
- 2 Camadas de blocos aleatórios;
- Agitação não limitada pela profundidade;
- $20 < \gamma < 31 \text{ KN/m}^3$, $3.5 < \xi < 6$, $0.1 \leq P \leq 0.6$, $0.005 \leq S_m \leq 0.06$, $N_z \leq 7500$.

▪ Nível de danos na estrutura – Nod

Tabela 2.7. Nível de danos admitidos para tetrápodes, CEM (2006)

Bloco	Inclinação do talude	Início dos danos	Danos intermédios	Ruína
Tetrápodes	1/1,5	0	-	1,5

2.2. COMPARAÇÃO DE EXPRESSÕES

Em termos teóricos os dois métodos apresentam vantagens e desvantagens, tal como se demonstra na tabela 2.8.

Tabela 2.8. Comparação dos métodos de Hudson e de Van Der Meer.

Hudson (1959)	Van Der Meer (1988)
Vantagens: ▪ Bem testada; ▪ Análise mais simplificada;	Vantagens: ▪ Actual; ▪ Tem em conta um número elevado de parâmetros; ▪ Responsabilidade que recai sobre o projectista é baixo;
Desvantagens: ▪ Elevada responsabilidade sobre o projectista; ▪ Tem em conta poucos parâmetros; ▪ Coeficiente de estabilidade KD com intervalo alargado o que conduz a incertezas;	Desvantagens: ▪ Pouco testada; ▪ Maior dificuldade na aplicação;

Por não ser evidente a vantagem de um método sobre o outro e pela grande utilização dos dois em projecto de pré-dimensionamento, a análise será realizada para Hudson e para Van Der Meer, e os valores de cada método serão comparados ao longo do trabalho.

2.2.1. IMPLICAÇÃO DA ALTERAÇÃO DOS PARÂMETROS DAS EXPRESSÕES NO PESO DOS BLOCOS

2.2.1.1. Análise da altura de onda

No capítulo 2, verificou-se uma tendência para o aumento da altura de onda, H . Considera-se assim, para esta análise, uma variação entre +5% e +50%, face ao valor inicial da onda de projecto, obtendo-se como resultado a variação que isso implica no peso dos blocos, W . Na figura 2.3 estão representadas as simulações para as expressões de Hudson e de Van Der Meer.

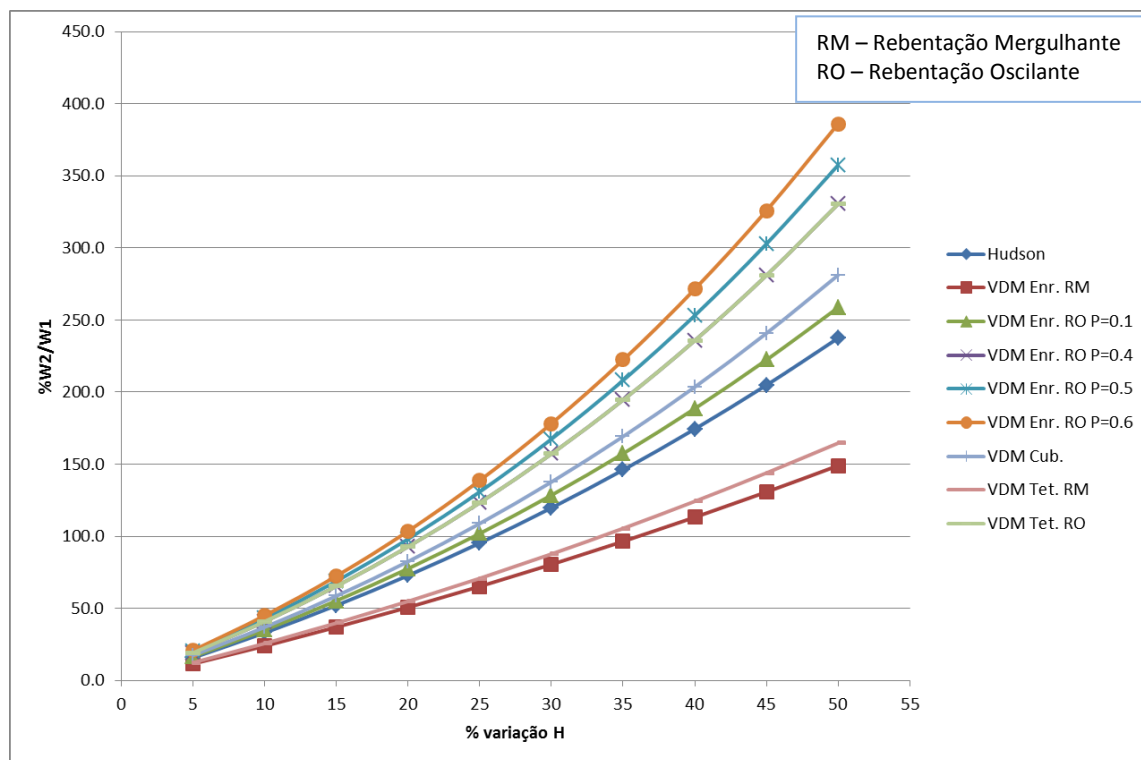


Figura 2.3. Relação entre H e W para as expressões de Hudson e de Van Der Meer.

Para as várias curvas traçadas, é indicado abaixo da figura correspondente, qual o tipo de relação que as variáveis estabelecem entre si, de acordo com a expressão aplicada, tipo de bloco e tipo de rebentação associada.

$$\text{Hudson} \rightarrow W = f(H^3)$$

$$\text{VDM, Enrocamento, RM} \rightarrow W = f(H^{2.25})$$

$$\text{VDM, Enrocamento, RO} \rightarrow W = f(H^{3+1.5P})$$

$$\text{VDM, Cubos} \rightarrow W = f(H^{3.3})$$

$$\text{VDM, Tetrápodes, RM} \rightarrow f(H^{2.4})$$

$$\text{VDM, Tetrápodes, RO} \rightarrow f(H^{3.6})$$

Conclusões:

- A análise da relação entre H e W em Hudson não depende do tipo de bloco a usar, nem do tipo de rebentação da onda incidente na estrutura;
- Hudson mostra uma tendência intermédia face às várias combinações possíveis para Van Der Meer. Para alguns tipos de blocos, tipos de rebentação e porosidade, os resultados são conservativos, mas para outros, a variável peso do bloco é subdimensionada;
- As curvas para os tetrápodes associados à rebentação oscilante e para o enrocamento associado ao mesmo tipo de rebentação com porosidade de 0.4, são coincidentes;
- Quanto maior a porosidade, maior a variação do peso dos blocos;
- Em Van Der Meer a maior variação de W com o aumento de H acontece com enrocamento associado à rebentação oscilante e porosidade de 0.6. O contrário ocorre para enrocamento associado à rebentação mergulhante;
- Em geral, para blocos de enrocamento, cubos e tetrápodes, a rebentação oscilante implica maior peso e volume dos blocos comparativamente à situação de rebentação mergulhante;
- Na fórmula de Van Der Meer associada à rebentação oscilante, a análise depende da porosidade adoptada.

2.2.1.2. Análise da inclinação do talude

Para este parâmetro considera-se uma variação entre +5% e +100% na $\cotg(\Theta)$, isto é, na diminuição da inclinação inicial, a fim de se verificar qual a sua influência no peso dos blocos, W .

A figura 2.4 apresenta os resultados obtidos para a expressão de Hudson e de Van Der Meer.

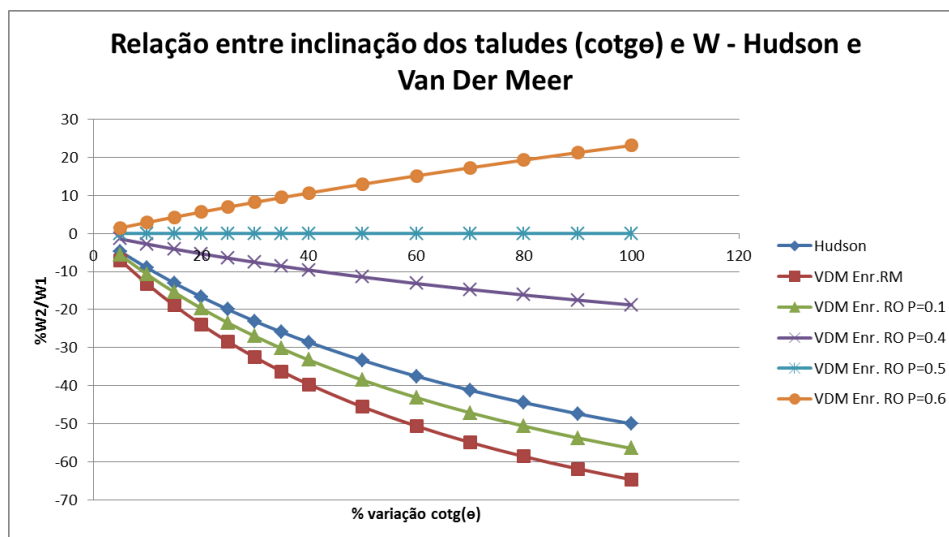


Figura 2.4. Relação entre H e $\cotg(\Theta)$ para as expressões de Hudson e de Van Der Meer.

$$\text{Hudson} \rightarrow W = f(\cot g \theta^{-1})$$

$$\text{VDM, Enrocamento, RM} \rightarrow W = f(\cot g \theta^{-1.5})$$

$$\text{VDM, Enrocamento, RO} \rightarrow W = f(\cot g \theta^{(3P-1.5)})$$

Conclusões:

- Na maioria das “simulações”, um aumento de $\cot g(\theta)$, isto é, uma diminuição da inclinação do talude, conduz a uma diminuição do peso dos blocos;
- A simulação de Hudson é intermédia, apresentando-se como conservativa em relação a algumas simulações para Van Der Meer e subdimensionada para outras.

No entanto, as simulações para as quais se encontra subdimensionada não podem as fórmulas não estarem de acordo com os fenómenos físicos, como se explica de seguida.

Em Van der Meer com rebentação oscilante para blocos de enrocamento, uma passagem de porosidade 0.1 para 0.4 corresponde a uma diminuição no peso dos blocos para as mesmas condições de inclinação. Por outro lado a passagem de 0.4 para 0.5 ou 0.6 já implica um valor de W constante ou um aumento do seu valor com o aumento da $\cot g(\theta)$, respectivamente. Este facto merece aprofundamento para perceber que fenómenos provocam esta contradição, ou se é apenas uma limitação da expressão de Van Der Meer.

2.2.1.3. Análise do coeficiente de estabilidade

O coeficiente empírico de estabilidade apenas existe para a expressão de Hudson. Interessa averiguar qual a influência deste parâmetro no peso dos blocos.

A figura 2.5 é baseada nas tabelas 2.2, 2.3 e 2.4 apresentadas anteriormente e consideram a variação da percentagem dos valores de KD possíveis, em relação ao valor mínimo do intervalo.

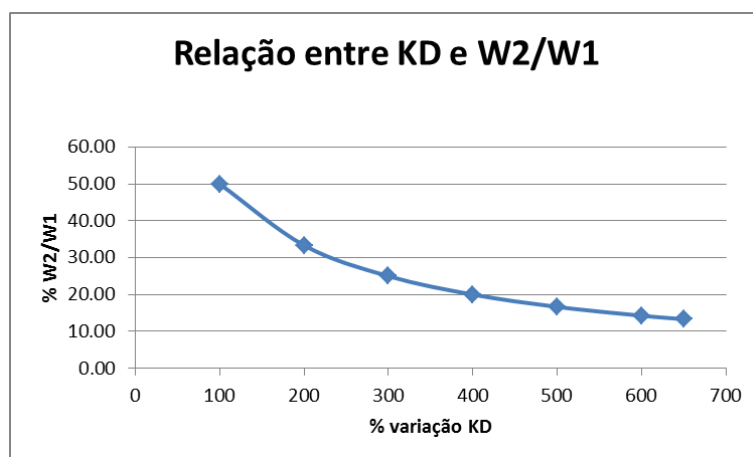


Figura 2.5. Relação entre KD e W – Expressão de Hudson, Enrocamento, Cubos e Tetrápodes.

$$\text{Hudson} \rightarrow W = f(KD^{-1})$$

Conclusões:

- Para todos os tipos de blocos, um aumento no valor de KD implica uma diminuição no peso dos blocos que é necessário garantir;
- A análise dos gráficos mostra também a elevada influência deste parâmetro no dimensionamento de blocos, pois uma pequena variação de KD, implica uma variação muito elevada de W.

2.2.1.4. Análise do coeficiente de permeabilidade

O coeficiente de permeabilidade P, está definido apenas para a expressão de Van Der Meer e apenas para o enrocamento, pelo que é apenas avaliada a sua influência no peso deste tipo de blocos.

Nos gráficos 2.6 e 2.7, mostram-se simulações para a rebentação mergulhante e oscilante, respectivamente.

Na simulação para a rebentação mergulhante, não é necessária a atribuição de valores iniciais, pelo que se considera uma variação entre +25% e +200% de uma dada permeabilidade inicial. Tanto o valor inicial, como o valor final de permeabilidade, devem estar compreendidos no intervalo de aplicabilidade, definido anteriormente.

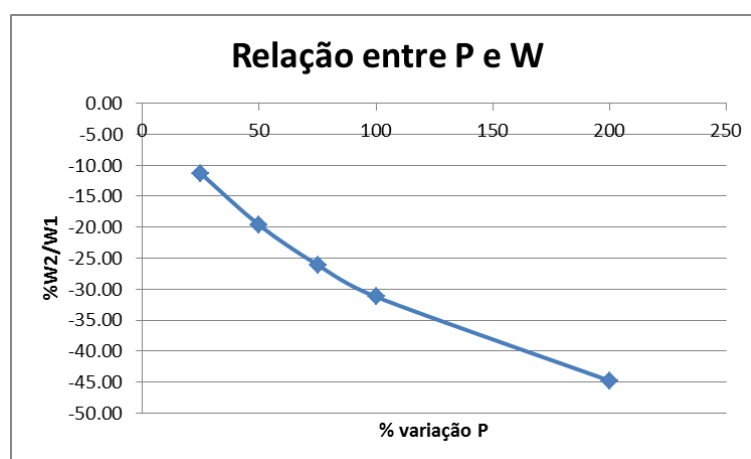


Figura 2.6. Relação entre P e W - Expressão de Van Der Meer, Rebentação mergulhante, Enrocamento.

$$VDM, RM, Enrocamento \rightarrow W = f(P^{-0.54})$$

No caso da rebentação oscilante, a equação que relaciona as variações de P com W, depende de factores como o período de onda T, a altura de onda H, a inclinação do talude $\cotg(\theta)$ e a porosidade inicial. Os valores arbitrados são dados pela tabela 2.9 e apenas servem para perceber a influência deste parâmetro nos blocos usados. Esta análise tem em conta uma variação de percentagem na passagem de P igual a 0.1 até ao outro extremo de 0.6.

Tabela 2.9. Dados iniciais para análise de permeabilidade para enrocamento associado a rebentação oscilante, expressão de Van Der Meer.

Dados iniciais	
g [m ² /s]	9,81
T [s]	12
H [m]	10
θ [°]	0,785
P inicial	0,1

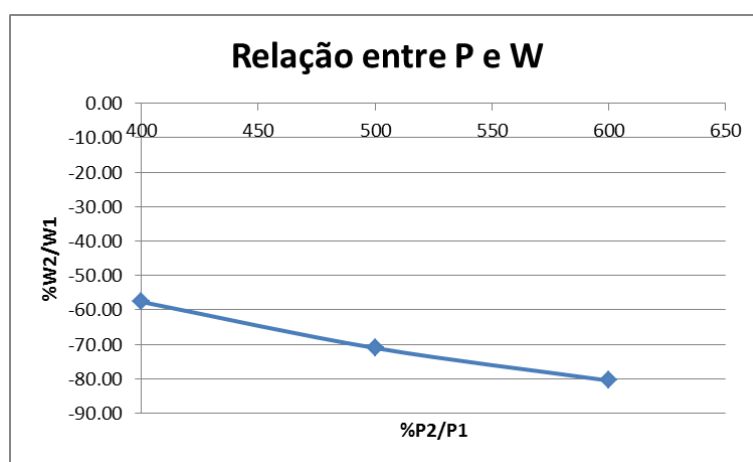


Figura 2.7. Relação entre P e W - Expressão de Van Der Meer, Rebentação oscilante, Enrocamento.

$$VDM, RO, Enrocamento \rightarrow W = f \left(\left(\frac{\sqrt{gT^2 \tan \theta}}{\sqrt{2\pi H}} \right)^{3(P2-P1)} \times P^{0.39} \right)$$

Conclusões:

- Para os dois tipos de rebentação, um aumento da permeabilidade conduz à diminuição do peso dos blocos necessários, mantendo constantes as restantes condições locais;
- A alteração dos parâmetros considerados na tabela 2.9 conduzem a resultados diferentes, pelo que o gráfico da rebentação oscilante só deve servir para comparação e análise qualitativa.

2.2.1.5. Análise do nível de danos admitidos

A consideração de um nível de danos – S ou Nod – admitido diferente para uma dada estrutura, conduzirá a uma variação no peso dos blocos, de acordo apenas com a expressão de Van Der Meer. Para saber entre que valores podem variar os níveis de estragos utilizam-se os valores do CEM, presentes na tabela 2.5, 2.6 e 2.7.

Como o valor de Nod recomendado é fixo para cubos e tetrápodes, não se fez qualquer simulação para estes blocos quanto a este parâmetro.

Já para o enrocamento, as simulações realizadas consideram a variação da percentagem dos valores de S possíveis, em relação ao valor mínimo do intervalo, o valor 2 e até se atingir o valor máximo tabelado de 17, obtendo-se o gráfico da figura 2.8.

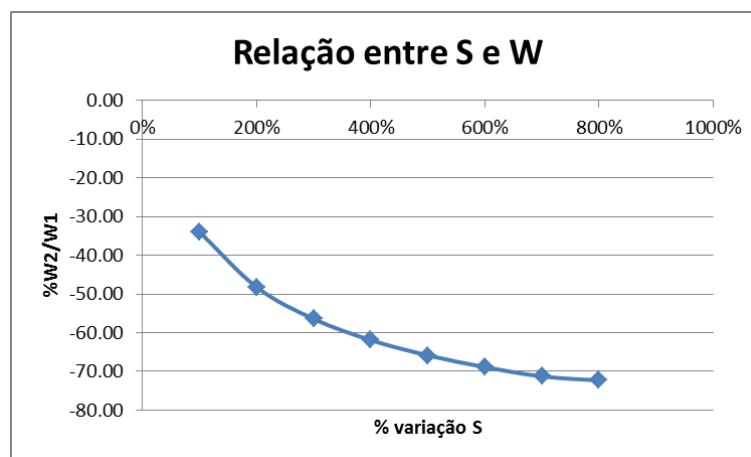


Figura 2.8. Relação entre S e W – Expressão de Van Der Meer, Enrocamento.

$$VDM, \text{Enrocamento} \rightarrow W = f(S^{-0.6})$$

Conclusões:

→ Para o enrocamento, a consideração de um valor de estragos admissível superior, leva a uma diminuição do peso necessário para os blocos, isto é, a expressão é menos exigente quanto à resistência da estrutura.

2.2.1.6. Análise do número de ondas

Este é um parâmetro exclusivo da expressão de Van Der Meer. O número de horas de tempestade vai influenciar o número de ondas – Nz – que incide na costa com uma altura que se poderá ser mais próxima da altura de onda de projecto, alterando assim o peso dos blocos necessários para ter em conta esta hipótese de Mudança Climática.

Analisando as tendências do capítulo 2, espera-se um aumento no número de ondas. Por isso, no caso do enrocamento aplica-se uma variação entre +25% e +200% no número de ondas. Já para os cubos e tetrápodes, a variação do peso dos blocos com o aumento do número de ondas, depende do valor dos estragos admitidos, Nod, e do número de ondas inicial, indicando a tabela 2.10, quais os valores arbitrados para a realização das simulações.

Tabela 2.10. Dados iniciais para Nod e Nz, para análise da influência do número de ondas no peso de cubos e tetrápodes.

Blocos	Nod	Nz inicial
Cubos	2.0	2000
Tetrápodes	1.5	2000

Os resultados obtidos encontram-se nas figuras 2.9 a 2.12.

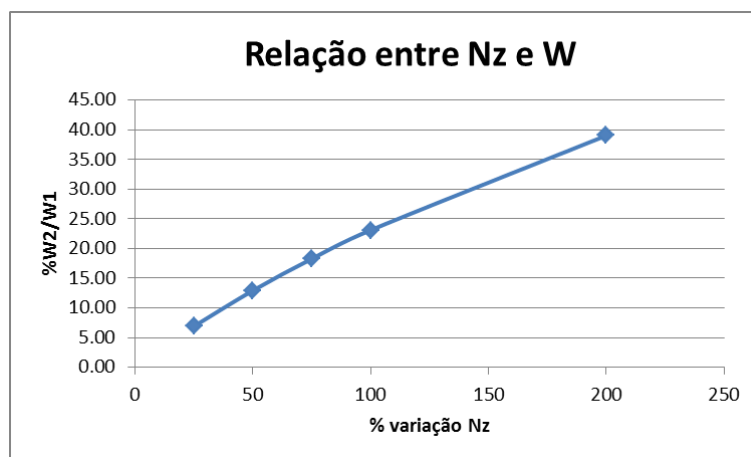


Figura 2.9. Relação entre Nz e W – Expressão de Van Der Meer, Enrocamento.

$$VDM, \text{Enrocamento} \rightarrow W = f(Nz^{0.3})$$

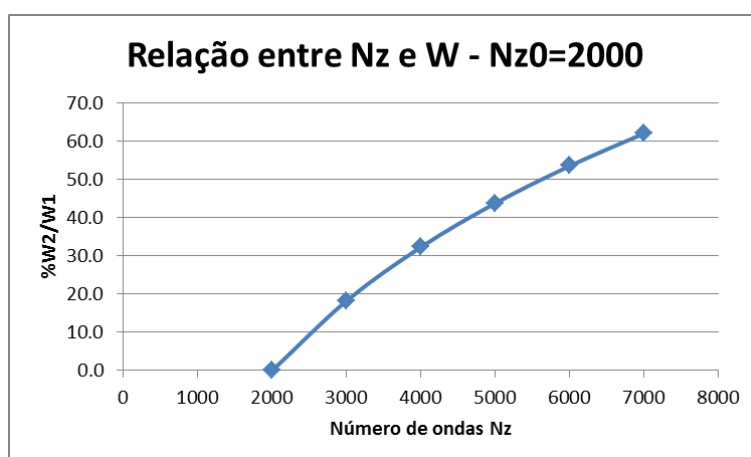


Figura 2.10. Relação entre Nz e W – Expressão de Van Der Meer, Cubos.

$$VDM, Cubos \rightarrow W = f \left(\left(\frac{6.7 \times Nod_1^{0.4} / Nz_1^{0.3} + 1}{6.7 \times Nod_2^{0.4} / Nz_2^{0.3} + 1} \right)^3 \right)$$

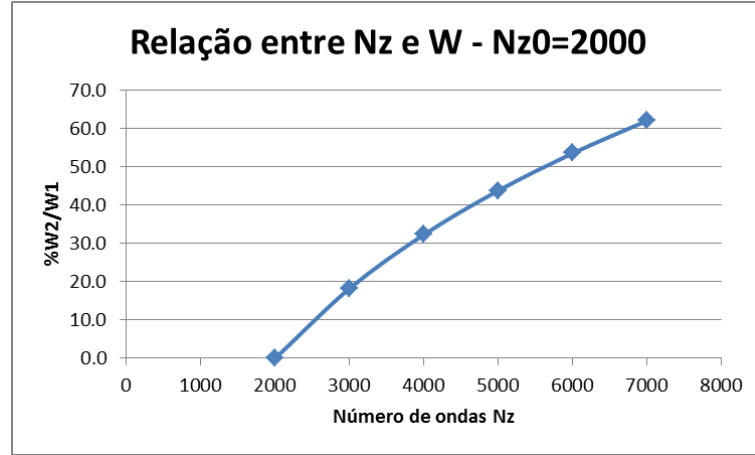


Figura 2.11. Relação entre Nz e W – Expressão de Van Der Meer, Rebentação mergulhante, Tetrápodes.

$$VDM, RM, Tetrápodes \rightarrow W = f \left(\left(\frac{8.6 \times Nod_1^{0.5} / Nz_1^{0.25} + 3.94}{8.6 \times Nod_2^{0.5} / Nz_2^{0.25} + 3.94} \right)^3 \right)$$

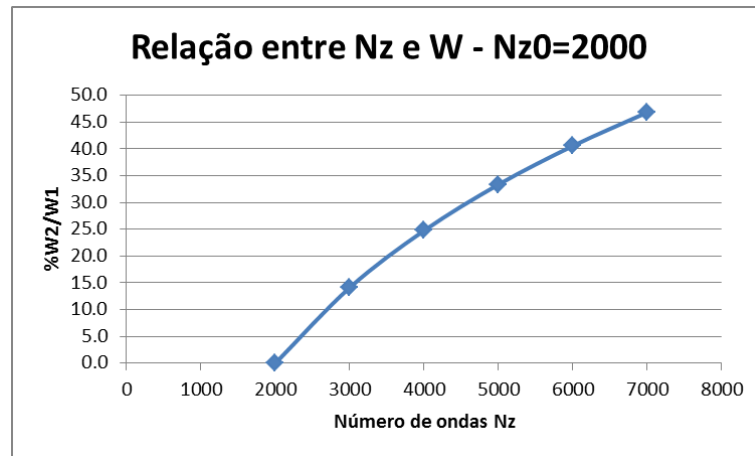


Figura 2.12. Relação entre Nz e W – Expressão de Van Der Meer, Rebentação oscilante, Tetrápodes.

$$VDM, RO, Tetrápodes \rightarrow W = f \left(\left(\frac{3.75 \times Nod_1^{0.5} / Nz_1^{0.25} + 0.85}{3.75 \times Nod_2^{0.5} / Nz_2^{0.25} + 0.85} \right)^3 \right)$$

Conclusões:

→ Em qualquer um dos casos, o aumento do número de ondas conduz à necessidade de aumentar o peso dos blocos, se as restantes variáveis se mantiverem constantes;

→ Para os tetrápodes a consideração de rebentação oscilante leva a maiores variações no peso dos blocos do que a rebentação mergulhante.

2.2.1.7. Análise do período de onda

Tal como nos últimos parâmetros, também a consideração do período de onda é exclusivo de Van Der Meer. Por intermédio das expressões de Van Der Meer, para rebentação mergulhante e oscilante, determina-se a percentagem de variação do peso dos blocos para ter em conta uma variação no período de onda T.

As tendências indicam um aumento das alturas de onda previsto, o que conduzirá a um aumento do período de onda, o que será analisado posteriormente.

As figuras 2.13 a 2.20, evidenciam as simulações realizadas para os diferentes tipos de blocos e rebentação.

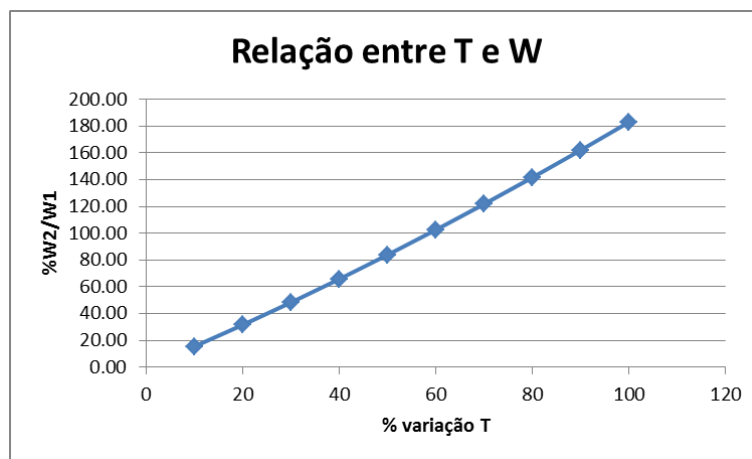


Figura 2.13. Relação entre T e W – Expressão de Van Der Meer, Rebentação mergulhante, Enrocamento.

$$VDM, \text{Enrocamento} \rightarrow W = f(T^{1.5})$$

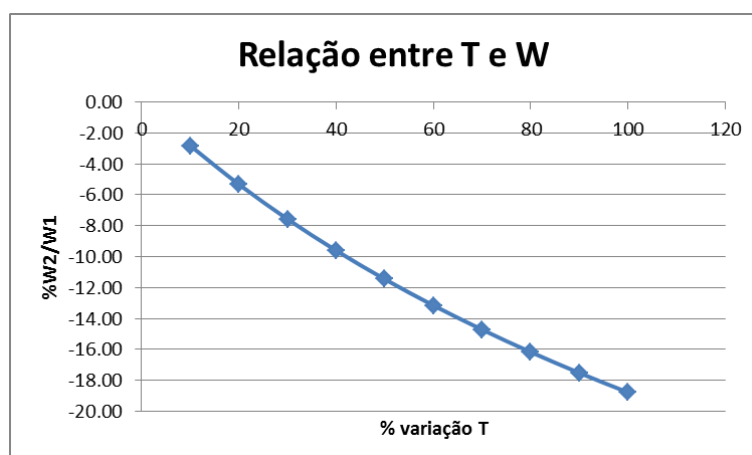


Figura 2.14. Relação entre T e W – Expressão de Van Der Meer, Rebentação oscilante, P=0.1, Enrocamento.

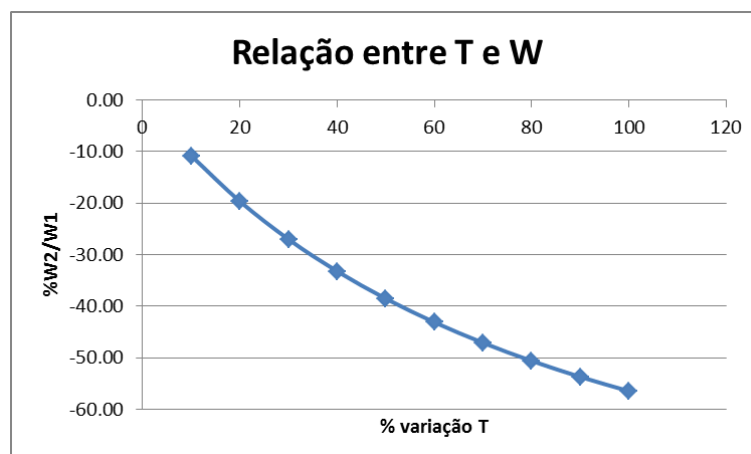


Figura 2.15. Relação entre T e W – Expressão de Van Der Meer, Rebentação oscilante, P=0.4, Enrocamento.

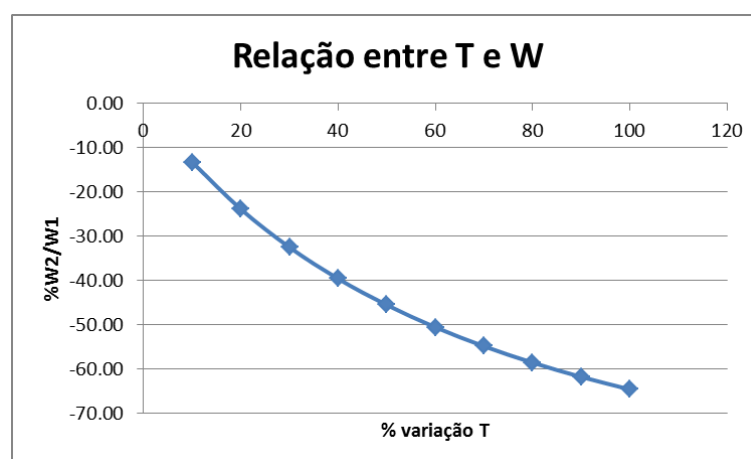


Figura 2.16. Relação entre T e W – Expressão de Van Der Meer, Rebentação oscilante, P=0.5, Enrocamento.

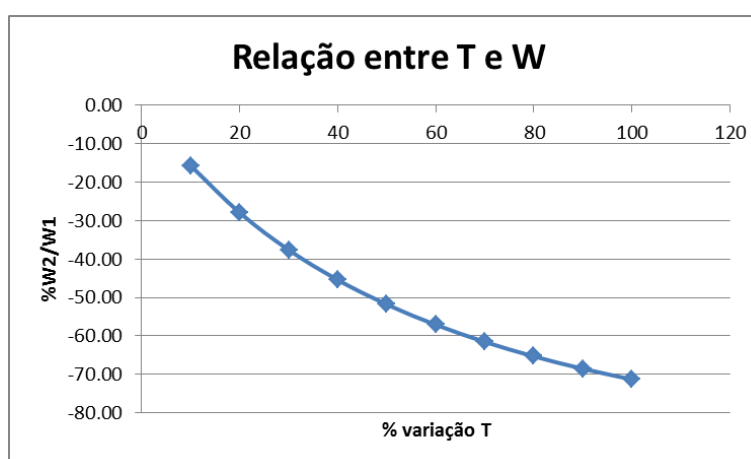


Figura 2.17. Relação entre T e W – Expressão de Van Der Meer, Rebentação oscilante, P=0.6, Enrocamento.

VDM, Enrocamento $\rightarrow W = f(T^{-3P})$

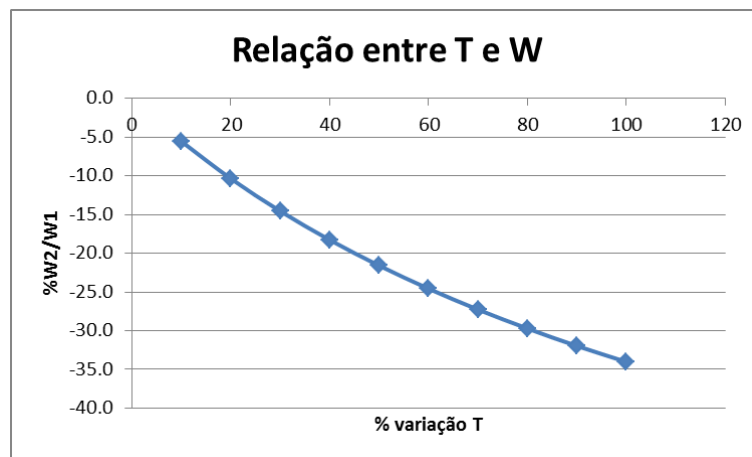


Figura 2.18. Relação entre T e W – Expressão de Van Der Meer, Cubos.

$$VDM, Cubos \rightarrow W = f(T^{-0.6})$$

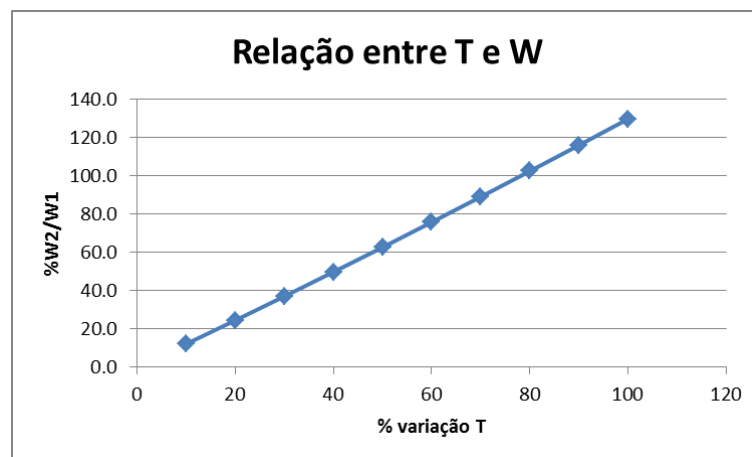


Figura 2.19. Relação entre T e W – Expressão de Van Der Meer, Rebentação mergulhante, Tetrápodes.

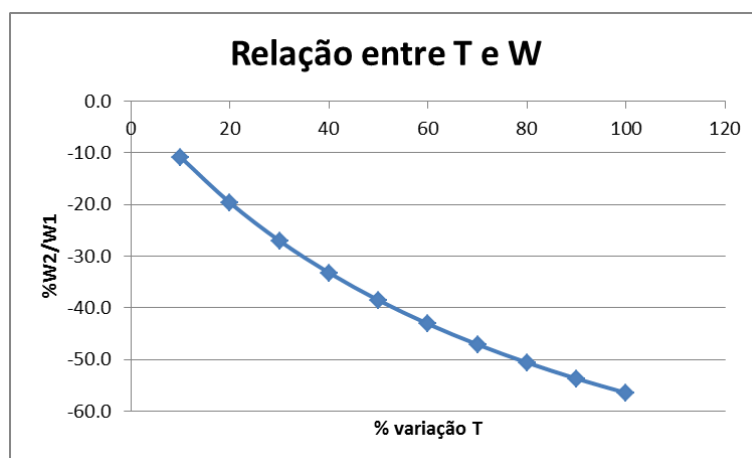


Figura 2.20. Relação entre T e W – Expressão de Van Der Meer, Rebentação oscilante, Tetrápodes.

$$VDM, RM, Tetrápodes \rightarrow W = f(T^{1.2})$$

$$VDM, RO, Tetrápodes \rightarrow W = f(T^{-1.2})$$

Conclusões:

- Para a rebentação mergulhante, no enrocamento e nos tetrápodes, um aumento no período de onda implica um aumento no peso dos blocos;
- Para a rebentação oscilante, no enrocamento e nos tetrápodes, um aumento de T, tem um efeito contrário, representando uma diminuição no peso dos blocos;
- Para os cubos, a variação de W em função de T é independente do tipo de rebentação, conduzindo o aumento do período de onda a uma diminuição no peso dos blocos.

2.2.2. IMPLICAÇÃO DA ALTERAÇÃO DA ALTURA DE ONDA NAS EXPRESSÕES CONSIDERADAS

Após se verificar qual a influência de cada parâmetro no peso dos blocos, para comparação de expressões e análise da sua implicação na estrutura, averigua-se agora quais as alterações necessárias nos vários parâmetros para contrariar os impactos do aumento das alturas de onda significativas e máximas. Esta análise tem o objectivo de manter as mesmas condições de estabilidade da estrutura, para as expressões de Hudson e de Van Der Meer. Estas simulações são fundamentais para tirar conclusões sobre possíveis soluções para colmatar os impactos das Alterações Climáticas.

A análise da influência da variação da altura de onda (H), no peso dos blocos (W), foi analisada em 2.2.1.1, pelo que se faz a análise dos parâmetros: inclinação, nível de estragos e porosidade.

2.2.2.1. Análise da inclinação

Para este parâmetro considera-se um aumento da altura de onda entre +5% e +50%, verificando que consequências tem essa mudança na inclinação para garantir o mesmo nível de estabilidade, mantendo todos os outros parâmetros constantes.

Os resultados desta simulação apresentam-se nas figuras 2.21 a 2.25.

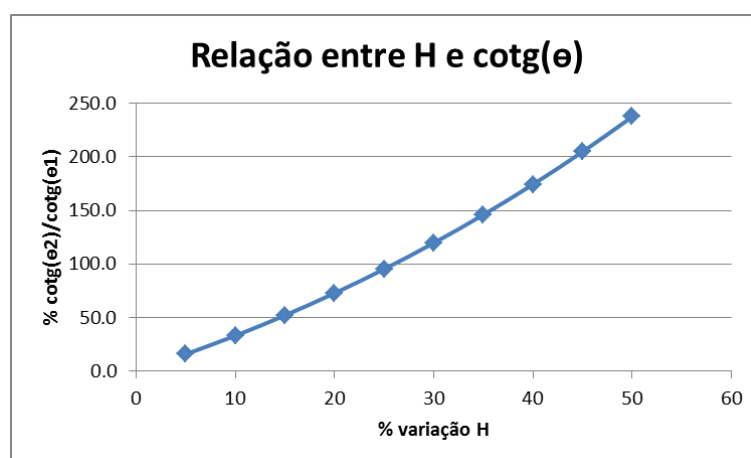


Figura 2.21. Relação entre H e $\cotg(\theta)$ – Expressão de Hudson.

$$VDM, Hudson \rightarrow \cot g\theta = f(H^3)$$

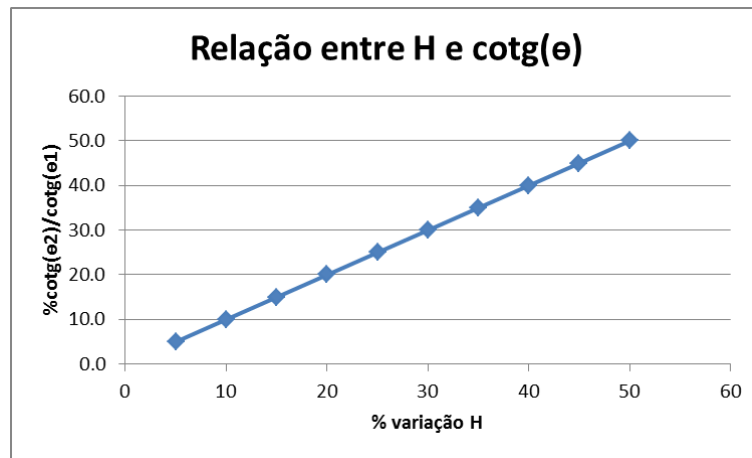


Figura 2.22. Relação entre H e cotg(θ) – Expressão de Van Der Meer, Rebentação mergulhante, Enrocamento.

$$VDM, RM, Enrocamento \rightarrow \cot g\theta = f(H)$$

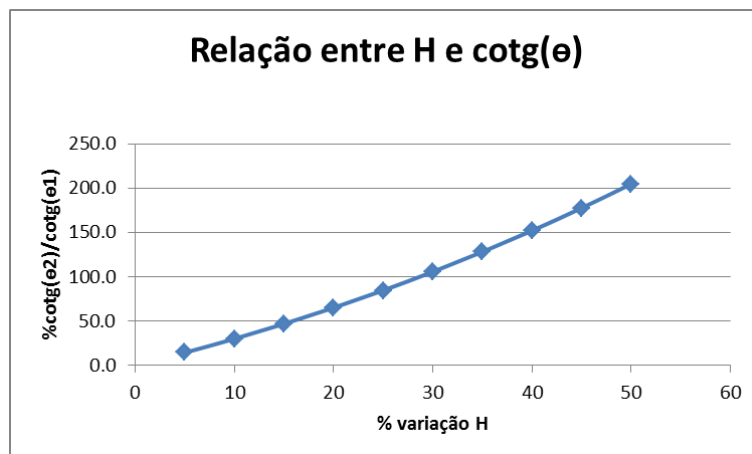


Figura 2.23. Relação entre H e cotg(θ) – Expressão de Van Der Meer, Rebentação oscilante, P=0.1, Enrocamento.

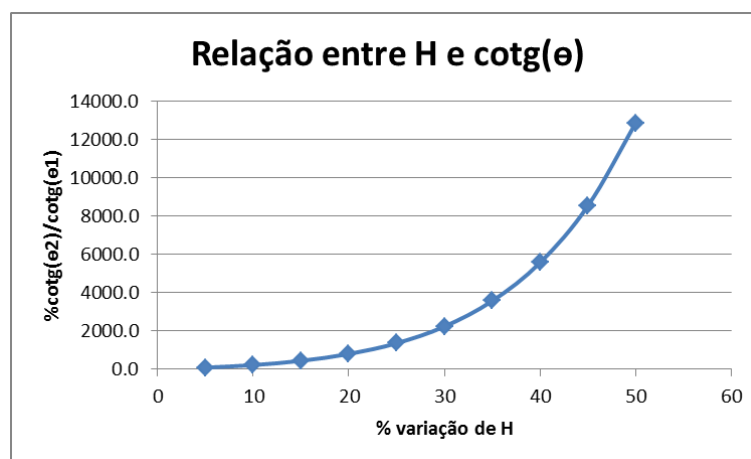


Figura 2.24. Relação entre H e cotg(θ) – Expressão de Van Der Meer, Rebentação oscilante, P=0.4, Enrocamento.

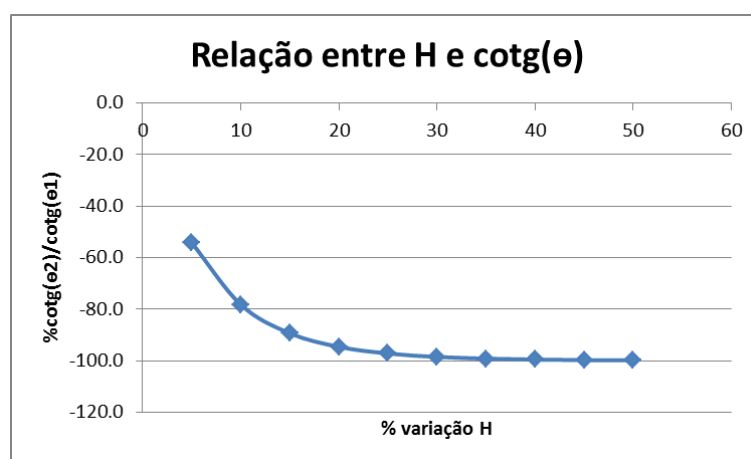


Figura 2.25. Relação entre H e cotg(θ) – Expressão de Van Der Meer, Rebentação oscilante, P=0.6, Enrocamento.

$$VDM, RO, Enrocamento \rightarrow \cot g\theta = f(H^{1+0.5P})$$

Conclusões:

- De acordo com a expressão de Hudson, um aumento de altura de onda implica um aumento da cotg(θ) para garantir que a estrutura mantenha a mesma estabilidade;
- A expressão de Hudson é válida para todo o tipo de blocos e a de Van Der Meer só tem em conta esta variável para o enrocamento;
- Para Van Der Meer, no uso de blocos de enrocamento associados à rebentação mergulhante, e oscilante de porosidade 0.1 e 0.4, o aumento de altura de onda implica um aumento da cotg(θ) para garantir a mesma estabilidade;
- Já para Van Der Meer, no uso de blocos de enrocamento associados à rebentação oscilante de porosidade 0.5, a equação torna-se inverificável e para permeabilidade de 0.6, o aumento da altura de onda implica uma diminuição da cotg(θ), isto é, um aumento da inclinação do talude, o que é

algo contraproducente. Esta simulação pode dever-se a limitações da expressão, pelo que este parâmetro merece ponderação e estudo mais aprofundado;

→ Dos gráficos em que ocorre uma diminuição da inclinação para um aumento de altura de onda, a simulação em que os valores são maiores estão associados a Van Der Meer, com rebentação oscilante e porosidade 0.4. Já as menores variações de valores ocorrem para Hudson, sendo portanto neste caso menos conservadora face a Van Der Meer.

2.2.2.2. Análise do nível de danos

Para este parâmetro considera-se um aumento da altura de onda entre +5% e +50%, verificando que consequências essa mudança tem no nível de estragos da estrutura. Esta simulação só é possível para Van Der Meer dado que Hudson não entra com este parâmetro.

Os resultados desta simulação apresentam-se nas figuras 2.26 a 2.36.

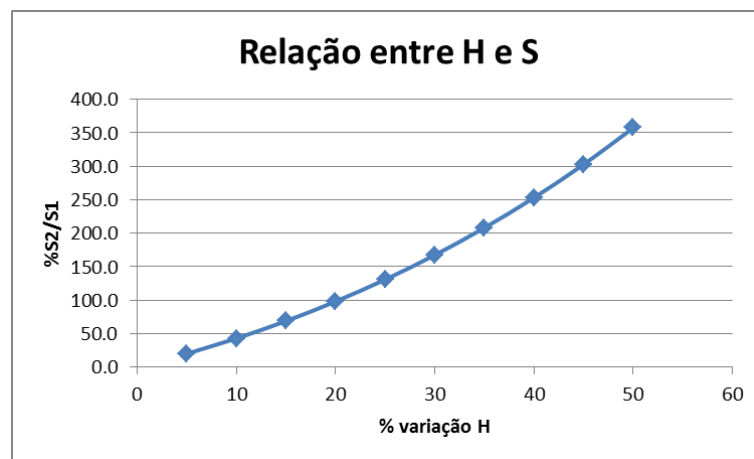


Figura 2.26. Relação entre H e S – Expressão de Van Der Meer, Rebentação mergulhante, Enrocamento.

$$VDM, RM, Enrocamento \rightarrow S = f(H^{3.75})$$

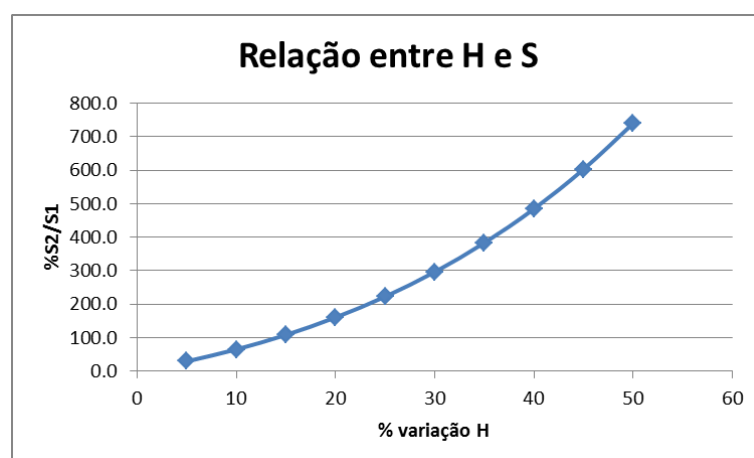


Figura 2.27. Relação entre H e S – Expressão de Van Der Meer, Rebentação oscilante, P=0.1, Enrocamento.

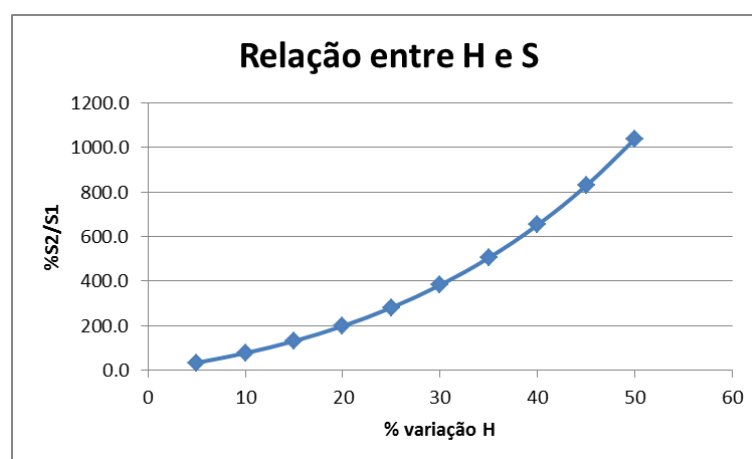


Figura 2.28. Relação entre H e S – Expressão de Van Der Meer, Rebentação oscilante, P=0.4, Enrocamento.

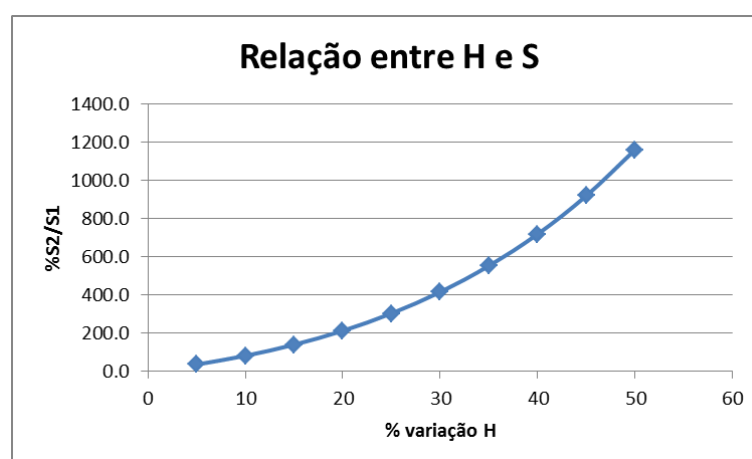


Figura 2.29. Relação entre H e S – Expressão de Van Der Meer, Rebentação oscilante, P=0.5, Enrocamento.

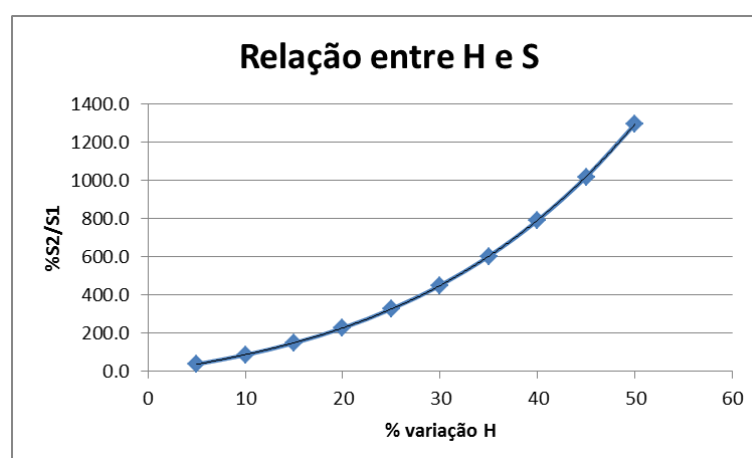


Figura 2.30. Relação entre H e S – Expressão de Van Der Meer, Rebentação oscilante, P=0.6, Enrocamento.

$$VDM, RO, Enrocamento \rightarrow S = f(H^{5+2.5P})$$

Para os **cubos**, a relação entre H e Nod, depende de outras variáveis que têm de ser arbitradas. Como se trata de uma análise geral para todo o tipo de estrutura e condições locais opta-se por fazer uma análise qualitativa dos resultados.

Para a condição inicial neste estudo arbitra-se um nível de estragos admissíveis, Nod, igual a 2 e um número de ondas, Nz, 5000, figura 2.31.

Devido à complexidade das equações que relacionam a altura de onda com o nível de estragos, não se apresentam essas equações, mas sim regressões para simplificar o processo de análise.

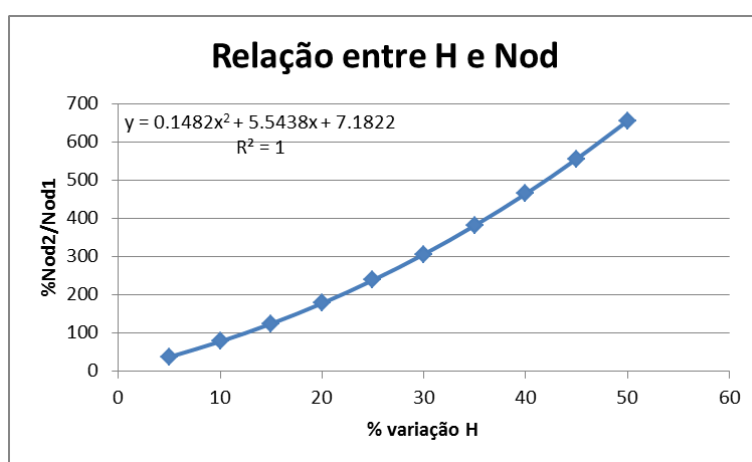


Figura 2.31. Relação entre H e Nod – Expressão de Van Der Meer, Cubos, Nod1=2 e Nz=5000.

Para perceber qual a importância da atribuição dos valores iniciais, faz-se uma simulação para Nod constante e Nz de 6000, figura 2.32 e outra com Nz constante e Nod de 1.5, figura 2.33.

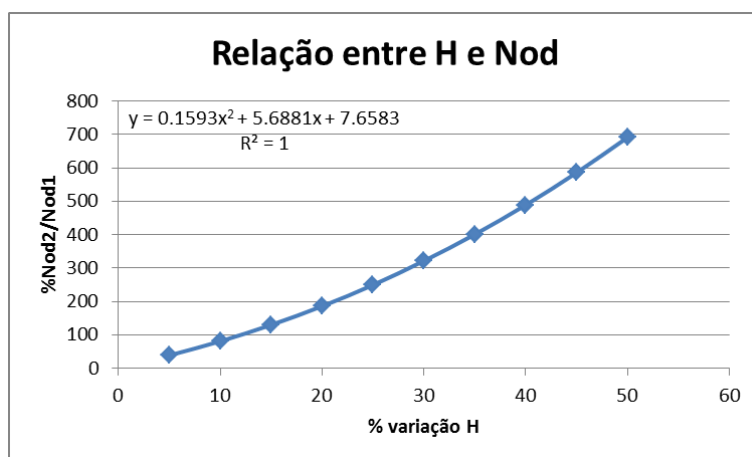


Figura 2.32. Relação entre H e Nod – Expressão de Van Der Meer, Cubos, Nod1=2 e Nz=6000.

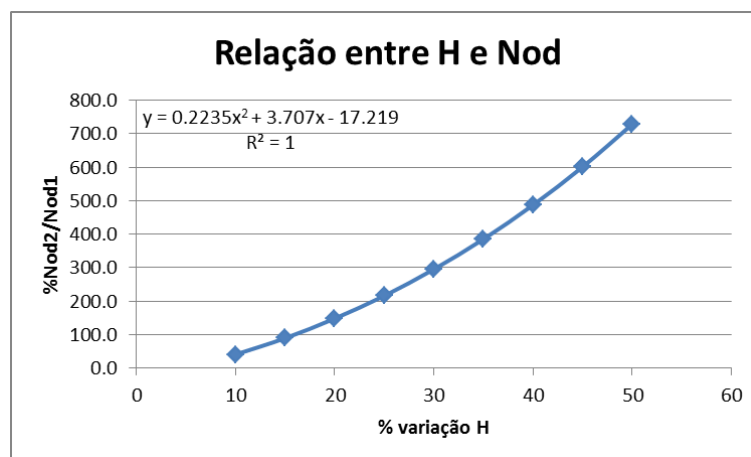


Figura 2.33. Relação entre H e Nod – Expressão de Van Der Meer, Cubos, Nod1=1.5 e Nz=5000.

Para os **tetrápodes**, a relação entre H e Nod, também depende de outras variáveis que têm de ser arbitradas. Como se trata de uma análise geral para todo o tipo de estrutura e condições locais opta-se também por uma análise qualitativa dos resultados. Para a condição inicial neste estudo arbitra-se um nível de danos admissíveis, Nod, igual a 1.5 e um número de ondas, Nz, 5000, figura 2.34.

Tal como acontece nos cubos, devido à complexidade das equações que relacionam a altura de onda com o nível de danos, não se apresentam essas equações, mas sim regressões para simplificar o processo de análise.

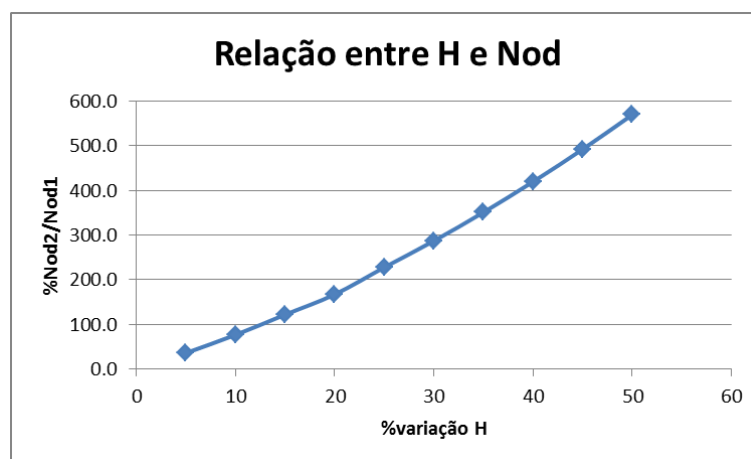


Figura 2.34. Relação entre H e Nod – Expressão de Van Der Meer, Rebentação mergulhante, Tetápodes, Nod1=1.5 e Nz=5000.

Para perceber qual a importância da atribuição dos valores iniciais, faz-se uma simulação para Nod constante e Nz de 6000, figura 2.35 e outra com Nz constante e Nod de 1, figura 2.36.

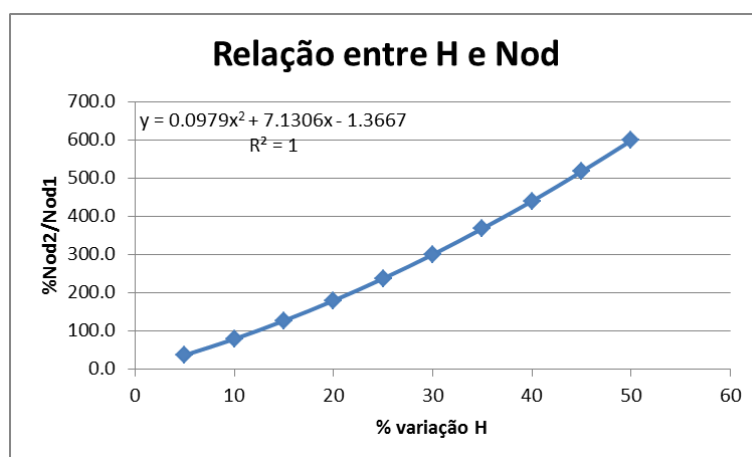


Figura 2.35. Relação entre H e Nod – Expressão de Van Der Meer, Rebentação mergulhante, Tetrápodes, Nod1=1.5 e Nz=6000.

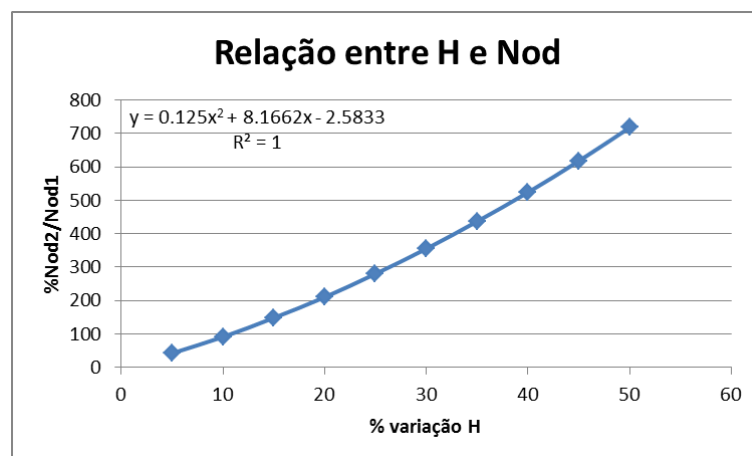


Figura 2.36. Relação entre H e Nod – Expressão de Van Der Meer, Rebentação mergulhante, Tetrápodes, Nod1=1 e Nz=5000.

Conclusões:

- Para qualquer simulação, quanto maior o aumento de altura de onda, maior o nível de estragos na estrutura;
- Para o enrocamento, a rebentação oscilante necessita para a mesma variação da altura de onda, em relação à rebentação mergulhante, da adopção de um maior nível de estragos para a estrutura;
- Dentro da rebentação oscilante, quanto maior a porosidade maior o nível de estragos a considerar;
- Para os cubos e tetrápodes, um aumento no número de ondas conduz à necessidade de atribuição de um maior nível de estragos. Numa situação real optar-se-á, preferivelmente, pela variação de outros parâmetros;
- Para os cubos e tetrápodes, a atribuição de um valor admitido de estragos inicial menor, conduz para a mesma variação da altura de onda numa variação mais elevada do nível de danos, do que quando se considera logo de início a possibilidade de um número de danos superior.

2.2.2.3. Análise da permeabilidade

Para este verifica-se qual a permeabilidade da estrutura que permite manter o mesmo nível de segurança quando se considera aumentos da altura de onda incidente entre +5% e +50%. Esta análise, figura 2.37, só é possível para a expressão de Van Der Meer, dado que a expressão de Hudson não considera este parâmetro, e para estruturas em enrocamento quando a rebentação é do tipo mergulhante.

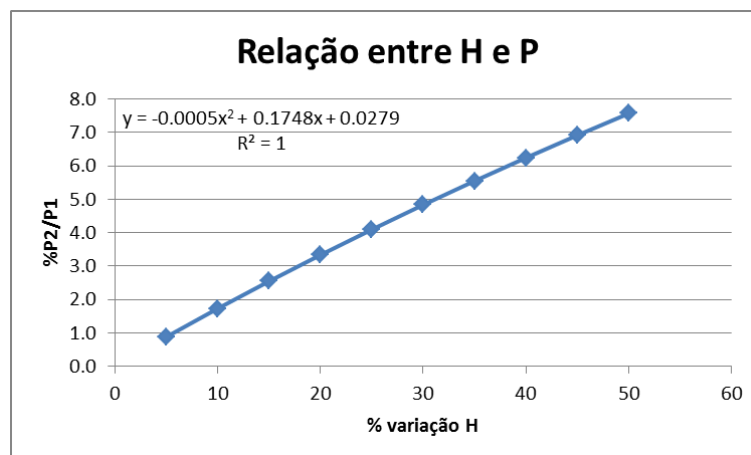


Figura 2.37. Relação entre H e P – Expressão de Van Der Meer, Rebentação mergulhante, Enrocamento.

Conclusões:

→ O aumento da altura de onda incidente pode ser compensado por um aumento da permeabilidade da estrutura em enrocamento. Este facto deve-se à maior dissipação de energia que a porosidade da estrutura permite.

2.3. ANÁLISE DE ALTERAÇÕES NOS PARÂMETROS DE ONDULAÇÃO PARA ESTRUTURAS DE DEFESA COSTEIRA E PORTUÁRIAS GERAIS

Após se perceber a influência de cada parâmetro das expressões de Hudson e de Van Der Meer no peso dos blocos e nas restantes variáveis associadas à constituição de uma obra costeira, efectua-se simulações para estruturas tipo da costa portuguesa, de acordo com a cota dos fundos, presente na tabela 2.11.

Tabela 2.11. Estruturas tipo de defesa costeira e portuárias, e cotas dos fundos.

Estrutura	Cota dos fundos (m)	Exemplo
Estruturas de defesa costeira	0	Esporão de Furadouro
	-3	
Canal de navegação - pequenos portos	-7	Porto da Figueira da Foz
	-12	
Quebramares	-15	Leixões
	-20	
Canal de navegação - portos de média e grande dimensão	-15	Leixões
	-20	
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30	Sines

2.3.1. CONDIÇÕES LOCAIS

Para cada estrutura definem-se as seguintes condições locais: preia mar de águas vivas (PMAV), altura de água máxima (d), altura de onda máxima que pode ocorrer (Hmax) e período de retorno dessa onda (T).

Para a cota do nível da água do mar numa PMAV foi fixado o valor de +4.0m como valor médio para a costa portuguesa.

A altura de água (d) é definida de acordo com a equação 2.9.

$$d(m) = h_{PMAV} - h_{fundo} \quad (2.9.)$$

Em que:

→ d – altura de água [m];

→ h_{PMAV} – cota da superfície livre da água na preia-mar de águas vivas [m];

→ h_{fundo} – cota de fundo junto à estrutura considerada [m].

Quanto à altura de onda máxima possível num dado local, esta é dada pela equação 1.1.

Para a determinação do período de retorno das alturas de onda, determinaram-se as regressões para Hs e para Hmax, utilizando os valores do LNEC (1996) para Leixões, da tabela 2.12. Esta abordagem tem como objectivo obter apenas uma ordem de grandeza dos períodos de retorno das alturas de onda que podem ocorrer, para cada estrutura e local analisados, e para obtenção de dados mais precisos seria necessária uma análise mais aprofundada. A figura 2.38 apresenta os gráficos resultantes do cálculo das regressões para o período de retorno de uma dada altura de onda.

Tabela 2.12. Valores de altura significativa, altura máxima e respectivos períodos de retorno. Dados de Leixões, LNEC (1996).

Hs	H max	T
11,1	18,4	10
14,6	24,8	50
16,4	25	100

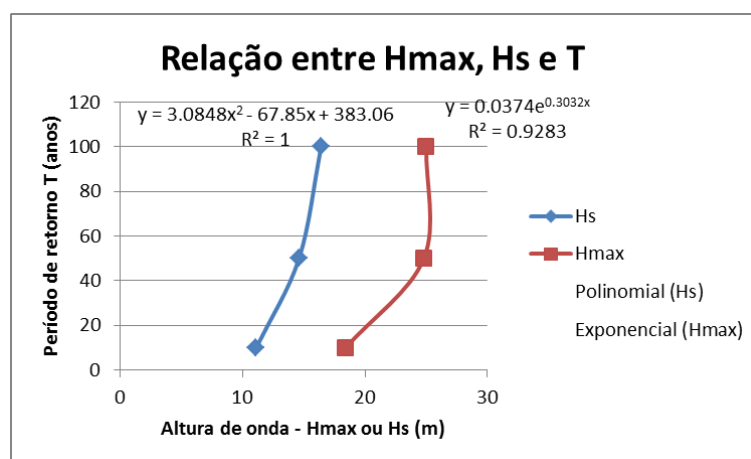


Figura 2.38. Relação entre Hmax, Hs e T, dados Leixões, LNEC (1996).

Dado que as correlações têm valores elevados, são considerados como válidas para a definição das alturas de onda a considerar na análise das várias estruturas e generalizam-se para toda a costa portuguesa por uma questão de simplificação e ausência de dados para outros locais.

A tabela 2.13 caracteriza as condições locais em cada uma das estruturas consideradas nesta análise: cota de fundo, PMAV, profundidade da água e altura de onda máxima fisicamente possível.

Tabela 2.13. Condições locais para cada uma das estruturas consideradas.

Estrutura	Cota fundo (m)	PMAV (m)	d (m)	H max (m)	T (anos)
Estruturas de defesa costeira	0	+4,0	4	3,12	<1
	-3	+4,0	7	5,46	<1
Canal de navegação - pequenos portos	-7	+4,0	11	8,58	<1
	-12	+4,0	16	12,48	2
Quebramares	-15	+4,0	19	14,82	3
	-20	+4,0	24	18,72	11
Canal de navegação – portos de média e grande dimensão	-15	+4,0	19	14,82	3
	-20	+4,0	24	18,72	11
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30	+4,0	34	26,52	116

Conclusões:

- Os valores mais elevados de altura de onda máxima ocorrem nos locais onde existem as maiores profundidades;
- Quanto aos períodos de retorno, as ondas de menor altura, têm uma probabilidade de ocorrência muito elevada, pois têm períodos de retorno muito baixos. Ao contrário, as estruturas implantadas em locais com profundidade de água elevada, podem ser submetidas a elevadas alturas de onda, cujo período de retorno é também elevado, chegando a ser superior a 100 anos em certos locais;
- Para a maioria das estruturas de maior relevância, o período de retorno situa-se entre 2 e 11 anos, significando que são submetidas frequentemente, durante a sua vida útil, aos valores máximos da altura de onda fisicamente possível.

2.3.2. SUBIDA NO NÍVEL MÉDIO DO MAR E ALTERAÇÃO DA ONDA DE PROJECTO

Para a previsão da subida do nível médio do mar consideram-se os valores extremos admitidos no capítulo 2 de 0.5mm/ano no cenário mais **optimista** e 4mm/ano no cenário mais **pessimista**, que em qualquer um dos dois casos, são valores globais.

Considera-se, no entanto, mais um cenário, denominado de **mais provável**, que tem em conta a tendência verificada na costa portuguesa, igual a 1.5 mm/ano, Dias e Taborda (1992), a qual se considera válida para os próximos 100 anos.

Numa previsão a **100 anos**, obtêm-se os valores prováveis de aumento do nível médio do mar, para todas as estruturas, apresentadas na tabela 2.14.

Tabela 2.14. Previsão da subida do nível médio do mar no próximo século.

Previsão da subida do nível médio do mar para 100 anos (mm)		
Optimista	Mais provável	Pessimista
50	150	400

Através da equação 1.1, é feita a previsão da onda de projecto, traduzida por Hmax, no final do período considerado de 100 anos, para as várias estruturas. Foi também calculada a variação dessas alturas de onda (em percentagem) face ao valor local máximo possível inicial, tabela 2.15.

Tabela 2.15. Previsão de Hmax e respectiva variação face aos valores actuais.

Estrutura	Previsão Hmax (m)			% Aumento H		
	Optimista	Mais provável	Pessimista	Optimista	Mais provável	Pessimista
Estruturas de defesa costeira	3,16	3,24	3,43	1,25	3,75	10
	5,50	5,58	5,77	0,71	2,14	5,71
Canal de navegação - pequenos portos	8,62	8,70	8,89	0,45	1,36	3,63
	12,52	12,60	12,79	0,31	0,94	2,5
Quebramares	14,86	14,94	15,13	0,26	0,79	2,11
	18,76	18,84	19,03	0,21	0,63	1,67
Canal de navegação – portos de média e grande dimensão	14,86	14,94	15,13	0,26	0,79	2,11
	18,76	18,84	19,03	0,21	0,63	1,67
Canal de navegação - portos de águas profundas	26,56	26,64	26,83	0,15	0,44	1,18

Como é possível perceber, apenas se considera a subida do nível médio do mar como factor de aumento de altura de onda, o que contraria o que foi analisado no capítulo 2, onde são indicados vários factores que podem conduzir ao seu aumento.

No entanto, por se considerar para onda de projecto, a onda máxima fisicamente possível no local, então esta realmente só pode ser influenciada pela altura de água disponível. A alteração nas tempestades e rumos poderão afectar a altura de onda significativa, o que não tem relevância nesta fase do trabalho.

De seguida e para as percentagens de variação na altura de onda de projecto, são realizadas simulações para averiguar qual o impacto no dimensionamento das estruturas.

Nesta dissertação foi realizada, por simplificação, uma análise individual de cada parâmetro, a fim de perceber de que forma e qual o peso de cada um, no dimensionamento dos blocos de uma estrutura costeira ou portuária de taludes.

2.3.2.1. Variação no peso dos blocos

Como se concluiu anteriormente (secção 2.2.1.1), um aumento na altura de onda de projecto conduz a um aumento do volume e do peso dos blocos utilizados nas estruturas costeiras e portuárias de taludes.

Com base nas regressões apresentadas na figura 2.3 e nos dados da tabela 2.15, obtêm-se as previsões para os vários cenários considerados, de acordo com o tipo de bloco, tipo de rebentação da onda e porosidade da estrutura. As simulações para as expressões de Hudson e Van Der Meer encontram-se nas tabelas 2.16 a 2.24.

Tabela 2.16. Variação em W devido a uma variação de H – Hudson.

Hudson				
Estrutura	Cota fundo (m)	% Variação W		
		Optimista	Mais provável	Pessimista
Estruturas de defesa costeira	0	3,80	11,68	33,10
	-3	2,16	6,57	18,14
Canal de navegação - pequenos portos	-7	1,37	4,15	11,31
	-12	0,94	2,84	7,69
Quebramares	-15	0,79	2,39	6,45
	-20	0,63	1,89	5,08
Canal de navegação – portos de média e grande dimensão	-15	0,79	2,39	6,45
	-20	0,63	1,89	5,08
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30	0,44	1,33	3,57

Tabela 2.17. Variação de W devido a uma variação de H – Van Der Meer, RM, Enrocamento.

Van Der Meer- RM Enrocamento				
Estrutura	Cota fundo (m)	% Variação W		
		Optimista	Mais provável	Pessimista
Estruturas de defesa costeira	0	2,83	8,64	23,92
	-3	1,61	4,89	13,32
Canal de navegação - pequenos portos	-7	1,03	3,09	8,37
	-12	0,70	2,12	5,71
Quebramares	-15	0,59	1,79	4,80
	-20	0,47	1,41	3,79
Canal de navegação - portos de média e grande dimensão	-15	0,59	1,79	4,80
	-20	0,47	1,41	3,79
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30	0,33	1,00	2,67

Tabela 2.18. Variação de W devido a uma variação de H – Van Der Meer, RO, P=0.1, Enrocamento.

Van Der Meer- RO, P=0.1 Enrocamento				
Estrutura	Cota fundo (m)	% Variação W		
		Optimista	Mais provável	Pessimista
Estruturas de defesa costeira	0	3,99	12,30	35,02
	-3	2,27	6,91	19,13
Canal de navegação - pequenos portos	-7	1,44	4,36	11,91
	-12	0,99	2,98	8,09
Quebramares	-15	0,83	2,51	6,78
	-20	0,66	1,98	5,34
Canal de navegação - portos de média e grande dimensão	-15	0,83	2,51	6,78
	-20	0,66	1,98	5,34
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30	0,46	1,40	3,75

Tabela 2.19. Variação de W devido a uma variação de H – Van Der Meer, RO, P=0.4, Enrocamento.

Van Der Meer- RO, P=0.4 Enrocamento				
Estrutura	Cota fundo (m)	% Variação W		
		Optimista	Mais provável	Pessimista
Estruturas de defesa costeira	0	4,57	14,17	40,93
	-3	2,60	7,93	22,15
Canal de navegação - pequenos portos	-7	1,65	5,00	13,72
	-12	1,13	3,42	9,30
Quebramares	-15	0,95	2,87	7,79
	-20	0,75	2,27	6,13
Canal de navegação - portos de média e grande dimensão	-15	0,95	2,87	7,79
	-20	0,75	2,27	6,13
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30	0,53	1,60	4,30

Tabela 2.20. Variação de W devido a uma variação de H – Van Der Meer, RO, P=0.5, Enrocamento.

Van Der Meer- RO, P=0.5 Enrocamento				
Estrutura	Cota fundo (m)	% Variação W		
		Optimista	Mais provável	Pessimista
Estruturas de defesa costeira	0,00	4,8	14,8	43,0
	-3,00	2,7	8,3	23,2
Canal de navegação - pequenos portos	-7,00	1,7	5,2	14,3
	-12,00	1,2	3,6	9,7
Quebramares	-15,00	1,0	3,0	8,1
	-20,00	0,8	2,4	6,4
Canal de navegação - portos de média e grande dimensão	-15,00	1,0	3,0	8,1
	-20,00	0,8	2,4	6,4
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30,00	0,6	1,7	4,5

Tabela 2.21. Variação de W devido a uma variação de H – Van Der Meer, RO, P=0.6, Enrocamento.

Van Der Meer- RO, P=0.6 Enrocamento				
Estrutura	Cota fundo (m)	% Variação W		
		Optimista	Mais provável	Pessimista
Estruturas de defesa costeira	0,00	4,96	15,44	45,02
	-3,00	2,81	8,62	24,20
Canal de navegação - pequenos portos	-7,00	1,78	5,42	14,95
	-12,00	1,22	3,71	10,11
Quebramares	-15,00	1,03	3,11	8,46
	-20,00	0,81	2,46	6,66
Canal de navegação - portos de média e grande dimensão	-15,00	1,03	3,11	8,46
	-20,00	0,81	2,46	6,66
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30,00	0,57	1,73	4,67

Tabela 2.22. Variação de W devido a uma variação de H – Van Der Meer, RM e RO, Cubos.

Van Der Meer- RM e RO, Cubos				
Estrutura	Cota fundo (m)	% Variação W		
		Optimista	Mais provável	Pessimista
Estruturas de defesa costeira	0	4,2	12,9	37,0
	-3	2,4	7,2	20,1
Canal de navegação - pequenos portos	-7	1,5	4,6	12,5
	-12	1,0	3,1	8,5
Quebramares	-15	0,9	2,6	7,1
	-20	0,7	2,1	5,6
Canal de navegação - portos de média e grande dimensão	-15	0,9	2,6	7,1
	-20	0,7	2,1	5,6
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30	0,5	1,5	3,9

Tabela 2.23. Variação de W devido a uma variação de H – Van Der Meer, RM, Tetrápodes.

Van Der Meer- RM, Tetrápodes				
Estrutura	Cota fundo (m)	% Variação W		
		Optimista	Mais provável	Pessimista
Estruturas de defesa costeira	0	3,0	9,2	25,7
	-3	1,7	5,2	14,3
Canal de navegação - pequenos portos	-7	1,1	3,3	9,0
	-12	0,8	2,3	6,1
Quebramares	-15	0,6	1,9	5,1
	-20	0,5	1,5	4,0
Canal de navegação - portos de média e grande dimensão	-15	0,6	1,9	5,1
	-20	0,5	1,5	4,0
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30	0,4	1,1	2,8

Tabela 2.24. Variação de W devido a uma variação de H – Van Der Meer, RO, Tetrápodes.

Van Der Meer- RM, Tetrápodes				
Estrutura	Cota fundo (m)	% Variação W		
		Optimista	Mais provável	Pessimista
Estruturas de defesa costeira	0	4,6	14,2	40,9
	-3	2,6	7,9	22,1
Canal de navegação - pequenos portos	-7	1,6	5,0	13,7
	-12	1,1	3,4	9,3
Quebramares	-15	1,0	2,9	7,8
	-20	0,8	2,3	6,1
Canal de navegação - portos de média e grande dimensão	-15	1,0	2,9	7,8
	-20	0,8	2,3	6,1
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30	0,5	1,6	4,3

Conclusões:

- Em qualquer “simulação”, um aumento da altura de onda implica um aumento do peso dos blocos da estrutura;
- As simulações para a expressão de Hudson são intermédias faces às restantes simulações efectuadas para a expressão de Van Der Meer;
- Se a estrutura estiver implantada em águas profundas, o efeito da subida do nível médio do mar na altura de onda máxima é residual, assim como no peso dos blocos.

2.3.2.2. Variação na inclinação do talude

Se por outro lado, for considerada a hipótese da alteração da inclinação do talude para colmatar os efeitos da subida do nível do mar, os resultados das simulações para a expressão de Hudson e de Van Der Meer traduzem-se nos resultados das tabelas 2.25 a 2.29.

Para a obtenção destes dados usam-se as considerações e regressões estabelecidas em 2.2.2.1. e as previsões de variação da altura de onda, determinada na tabela 2.15.

Tabela 2.25. Variação de $\cotg(\theta)$ devido a uma variação de H – Hudson.

Hudson				
Estrutura	Cota fundo (m)	% Variação $\cotg(\theta)$		
		Optimista	Mais provável	Pessimista
Estruturas de defesa costeira	0	3,8	11,7	33,1
	-3	2,2	6,6	18,1
Canal de navegação - pequenos portos	-7	1,4	4,1	11,3
	-12	0,9	2,8	7,7
Quebramares	-15	0,8	2,4	6,4
	-20	0,6	1,9	5,1
Canal de navegação - portos de média e grande dimensão	-15	0,8	2,4	6,4
	-20	0,6	1,9	5,1
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30	0,4	1,3	3,6

Tabela 2.26. Variação de $\cotg(\theta)$ devido a uma variação de H – Van Der Meer, RM, Enrocamento.

Van Der Meer- RM, Enrocamento				
Estrutura	Cota fundo (m)	% Variação $\cotg(\theta)$		
		Optimista	Mais provável	Pessimista
Estruturas de defesa costeira	0	1,3	3,8	10,0
	-3	0,7	2,1	5,7
Canal de navegação - pequenos portos	-7	0,5	1,4	3,6
	-12	0,3	0,9	2,5
Quebramares	-15	0,3	0,8	2,1
	-20	0,2	0,6	1,7
Canal de navegação - portos de média e grande dimensão	-15	0,3	0,8	2,1
	-20	0,2	0,6	1,7
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30	0,1	0,4	1,2

Tabela 2.27. Variação de $\cotg(\theta)$ devido a uma variação de H – Van Der Meer, RO, P=0.1, Enrocamento.

Van Der Meer- RO, P=0.1, Enrocamento				
Estrutura	Cota fundo (m)	% Variação $\cotg(\theta)$		
		Optimista	Mais provável	Pessimista
Estruturas de defesa costeira	0	3,5	10,7	30,0
	-3	2,0	6,0	16,5
Canal de navegação - pequenos portos	-7	1,3	3,8	10,3
	-12	0,9	2,6	7,0
Quebramares	-15	0,7	2,2	5,9
	-20	0,6	1,7	4,7
Canal de navegação - portos de média e grande dimensão	-15	0,7	2,2	5,9
	-20	0,6	1,7	4,7
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30	0,4	1,2	3,3

Tabela 2.28. Variação de $\cotg(\theta)$ devido a uma variação de H – Van Der Meer, RO, P=0.4, Enrocamento.

Van Der Meer- RO, P=0.4, Enrocamento				
Estrutura	Cota fundo (m)	% Variação $\cotg(\theta)$		
		Optimista	Mais provável	Pessimista
Estruturas de defesa costeira	0	16,1	55,5	213,8
	-3	8,9	29,0	94,8
Canal de navegação - pequenos portos	-7	5,6	17,6	53,5
	-12	3,8	11,8	34,5
Quebramares	-15	3,2	9,9	28,4
	-20	2,5	7,8	21,9
Canal de navegação - portos de média e grande dimensão	-15	3,2	9,9	28,4
	-20	2,5	7,8	21,9
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30	1,8	5,4	15,1

Tabela 2.29. Variação de $\cotg(\theta)$ devido a uma variação de H – Van Der Meer, RO, P=0.6, Enrocamento.

Van Der Meer- RO, P=0.6, Enrocamento				
Estrutura	Cota fundo (m)	% Variação $\cotg(\theta)$		
		Optimista	Mais provável	Pessimista
Estruturas de defesa costeira	0	-18,0	-44,5	-78,2
	-3	-10,8	-28,8	-58,9
Canal de navegação - pequenos portos	-7	-7,0	-19,5	-43,5
	-12	-4,9	-13,9	-32,6
Quebramares	-15	-4,1	-11,8	-28,3
	-20	-3,3	-9,5	-23,2
Canal de navegação - portos de média e grande dimensão	-15	-4,1	-11,8	-28,3
	-20	-3,3	-9,5	-23,2
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30	-2,3	-6,8	-17,1

Conclusões:

- Como já analisado, o resultado para uma porosidade inicial de 0.5 torna a variação nula e a equação sem significado, pelo que não foram realizados cálculos para esta situação;
- A simulação com porosidade de 0.6, conduz a um aumento da inclinação para diminuir o efeito do aumento da altura de onda, o que cria uma situação ainda mais desfavorável. Para este caso será necessário verificar se se trata de uma limitação da expressão ou da existência de fenómenos que levem a este resultado;
- Quanto maior a profundidade de água, menor a variação na altura de onda e por isso as estruturas implantadas em águas mais profundas necessitam de menores variações na inclinação dos taludes do que as estruturas implantadas em pequena profundidade de água;
- A expressão de Hudson apresenta um conjunto de resultados intermédios face às simulações realizadas para a expressão de Van Der Meer, com valores superiores às simulações para rebentação mergulhante e rebentação oscilante associada à porosidade de 0.1, e valores inferiores à simulação de rebentação oscilante associada a uma porosidade de 0.4.

2.3.2.3. Variação no nível de danos

Pretende-se determinar qual o aumento do nível de danos na estrutura se ocorrer um aumento do nível médio da água do mar e da altura da onda. Utilizam-se as regressões determinadas em 2.2.2.2, e para os cenários de variação de altura de onda máxima, tabela 2.15., determinam-se os cenários de possíveis variações nos níveis de estragos, traduzidos pela percentagem do número de blocos deslocados, presente nas tabelas 2.30 a 2.34.

Tabela 2.30. Variação de S devido a uma variação de H – Van Der Meer, RM, Enrocamento.

Van Der Meer- RM, Enrocamento				
Estrutura	Cota fundo (m)	% Variação S		
		Optimista	Mais provável	Pessimista
Estruturas de defesa costeira	0	4,8	14,8	43,0
	-3	2,7	8,3	23,2
Canal de navegação - pequenos portos	-7	1,7	5,2	14,3
	-12	1,2	3,6	9,7
Quebramares	-15	1,0	3,0	8,1
	-20	0,8	2,4	6,4
Canal de navegação - portos de média e grande dimensão	-15	1,0	3,0	8,1
	-20	0,8	2,4	6,4
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30	0,6	1,7	4,5

Tabela 2.31. Variação de S devido a uma variação de H – Van Der Meer, RO, P=0.1, Enrocamento.

Van Der Meer- RO, P=0.1, Enrocamento				
Estrutura	Cota fundo (m)	% Variação S		
		Optimista	Mais provável	Pessimista
Estruturas de defesa costeira	0	6,7	21,3	64,9
	-3	3,8	11,8	33,9
Canal de navegação - pequenos portos	-7	2,4	7,4	20,6
	-12	1,7	5,0	13,8
Quebramares	-15	1,4	4,2	11,6
	-20	1,1	3,3	9,1
Canal de navegação - portos de média e grande dimensão	-15	1,4	4,2	11,6
	-20	1,1	3,3	9,1
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30	0,8	2,3	6,3

Tabela 2.32. Variação de S devido a uma variação de H – Van Der Meer, RO, P=0.4, Enrocamento.

Van Der Meer- RO, P=0.4, Enrocamento				
Estrutura	Cota fundo (m)	% Variação S		
		Optimista	Mais provável	Pessimista
Estruturas de defesa costeira	0	7,7	24,7	77,2
	-3	4,4	13,6	39,6
Canal de navegação - pequenos portos	-7	2,8	8,5	23,9
	-12	1,9	5,8	16,0
Quebramares	-15	1,6	4,8	13,3
	-20	1,3	3,8	10,4
Canal de navegação - portos de média e grande dimensão	-15	1,6	4,8	13,3
	-20	1,3	3,8	10,4
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30	0,9	2,7	7,3

Tabela 2.33. Variação de S devido a uma variação de H – Van Der Meer, RO, P=0.5, Enrocamento.

Van Der Meer- RO, P=0.5, Enrocamento				
Estrutura	Cota fundo (m)	% Variação S		
		Optimista	Mais provável	Pessimista
Estruturas de defesa costeira	0	8,1	25,9	81,4
	-3	4,5	14,2	41,5
Canal de navegação - pequenos portos	-7	2,9	8,8	25,0
	-12	2,0	6,0	16,7
Quebramares	-15	1,7	5,0	13,9
	-20	1,3	4,0	10,9
Canal de navegação - portos de média e grande dimensão	-15	1,7	5,0	13,9
	-20	1,3	4,0	10,9
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30	0,9	2,8	7,6

Tabela 2.34. Variação de S devido a uma variação de H – Van Der Meer, RO, P=0.6, Enrocamento.

Van Der Meer- RO, P=0.6, Enrocamento				
Estrutura	Cota fundo (m)	% Variação S		
		Optimista	Mais provável	Pessimista
Estruturas de defesa costeira	0	8,4	27,0	85,8
	-3	4,7	14,8	43,5
Canal de navegação - pequenos portos	-7	3,0	9,2	26,1
	-12	2,0	6,3	17,4
Quebramares	-15	1,7	5,2	14,5
	-20	1,4	4,1	11,3
Canal de navegação - portos de média e grande dimensão	-15	1,7	5,2	14,5
	-20	1,4	4,1	11,3
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30	1,0	2,9	7,9

Conclusões:

- Em qualquer simulação, um aumento da altura de onda implica um aumento do nível de danos;
- Nas estruturas em enrocamento, e para o tipo de rebentação oscilante, quanto maior a porosidade, maior o nível de danos a considerar para o mesmo aumento da altura de onda;
- A simulação mais conservativa é a associada à rebentação mergulhante, assumindo os menores valores de variação de danos, quando comparada com a rebentação oscilante.

2.3.2.4. Variação da permeabilidade

Se for considerada a possibilidade de se alterar a permeabilidade de uma estrutura para contrariar o efeito do aumento do nível da água do mar e do aumento da altura de onda incidente, podem-se usar as regressões estabelecidas em 2.2.2.3. para a expressão de Van Der Meer. São usados os valores da tabela 2.15 para a variação de H.

Os resultados das simulações com base nos vários cenários são dados pela tabela 2.35.

Tabela 2.35. Variação de P devido a uma variação de H – Van Der Meer, RM, Enrocamento.

Van Der Meer- RM, Enrocamento				
Estrutura	Cota fundo (m)	% Variação P		
		Optimista	Mais provável	Pessimista
Estruturas de defesa costeira	0	7,1	22,7	69,8
	-3	4,0	12,5	36,2
Canal de navegação - pequenos portos	-7	2,6	7,8	21,9
	-12	1,7	5,3	14,7
Quebramares	-15	1,5	4,5	12,3
	-20	1,2	3,5	9,6
Canal de navegação - portos de média e grande dimensão	-15	1,5	4,5	12,3
	-20	1,2	3,5	9,6
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30	0,8	2,5	6,7

Conclusões:

- Em qualquer simulação, um aumento da altura de onda implica um aumento da permeabilidade da estrutura.

2.3.3. ALTERAÇÃO DO NÚMERO DE ONDAS

Como já foi referido no capítulo 2, existirá uma tendência clara no sentido do aumento da duração e da intensidade das tempestades. Este facto resultará em estados de agitação marítima caracterizados por uma altura de onda significativa, a qual não será considerada, uma vez que se está a trabalhar com a altura de onda máxima. Por outro lado, estas tendências conduzirão a um aumento do número de ondas associado à tempestade, parâmetro que influencia o peso dos blocos na equação de Van Der Meer.

Para a costa portuguesa é considerada uma tempestade actual de 2 dias, com ondas de períodos de 12 segundos. Consideram-se os efeitos mais desfavoráveis para a situação de preia mar que ocorre duas vezes por dia e origina as maiores alturas de onda junto à estrutura. Poder-se-ia considerar um total de 12 horas onde ocorrerão as maiores ondas. No entanto, em parte desse intervalo existirão muitas ondas inferiores à onda máxima, até pelo que o nível de água não é máximo durante esse período de uma tempestade, criando assim uma simulação demasiado conservativa.

Tendo este facto em conta considera-se como hipótese de trabalho para este estudo que em 35% do tempo, podem ocorrer ondas de maior altura e mais próximas da onda de projecto.

Assim, para a tempestade de dois dias considerada, o número de ondas é o indicado na tabela 2.36.

Tabela 2.36. Análise de uma tempestade de 2 dias.

Dias de tempestade	T (s)	% Tempo com ondas de maior altura	Nº horas de tempestade	Nº de ondas final
2	12	35	16,8	5040

Para ter em consideração a tendência prevista, fazem-se “simulações” para 2,5 dias de tempestade e 3 dias de tempestade, analisam-se as implicações no número de ondas e no peso dos blocos. Pelas regressões aplicadas em 2.2.1.6., calculam-se os resultados do quadro 2.37.

Tabela 2.37. Previsão do número de ondas.

Dias de tempestade	Nº horas de tempestade	Nº ondas final	% Variação Nz	% Variação W - VDM			
				Enrocamento	Cubos Nod=2	Tetrápodes	
						RM	RO
2,5	21	6300	25	6,9	8,3	4,0	6,6
3	25,2	7560	50	12,9	15,4	7,3	12,2

2.3.4. ALTERAÇÕES NO PERÍODO DE ONDA

Na secção 2.2.1.7. apresentam-se as regressões que traduzem a variação do peso dos blocos em função do período de onda. Neste momento pretendem-se determinar quais as variações esperadas do período de onda, T, para cada local.

A análise da figura 2.39 permite perceber uma relação entre a altura de onda significativa – H_S , e o período de onda associado – T_{HS} , quer através da mancha de pontos correspondentes aos registos da bóia de Leixões, operada pelo Instituto Hidrográfico, para o período de tempo compreendido entre 1981 e 2003, quer através das regressões do LNEC (1996), Tucker (1991) e Soulsby (1997), ou ainda das aproximações lineares e logarítmicas determinadas pelo método dos mínimos quadrados, Coelho (2005).

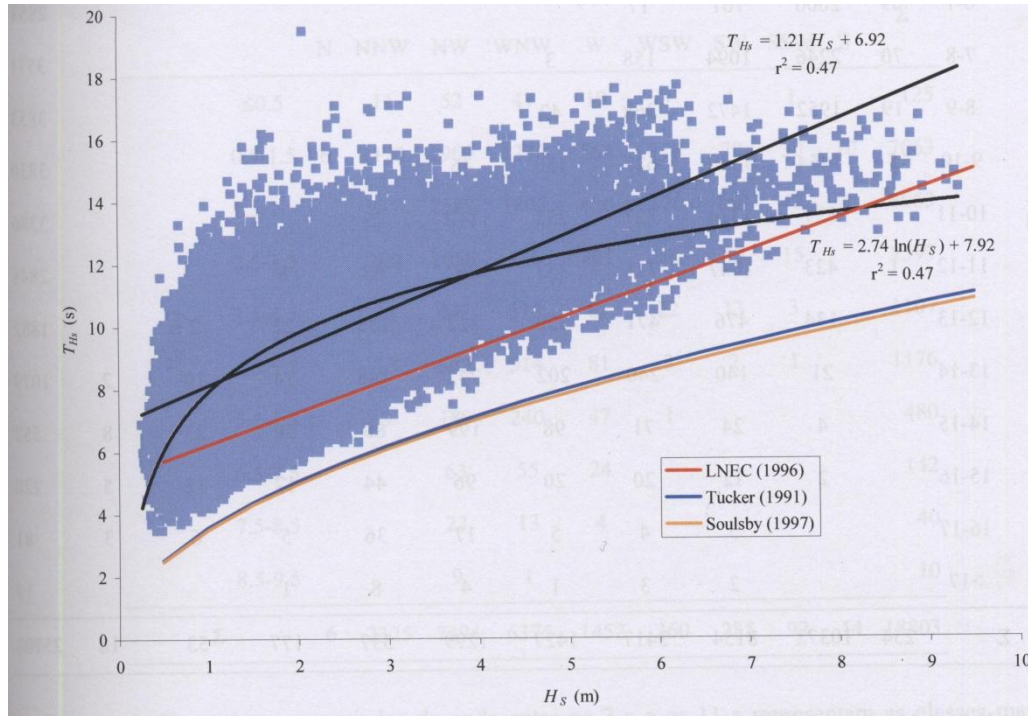


Figura 2.39. Relação entre a altura de onda significativa e os períodos de onda, Coelho (2005).

As equações 2.10 a 2.14 apresentam as curvas de regressão utilizadas:

- A relação entre H_S e T_{HS} , dada pelo LNEC 1996 é traduzida pela equação 2.10.

$$T_{HS} = 1.03 \times H_S + 5.2[s] \quad (2.10.)$$

- A relação entre H_S e T_{HS} , dada por Tucker 1991, é traduzida pela equação 2.11.

$$T_{HS} = 3.58 \times \sqrt{H_S} [s] \quad (2.11.)$$

- A relação entre H_S e T_{HS} , dada por Soulsby 1997, é traduzida pela equação 2.12.

$$T_{HS} = 11 \times \left(\frac{H_S}{g} \right)^{0.5} [s] \quad (2.12.)$$

- A relação entre H_S e T_{HS} , dada pela aproximação linear de Coelho, 2005, é traduzida pela equação 2.13.

$$T_{HS} = 1.21 \times H_S + 6.92[s] \quad (2.13.)$$

- A relação entre H_S e T_{HS} , dada pela aproximação logarítmica de Coelho, 2005, é traduzida pela equação 2.14.

$$T_{HS} = 2.74 \times \ln(H_S) + 7.92[s] \quad (2.14.)$$

Para o estudo das variações do período de onda, T , com a variação possível das alturas de onda, são usados os cenários das alturas de onda máxima para cada local, a partir das quais se obtiveram os valores das alturas de onda significativas iniciais e possíveis.

Com essa finalidade foi empregue a equação 2.15. que relaciona a altura de onda significativa com a altura de onda máxima e em seguida as várias equações 2.10, 2.12, 2.13 e 2.14, que permitem obter os vários períodos de onda e a respectiva implicação no peso dos blocos, de acordo com as regressões estudadas anteriormente para Van Der Meer, presentes nas tabelas 2.38. a 2.45.

Para esta análise do peso dos blocos, apenas foi considerado o período de onda mais provável e não foi considerada a regressão de Tucker por ser intermédia e quase coincidente com a de Soulsby.

$$H_{\max} = 1.768 \times H_S[m] \quad (2.15.)$$

Em que:

→ $H_{\max}$ – altura de onda máxima fisicamente possível num dado local [m];

→ H_S – altura de onda significativa.

Tabela 2.38. Variação de T , regressão LNEC (1996).

Estrutura	Cota fundo (m)	T inicial	T final	% Variação T
			Mais provável	
Estruturas de defesa costeira	0,0	7,02	7,09	0,97
	-3,0	8,38	8,45	0,81
Canal de navegação - pequenos portos	-7,0	10,20	10,27	0,67
	-12,0	12,47	12,54	0,55
Quebramares	-15,0	13,83	13,90	0,49
	-20,0	16,11	16,17	0,42
Canal de navegação - portos de média e grande dimensão	-15,0	13,83	13,90	0,49
	-20,0	16,11	16,17	0,42
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30,0	20,65	20,72	0,33

Tabela 2.39. Variação de W, regressão LNEC (1996).

% Variação T Mais provável	% Variação W - VDM (mais provável)							
	Enrocamento					Cubos	Tetrápodes	
	RM	RO				RM	RM	RO
		P=0,1	P=0,4	P=0,5	P=0,6			
0,97	1,46	-0,29	-1,15	-1,44	-1,72	-0,58	1,17	-1,15
0,81	1,22	-0,24	-0,97	-1,21	-1,45	-0,48	0,98	-0,97
0,67	1,00	-0,20	-0,80	-0,99	-1,19	-0,40	0,80	-0,80
0,55	0,82	-0,16	-0,65	-0,81	-0,98	-0,33	0,66	-0,65
0,49	0,74	-0,15	-0,59	-0,73	-0,88	-0,29	0,59	-0,59
0,42	0,64	-0,13	-0,51	-0,63	-0,76	-0,25	0,51	-0,51
0,49	0,74	-0,15	-0,59	-0,73	-0,88	-0,29	0,59	-0,59
0,42	0,64	-0,13	-0,51	-0,63	-0,76	-0,25	0,51	-0,51
0,33	0,50	-0,10	-0,39	-0,49	-0,59	-0,20	0,40	-0,39

Tabela 2.40. Variação de T, regressão de Soulsby (1997).

Estrutura	Cota fundo (m)	T inicial	T final	% Variação T
			Mais provável	
Estruturas de defesa costeira	0,0	4,76	4,84	1,86
	-3,0	6,29	6,36	1,07
Canal de navegação - pequenos portos	-7,0	7,89	7,94	0,68
	-12,0	9,51	9,56	0,47
Quebramares	-15,0	10,36	10,41	0,39
	-20,0	11,65	11,69	0,31
Canal de navegação - portos de média e grande dimensão	-15,0	10,36	10,41	0,39
	-20,0	11,65	11,69	0,31
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30,0	13,87	13,90	0,22

Tabela 2.41. Variação de W, regressão de Soulsby (1997).

% Variação T Mais provável	% Variação W - VDM (mais provável)							
	Enrocamento					Cubos	Tetrápodes	
	RM	RO				RM	RM	RO
		P=0,1	P=0,4	P=0,5	P=0,6			
1,86	2,80	-0,55	-2,18	-2,72	-3,26	-1,10	2,23	-2,18
1,07	1,60	-0,32	-1,26	-1,58	-1,89	-0,63	1,28	-1,26
0,68	1,02	-0,20	-0,81	-1,01	-1,21	-0,41	0,82	-0,81
0,47	0,70	-0,14	-0,56	-0,70	-0,84	-0,28	0,56	-0,56
0,39	0,59	-0,12	-0,47	-0,59	-0,71	-0,24	0,47	-0,47
0,31	0,47	-0,09	-0,37	-0,47	-0,56	-0,19	0,37	-0,37
0,39	0,59	-0,12	-0,47	-0,59	-0,71	-0,24	0,47	-0,47
0,31	0,47	-0,09	-0,37	-0,47	-0,56	-0,19	0,37	-0,37
0,22	0,33	-0,07	-0,26	-0,33	-0,40	-0,13	0,26	-0,26

Tabela 2.42. Variação de T, regressão linear de Coelho (2005).

Estrutura	Cota fundo (m)	T inicial	T final	% Variação T
			Mais provável	
Estruturas de defesa costeira	0,0	9,06	9,14	0,88
	-3,0	10,66	10,74	0,75
Canal de navegação - pequenos portos	-7,0	12,79	12,87	0,63
	-12,0	15,46	15,54	0,52
Quebramares	-15,0	17,06	17,14	0,47
	-20,0	19,73	19,81	0,41
Canal de navegação - portos de média e grande dimensão	-15,0	17,06	17,14	0,47
	-20,0	19,73	19,81	0,41
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30,0	25,07	25,15	0,32

Tabela 2.43. Variação de W, regressão linear de Coelho (2005).

% Variação T Mais provável	% Variação W - VDM (mais provável)							
	Enrocamento					Cubos	Tetrápodes	
	RM	RO				RM	RM	RO
		P=0,1	P=0,4	P=0,5	P=0,6			
0,88	1,33	-0,26	-1,05	-1,31	-1,57	-0,53	1,06	-1,05
0,75	1,13	-0,22	-0,89	-1,12	-1,34	-0,45	0,90	-0,89
0,63	0,94	-0,19	-0,75	-0,93	-1,12	-0,37	0,75	-0,75
0,52	0,78	-0,15	-0,62	-0,77	-0,93	-0,31	0,62	-0,62
0,47	0,70	-0,14	-0,56	-0,70	-0,84	-0,28	0,56	-0,56
0,41	0,61	-0,12	-0,48	-0,61	-0,73	-0,24	0,49	-0,48
0,47	0,70	-0,14	-0,56	-0,70	-0,84	-0,28	0,56	-0,56
0,41	0,61	-0,12	-0,48	-0,61	-0,73	-0,24	0,49	-0,48
0,32	0,48	-0,10	-0,38	-0,48	-0,57	-0,19	0,38	-0,38

Tabela 2.44. Variação de T, regressão logarítmica de Coelho (2005).

Estrutura	Cota fundo (m)	T inicial	T final	% Variação T
			Mais provável	
Estruturas de defesa costeira	0,0	9,48	9,58	1,06
	-3,0	11,01	11,07	0,53
Canal de navegação - pequenos portos	-7,0	12,25	12,29	0,30
	-12,0	13,27	13,30	0,19
Quebramares	-15,0	13,75	13,77	0,16
	-20,0	14,39	14,40	0,12
Canal de navegação - portos de média e grande dimensão	-15,0	13,75	13,77	0,16
	-20,0	14,39	14,40	0,12
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30,0	15,34	15,35	0,08

Tabela 2.45. Variação de W, regressão logarítmica de Coelho (2005).

% Variação T Mais provável	% Variação W - VDM (mais provável)								
	Enrocamento					Cubos	Tetrápodes		
	RM	RO				RM	RM	RO	
		P=0,1	P=0,4	P=0,5	P=0,6				
1,06	1,60	-0,32	-1,26	-1,58	-1,89	-0,63	1,28	-1,26	
0,53	0,79	-0,16	-0,63	-0,79	-0,94	-0,32	0,63	-0,63	
0,30	0,45	-0,09	-0,36	-0,45	-0,54	-0,18	0,36	-0,36	
0,19	0,29	-0,06	-0,23	-0,29	-0,35	-0,12	0,23	-0,23	
0,16	0,24	-0,05	-0,19	-0,23	-0,28	-0,09	0,19	-0,19	
0,12	0,18	-0,04	-0,14	-0,18	-0,21	-0,07	0,14	-0,14	
0,16	0,24	-0,05	-0,19	-0,23	-0,28	-0,09	0,19	-0,19	
0,12	0,18	-0,04	-0,14	-0,18	-0,21	-0,07	0,14	-0,14	
0,08	0,12	-0,02	-0,09	-0,12	-0,14	-0,05	0,09	-0,09	

Conclusões:

- Pela análise da figura 2.39 percebe-se que as regressões de Tucker (1991) e de Soulsby (1997) são as menos conservativas, pois para um dado período são aquelas que correspondem a uma altura de onda significativa mais elevada;
- Em geral, regressão linear é a que origina valores mais elevados e mais próximos da média da mancha de pontos até à altura de onda significativa da ordem de 6 metros;
- A regressão proposta pelo LNEC (1996) está em correspondência com a tendência dos valores inferiores da mancha de pontos;
- Devido à grande dispersão de pontos não é possível obter uma correlação aceitável, podendo-se, no entanto, concluir que um aumento da altura de onda conduz a um aumento do período de onda;
- Quanto aos blocos de enrocamento, e para rebentação do tipo mergulhante, a regressão que propicia maiores variações no seu peso é a de Soulsby (1997) para profundidades menores e a do LNEC (1996) para profundidades maiores. Para rebentação do tipo oscilante, um aumento no período de onda corresponde a uma diminuição no peso dos blocos, que é tanto maior quanto maior for a porosidade da estrutura;
- Para os cubos, um aumento do período de onda conduz a uma diminuição do peso dos blocos, de forma a que a maior variação no peso dos blocos se verifica para a regressão proposta por Soulsby (1997), em pequenas profundidades e para a regressão do LNEC (1996) em maiores profundidades;
- No caso aos tetrápodes, é necessário distinguir a rebentação mergulhante da rebentação oscilante, uma vez que o aumento do período de onda leva à necessidade de blocos mais pesados, enquanto na segunda ocorre o inverso. Para a rebentação mergulhante, o maior aumento no peso dos blocos

ocorre para a regressão de Soulsby (1997) em pequenas profundidades de água, e para a aproximação linear em profundidades de água maiores.

2.3.5. VARIAÇÃO DO COEFICIENTE DE ESTABILIDADE

Além da incerteza introduzida pelas características da agitação marítima e suas tendências de evolução, também o valor do coeficiente de estabilidade escolhido pelo projectista pode levar a variações nas dimensões dos blocos.

Este parâmetro encontra-se tabelado, para os três tipos de blocos considerados no estudo, nas tabelas 2.2, 2.3, e 2.4, segundo a forma de intervalos de variação. Assim, a escolha de um valor extremo ou intermédio vai afectar o peso do bloco, sendo a variação obtida através das curvas de regressão determinadas em 2.2.1.3 e os resultados apresentados na tabela 2.46.

Tabela 2.46. Variação de W em função de KD - Hudson.

Tipo de Bloco	Intervalo KD		% Variação KD	% Variação W
	KD min	KD max		
Enrocamento	1,2	7	583,3	-85,4
Tetrápodes	4	8,3	207,5	-67,5
Cubos	7,9	14,1	178,5	-64,1

Conclusões:

- Pela análise dos dados do quadro 2.46. é possível verificar que a maior variação no intervalo de KD ocorre para o enrocamento, pelo que é o tipo de bloco que tem associado maior nível de incerteza, a que se seguem os tetrápodes e os cubos;
- O tipo de bloco associado a uma maior variação no peso devido à escolha do parâmetro KD é o enrocamento, chegando a 85.4% a variação do peso dos blocos pela passagem de um extremo para o outro do intervalo de KD. Nos outros tipos de blocos a variação é igualmente elevada e de cerca de 65%;
- A incerteza associada à escolha do coeficiente de estabilidade é maior do que a incerteza verificada para os parâmetros relacionados com a agitação marítima, pelo que deve ser uma variável bem ponderada em projecto, pela influência que tem no peso final dos blocos;
- Para ter em conta os efeitos e as incertezas associadas aos impactos das Alterações Climáticas, é possível optar por um KD de projecto mais baixo do que o habitualmente considerado, preparando assim a estrutura para eventuais alterações não previstas ou incertas.

2.3.6. ALTERAÇÃO NO TRANSPORTE SEDIMENTAR

Neste estudo apenas são considerados modelos de transporte longitudinal. Por outro lado não é tida em conta a falta de sedimentos no sistema, mas apenas a percentagem de variação do caudal sólido potencial para uma dada variação na altura de onda ou rotação dos rumos da agitação marítima.

O transporte sólido real pode ser inferior ao potencial devido à falta de sedimentos no sistema.

As expressões usadas foram as de Kamphuis (2002), equação 2.16, e a expressão do CERC (1984), equação 2.17.

$$Q_s = 2.27 \times H_{sb}^2 \times T_p^{1.5} \times mb^{0.75} \times d_{50}^{-0.25} \times \sin^{0.6}(2 \times \theta b) [Kg / s] \quad (2.16.)$$

Em que:

- Q_s – caudal sólido longitudinal [Kg/s]
- T_p – período de pico [s];
- mb – declive da rebentação;
- θb – ângulo entre a direcção da incidência da onda e a normal à praia [$^\circ$];
- d_{50} – diâmetro mediano dos sedimentos [m];
- H_{sb} – altura de onda significativa na rebentação [m].

$$Q_s = 44.3 \times H_{sb}^{2.5} \times \sin(2 \times \theta b) [Kg / s] \quad (2.17.)$$

Em que:

- Q_s – caudal sólido longitudinal [Kg/s]
- H_{sb} – altura de onda significativa na rebentação [m];
- θb – ângulo entre a direcção de incidência da onda e a normal à praia [$^\circ$].

Quanto aos rumos actuais, a quase totalidade dos registos para Leixões situa-se no quadrante Noroeste, com 82.4% dos valores situados entre 11.25° e 78.75° . No sector Noroeste encontram-se 42.4% do total dos registos e no sector Oeste Noroeste 33.9%, Coelho (2005), como indica a figura 2.40.

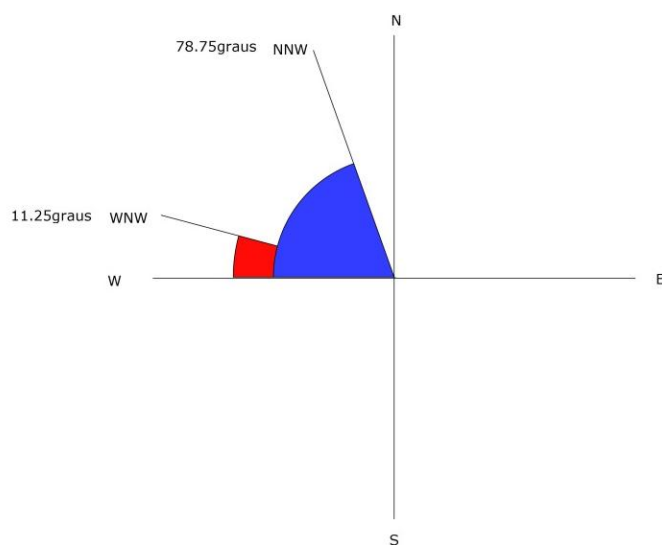


Figura 2.40. Rumos para Leixões (adaptado de Coelho, 2005).

Nas simulações efectuadas com base nas expressões de Kamphuis (2002) e do CERC (1984), utiliza-se a direcção predominante de 11.25° a 78.75° .

No que diz respeito a tendências, estas convergem para uma rotação de 5° a 15° no sentido dos ponteiros do relógio, como constatado anteriormente. Na consideração dos vários cenários afecta-se o ângulo superior de 78.75° dessa rotação, por conduzir a valores fora do espectro inicial. Para a eventualidade dos rumos se inverterem no futuro, afecta-se o ângulo de 11.25° dos mesmos valores de rotação que as simulações anteriores, mas em sentido oposto, servindo esta análise para comparação de resultados.

Os resultados obtidos para a variação do caudal sólido, Q_s , com a variação da altura de onda encontram-se nas tabelas 2.47 e 2.49 e com a variação dos rumos nas tabelas 2.48 e 2.50.

Tabela 2.47. Variação do caudal sólido com a variação de H, Kamphuis (2002).

Estrutura	Cota fundo (m)	% Variação H			%H2/H1			%Q2/Q1			% Variação Q		
		O	MP	P	O	MP	P	O	MP	P	O	MP	P
Estruturas de defesa costeira	0,0	1,25	3,75	10,00	1,01	1,04	1,10	1,03	1,08	1,21	2,52	7,64	21,00
	-3,0	0,71	2,14	5,71	1,01	1,02	1,06	1,01	1,04	1,12	1,43	4,33	11,76
Canal de navegação - pequenos portos	-7,0	0,45	1,36	3,64	1,00	1,01	1,04	1,01	1,03	1,07	0,91	2,75	7,40
	-12,0	0,31	0,94	2,50	1,00	1,01	1,03	1,01	1,02	1,05	0,63	1,88	5,06
Quebramares	-15,0	0,26	0,79	2,11	1,00	1,01	1,02	1,01	1,02	1,04	0,53	1,59	4,25
	-20,0	0,21	0,63	1,67	1,00	1,01	1,02	1,00	1,01	1,03	0,42	1,25	3,36
Canal de navegação – portos de média e grande dimensão	-15,0	0,26	0,79	2,11	1,00	1,01	1,02	1,01	1,02	1,04	0,53	1,59	4,25
	-20,0	0,21	0,63	1,67	1,00	1,01	1,02	1,00	1,01	1,03	0,42	1,25	3,36
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30,0	0,15	0,44	1,18	1,00	1,00	1,01	1,00	1,01	1,02	0,29	0,88	2,37

Tabela 2.48. Variação do caudal sólido com a variação de rumos, Kamphuis (2002).

θ Inicial ($^{\circ}$)	Variação θ ($^{\circ}$)	θ Final ($^{\circ}$)	Q_{s2}/Q_{s1}	% Variação Q_s
78,75	5,00	83,75	0,57	-43,44
78,75	10,00	88,75	0,11	-88,60
78,75	15,00	90,00*	0,00	-100,00
11,25	-5,00	6,25	0,57	-43,44
11,25	-10,00	1,25	0,11	-88,60
11,25	-15,00	-3,75	-0,34	-134,11

*Ângulo máximo possível que a onda incidente pode fazer com a normal à praia.

Tabela 2.49. Variação do caudal sólido com a variação de H, CERC (1984).

Estrutura	Cota fundo (m)	% Variação H			%H2/H1			%Q2/Q1			% Variação Q		
		O	MP	P	O	MP	P	O	MP	P	O	MP	P
Estruturas de defesa costeira	0,0	1,25	3,75	10,00	1,01	1,04	1,10	1,03	1,10	1,27	3,15	9,64	26,91
	-3,0	0,71	2,14	5,71	1,01	1,02	1,06	1,02	1,05	1,15	1,80	5,44	14,90
Canal de navegação - pequenos portos	-7,0	0,45	1,36	3,64	1,00	1,01	1,04	1,01	1,03	1,09	1,14	3,44	9,34
	-12,0	0,31	0,94	2,50	1,00	1,01	1,03	1,01	1,02	1,06	0,78	2,36	6,37
Quebramares	-15,0	0,26	0,79	2,11	1,00	1,01	1,02	1,01	1,02	1,05	0,66	1,99	5,35
	-20,0	0,21	0,63	1,67	1,00	1,01	1,02	1,01	1,02	1,04	0,52	1,57	4,22
Canal de navegação – portos de média e grande dimensão	-15,0	0,26	0,79	2,11	1,00	1,01	1,02	1,01	1,02	1,05	0,66	1,99	5,35
	-20,0	0,21	0,63	1,67	1,00	1,01	1,02	1,01	1,02	1,04	0,52	1,57	4,22
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30,0	0,15	0,44	1,18	1,00	1,00	1,01	1,00	1,01	1,03	0,37	1,11	2,97

Tabela 2.50. Variação do caudal sólido com a variação de rumos, CERC (1984).

θ Inicial ($^{\circ}$)	Variação θ ($^{\circ}$)	θ Final ($^{\circ}$)	Q_{s2}/Q_{s1}	% Variação Q_s
78,75	5,00	83,75	0,57	-43,44
78,75	10,00	88,75	0,11	-88,60
78,75	15,00	90,00*	0,00	-100,00
11,25	-5,00	6,25	0,57	-43,44
11,25	-10,00	1,25	0,11	-88,60
11,25	-15,00	-3,75	-0,34	-134,11

*Ângulo máximo possível que a onda incidente pode fazer com a normal à praia.

Conclusões:

→ Para as duas formulações consideradas, um aumento da altura de onda H conduz a um aumento do transporte longitudinal de sedimentos;

- Para a mesma variação de altura de onda H , a formulação do CERC origina maiores valores de variação do caudal sólido do que a expressão de Kamphuis, apesar dos valores não divergirem consideravelmente;
- Uma rotação no sentido dos ponteiros do relógio do ângulo 78.75° de $[5^\circ; 15^\circ]$ ou contrário ao sentido dos ponteiros do relógio do ângulo 11.25° de $[5^\circ; 15^\circ]$, conduz a uma diminuição no transporte sedimentar longitudinal. Uma rotação no sentido da direcção NW (45°) será a que leva a um maior aumento de transporte de sedimentos, sendo essa a direcção a que corresponde o valor máximo de transporte sedimentar;
- Na análise dos rumos, a expressão do CERC origina os mesmos resultados do que a expressão de Kamphuis.

2.3.7. ALTERAÇÃO NOS GALGAMENTOS

Para estudar os galgamentos e as suas alterações, seria necessário definir com precisão a geometria, a constituição e as condições locais de uma dada estrutura.

Por se pretender um estudo mais geral, opta-se por uma avaliação simplificada baseada na aplicação de uma das expressões apresentadas no CEM (2006), a expressão de Pedersen (1996), equação 2.18, válida para estruturas com taludes permeáveis de rocha e com muro de coroamento, mais habituais na costa portuguesa.

$$\frac{q \times T_{om}}{L_{om}^2} = 3.2 \times 10^{-5} \times \frac{H_s \times \tan(\alpha)}{R_c^3 \times A_c \times B} \quad (2.18.)$$

Em que:

- q – caudal de galgamento [$m^3/s/m$ de estrutura];
- T_{om} – período de onda médio [s];
- L_{om} – comprimento de onda [m];
- H_s – altura de onda significativa;
- O significado das variáveis α , R_c , A_c e B , encontram-se na figura 2.41.

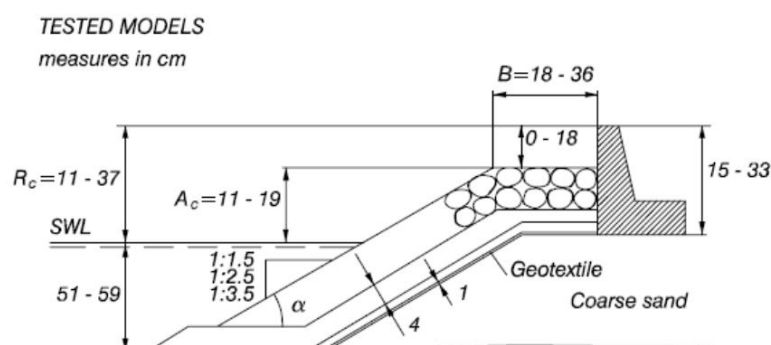


Figura 2.41. Significado das variáveis da expressão proposta por Pedersen (1996), CEM (2006).

Na tabela 2.51 são apresentados os resultados das simulações dos galgamentos para uma variação da altura de onda significativa H_s mais provável. Nas tabelas 2.52 e 2.53, consideram-se as variações nos galgamentos devido à alteração do período de onda mais provável, considerando que as restantes condições se mantêm inalteradas.

Em qualquer uma das tabelas a avaliação dos galgamentos é feita de acordo com o tipo de estrutura, tendo sido utilizados os períodos de onda apresentados nas tabelas 2.38, 2.40, 2.42 e 2.44.

Tabela 2.51. Influência da variação da altura de onda no caudal de galgamento das estruturas.

Estrutura	Cota fundo (m)	H_s inicial	H_s final mais provável	H_{sf}/H_{si}	% Variação H_s	q_f/q_i	% Variação q
Estruturas de defesa costeira	0	1,76	1,83	1,04	3,75	1,04	3,75
	-3	3,09	3,15	1,02	2,14	1,02	2,14
Canal de navegação - pequenos portos	-7	4,85	4,92	1,01	1,36	1,01	1,36
	-12	7,06	7,13	1,01	0,94	1,01	0,94
Quebramares	-15	8,38	8,45	1,01	0,79	1,01	0,79
	-20	10,59	10,65	1,01	0,63	1,01	0,63
Canal de navegação - portos de média e grande dimensão	-15	8,38	8,45	1,01	0,79	1,01	0,79
	-20	10,59	10,65	1,01	0,63	1,01	0,63
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30	15,00	15,07	1,00	0,44	1,00	0,44

Em que:

→ H_{sf}/H_{si} – quociente entre a altura de onda significativa final e inicial;

→ q_f/q_i – quociente entre o caudal de galgamento final e inicial.

Tabela 2.52. Variação do período de onda para cada estrutura de acordo com a variação da altura de onda.

Estrutura	Cota fundo (m)	% Variação T			
		LNEC 1996	Soulsby 1997	Linear, Coelho 2005	Logarítmica, Coelho 2005
		Mais provável			
Estruturas de defesa costeira	0	0,97	1,86	0,88	1,06
	-3	0,81	1,07	0,75	0,53
Canal de navegação - pequenos portos	-7	0,67	0,68	0,63	0,30
	-12	0,55	0,47	0,52	0,19
Quebramares	-15	0,49	0,39	0,47	0,16
	-20	0,42	0,31	0,41	0,12
Canal de navegação - portos de média e grande dimensão	-15	0,49	0,39	0,47	0,16
	-20	0,42	0,31	0,41	0,12
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30	0,33	0,22	0,32	0,08

Tabela 2.53. Influência da variação do período de onda no caudal de galgamento das estruturas.

Estrutura	Cota fundo (m)	% Variação q			
		LNEC, 1996	Soulsby, 1997	Linear, Coelho, 2005	Logarítmica, Coelho, 2005
		Mais provável			
Estruturas de defesa costeira	0	0,97	1,86	0,88	1,06
	-3	0,81	1,07	0,75	0,53
Canal de navegação - pequenos portos	-7	0,67	0,68	0,63	0,30
	-12	0,55	0,47	0,52	0,19
Quebramares	-15	0,49	0,39	0,47	0,16
	-20	0,42	0,31	0,41	0,12
Canal de navegação - portos de média e grande dimensão	-15	0,49	0,39	0,47	0,16
	-20	0,42	0,31	0,41	0,12
Canal de navegação - portos de águas profundas	-30	0,33	0,22	0,32	0,08

Conclusões:

- A variação da altura de onda leva a um aumento dos galgamentos, embora a sua influência não ultrapasse os 4% face aos valores iniciais;
- Com o aumento da altura de onda, verifica-se uma maior variação do caudal de galgamento nas estruturas implantadas em águas pouco profundas do que nas estruturas implantadas em maiores profundidades;
- Um aumento no período de onda como previsto, conduz a um aumento dos galgamentos. No entanto, esse aumento não excede 2%;
- Na análise das expressões aplicadas verifica-se que o aumento dos galgamentos com o aumento do período de onda é maior quando se utiliza a curva de regressão proposta por Soulsby (1997) em pequenas profundidades de água, e para a curva de regressão apresentada por LNEC (1996) em grandes profundidades.

3

PROPOSTAS DE MEDIDAS DE COMPENSAÇÃO

3.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Segundo o SIAM II (2006), uma opção de adaptação possível aos impactos esperados em consequência das Mudanças Climáticas presentes e futuras, é simplesmente não reagir e deixar a Natureza introduzir as mudanças necessárias a nível sedimentar, morfológico e dinâmico, até a costa portuguesa atingir o ponto de equilíbrio.

Esta solução não atenua as consequências das Mudanças Climáticas mas diminui a pressão sobre o sistema costeiro, sendo no entanto dificilmente adequada a zonas costeiras urbanizadas, incluindo a costa portuguesa, devido ao seu elevado índice ocupacional e populacional, bem como à elevada valorização económica e social que esta representa em muitos países e regiões.

Desta forma, devem ser procuradas soluções que se possam traduzir em medidas de adaptação, que permitam prosseguir com as actividades económicas e conservar os ecossistemas e que simultaneamente, sejam economicamente viáveis.

Estas iniciam-se pela redução do risco para a população fixada no litoral, com um ordenamento territorial correcto e responsável, e que tenha em conta as mudanças previstas e novos perigos que podem surgir.

Depois, a acção passa pela conservação das praias, dunas e outros sistemas costeiros, que para além do valor social e económico, são as primeiras barreiras dos aglomerados populacionais em relação às acções do mar.

Tal como os sistemas referidos anteriormente, também os portos comerciais, de pesca e de recreio, merecem especial atenção devido à sua elevada importância para os sectores económico e turístico.

Para qualquer estrutura de defesa costeira e portuária, é necessária a implementação de medidas ao nível, quer dos novos projectos, quer das estruturas existentes, sejam estas do tipo construtivo ou organizacional. Estas medidas devem ter em conta as actuais e futuras Mudanças Climáticas, permitindo um planeamento inteligente e baseado numa visão de futuro e de sustentabilidade.

De acordo com os capítulos anteriores, admite-se que as tendências futuras prevêem:

- Aumento do nível médio do mar;
- Aumento da altura de onda significativa;
- Aumento da altura de onda máxima;
- Aumento do número de ondas associadas ao aumento da persistência de temporais;
- Diminuição do volume de sedimentos junto às estruturas;
- Aumento dos galgamentos.

De seguida apresentam-se algumas propostas de medidas de adaptação às Mudanças Climáticas para estruturas existentes, medidas específicas para portos, medidas a implementar em novos projectos, medidas de carácter organizacional e legislativo para todo o sistema costeiro, e uma organização temporal da aplicação das medidas propostas.

3.2. ESTRUTURAS EXISTENTES

3.2.1. MEDIDAS ESTRUTURAIS

As medidas estruturais correspondem a acções construtivas de intervenção directa sobre quebramares, esporões e estruturas aderentes, mais ou menos complexas e que têm como objectivo principal a diminuição dos impactos das alterações climáticas sobre as estruturas.

Essas medidas poderão também ser aplicadas nos casos em que se pretende aumentar a segurança e a vida útil da estrutura, ou ainda melhorar as condições de operacionalidade das infra-estruturas que protegem.

Para cada medida é apresentado um esquema exemplificativo, cuja legenda se apresenta na figura 3.1.

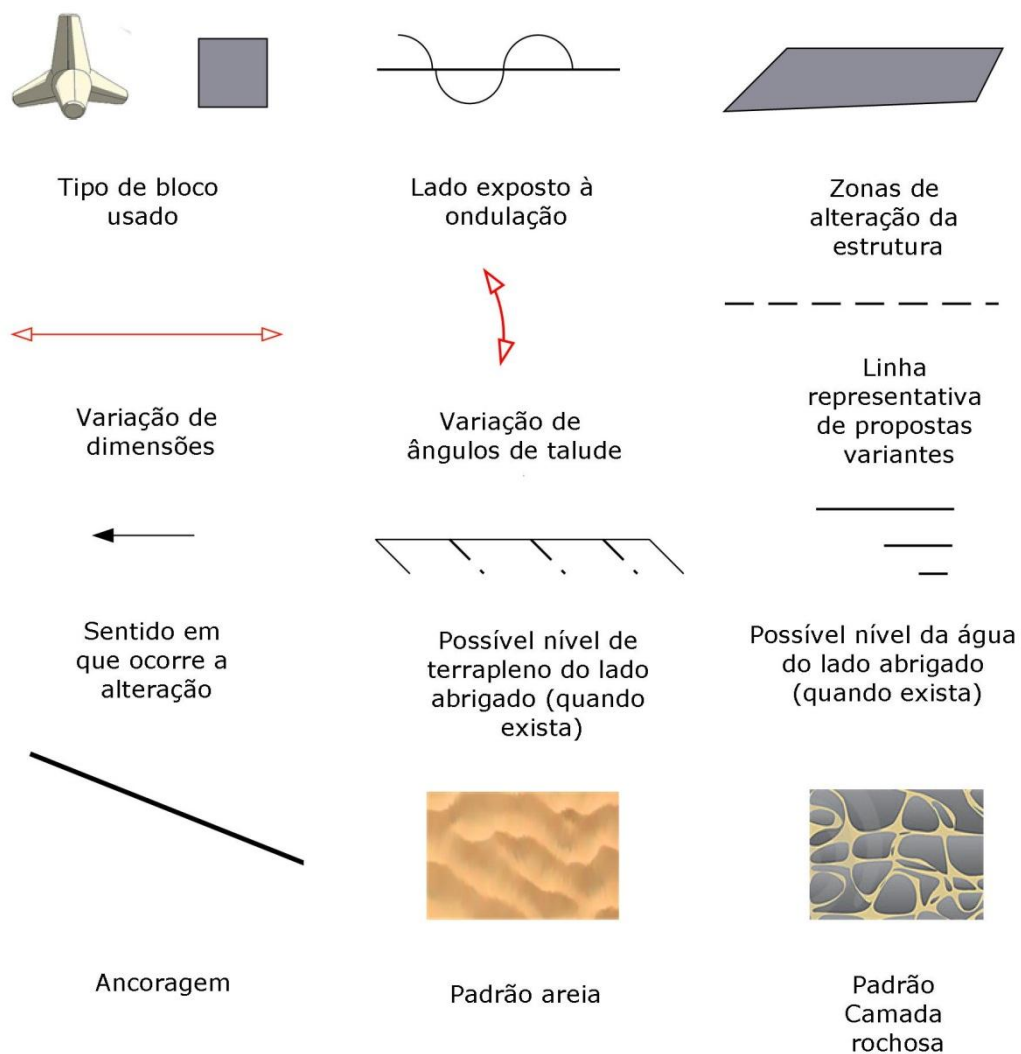


Figura 3.1. Legenda dos esquemas das medidas de adaptação.

► **Medida 1:** Construção de um muro-cortina no coroamento da estrutura, figura 3.2, com ou sem deflector.

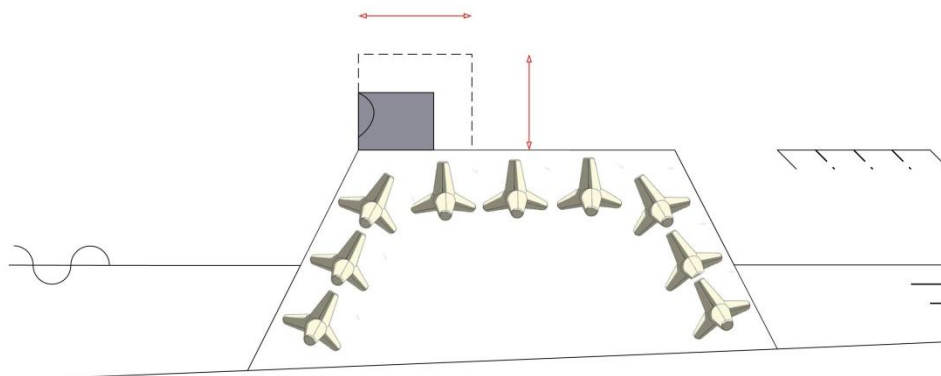


Figura 3.2. Construção de muro-cortina.

- **Funcionamento básico** – O aumento da cota de coroamento dificulta a ocorrência de galgamentos.
- **Objectivos** – Diminuir a ocorrência de galgamentos.
- **Vantagens** – Facilidade construtiva. Pode ser realizado em qualquer momento.
- **Desvantagens** – Não tem muita influência na estabilidade da estrutura. Diminuição da largura útil para passagem de transportes e máquinas para manutenção e reparação da estrutura. Pode aumentar o “efeito de barreira paisagística”.
- **Variáveis no dimensionamento** – Como as setas a vermelho indicam, as dimensões do muro cortina serão definidas pelo projectista. A solução final deverá ser estável, economicamente viável e integrada paisagisticamente.

► **Medida 2:** Aumento da cota de coroamento da estrutura, figura 3.3.

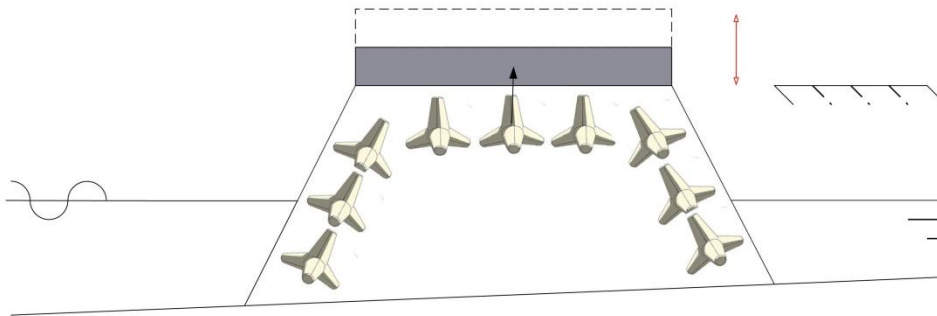


Figura 3.3. Aumento do muro de coroamento.

- **Funcionamento básico** – O aumento da cota de coroamento reduz a probabilidade de ocorrência de galgamentos.
- **Objectivos** – Aumentar a cota de coroamento da estrutura para diminuir a ocorrência de galgamentos.
- **Vantagens** – Permite aumentar a cota de coroamento sem diminuir a largura disponível para a movimentação de máquina e equipamento necessários às operações de transportes de manutenção e de reparação da estrutura.
- **Desvantagens** – Não tem um grande contributo para o aumento da estabilidade da estrutura e não reforça blocos do lado da agitação. Pode aumentar o “efeito de barreira paisagística”.
- **Variáveis no dimensionamento** – É variável a cota de coroamento, com a construção de camadas adicionais sobre a estrutura. A definição da nova cota de coroamento deve ter em consideração estudos económicos, eficácia na diminuição dos galgamentos, estabilidade e integração paisagística da estrutura.

► **Medida 3:** Aumento da cota de coroamento e a colocação de uma camada adicional de blocos do lado abrigado, figura 3.4.

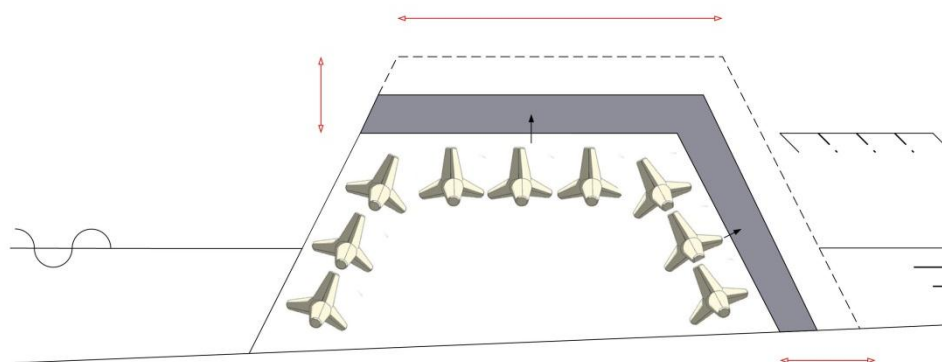


Figura 3.4. Aumento da cota de coroamento e reforço do talude abrigado.

- **Funcionamento básico** – O aumento da cota de coroamento reduz a probabilidade de ocorrência de galgamentos e o aumento do peso da estrutura torna-a mais estável.
- **Objectivos** – Reforçar a estrutura aproveitando as camadas já existentes e diminuir galgamentos.
- **Vantagens** – Medida adequada para zonas de pequenas áreas de praia e sem grande pressão construtiva em redor, de forma a não “roubar” areal no caso da estrutura se encontrar implantada na linha de costa.
- **Desvantagens** – Não reforça a zona da estrutura sujeita às condições de agitação marítima.
- **Variáveis no dimensionamento** – Tal como indicam as setas a vermelho da figura 3.4, é possível escolher para esta solução qual o aumento a realizar na cota do coroamento, qual a largura total do muro de coroamento e, por consequência, a largura da camada posterior que vai reforçar a estrutura.

► **Medida 4:** Aumento da cota de coroamento e colocação de uma camada adicional de blocos do lado exposta à agitação, figura 3.5.

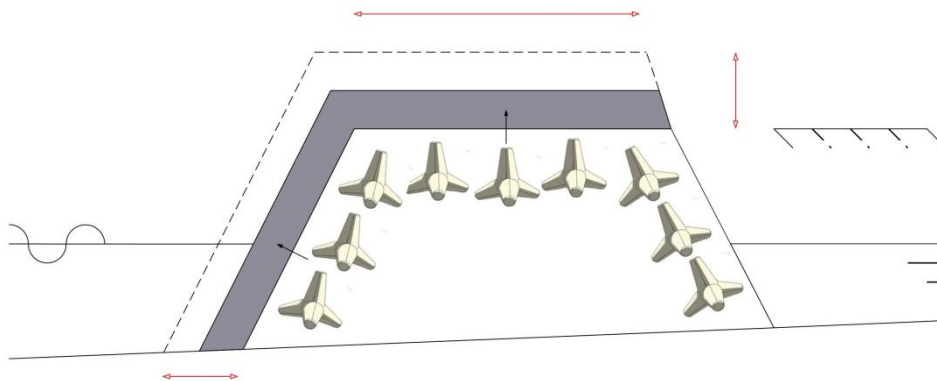


Figura 3.5. Aumento da cota de coroamento e reforço do talude do lado exposto.

- **Funcionamento básico** – O aumento da cota de coroamento reduz a probabilidade de ocorrência de galgamentos e o reforço da estrutura torna-a mais estável.
- **Objectivos** – Reforçar a estrutura aproveitando as camadas já existentes e diminuir os galgamentos.
- **Vantagens** – Adequada para zonas de grande pressão construtiva em redor e grande areal na zona exposta, não ocupando área edificável, mas sim a praia, isto se a estrutura se encontrar na linha de costa. Os blocos novos a introduzir ficam do lado exposto às acções marítimas.
- **Desvantagens** – Redução da área de praia, se se tratar de uma estrutura aderente na linha de costa.
- **Variáveis no dimensionamento** – Como indicam as setas a vermelho da figura 3.5, é possível escolher para esta solução qual o aumento a realizar na cota do coroamento, qual a largura total do muro de coroamento e, por consequência, a largura da camada do lado exposto que vai reforçar a estrutura.

► **Medida 5:** Aumento da cota de coroamento e colocação de uma ou várias camadas de blocos do lado exposto e do lado abrigado, figura 3.6.

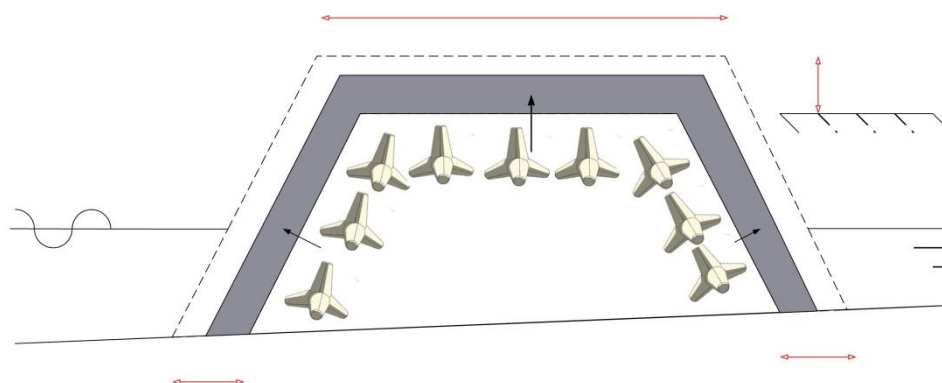


Figura 3.6. Aumento da cota de coroamento e reforço dos taludes exposto e abrigado.

- **Funcionamento básico** – O aumento da cota de coroamento reduz a probabilidade de ocorrência de galgamentos e o reforço da estrutura torna-a mais estável.
- **Objectivos** – Reforçar a estrutura aproveitando os blocos já existentes. Diminuir a frequência de ocorrência de galgamentos.
- **Vantagens** – Repartição da utilização da área na zona de areal e na zona edificável. Toda a estrutura exposta fica com blocos novos.
- **Desvantagens** – Solução mais elaborada pela existência de duas frentes distintas de trabalho em obra, isto é, no lado protegido e do lado exposto à agitação.
- **Variáveis no dimensionamento** – Como indicam as setas a vermelho da figura 3.6, é possível escolher para esta solução qual o aumento a realizar na cota do coroamento, qual a largura total do muro de coroamento e, por consequência, a largura da camada do lado exposto e da camada do lado abrigado que vão reforçar a estrutura.

► **Medida 6:** Aumento da cota de coroamento, colocação de blocos na zona abrigada e construção de um muro-cortina, figura 3.7.

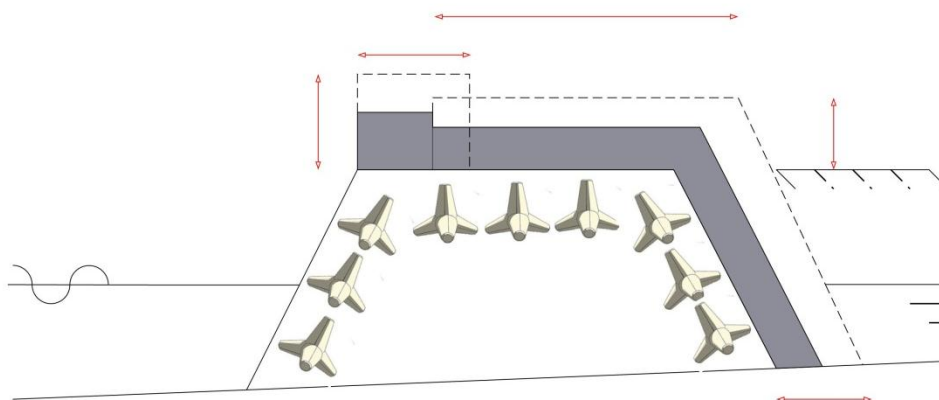


Figura 3.7. Muro-cortina, aumento da cota de coroamento e reforço do talude abrigado.

- **Funcionamento básico** – O aumento da cota de coroamento reduz a probabilidade de ocorrência de galgamentos e o reforço da estrutura torna-a mais estável.
- **Objectivos** – Diminuir a frequência de ocorrência de galgamentos e reforçar a estrutura, mas com a variante de manter a largura útil do coroamento.
- **Vantagens** – Não diminui a largura útil do coroamento. Diminui a probabilidade de ocorrência de galgamentos.
- **Desvantagens** – A zona exposta à rebentação não é reforçada com blocos novos mais resistentes.
- **Variáveis no dimensionamento** – Tal como indicado na figura 3.7, as dimensões do muro cortina, a altura do muro de coroamento e a largura da camada posterior de blocos serão definidas pelo projectista, e que deverá efectuar um estudo de todas as variáveis que interferem na solução final.

► **Medida 7:** Diminuir inclinação do talude do lado exposto da estrutura, figura 3.8.

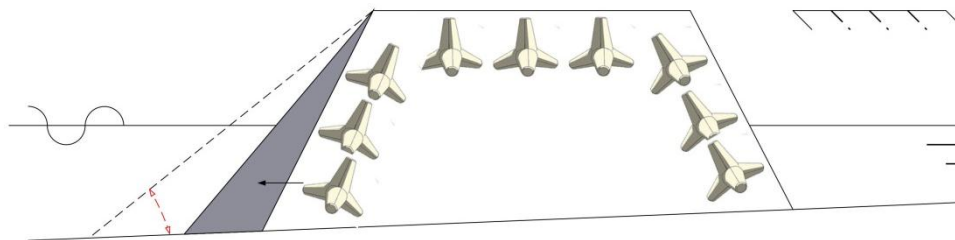


Figura 3.8. Diminuição da inclinação do talude exposto.

- **Funcionamento básico** – De acordo com as conclusões apresentadas em 2.2.1.2, concluiu-se que, para a expressão de Hudson, o aumento da $\cotg(\Theta)$, isto é, a diminuição da inclinação do talude, conduz a uma diminuição do peso dos blocos necessários para garantir o mesmo nível de estabilidade.
- **Objectivo** – Utilizar os mesmos blocos e manter a mesma estabilidade projectada inicialmente.
- **Vantagens** – Aumentar estabilidade da estrutura sem alterar o tipo ou o peso de blocos usados. Como é possível verificar na expressão 2.18, o caudal de galgamento de uma estrutura é directamente proporcional ao ângulo que o talude exposto faz com a horizontal. Assim a diminuição do ângulo do talude exposto como sugerido nesta medida, levará à diminuição da frequência de ocorrência de galgamentos.
- **Desvantagens** – No caso de uma obra implementada na linha de costa conduz à redução da área de areal.
- **Variáveis no dimensionamento** – Como indica a figura 3.8, as variantes a esta solução passam pela maior ou menor inclinação da estrutura. Quanto menor a inclinação do talude, maior o número de blocos necessários, maior a área ocupada pela estrutura mas, mais estável será a solução.

► **Medida 8:** Extensão do pé-de-talude segundo uma plataforma, figura 3.9.

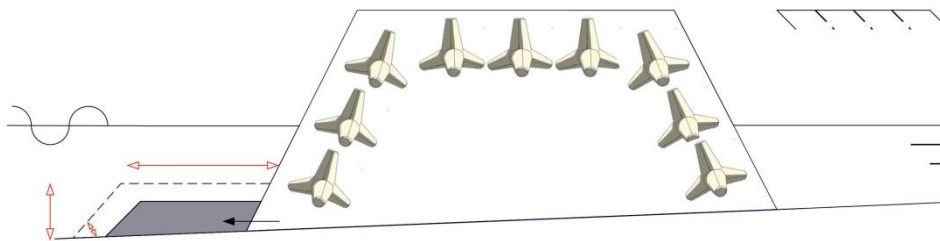


Figura 3.9. Extensão do pé-de-talude segundo uma plataforma.

- **Funcionamento básico** – através da equação 1.1 é possível verificar que a altura de onda máxima é proporcional à profundidade de água disponível. Se a profundidade de água junto à estrutura for menor devido à introdução de uma plataforma elevada junto ao pé-de-talude (risberma), a onda máxima que pode chegar ao talude é menor.
- **Objectivos** – Protecção do pé-de-talude da estrutura costeira em relação ao potencial agravamento das acções hidrodinâmicas. Permite a pré-rebentação das ondas, reduzindo a energia da ondulação que incide na estrutura principal e permite “colmatar” as infra-escavações, protegendo o talude exposto.
- **Vantagens** – Não envolve grande volume de material. Solução simples em termos de concepção.
- **Desvantagens** – Não reforça a estrutura e os blocos sujeitos à agitação marítima. Solução complexa quanto à realização, pelo facto de ser realizada em zona submersa ou na faixa de variação das cotas de maré.
- **Variáveis no dimensionamento** – Tal como indicam as setas a vermelho na figura 3.9, a plataforma do pé-de-talude pode variar no seu comprimento, altura e inclinação do talude posterior. A definição destas variáveis vai depender das condições no local de implantação da estrutura e do nível de estabilidade necessário.

► **Medida 9:** Construção de um quebramar submerso a barlamar, figura 3.10.

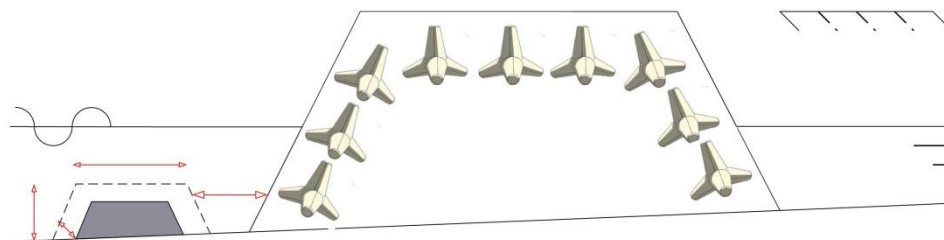
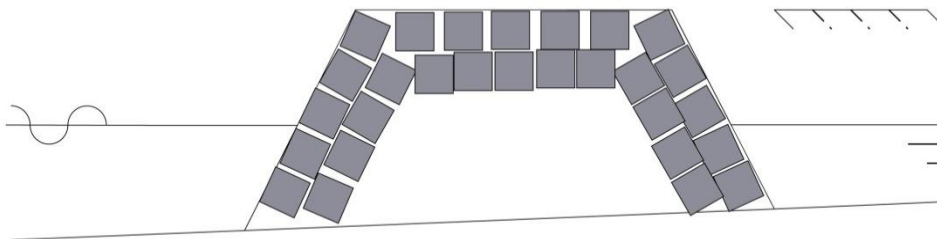


Figura 3.10. Construção de um quebramar submerso do lado exposto à ondulação.

- **Funcionamento básico** – através da equação 1.1 é possível verificar que a altura de onda máxima é proporcional à profundidade de água disponível. Se a profundidade de água junto à estrutura for menor devido à introdução de um quebramar submerso a barlamar da estrutura, a onda máxima que pode chegar ao talude exposto é menor.
- **Objectivos** – Propiciar a rebentação da onda antes de esta chegar à estrutura, diminuindo a acção hidrodinâmica da agitação e os galgamentos.
- **Vantagens** – Confere um elevado grau de protecção à estrutura existente. Possível acumulação de sedimentos entre o quebramar submerso e a estrutura existente.
- **Desvantagens** – Elevado custo de construção. Dificuldade e complexidade construtiva. Não substitui camadas exteriores por novos blocos.
- **Variáveis no dimensionamento** – Como as setas a vermelho da figura 3.10 indicam, a escolha desta solução implica a consideração de uma série de variáveis. A largura do quebramar submerso, a sua altura, inclinação dos taludes laterais, bem como o material que o constitui e a distância à estrutura principal, são parâmetros que o projectista necessita otimizar para obter o resultado mais eficaz e económico possível.

► **Medida 10:** Aumento da permeabilidade da estrutura, figura 3.11.

a) Antes



b) Depois

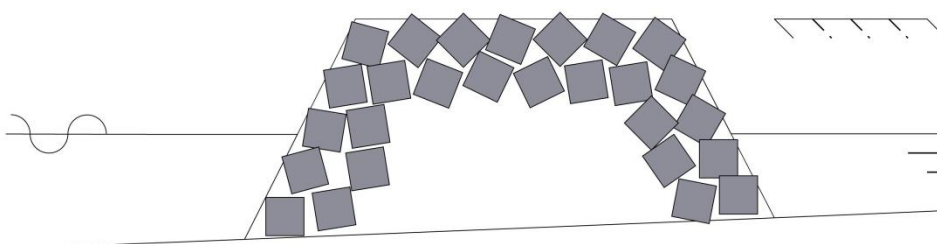


Figura 3.11. Aumento da permeabilidade da estrutura.

- **Funcionamento básico** – Com base nas conclusões de 2.2.1.4 é possível concluir que um aumento da permeabilidade diminui a necessidade de blocos mais pesados. Logo, o aumento de porosidade aumenta a estabilidade da estrutura e conduz a uma maior dissipação de energia.

- **Objectivos** – Conduzir a uma maior dissipação de energia sem alterar os blocos.

- **Vantagens** – Facilidade quando esta medida é aplicada em projecto ou na realização de intervenções na estrutura. Economia do processo caso seja aplicada nas condições referidas.

- **Desvantagens** – Diminuição do coeficiente de estabilidade, pelo que tem de ser uma medida estudada de forma aprofundada. A maior desarrumação dos blocos pode ser menos preferível em zonas populacionais pelo efeito estético.

- **Variáveis no dimensionamento** – A porosidade de uma estrutura pode variar segundo um intervalo, tal como mostra a figura 2.2. A escolha da percentagem de variação relativamente à porosidade inicial tem de ser estudada de forma a não diminuir a estabilidade dos blocos e a não fragilizar a organização da estrutura.

► **Medida 11:** Introdução de ancoragens ou pregagens no talude posterior para aumentar coeficiente de estabilidade, figura 3.12.

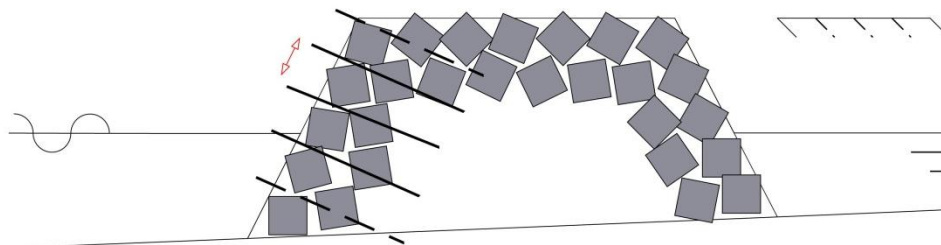
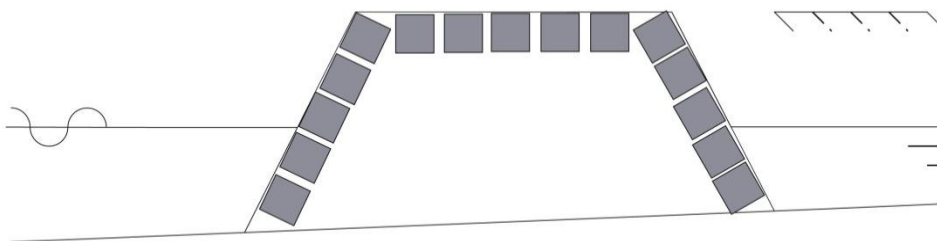


Figura 3.12. Introdução de ancoragens ou pregagens na estrutura.

- **Funcionamento básico** – Com base nos conhecimentos adquiridos nas obras de Geotecnia, a introdução de ancoragens ou pregagens conduz a um aumento activo ou passivo, respectivamente, da estabilidade da estrutura.
- **Objectivos** – Aumentar a estabilidade dos blocos.
- **Vantagens** – Não é necessária a alteração do tipo ou peso dos blocos.
- **Desvantagens** – Corrosão das ancoragens. Dificuldade de mobilização de acções de ancoragens e pregagens. Solução não testada.
- **Variáveis no dimensionamento** – São variáveis desta solução, o material usado nas ancoragens e pregagens, a distância entre varões, a profundidade de penetração e a inclinação dos varões.

► **Medida 12:** Aumento do peso dos blocos, figura 3.13.

a) Antes



b) Depois

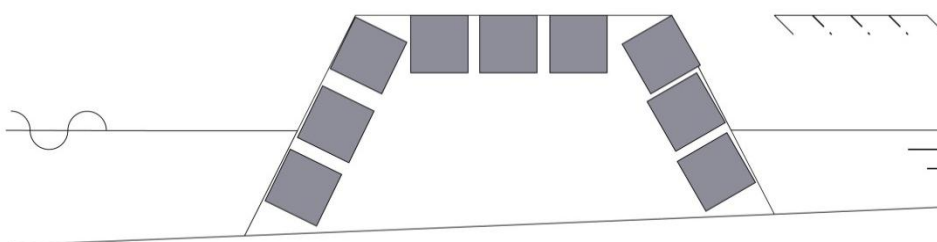
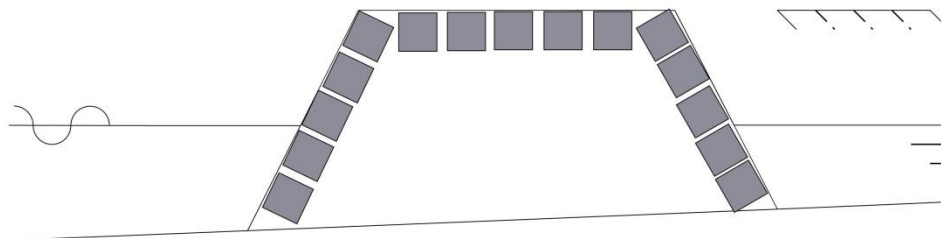


Figura 3.13. Alteração no peso dos blocos mantendo o mesmo tipo de bloco.

- **Funcionamento básico** – Segundo as expressões de Hudson e de Van Der Meer, o aumento do peso dos blocos dos mantos expostos confere uma maior estabilidade à estrutura.
- **Objectivos** – Permite aumentar a estabilidade da estrutura, mantendo o mesmo tipo de blocos.
- **Vantagens** – Uso do mesmo tipo de blocos. Mantem-se a forma inicial da estrutura. Renovação dos blocos das camadas exteriores. Aplicável a todo o tipo de estrutura.
- **Desvantagens** – Podem advir dificuldades técnicas com implicação nos custos de produção e aplicação de blocos de maior dimensão.
- **Variáveis no dimensionamento** – O volume e o peso dos blocos usados depende do nível de estabilidade que se pretende dar à estrutura. Quanto maior o peso dos blocos mais a estrutura resiste às acções do mar, mas maior o custo de aquisição, transporte e colocação dos mesmos, pelo que a escolha final tem de ser uma solução economicamente viável. A utilização de betões de alta densidade possibilita o aumento do peso individual dos blocos com vantagens por não conduzir a um aumento do volume (o que é favorável para a estabilidade).

► **Medida 13:** Substituição de blocos por outros com um maior coeficiente de estabilidade, KD, tal como ilustrado na figura 3.14.

a) Antes



b) Depois

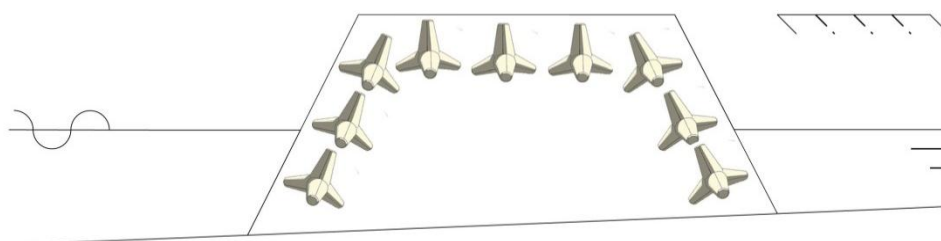


Figura 3.14. Alteração do tipo de blocos usados.

- **Funcionamento básico** – De acordo com as tabelas 2.2, 2.3 e 2.4 do subcapítulo 2.1.1, a cada tipo de bloco estão associados intervalos de variação do coeficiente de estabilidade KD, conforme o nível de danos admitido e a inclinação do talude. A escolha de blocos com um maior KD torna a estrutura mais estável às acções marítimas.
- **Objectivos** – Aumentar a estabilidade da estrutura inicial para fazer face às acções introduzidas pelas alterações climáticas, sem alterar a forma e a estrutura inicial.
- **Vantagens** – No caso de estruturas situadas na linha de costa não influencia as áreas afectadas pela obra.
- **Desvantagens** – Necessidade de mudar o tipo de bloco, o que pode trazer custos adicionais e dificuldades construtivas.
- **Variáveis no dimensionamento** – Em muitos casos a substituição do enrocamento por tetrápodes ou cubos pode ser vantajosa. Noutros casos, a substituição de tetrápodes por cubos, como na figura 3.14., também pode trazer vantagens, devido ao maior coeficiente de estabilidade que apresentam.

► **Medida 14:** Reforço dos fundos na proximidade do pé-de-talude da estrutura com um tapete de protecção, figura 3.15.

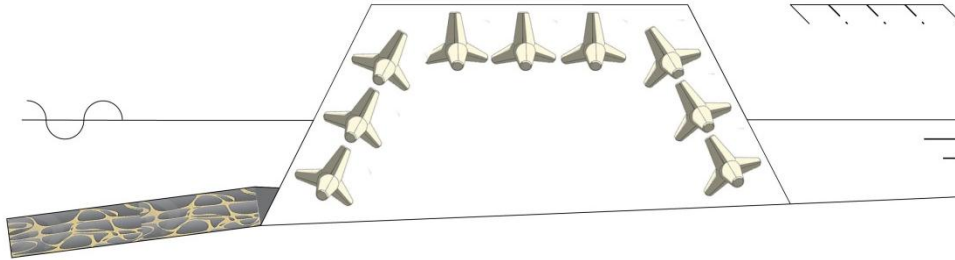


Figura 3.15. Construção de tapete de protecção.

- **Funcionamento básico** – A estabilização dos fundos móveis na proximidade do pé-de-talude da estrutura impede a sua instabilização por “descaçamento”.
- **Objectivos** – Devido à intensificação das acções hidrodinâmicas e à diminuição do volume de sedimentos no sistema, as estruturas podem ser afectadas por infra-escavações na proximidade do local onde se apoia a sua base, conduzindo à instabilização da estrutura costeira.
- **Vantagens** – Aumenta a estabilidade da estrutura, evitando o risco de desmoronamentos e reparações avultadas.
- **Desvantagens** – Obra difícil de realizar, mesmo com boas condições meteorológicas e marítimas.
- **Variáveis no dimensionamento** – Neste tipo de solução as variáveis a considerar são: a espessura da camada a colocar sobre o leito e a sua constituição. É possível usar tapetes de enrocamento, de materiais sintéticos, ou outros que resistam às acções marítimas.

- **Medida 15:** Alimentação artificial dos fundos adjacentes com areias, figura 3.16.

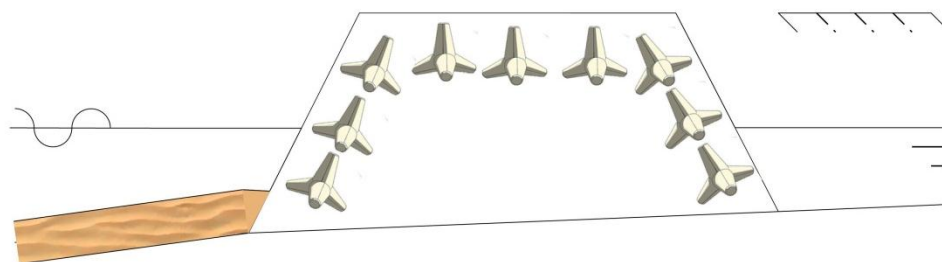


Figura 3.16. Alimentação artificial de areia.

- **Funcionamento básico** – O reforço da base da estrutura reduz a sua instabilidade por “descaçamento”.
- **Objectivos** – Introduzir sedimentos no sistema costeiro de forma a evitar a instabilização das estruturas costeiras.
- **Vantagens** – Apresenta resultados visíveis e tem um impacto positivo em todo o sistema.
- **Desvantagens** – Custo elevado. O efeito poderá ser de curta duração, sendo necessária a realização de novas operações de alimentações periodicamente.
- **Variáveis no dimensionamento** – Para esta solução, as variáveis a considerar passam pela forma como é introduzida a areia no sistema, isto é, se directamente na base da estrutura ou nas praias para depois ser redistribuída, qual a quantidade a ser introduzida e a monitorização que se segue, de forma a controlar o efeito pretendido.

3.2.2. MEDIDAS APLICÁVEIS A PORTOS

Para além das medidas referidas até agora, no caso dos portos podem ser ainda aplicadas outras medidas específicas.

- **Medida 16:** Criação ou melhoria de um sistema de alerta para temporais marítimos, para que se possam tomar medidas de emergência e de prevenção.
- **Medida 17:** Possibilidade de fechar ou condicionar a circulação marítima durante os períodos de temporal.

► **Medida 18:** Construção de quebramares destacados no interior do porto para minimizar a entrada de ondulação (figura 3.17), tendo em conta novos rumos de agitação que não foram inicialmente considerados como críticos.

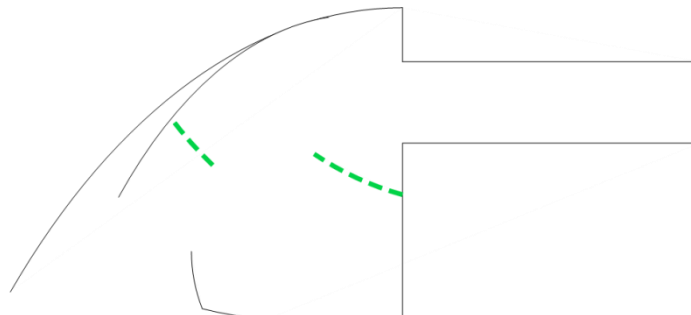


Figura 3.17. Quebramares interiores, esquema para portos da costa oeste portuguesa.

► **Medida 19:** Construção de quebramares destacados no exterior do porto para evitar a entrada de ondulação no interior do porto (figura 3.18), tendo em conta novos rumos de agitação que não foram inicialmente considerados como críticos.

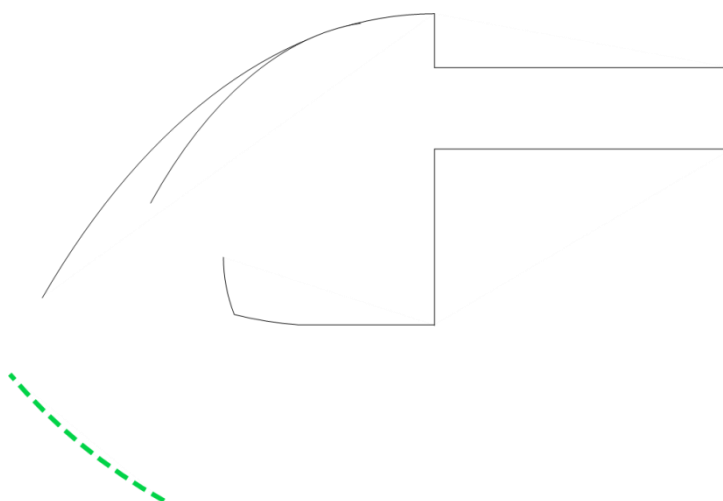


Figura 3.18. Quebramar destacado exterior, esquema para portos da costa oeste portuguesa.

► **Medida 20:** Construção de novos quebramares, correspondentes a uma rotação das estruturas existentes, caso exista uma mudança dos rumos de agitação marítima que interfiram com o bom funcionamento do porto, figura 3.19.

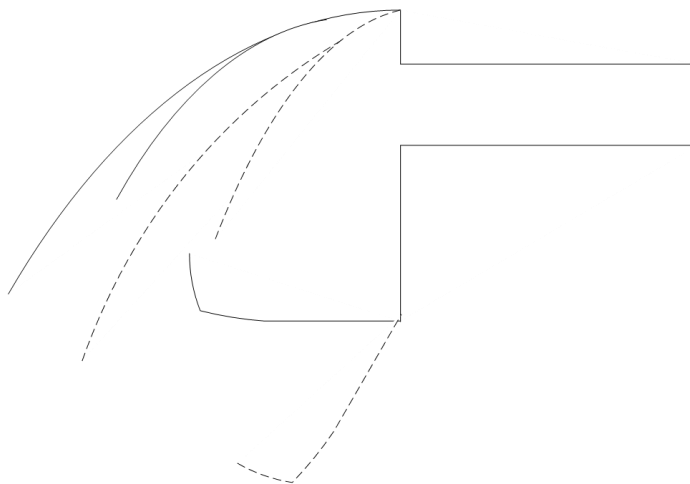


Figura 3.19. Novos quebramares caso ocorra mudança dos rumos de agitação marítima, esquema para portos da costa oeste portuguesa.

► **Medida 21:** Construção de estrutura flutuante amovível para fecho do porto em caso de temporal, a fim de evitar a entrada de ondulação no porto, figura 3.20.

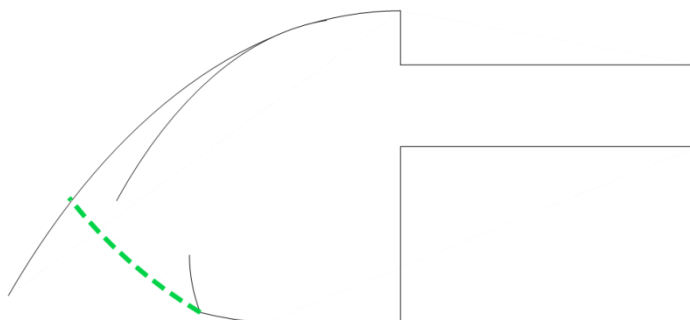


Figura 3.20. Barreira flutuante amovível para impedimento da entrada de agitação elevada no interior de um porto, esquema para portos da costa oeste portuguesa.

► **Medida 22:** Construção de uma mega eclusa na entrada no porto, que passa a estar com um nível de água desejável, inferior ao exterior (figura 3.21), em caso de temporal e maré cheia.

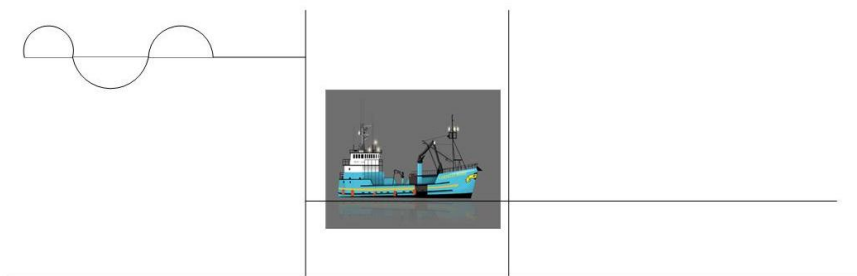


Figura 3.21. Mega eclusa para portos.

3.3. NOVOS PROJECTOS

Nos novos projectos podem ser tomadas medidas com vista à preparação das estruturas costeiras e portuárias para uma adaptação fácil às condições futuras. Em primeiro lugar é possível dimensionar a estrutura para condições mais desfavoráveis do que as que actualmente existem na costa portuguesa, ou até mais desfavoráveis do que as tendências indicam, fazendo assim um dimensionamento pelo lado da segurança.

Depois é possível conceber a estrutura de forma a possibilitar o “upgrade” dos blocos, cotas e inclinações.

► **Medida 23:** Dotar o coroamento da estrutura de uma largura adicional para que no futuro possa ser construído um muro cortina sem prejudicar a largura útil para movimento de transporte e maquinaria, figura 3.22.

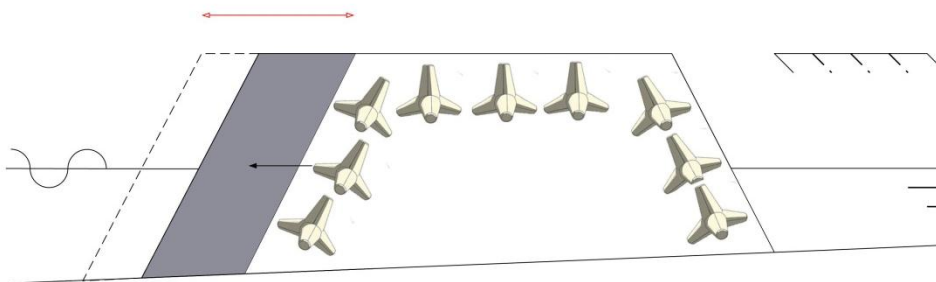


Figura 3.22. Preparação de estrutura para futuras modificações.

3.4. MEDIDAS DE CARÁCTER ORGANIZACIONAL E LEGISLATIVO

Para além das medidas práticas apresentadas anteriormente, existem outras, fundamentais para o bom funcionamento das estruturas, de carácter mais normativo e relacionadas com o estabelecimento de “regras”.

► **Medida 24:** Revisão da legislação relativa às empreitadas, a fim de acelerar os processos jurídico-administrativos de adjudicação de obras de reabilitação costeira.

► **Medida 25:** Consideração de um período de vida inferior ao projectado inicialmente para as estruturas já existentes, devido à possível intensificação, em alguns casos de forma exponencial, das acções climáticas, antecipando as obras de remodelação e substituição.

► **Medida 26:** Adopção de medidas preventivas, associadas a antecipação, discussão, planeamento, monitorização, que sejam tomadas antes que os impactos se verificarem no sistema costeiro e baseadas em cenários de Alterações Climáticas.

► **Medida 27:** Actualização e melhoria das bases de dados. Esta medida é fundamental para perceber a evolução da costa portuguesa e qual a magnitude dos fenómenos envolvidos, pois o SIAM II (2006) também refere falhas nas bases de dados, tal como na topografia de alta resolução e no conhecimento científico regional. Estas falhas estendem-se aos outros dados meteorológicos e marítimos, cujo registo tem poucos anos e só recentemente beneficia de uma grande precisão.

► **Medida 28:** Aplicação dos limites da “Zona Tampão”, definida actualmente como a faixa a salvar devido a variações dinâmicas ou ao agravamento da exposição aos níveis costeiros.

► **Medida 29:** Actualização das cartas de risco e maior investimento na monitorização da costa portuguesa.

3.5. ORGANIZAÇÃO TEMPORAL

Um dos aspectos a ter em conta na tomada de qualquer uma das medidas apresentadas é a escala temporal com que devem ser aplicadas.

Uma medida pode ser optimizada para colmatar o efeito de uma dada tendência, mas a sua aplicação, se não for bem programada, pode ser implantada cedo demais ou tarde demais. No segundo caso, podem ocorrer impactos que seriam evitáveis com a introdução da alteração em questão mais cedo.

Agruparam-se as medidas anteriormente referidas, no quadro 3.1, indicando-se nele a prioridade de cada medida.

Tabela 3.1. Escala temporal para aplicação de medidas.

Medida	Escala temporal ideal			
	Prioritário	Ao longo do tempo	Quando se verificarem os impactos	Não crítico
1			x	
2		x		
3		x		
4		x		
5		x		
6		x		
7		x		
8		x		
9			x	
10		x		
11		x	x	
12		x		
13		x		
14			x	
15		x		
16				x
17				x
18			x	
19			x	
20			x	
21			x	
22				x
23	x			
24	x			
25				x
26	x			
27	x			
28	x			
29	x			

3.6. CONCLUSÕES SOBRE AS MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO

- Analisando estas medidas estruturais, é possível verificar que a maior parte são independentes umas das outras. Tal facto permite a combinação de várias soluções a fim de resolver um conjunto de problemas existentes, conjugando as vantagens de umas e de outras e minimizando os aspectos negativos.
- Para cada medida estrutural é apresentado um conjunto de parâmetros de projecto que terão de ser analisadas pelo projectista e muitas deles através de estudos em modelos para chegar à melhor solução.
- A melhor solução estrutural terá de ser economicamente viável, resolver os problemas, ou pelo menos parte, para a qual foi pensada sem agravar outros mais importantes, conseguir uma boa integração paisagística, respeito e conservação dos ecossistemas (pela aplicação de Estudos de Impacto Ambiental) e que convirjam no sentido de fáceis alterações construtivas da estrutura para adaptações progressivas às condições de futuro.

- A eficácia de cada medida apresentada depende de estrutura para estrutura, de local para local e das condições locais existentes, sendo necessário antes da implementação destas, um estudo aprofundado e quando possível recorrendo a modelos físicos.
- Existem medidas de carácter legislativo e organizacional que terão de ser implementadas para qualquer tipo de intervenção, de forma a criar uma gestão do sistema costeiro mais eficiente e que na sua maioria têm um carácter prioritário.
- A eficácia das medidas estruturais depende intrinsecamente da eficácia das medidas legislativas e organizacionais.
- A eficácia de qualquer medida depende da escala temporal em que esta é realizada, existindo medidas que devem ser tomadas desde já e outras só fazem sentido quando se verificarem os impactos das Alterações Climáticas.
- Existem ainda medidas que podem ser tomadas ao longo do tempo aproveitando manutenções, reparações e reabilitações para as introduzir, levando a um custo menor da sua introdução na estrutura.
- Existem medidas que neste momento não têm um carácter crítico, pelo menos para a costa portuguesa. Se as Alterações Climáticas modificarem demasiado os extremos dos fenómenos climáticos, então serão soluções a ter em conta.

4

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Na elaboração desta dissertação foi possível retirar algumas conclusões quanto à temática das Mudanças Climáticas e as suas implicações em intervenções costeiras.

No **capítulo 1**, referente às Mudanças Climáticas foi possível atingir os vários objectivos propostos:

- Distinção dos conceitos Alterações Climáticas, Variabilidade Climática e Acções Antrópicas. Introdução do conceito Mudanças Climáticas para designar o conjunto dos três conceitos anteriores.
- Identificação da origem, tendências e efeitos dos fenómenos que estão na base das Mudanças Climáticas.
- Percepção de que as Mudanças Climáticas e seus efeitos sobre as zonas costeiras podem sofrer influência de acções directas e indirectas do Homem.
- Construção de um esquema que relaciona as Mudanças Climáticas e o encadeamento de todos os seus efeitos directos e indirectos.
- Determinação de possíveis tendências para o futuro dos vários parâmetros climáticos, permitindo preparar as intervenções costeiras para as condições climáticas e marítimas possíveis.
- Percepção da importância dos sistemas de *Feedback* nas Mudanças Climáticas, que podem agravar de forma inesperada os impactos previstos.
- Determinação das previsíveis alterações nas acções de projecto, no que diz respeito aos níveis de água, número e persistência de tempestades, altura de onda, rumos, correntes marítimas e sedimentos.
- Verificação de que as tendências indicadas na maioria dos estudos sobre as acções de projecto são válidas como valores globais, podendo os valores em cada país, região e local serem muito diferentes dos mencionados.
- Verificação da existência de um grau de incerteza elevado quanto à evolução e tendências das acções de projecto, especialmente à escala regional e local.

No **capítulo 2**, o estabelecimento de gráficos e regressões permitiu retirar as seguintes ideias principais.

- Na análise das expressões conclui-se que através das tendências definidas no capítulo 1 para as acções de projecto, é possível determinar quais as alterações que se podem realizar no peso dos blocos ou a nível de outras características estruturais.
- As expressões de Hudson e de Van Der Meer apresentam ambas vantagens e desvantagens, pelo que o estudo recai sobre as duas nesta dissertação.
- Na análise dos gráficos e regressões podem ser retiradas algumas conclusões gerais:
 - Um aumento na altura de onda (H) implica um aumento no peso dos blocos (W) para garantir as mesmas condições de estabilidade;
 - Na generalidade dos casos, uma diminuição na inclinação do talude (Θ) implica uma diminuição no peso dos blocos (W) para conseguir garantir as mesmas condições de estabilidade;
 - A consideração de blocos com maior coeficiente de estabilidade (KD) implica um menor peso nos blocos (W), para garantir as mesmas condições de estabilidade;
 - A consideração de uma organização de blocos com maior permeabilidade (P) implica um menor peso nos blocos (W), para garantir as mesmas condições de estabilidade;

- A possibilidade de um nível de danos admissível superior (S), implica um menor peso nos blocos (W) para conseguir o mesmo nível de estabilidade na estrutura;
 - Um aumento do número de ondas (Nz) conduz à necessidade de um maior pesos nos blocos da estrutura (W), para garantir as mesmas condições de estabilidade;
 - Um aumento no período de onda (T), conduz à necessidade de um menor peso nos blocos (W) para conseguir a mesma estabilidade da estrutura em alguns casos e, um maior peso nos blocos, noutros casos;
 - No caso geral, um aumento da altura de onda (H) implica um aumento da permeabilidade (P), para garantir as mesmas condições de estabilidade.
- Na análise realizada às estruturas gerais da costa portuguesa aplicam-se as conclusões retiradas na análise dos gráficos e regressões, podendo acrescentar-se ainda, que as maiores variações a nível de condições marítimas e alterações estruturais para colmatar os efeitos das Mudanças Climáticas, estão associadas a pequenas profundidades.
 - Na análise realizada com mais pormenor à variação dos períodos de onda (T), é possível constatar que existem várias expressões que relacionam este parâmetro com o peso dos blocos, concluindo-se que, em alguns casos, um aumento de T implica um aumento de W e, noutros o contrário.
 - No estudo realizado ao coeficiente de estabilidade (KD), conclui-se que a escolha deste parâmetro pode ter uma grande relevância no peso dos blocos escolhidos, superior às incertezas introduzidas pelas Mudanças Climáticas. Desta forma a sua escolha tem de ser muito ponderada e poder-se-ão escolher blocos com maior KD para atender às alterações das condições climáticas.
 - Na análise do transporte sedimentar longitudinal conclui-se que face à rotação esperada para a costa portuguesa de 5° a 15° no sentido dos ponteiros do relógio, ocorrerá uma diminuição no transporte potencial dos sedimentos. Já face a um aumento da altura de onda (H), a capacidade de transporte longitudinal aumenta, mas sempre com um menor peso do que a alteração prevista pela modificação dos rumos.

No **capítulo 3** foi proposto um conjunto de medidas para atender às previsíveis Mudanças Climáticas, apresentando-se algumas das ideias principais a reter.

- Na análise das medidas de adaptação propostas é possível verificar que estas têm, na sua maioria, um carácter independente. Podem ser assim aplicadas várias medidas para conjugar as vantagens de cada uma e compensar as desvantagens que possam apresentar a nível individual.
- A eficácia da aplicação de medidas estruturais depende da eficácia das medidas legislativas e organizacionais, e vice-versa.
- A eficácia de cada medida depende da escala temporal com que é aplicada. Uma medida pode ter um carácter prioritário, pode ser aplicada ao longo do tempo, pode ser aplicada apenas quando se verificarem os impactos ou pode ter um carácter não crítico.
- Este capítulo representa uma compilação de medidas que podem ser postas em prática para diminuir os impactos das Mudanças Climáticas, algumas já usadas, outras inovadoras, mas que necessitam de ser testadas.

- As medidas propostas não podem ser tomadas como soluções generalizáveis para qualquer tipo de obra e local, pois a sua implementação vai depender de estudos que tenham em conta as condições locais e um dimensionamento adequado.

No que diz respeito a **desenvolvimentos futuros**, a complexidade do tema não permitiu algumas abordagens, tal como a análise de bases de dados climatéricos de Portugal para determinação com maior nível de precisão as tendências nacionais, a realização de ensaios em modelo para analisar com maior rigor qual a influência de cada parâmetro da agitação marítima nas estruturas costeiras e a realização de ensaios em modelo para perceber a eficácia das medidas estruturais propostas para atender às Mudanças Climáticas. Deixa-se assim a possibilidade destes temas serem abordados futuramente por outras investigações, que poderão tomar como base esta dissertação.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- Andrade, C.; Teixeira, S.; Reis, R.; Freitas, C. (1996). *The Record of Storminess of the Portuguese NW Coast in Newspaper Sources, Partnership in Coastal Zone Management*. Taussik J. and Mitchell J. (eds), Samara Publishing Limited, pp. 159-166. [citado por SIAM II, 2006]
- CEM (2006). *Coastal Engineering Manual*. U.S. Army Corps of Engineers (ed), NY, USA.
- CERC (1984). *Shore Protection Manual*. Washington, DC: U.S. Army Corps of Engineers. Coastal Engineering and Research Center, U.S. Government Printing Office. [citado por Silva, R. 2010]
- Coelho, C.; (2005). *Riscos de Exposição Ambiental de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira*. Tese de Doutoramento, Secção Autónoma de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.
- CS (2007). *Coastal Structures 2007: Proceedings of the 5th International Conference, 2 – 4 July 2007 (2 Volumes)*. Franco, F.; Tomasicchio, G; Lamberti, A; (ed), Venice, Italy.
- CSB (1992). *Coastal Structures And Breakwaters*. ICE Publishing (ed), London, United Kingdom.
- Dias, J.A.; Taborda, R. (1992). *Tidal Gauge Data in Deducing Secular Trends of Relative Sea Level and Crustal Movements in Portugal*. Journal of Coastal Research 8:655-659. [citado por SIAM II, 2006]
- IES (2006). *Marine and Coastal Dimension of Climate Change in Europe, A report to the European Water Directors*. Nicolas Hoepffner (ed), Ispra, Italy.
- IPCC (2007a). *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007*. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (2007b). *Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007*. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kamphuis, J.W. (2002). *Alongshore Transport of Sand*. In: *28th International Conference on Coastal Engineering, Cardiff Wales*, pp. 2478-2490. American Society of Civil Engineers. [citado por Silva, R. 2010]
- LNEC, (1996). *Instalação de uma Monobóia para Descarga de Petróleo Bruto para a Refinaria do Porto - Caracterização das Condições Naturais*. Relatório LNEC N°172/96 - NPP, Proc. 603/01/12727, Lisboa, Portugal.
- Øivind, A; Arntsen; Alf Tørum (2007). Climate Change – An assessment of the impacts on coastal engineering in Norway. In *Coastal Structures 2007: Proceedings of the 5th International Conference, 2 – 4 July 2007*, vol.II, pp. 1716-1727, Franco, F.; Tomasicchio, G; Lamberti, A; (ed), Venice, Italy. [citado por CS, 2007]
- Olabarrieta, M; Medina, R; Losada, I.J.;Mendez, F.J. (2007). Potential impact of Climate Change on coastal structures: Application to the Spanish littoral. In *Coastal Structures 2007: Proceedings of the 5th International Conference, 2 – 4 July 2007*, vol.II, pp. 1728-1739, Franco, F.; Tomasicchio, G; Lamberti, A; (ed), Venice, Italy. [citado por CEM, 2007]

Pedersen, J. (1996). *Wave Forces and Overtopping on Crown Walls of Rubble Mound Breakwaters: an Experimental Study*. Ph.D.-afhandling, Series Paper, nr. 12 (ed.), Aalborg Universitetsforlag, Aalborg. [citado por CEM, 2006]

Roed, L.P.; Debernard, J.; (2005). Framtidige endringer i bolge – og stormflokklimate. CICERO, argang 14, Nr 1 februar 2005. [citado por CS, 2007]

SIAM II (2006). *Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação - Projecto SIAM II*. F.D. Santos e P. Miranda (eds), Lisboa, Portugal.

Silva, R. (2010). *Avaliação experimental e numérica de parâmetros associados a modelos da evolução de linha de costa*. Dissertação de Doutoramento, FEUP.

Soulsby, R. (1997). *Dynamics of Marine Sands - A Manual for Practical Applications*. Thomas Telford, London, 249 p. [citado por Coelho, 2005]

SPM (1984). *Shore Protection Manual*. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station (ed), Washington, D.C., USA.

Tucker, M.J. (1991). *Waves in Ocean Engineering: measurement, analysis and interpretation*; Ellis Horwood, New York. [citado por Coelho, 2005]

Veloso-Gomes (1990). Agitação marítima – Texto de apoio Trabalhos Marítimos 1, MIEC, Feup. https://www.fe.up.pt/si/conteudos_geral.conteudos_ver?pct_pag_id=1639&pct_parametros=p_ano_lectivo=2010/2011-y-p_cad_codigo=EC0098-y_p_perodo=1S&pct_disciplina=&pct_grupo=26027#26027. 1/3/2011.

Veloso-Gomes F.; Taveira-Pinto, F.; Neves, L.; Pais Barbosa, J.; Coelho, C.; (2004). *Erosion risk levels at the NW Portuguese coast: The Douro mouth-Cape Mondego stretch*. J. Coastal Conserv., 10: 43-52. [citado por IES, 2006]

Sítios da Internet:

<http://rst.gsfc.nasa.gov> 1/3/2011

<http://www.heatingoil.com/blog/green-power-ocean-currents-development/> 15/3/2011