



**Márcia Lima**

**PROGRAMAÇÃO DE MÉTODOS DE  
PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE OBRAS COSTEIRAS**





**Márcia Lima**

## **PROGRAMAÇÃO DE MÉTODOS DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE OBRAS COSTEIRAS**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Doutor Carlos Daniel Borges Coelho, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, e co-orientação científica do Doutor Paulo Barreto Cachim, Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.



## **o júri**

presidente

**Prof<sup>a</sup>. Doutora Margarida João Fernandes de Pinho Lopes**  
professora auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutor Fernando Francisco Machado Veloso Gomes**  
professor catedrático da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

**Prof. Doutor Carlos Daniel Borges Coelho**  
professor auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutor Paulo Barreto Cachim**  
professor associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro



## **agradecimentos**

Porque a realização deste trabalho não seria possível sem o apoio de muitos daqueles que me são próximos... reservo este espaço para agradecer a alguns dos que, directa ou indirectamente, contribuíram para a elaboração desta dissertação.

Aos meus pais, pelo apoio incondicional e, essencialmente, pela oportunidade de poder chegar até aqui... Ao meu irmão, à minha avó e restante família, pela ajuda, companhia e apoio, sempre que necessário.

Ao André, pela ajuda, apoio, incentivo e sobretudo pela compreensão e paciência nos momentos menos fáceis.

À Vanessa, ao Cardoso, ao Quintino, ao Zé Pedro, ao Noddy e ao Tiago, pela amizade, companheirismo e momentos bem passados!

Ao meu orientador, professor Carlos Coelho, pelo empenho, disponibilidade, pela compreensão e ajuda, pelas minuciosas correcções, dicas prestadas e, essencialmente, pelo incentivo durante a realização deste trabalho.

Ao professor Paulo Cachim, co-orientador desta dissertação, pelas sugestões, revisões efectuadas e críticas construtivas, que assim contribuíram para o aperfeiçoamento do resultado final.

À engenheira Lucília Luís, da Consulmar, pelos documentos disponibilizados e enviados.

A todos... muito OBRIGADO!





## palavras-chave

Obras de defesa costeira, pré-dimensionamento, análise de sensibilidades, programação, modelo numérico

## resumo

As zonas do litoral enfrentam graves problemas de erosão. O importante déficit sedimentar, a crescente pressão urbana sobre as zonas costeiras e o continuado recuo da posição da linha de costa, permitem projectar que os investimentos necessários na realização e manutenção de obras de defesa costeira sejam cada vez maiores.

A existência de inúmeras formulações para o pré-dimensionamento de obras de defesa costeira e a necessidade de compreender a influência da variação dos parâmetros envolvidos, nos resultados finais, torna útil o desenvolvimento de ferramentas automáticas, que permitam a comparação de diferentes soluções, com o intuito de obter resultados otimizados, de forma rápida e expedita. Assim, o presente trabalho teve como objectivo principal, o desenvolvimento de uma aplicação informática (*D-Coast*), utilizando a linguagem C#, que permita, essencialmente, a determinação do peso unitário dos blocos do manto resistente, para diferentes formulações e tipos de obra.

O modelo *D-Coast* foi desenvolvido com o intuito de facilitar os processos de cálculo, de forma a possibilitar uma rápida comparação entre várias soluções alternativas, e a auxiliar a realização de análises de sensibilidades às variáveis envolvidas no cálculo. Assim, pretendeu-se que o modelo fosse expedito, com uma interface gráfica intuitiva e de fácil utilização. Para além disso, o modelo possibilita, não só a realização de um cálculo isolado, mas também de cálculo repetido, originando tabelas de resultados, que possam ser exportadas para Excel®. O *D-Coast* engloba o pré-dimensionamento de estruturas não galgáveis, galgáveis e submersas, considerando três formulações distintas para os cálculos no primeiro caso (Hudson, van der Meer para enrocamento e van der Meer/Jong para tetrápodos) e uma formulação nos outros dois tipos de estruturas (van der Meer para enrocamento).

Recorrendo ao *D-Coast*, foi realizada uma análise de sensibilidades, para todas as formulações e diversos parâmetros, com o objectivo de avaliar qual a influência da variação de cada um dos parâmetros no valor final do peso unitário dos blocos do manto resistente das obras de defesa costeira. Admitindo uma situação de projecto hipotética, são apresentados alguns exemplos de cálculo e construídas tabelas de pré-dimensionamento expedito, que fornecem o peso unitário dos blocos para diferentes combinações dos parâmetros envolvidos. Por fim, foram realizadas algumas análises, que são posteriormente comparadas com estudos existentes na bibliografia, validando os resultados obtidos no *D-Coast*.



**keywords**

Shore protection structures, pre-design, sensitive analysis, programming, numeric model

**abstract**

The coastal areas are facing serious erosion problems. The important sediment deficit, the increasing of urban pressure on coastal areas and the continuous shoreline retreat, anticipate increasing investments to build and maintain shore protection structures along the coast.

Different pre-design formulations for shore protection structures and the need to understand the influence of the involved parameters in the final result, makes necessary the development of automatic tools that allow the comparison of different solutions in order to get optimized results. So, the main purpose of this work was the development of software (*D-Coast*), using C# language, which allows essentially the calculation of armor layer blocks unit weight, for different formulations and types of structures.

*D-Coast* was developed in order to facilitate calculation processes, allowing a quick comparison between several alternative solutions, and to assist sensitive analysis about variables involved in the calculation. Therefore, this tool should be resourceful, with an intuitive and easy graphical interface. In addition, it allows not only isolated calculations, but also repeated calculations, obtaining tables of results, exportable to Excel files. The *D-Coast* encompasses not-overtopped, low-crested and submerged structures pre-design, considering three different formulations for the first case (Hudson and van der Meer for rocks and van der Meer/Jong for tetrapods) and a single formulation in the other types of structures (van der Meer for rocks).

Using *D-Coast*, a sensitive analysis was performed for all formulations and various parameters, in order to evaluate each parameter influence on the final value of armor layer blocks weight. Assuming an hypothetical design situation, some calculation examples were exposed. Some pre-design tables were prepared, which provide the blocks weight for different combinations of the parameters involved. Finally, some analysis were performed and compared with case studies presented in the literature, validating the results obtained by *D-Coast*.



## ÍNDICES

---



## ÍNDICE GERAL

|   |           |
|---|-----------|
| ÍNDICE GERAL .....                          | xv        |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                     | xix       |
| ÍNDICE DE TABELAS .....                     | xxv       |
| LISTA DE SÍMBOLOS .....                     | xxix      |
| <br>  |           |
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                  | <b>3</b>  |
| 1.1. Enquadramento .....                    | 3         |
| 1.2. Objectivos .....                       | 4         |
| 1.3. Metodologia .....                      | 5         |
| <br>  |           |
| <b>2. OBRAS DE DEFESA COSTEIRA .....</b>    | <b>9</b>  |
| 2.1. Descrição e Classificação .....        | 9         |
| 2.1.1. Esporões .....                       | 10        |
| 2.1.2. Obras longitudinais aderentes .....  | 13        |
| 2.1.3. Quebramares destacados .....         | 14        |
| 2.2. Escolha do Tipo de Obra .....          | 15        |
| 2.3. Secção Transversal .....               | 16        |
| 2.4. Materiais .....                        | 18        |
| 2.4.1. Enrocamento .....                    | 19        |
| 2.4.2. Blocos pré-fabricados de betão ..... | 20        |
| 2.5. Estabilidade Estrutural .....          | 21        |
| 2.6. Monitorização e Manutenção .....       | 22        |
| 2.7. Notas Finais .....                     | 23        |
| <br>  |           |
| <b>3. PRÉ-DIMENSIONAMENTO .....</b>         | <b>27</b> |
| 3.1. Acções .....                           | 28        |
| 3.1.1. Ondas .....                          | 28        |
| 3.1.2. Marés .....                          | 33        |
| 3.1.3. Correntes .....                      | 33        |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 3.2.      | Manto Resistente .....                                | 34        |
| 3.2.1.    | Estruturas não galgáveis .....                        | 35        |
| 3.2.2.    | Estruturas galgáveis.....                             | 42        |
| 3.2.3.    | Estruturas submersas .....                            | 43        |
| 3.3.      | Secção Transversal .....                              | 44        |
| 3.4.      | Notas Finais .....                                    | 46        |
| <b>4.</b> | <b>PROGRAMA <i>D-COAST</i> .....</b>                  | <b>51</b> |
| 4.1.      | Linguagem de Programação .....                        | 51        |
| 4.2.      | Descrição do <i>D-Coast</i> .....                     | 52        |
| 4.3.      | Utilização do <i>D-Coast</i> .....                    | 56        |
| 4.3.1.    | Iniciar o programa .....                              | 56        |
| 4.3.2.    | Barra de menus .....                                  | 57        |
| 4.3.3.    | Iniciar novo cálculo .....                            | 59        |
| 4.3.4.    | Janelas de cálculo .....                              | 59        |
| 4.3.5.    | Tabelas de resultados .....                           | 69        |
| 4.4.      | Notas Finais .....                                    | 70        |
| <b>5.</b> | <b>ANÁLISE DE SENSIBILIDADES .....</b>                | <b>73</b> |
| 5.1.      | Estruturas Não Galgáveis .....                        | 73        |
| 5.2.      | Estruturas Galgáveis.....                             | 77        |
| 5.3.      | Estruturas Submersas .....                            | 79        |
| 5.4.      | Discussão dos Resultados.....                         | 80        |
| 5.4.1.    | Hudson (genérica) - não galgável.....                 | 82        |
| 5.4.2.    | Van der Meer (enrocamento) - não galgável.....        | 84        |
| 5.4.3.    | Van der Meer e Jong (tetrápodos) - não galgável ..... | 87        |
| 5.4.4.    | Van der Meer (enrocamento) - galgável .....           | 89        |
| 5.4.5.    | Van der Meer (enrocamento) - submersa .....           | 90        |
| 5.4.6.    | Tabela resumo .....                                   | 91        |
| 5.5.      | Notas Finais .....                                    | 92        |
| <b>6.</b> | <b>APLICAÇÃO DO <i>D-COAST</i>.....</b>               | <b>95</b> |
| 6.1.      | Exemplos de Cálculo.....                              | 95        |



---

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 6.2.      | Tabelas de Pré – Dimensionamento .....  | 103        |
| 6.3.      | Validação de Resultados.....            | 113        |
| 6.4.      | Notas Finais .....                      | 118        |
| <b>7.</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>        | <b>121</b> |
| 7.1.      | Conclusões.....                         | 121        |
| 7.2.      | Desenvolvimentos Futuros .....          | 123        |
|           | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b> | <b>127</b> |



**ÍNDICE DE FIGURAS**

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Danos ocorridos em 2011, por efeito do fenómeno de erosão costeira. ....   | 4  |
| Figura 2: Comportamento de um esporão isolado e de um campo de esporões (French, 2001).....                                    | 11 |
| Figura 3: Formas típicas de esporões e respectivo comportamento (baseado em Castanho, 1962 e Reeve <i>et al.</i> , 2004). .... | 11 |
| Figura 4: Esporão isolado e esporão com obra longitudinal aderente (Coelho, 2005).....   | 12 |
| Figura 5: Aspecto da linha de costa com um campo de esporões. ....   | 12 |
| Figura 6: Obra longitudinal aderente (Coelho, 2005).....   | 13 |
| Figura 7: Perfil-tipo de obras longitudinais aderentes (baseado em Fleming <i>et al.</i> , 1998). ....                         | 13 |
| Figura 8: Formação de tómbolo num quebramar destacado e comportamento de um conjunto de quebramares (Basco, 2006).....         | 15 |
| Figura 9: Secção transversal-tipo de estruturas em talude (Burcharth e Hughes, 2006b)... ..                                    | 17 |
| Figura 10: Fase construtiva de uma obra longitudinal aderente. ....  | 17 |
| Figura 11: Exemplo de fissuração num tetrápodo. ....   | 19 |
| Figura 12: Formas típicas de rotura (Burcharth e Hughes, 2006a). ....  | 21 |
| Figura 13: Detalhe da solução de dimensionamento de uma fundação (baseado em CIRIA, 2007b).....                                | 21 |
| Figura 14: Relação entre custos e o período de retorno considerado (Herbich, 2000).....  | 23 |
| Figura 15: Faseamento de um projecto de obras costeiras (baseado em Pita, 1985). ....  | 27 |
| Figura 16: Características principais de uma onda (baseado em RGCI, 2011).....   | 29 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 17: Formulações consideradas no <i>D-Coast</i> , para o pré-dimensionamento do peso dos blocos a colocar no manto resistente das estruturas. ....         | 35 |
| Figura 18: Factor de permeabilidade (baseado em Burcharth e Hughes, 2006b). ....   | 39 |
| Figura 19: Representação da altura de galgamento (Burcharth e Hughes, 2006b). ....   | 43 |
| Figura 20: Representação da altura da obra submersa. ....  | 44 |
| Figura 21: Parâmetros considerados para a avaliação das características da secção transversal. ....  | 44 |
| Figura 22: Organigrama do programa de cálculo <i>D-Coast</i> . ....  | 54 |
| Figura 23: Janelas de abertura do <i>D-Coast</i> . ....  | 56 |
| Figura 24: Janela inicial do <i>D-Coast</i> . ....   | 57 |
| Figura 25: Barra de menus do <i>D-Coast</i> . ....   | 57 |
| Figura 26: Janela de cálculo da formulação de Hudson (estruturas não galgáveis), correspondente à situação de cálculo isolado. ....                              | 60 |
| Figura 27: Janela de cálculo da formulação de Hudson (estruturas não galgáveis), correspondente a uma análise de sensibilidades. ....                            | 60 |
| Figura 28: Janela de cálculo da formulação de van der Meer para enrocamento (estruturas não galgáveis), correspondente à situação de cálculo isolado. ....       | 64 |
| Figura 29: Janela de cálculo da formulação de van der Meer e Jong para tetrápodos (estruturas não galgáveis), correspondente à situação de cálculo isolado. .... | 65 |
| Figura 30: Janela de cálculo da formulação de van der Meer para enrocamento (estruturas galgáveis), correspondente à situação de cálculo isolado. ....           | 66 |
| Figura 31: Janela de cálculo da formulação de van der Meer para enrocamento (estruturas submersas), correspondente à situação de cálculo isolado. ....           | 67 |
| Figura 32: Exemplo de uma tabela de resultados do <i>D-Coast</i> . ....  | 69 |

---

|  |    |
|--|----|
| Figura 33: Aspecto do ficheiro de Excel® referente à tabela de resultados da Figura 32. .  | 70 |
| Figura 34: Peso dos blocos de estruturas não galgáveis, de acordo com a formulação de Hudson (genérica).....   | 75 |
| Figura 35: Peso dos blocos de estruturas não galgáveis, de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento), para diferentes valores de inclinação do talude. ....          | 76 |
| Figura 36: Peso dos blocos de estruturas não galgáveis, de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento), para diferentes valores de peso volúmico dos blocos. ....      | 76 |
| Figura 37: Peso dos blocos de estruturas não galgáveis, de acordo com a formulação de van der Meer e Jong (tetrápodos), para diferentes valores de peso volúmico dos blocos..... | 78 |
| Figura 38: Avaliação do efeito da altura de galgamento, no peso dos blocos de estruturas galgáveis, de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento). ....               | 79 |
| Figura 39: Avaliação do efeito da profundidade e altura da obra, no peso dos blocos de estruturas submersas, de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento). ....      | 80 |
| Figura 40: Influência do nível de dano no valor final do peso unitário dos blocos, de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento). ....                                | 82 |
| Figura 41: Acréscimo relativo do peso dos blocos, tendo em conta a variação da inclinação do talude, de acordo com a formulação de Hudson.....                                   | 83 |
| Figura 42: Acréscimo relativo do peso dos blocos, tendo em conta a variação do coeficiente de estabilidade, de acordo com a formulação de Hudson. ....                           | 83 |
| Figura 43: Acréscimo relativo do peso dos blocos, tendo em conta a variação do peso volúmico do material, de acordo com a formulação de Hudson. ....                             | 84 |
| Figura 44: Acréscimo relativo do peso dos blocos, tendo em conta a variação da inclinação do talude, de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento). ....              | 85 |
| Figura 45: Acréscimo relativo do peso dos blocos, tendo em conta a variação do peso volúmico do material, de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento). ....         | 86 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 46: Pormenorização dos resultados da Figura 35, para baixas alturas de onda. ....   | 86  |
| Figura 47: Acréscimo relativo do peso dos blocos, tendo em conta a variação do período de onda, permeabilidade e número de ondas, de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento).....      | 87  |
| Figura 48: Pormenorização dos resultados da Figura 37, para baixas alturas de onda. ....   | 88  |
| Figura 49: Acréscimo relativo do peso dos blocos, tendo em conta a variação do período de onda, número de ondas e nível de dano de acordo com a formulação de van der Meer e Jong (tetrápodos). .... | 89  |
| Figura 50: Redução do valor do peso dos blocos, para diferentes valores $R_c$ , considerando $H = 7$ m, de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento).....                                | 90  |
| Figura 51: Acréscimo relativo do peso dos blocos, tendo em conta a variação da profundidade, considerando a altura da obra submersa fixa ( $h'_c = 3$ m). ....                                       | 90  |
| Figura 52: Acréscimo relativo do peso dos blocos, tendo em conta a variação da altura da obra submersa, considerando o valor da profundidade local fixo ( $d = 9$ m). ....                           | 90  |
| Figura 53: Secção transversal-tipo, correspondente aos exemplos de cálculo.....  | 96  |
| Figura 54: Resultados do <i>D-Coast</i> , para a formulação de Hudson, considerando enrocamento (estrutura não galgável). ....   | 97  |
| Figura 55: Resultados do <i>D-Coast</i> , para a formulação de van der Meer, considerando enrocamento (estrutura não galgável). ....   | 98  |
| Figura 56: Resultados do <i>D-Coast</i> , para a formulação de van der Meer e Jong, considerando tetrápodos (estrutura não galgável). ....   | 99  |
| Figura 57: Resultados do <i>D-Coast</i> , para a formulação de van der Meer, considerando enrocamento (estrutura galgável). ....   | 100 |
| Figura 58: Resultados do <i>D-Coast</i> , para a formulação de van der Meer, considerando enrocamento (estrutura submersa). ....   | 101 |

---

|  |     |
|--|-----|
| Figura 59: Acréscimo relativo do peso dos blocos, considerando a formulação de van der Meer (enrocamento), para os três tipos de obra.....   | 102 |
| Figura 60: Acréscimos relativos do peso dos blocos, consoante o tipo de material (enrocamento e tetrápodos) e formulação (Hudson e van der Meer). .....  | 103 |
| Figura 61: Influência da inclinação do talude na variação do número de estabilidade, de acordo com a formulação de Hudson (não galgável). .....  | 114 |
| Figura 62: Influência do número de Iribarren na variação do número de estabilidade para diferentes permeabilidades, de acordo com a formulação de van der Meer para enrocamento (não galgável).....    | 114 |
| Figura 63: Influência da declividade média na variação do número de estabilidade para diferentes níveis de dano, de acordo com a formulação de van der Meer e Jong para tetrápodos (não galgável)..... | 116 |
| Figura 64: Relação entre altura submersa relativa e número de estabilidade espectral, para diferentes níveis de dano, de acordo com a formulação de van der Meer (submersa).....                       | 117 |





## ÍNDICE DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1: Critério de classificação do tipo de rebentação das ondas (baseado em Coelho, 2005 e Burcharth e Hughes, 2006b). .....  | 33 |
| Tabela 2: Nomenclatura adoptada para as formulações do manto resistente. ....   | 35 |
| Tabela 3: Coeficiente de estabilidade recomendado para blocos de betão (Fleming <i>et al.</i> , 1998). .....  | 37 |
| Tabela 4: Valores recomendáveis para o nível de dano ( $S$ ), de mantos resistentes constituídos por duas camadas de enrocamento (Burcharth e Hughes, 2006b). ....      | 39 |
| Tabela 5: Valores para o nível de dano ( $N_{od}$ ), considerando duas camadas de blocos de betão (CIRIA, 2007a). .....   | 41 |
| Tabela 6: Peso unitário dos blocos a colocar nas subcamadas, filtros e núcleos. ....  | 45 |
| Tabela 7: Valores do coeficiente de camada e da porosidade consoante o tipo de bloco, considerando duas camadas de manto resistente (Burcharth e Hughes, 2006b). ....   | 46 |
| Tabela 8: Parâmetros da formulação de Hudson (não galgável). .....  | 63 |
| Tabela 9: Parâmetros da formulação de van der Meer para enrocamento (não galgável)...   | 64 |
| Tabela 10: Parâmetros da formulação de van der Meer e Jong para tetrápodos (não galgável). .....  | 65 |
| Tabela 11: Parâmetros da formulação de van der Meer para enrocamento (galgável). ....   | 66 |
| Tabela 12: Parâmetros da formulação de van der Meer para enrocamento (submersa). ....   | 67 |
| Tabela 13: Parâmetros relativos às características da secção transversal. ....  | 68 |
| Tabela 14: Altura de onda (m) correspondente à transição entre ondas oscilatórias e mergulhantes, para diferentes permeabilidades, inclinações e períodos de onda. .... | 85 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 15: Influência do acréscimo dos diferentes parâmetros no valor final do peso dos blocos. ....   | 91  |
| Tabela 16: Resumo dos resultados obtidos para a formulação de Hudson, considerando enrocamento (estrutura não galgável). ....  | 97  |
| Tabela 17: Resumo dos resultados obtidos para a formulação de Hudson, considerando tetrápodos (estrutura não galgável). ....   | 98  |
| Tabela 18: Resumo dos resultados obtidos para a formulação de van der Meer, considerando enrocamento (estrutura não galgável). ....  | 99  |
| Tabela 19: Resumo dos resultados obtidos para a formulação de van der Meer e Jong, considerando tetrápodos (estrutura não galgável). ....                                      | 100 |
| Tabela 20: Resumo dos resultados obtidos para a formulação de van der Meer, considerando enrocamento (estrutura galgável). ....  | 100 |
| Tabela 21: Resumo dos resultados obtidos para a formulação de van der Meer, considerando enrocamento (estrutura submersa). ....  | 101 |
| Tabela 22: Peso unitário dos blocos, correspondente aos exemplos de cálculo. ....  | 102 |
| Tabela 23: Pré-dimensionamento do peso blocos (kN), de acordo com a formulação de Hudson (genérica), para estruturas não galgáveis. ....                                       | 104 |
| Tabela 24: Pré-dimensionamento do peso dos blocos (kN), de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento), para estruturas não galgáveis ( $P = 0,1$ e $S = 2$ ). ....  | 105 |
| Tabela 25: Pré-dimensionamento do peso dos blocos (kN), de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento), para estruturas não galgáveis ( $P = 0,6$ e $S = 2$ ). ....  | 106 |
| Tabela 26: Pré-dimensionamento do peso dos blocos (kN), de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento), para estruturas não galgáveis ( $P = 0,1$ e $S = 10$ ). .... | 107 |
| Tabela 27: Pré-dimensionamento do peso dos blocos (kN), de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento), para estruturas não galgáveis ( $P = 0,6$ e $S = 10$ ). .... | 108 |

---

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 28: Pré-dimensionamento do peso dos blocos (kN), de acordo com a formulação de van der Meer e Jong (tetrápodos), para estruturas não galgáveis. ....        | 109 |
| Tabela 29: Factor de redução ( $f_i'$ ), de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento), para estruturas galgáveis. ....                                 | 110 |
| Tabela 30: Pré-dimensionamento do peso dos blocos (kN), de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento), para estruturas submersas ( $S = 2$ ). ....      | 111 |
| Tabela 31: Pré-dimensionamento do peso dos blocos (kN), de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento), para estruturas não galgáveis ( $S = 10$ ). .... | 112 |
| Tabela 32: Resultados obtidos por Basco e Hughes (2006), [1], e pelo <i>D-Coast</i> , [2], para o exemplo apresentado. ....  | 117 |



## LISTA DE SÍMBOLOS

### Abreviaturas e acrónimos

|                |  |
|----------------|--|
| <i>D-Coast</i> | Design of COAstal STructures             |
| <i>LNEC</i>    | Laboratório Nacional de Engenharia Civil |
| <i>NMM</i>     | Nível médio das águas do mar             |
| <i>POO</i>     | Programação Orientada a Objectos         |

### Letras latinas maiúsculas

|                        |   |
|------------------------|---|
| <i>B</i>               | Largura de coroamento   |
| <i>C</i>               | Cota de coroamento  |
| <i>D<sub>n50</sub></i> | Diâmetro nominal (corresponde ao comprimento da aresta de um cubo de volume equivalente ao bloco)                         |
| <i>D<sub>n</sub></i>   | Diâmetro nominal (equivalente a <i>D<sub>n50</sub></i> para blocos pré-fabricados de betão)                               |
| <i>H</i>               | Altura de onda incidente na estrutura (altura de onda de projecto)  |
| <i>H'</i>              | Altura de onda (diferença entre o nível das cristas e cavas)  |
| <i>H<sub>s</sub></i>   | Altura de onda significativa (média do terço mais elevado das alturas de onda registadas durante o período de observação) |
| <i>H<sub>2%</sub></i>  | Altura de onda excedida em 2% do total de ondas registadas  |
| <i>H/V</i>             | Inclinação do talude (horizontal/vertical)  |
| <i>K<sub>D</sub></i>   | Coefficiente de estabilidade  |
| <i>L'</i>              | Comprimento de onda (distância entre dois pontos homólogos consecutivos)  |
| <i>L<sub>o</sub></i>   | Comprimento de onda ao largo ( <i>L<sub>om</sub></i> - médio; <i>L<sub>op</sub></i> - pico)                               |

|          |   |
|----------|---|
| $L_p$    | Comprimento de onda local de pico   |
| $M_{50}$ | Massa dos blocos a colocar no manto resistente ( $M_{50} = \rho_s D_{n50}^3$ )                              |
| $N_z$    | Número de ondas   |
| $N_s$    | Número de estabilidade ( $N_s = H/(\Delta D_{n50})$ )   |
| $N_s^*$  | Número de estabilidade espectral ( $N_s = [H/(\Delta D_{n50})]s_p^{-1/3}$ )                                 |
| $N_{od}$ | Número de blocos deslocados do manto resistente, numa camada de espessura $D_n$ (nível de dano)             |
| $N_a/A$  | Número de blocos por unidade de área  |
| $P$      | Permeabilidade do manto resistente  |
| $P'$     | Porosidade das camadas do manto resistente  |
| $R_c$    | Altura de galgamento (distância entre o nível médio das águas e a cota de coroamento da estrutura galgável) |
| $S$      | Área erodida relativa ou nível de dano admissível   |
| $T$      | Período de onda (intervalo correspondente à passagem de duas cristas)                                       |
| $T_m$    | Período de onda médio   |
| $T_p$    | Período de onda de pico   |
| $W$      | Peso unitário dos blocos a colocar no manto resistente  |

### Letras latinas minúsculas

|        |  |
|--------|--|
| $d$    | Profundidade local   |
| $f$    | Frequência (número de cristas que passa num dado ponto, $f = 1/T$ )  |
| $f_i$  | Factor de redução ( $D_{n50,Galgável} = f_i D_{n50,Não\ Galgável}$ ) |
| $f'_i$ | Factor de redução ( $W_{Galgável} = f'_i W_{Não\ Galgável}$ )        |
| $g$    | Aceleração da gravidade ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ )                 |

---

|            |  |
|------------|--|
| $h_c$      | Altura de água acima da obra ( $h_c = d - h'_c$ )                          |
| $h'_c$     | Altura da obra (estruturas submersas)                                      |
| $k_\Delta$ | Coefficiente de camada   |
| $n$        | Número de camadas de blocos constituintes do manto resistente              |
| $n_b$      | Número de blocos na berma da largura de coroamento                         |
| $r$        | Espessura das camadas do manto resistente                                  |
| $s_o$      | Declividade da onda ao largo ( $s_{om} = H/L_{om}$ e $s_{op} = H/L_{op}$ ) |
| $s_p$      | Declividade da onda local de pico ( $s_p = H/L_p$ )                        |

**Letras gregas:**

|            |   |
|------------|---|
| $\alpha$   | Inclinação do talude da estrutura (relativamente à horizontal)                            |
| $\Delta$   | Densidade relativa ( $\Delta = \gamma_s/\gamma_w - 1$ )                                   |
| $\gamma_s$ | Peso volúmico dos blocos constituintes do manto resistente ( $\gamma_s = \rho_s g$ )      |
| $\gamma_w$ | Peso volúmico da água do mar ( $\gamma_w = \rho_w g$ )                                    |
| $\rho_s$   | Massa volúmica dos blocos constituintes do manto resistente                               |
| $\rho_w$   | Massa volúmica da água do mar   |
| $\xi$      | Número de Iribarren ( $\xi = \tan \alpha/s_o^{0,5}$ )                                     |
| $\xi_m$    | Número de Iribarren médio ( $\xi_m = \tan \alpha/s_{om}^{0,5}$ )                          |
| $\xi_{mc}$ | Número de Iribarren crítico ( $\xi_{mc} = (6,2P^{0,31}(\tan \alpha)^{0,5})^{1/(P+0,5)}$ ) |





## **Capítulo 1**

---

### **INTRODUÇÃO**



# 1. INTRODUÇÃO

As zonas do litoral enfrentam graves problemas de erosão costeira. Este fenómeno, associado ao recuo da posição da linha de costa, pode causar avultados prejuízos, com particular incidência nas frentes urbanas, colocando em risco pessoas e bens. Por este motivo, é essencial o aprofundamento do estudo de métodos de defesa, nomeadamente no que diz respeito à construção de obras de defesa costeira.

Assim, o presente trabalho consiste no desenvolvimento de uma aplicação informática, denominada *D-Coast (Design of COAstal STructures)*, que pretende auxiliar e otimizar a fase de pré-dimensionamento de estruturas de defesa costeira. Apesar de direccionada para obras de defesa, a aplicação da ferramenta desenvolvida pode ser estendida a outros tipos de estruturas marítimas, como é o caso dos quebramares de talude.

## 1.1. Enquadramento

A configuração das costas marítimas está constantemente sujeita a mudanças, que podem ser provocadas a longo prazo, pela acção dos agentes modeladores naturais, ou verificarem-se mais ou menos bruscamente, em virtude de determinadas acções antrópicas terem rompido um equilíbrio inicialmente existente. Estes factores, associados à crescente diminuição dos sedimentos disponíveis (proporcionada pela construção de barragens, revestimentos das margens dos rios, dragagens, etc.), e a climas de agitação muito energéticos, resultam num continuado recuo generalizado da posição da linha de costa.

Devido às constantes alterações climáticas, é de antecipar um agravamento dos problemas de erosão costeira. São cada vez mais frequentes, referências na comunicação social, a situações de temporal, que põem em risco a segurança de pessoas e bens (Figura 1). Assim, em zonas costeiras edificadas, é previsível um aumento dos investimentos necessários à realização e manutenção de intervenções de defesa costeira.

O pré-dimensionamento das estruturas de defesa costeira é baseado em formulações essencialmente empíricas, onde o domínio dos parâmetros envolvidos no cálculo é fundamental para a optimização de resultados. O facto de existirem variadas formulações



a) Praia de Mira



b) Praia da Vagueira

Figura 1: Danos ocorridos em 2011, por efeito do fenómeno de erosão costeira.

relacionadas com o pré-dimensionamento deste tipo de estruturas, aliado à necessidade crescente de agir no sentido da defesa dos litorais, torna necessário o desenvolvimento de ferramentas automáticas que permitam a implementação de diferentes soluções, com o intuito de obter resultados otimizados, de forma rápida e expedita.

Assim, o desenvolvimento de uma ferramenta de cálculo automático que englobe diferentes formulações, consiste num forte contributo para a fase de pré-dimensionamento das obras de defesa, não só em situações de projecto, mas também como apoio na realização de exercícios académicos e estudos científicos.

## 1.2. Objectivos

O principal objectivo deste trabalho consistiu na programação de métodos expeditos de pré-dimensionamento da secção transversal de obras de defesa costeira, através do desenvolvimento de uma aplicação informática, o *D-Coast*. Para além disso, recorrendo ao programa desenvolvido, pretendeu-se realizar uma análise de sensibilidades relativa à influência da variação de cada um dos parâmetros envolvidos no resultado final.

É de referir que, o pré-dimensionamento realizado visou apenas questões relacionadas com o cálculo estrutural, ou seja, a determinação do peso unitário dos blocos constituintes do manto resistente, não considerando, por isso, questões relativas à dinâmica sedimentar e eficácia em termos de combate à erosão costeira.

Pretendeu-se que o programa desenvolvido permitisse a determinação do peso unitário dos blocos do manto resistente, para diferentes tipos de obra (não galgável, galgável e submersa) e diferentes formulações, em função dos parâmetros envolvidos no cálculo. Para

além disso, deveria ainda calcular as restantes características da secção transversal e representar esquematicamente os resultados obtidos, de forma a permitir ao utilizador uma visualização esquemática da solução final.

Para além do cálculo para situações isoladas, O *D-Coast* deveria permitir a análise de sensibilidades dos resultados aos diferentes parâmetros. Assim, para cada um dos parâmetros que influenciam o resultado final, poderão ser construídas tabelas de resultados, de forma a avaliar a influência de cada um deles no valor final do peso unitário dos blocos. Para facilitar as análises, os resultados obtidos pelo *D-Coast* poderão ser exportados para Excel®, permitindo ao utilizador usufruir das potencialidades fornecidas por este *software*.

A análise de sensibilidades realizada no presente trabalho, teve como principal objectivo, a compreensão da influência de cada um dos parâmetros envolvidos, no valor final do peso unitário dos blocos do manto resistente, para que o projectista tenha conhecimento do impacto que a variação de cada parâmetro tem no resultado final.

Recorrendo aos resultados do *D-Coast*, pretendeu-se ainda a elaboração de tabelas de pré-dimensionamento expedito, que forneçam, para cada uma das formulações estudadas, o peso unitário dos blocos do manto resistente, para várias combinações de valores dos parâmetros que o influenciam.

Em suma, pretendeu-se que este trabalho funcionasse como alicerce ao pré-dimensionamento de obras de defesa costeira, uma vez que disponibiliza uma ferramenta de cálculo automático, com uma interface gráfica intuitiva e de fácil utilização, resultados de análises de sensibilidades e tabelas de pré-dimensionamento expedito, permitindo assim tomadas de decisão rápidas e devidamente sustentadas.

### **1.3. Metodologia**

O trabalho inicia-se com um enquadramento geral relativo às obras de defesa costeira. Assim, no Capítulo 2 são apresentados e descritos os principais tipos de obra, as considerações que devem ser tidas em conta na sua construção, materiais disponíveis, constituição da secção transversal, etc. É um capítulo genérico, que pretende contextualizar o caso de estudo do presente trabalho.

No Capítulo 3 apresentam-se as formulações relativas ao pré-dimensionamento das obras de defesa. São descritas as acções que solicitam as estruturas, durante o seu período de vida útil, e apresentadas, detalhadamente, todas as formulações e considerações que devem ser tidas em conta. Pretende-se, com este capítulo, descrever os conceitos teóricos que servem de base ao desenvolvimento do programa de cálculo.

O Capítulo 4 é dedicado à descrição do programa desenvolvido, o *D-Coast*. Neste capítulo é descrita a linguagem de programação utilizada, são apresentadas todas as funcionalidades que o *D-Coast* disponibiliza e são feitas algumas considerações relativas ao seu funcionamento.

A compreensão da influência da variação de cada um dos parâmetros é essencial para a optimização dos resultados, tornando-se necessária a realização de análises de sensibilidades. Assim, no Capítulo 5, são apresentadas as análises realizadas, para cada uma das formulações, e discutidos os resultados obtidos.

O Capítulo 6 demonstra algumas das aplicações possíveis de realizar com o *D-Coast*. São apresentados exemplos de cálculo, descritas as considerações relativas à elaboração das tabelas de pré-dimensionamento e realizadas algumas análises, que são comparadas com estudos existentes na bibliografia.

Por fim, no Capítulo 7, são expostas as considerações finais e propostos alguns desenvolvimentos que poderão ser realizados no futuro, em seguimento do presente trabalho.

## **Capítulo 2**

---

# **OBRAS DE DEFESA COSTEIRA**





## **2. OBRAS DE DEFESA COSTEIRA**

As obras de defesa costeira são intervenções estruturais, que têm como objectivo estabilizar a posição da linha de costa, protegendo as zonas do litoral dos efeitos da erosão. Existem diversos tipos de obras de defesa, cuja aplicação varia, essencialmente, com o local de implantação e com o fim a que se destinam.

Pretende-se com o presente capítulo, realizar um breve enquadramento teórico relativo a diferentes características das obras de defesa costeira. Assim, descrevem-se os principais tipos de obras de defesa (esporões, obras longitudinais aderentes e quebramares destacados), tecem-se algumas considerações relativas à escolha adequada do tipo de obra, tendo em conta as exigências a cumprir, apresentam-se as principais características relativas à constituição da secção transversal e descrevem-se os materiais disponíveis para a sua realização. Para além disso, são ainda feitas referências relativas à execução das fundações, aos principais modos de rotura e à permanente necessidade de monitorização e manutenção das obras de defesa costeira.

### **2.1. Descrição e Classificação**

Elemento de defesa costeira é qualquer obstáculo na zona costeira, que propositadamente ou não, protege a linha de costa da acção do mar. Os elementos de defesa costeira podem ser classificados, quanto à sua natureza, em naturais ou artificiais (Alfredini, 2005):

- ✓ Naturais – são as linhas de defesa das zonas costeiras por excelência, existentes sem que tenha havido intervenção humana. São exemplos deste tipo de elementos, as dunas, as praias e zonas rochosas existentes na interface terra/mar.
- ✓ Artificiais – são todos os elementos de defesa existentes através da intervenção do homem. Incluem-se nesta classificação os elementos de carácter definitivo (obras de defesa costeira) e as intervenções temporárias (como por exemplo, alimentação artificial de praias). Um elemento de protecção costeira artificial é tão mais eficaz, quanto mais as suas características se assemelhem a elementos naturais.

No âmbito do presente trabalho, é importante diferenciar obra de defesa costeira de intervenção de defesa costeira. Consideram-se intervenções de defesa costeira, todas as acções, não naturais, realizadas nas zonas costeiras, que têm como objectivo mitigar problemas de dimensão local ou regional, provocados por efeito da erosão. Obras de defesa costeira são intervenções estruturais, ditas “pesadas”, de carácter definitivo, que têm a função de agir no balanço do transporte sedimentar, favorecendo a estabilização ou a ampliação da linha de costa, ou que pretendem apenas proteger as zonas marginais da ocorrência de galgamentos.

As obras de defesa costeira podem ser classificadas em:

- ✓ Obras paralelas à linha de costa, que podem ser destacadas (quebramares destacados), ou enraizadas (obras longitudinais aderentes).
- ✓ Obras perpendiculares à linha de costa (esporões ou campos de esporões).

Descrevem-se em seguida, os principais tipos de obras de defesa costeira, com aplicação no âmbito do presente trabalho: esporões, obras longitudinais aderentes e quebramares destacados.

### **2.1.1. Esporões**

Um esporão é uma estrutura de protecção costeira, geralmente perpendicular à linha de costa ou fazendo com a normal um ângulo pequeno, cuja função é reter o transporte litoral de sedimentos, de modo a aumentar, ou simplesmente proteger, zonas de praia que se encontrem em erosão (Castanho, 1962). São estruturas geralmente executadas em blocos de enrocamento, blocos de betão, cortinas de estacas-prancha metálicas ou madeira (Coelho, 2005).

Os esporões podem ser empregados isoladamente, ou em conjunto (Figura 2), constituindo neste último caso, um campo de esporões. Geralmente são rectilíneos podendo, no entanto, adquirir outras formas consoante o fim a que se destinam (esporões em forma de T, L, Z, ou Y, representados na Figura 3). Para uma análise das características de cada um destes formatos de esporão pode consultar-se Castanho (1962), Reeve *et al.* (2004) e CIRIA (2007b).

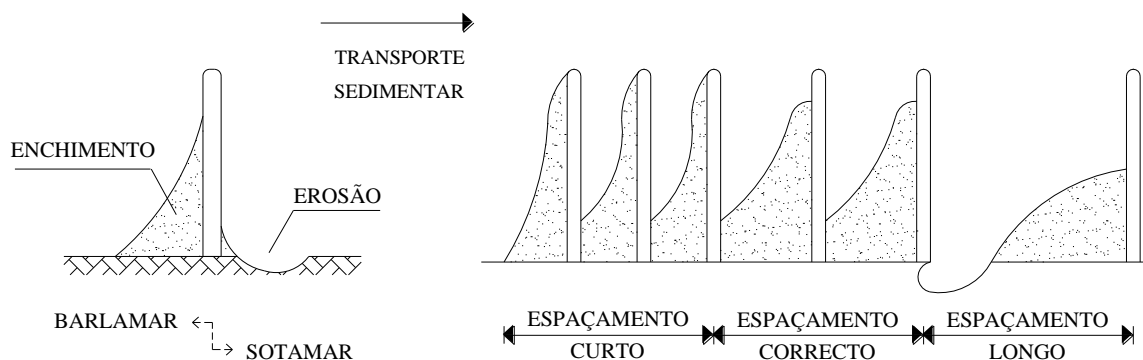


Figura 2: Comportamento de um esporão isolado e de um campo de esporões (French, 2001).

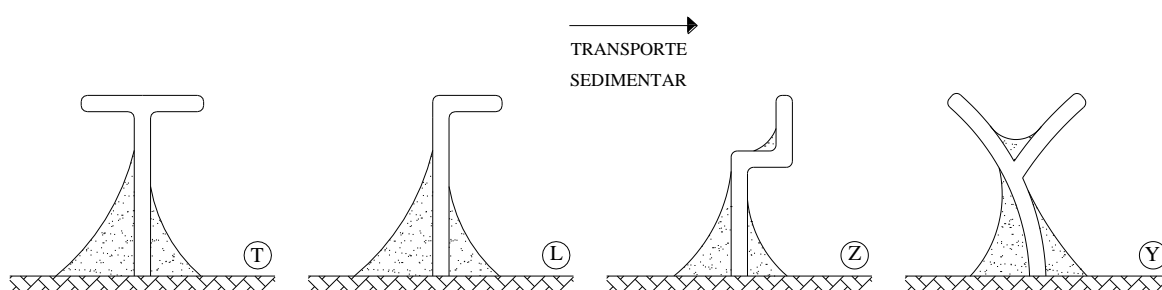


Figura 3: Formas típicas de esporões e respectivo comportamento (baseado em Castanho, 1962 e Reeve *et al.*, 2004).

Os esporões (Figura 4) permitem a acumulação de areias a barlamar da estrutura e promovem a erosão a sotamar. Para que o esporão realize a função para que foi projectado, é necessário que se verifique transporte sedimentar, e nessas situações irá ocorrer a acumulação de areias a barlamar do esporão. Quando não há transporte sedimentar longitudinal, a solução de esporões não deve ser adoptada (Coelho, 2005).

Os esporões podem classificar-se em longos ou curtos, consoante interceptam toda a zona de rebentação ou só parte dela, em altos ou baixos, consoante se pretende que a maioria dos sedimentos fique ou não retida, e em impermeáveis ou permeáveis, caso estes constituam ou não uma barreira total ao transporte de sedimentos (Burcharth e Hughes, 2006a).

As características de um esporão (orientação, comprimento, secção transversal, etc.) dependem essencialmente das condições do local de implantação (características do relevo, dos sedimentos e do clima de agitação) e devem ser definidas de modo a que, a quantidade

de sedimentos interceptada seja o maior possível, aumentando assim a eficácia da obra (CIRIA, 2007b). No entanto, quanto maior for essa eficácia a barlar, maiores serão os impactos negativos a sotamar da estrutura. Esse impacto negativo poderá ser permanente e irreversível ou poderá ser temporário e reversível se após alguns anos o transporte longitudinal for novamente retomado por “saturação” do esporão (Coelho, 2005). Para mitigar o efeito negativo, os esporões são muitas vezes associados a obras longitudinais aderentes, construídas a sotamar (Burcharth e Hughes, 2006a).

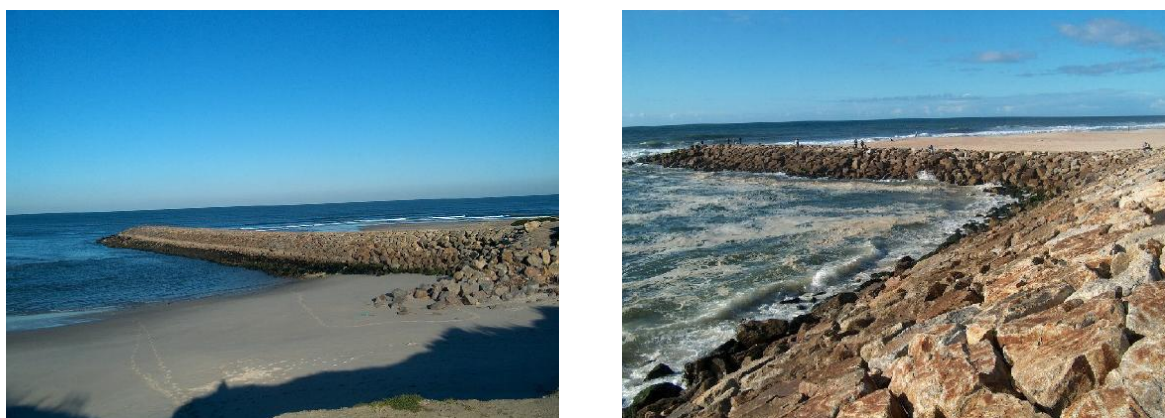


Figura 4: Esporão isolado e esporão com obra longitudinal aderente (Coelho, 2005)

Verifica-se que os campos de esporões (Figura 5) apresentam maior eficácia quando se pretende proteger uma zona extensa de praia, comparativamente aos esporões isolados (Alfredini, 2005). O espaçamento a considerar entre esporões é função do seu comprimento, da direcção das ondas e da intensidade do transporte sedimentar (Castanho, 1962). A construção de esporões deve iniciar-se de sotamar para barlar.



Figura 5: Aspecto da linha de costa com um campo de esporões.

### 2.1.2. Obras longitudinais aderentes

As obras longitudinais aderentes (Figura 6) são estruturas construídas paralelamente à costa e a ela ligadas, que pretendem fixar o limite da praia em zonas não protegidas adequadamente por praia natural, ou em zonas em que se pretende manter a costa em posição avançada relativamente às áreas vizinhas (avenidas à beira-mar por exemplo).



Figura 6: Obra longitudinal aderente (Coelho, 2005).

Consoante o fim a que se destinam, as obras longitudinais aderentes podem desempenhar três funções distintas: resistir à acção das ondas, funcionar como muros de suporte de terras ou evitar galgamentos. Uma obra pode ser construída com a finalidade de resistir a uma só das funções referidas, ou a várias em simultâneo (Castanho, 1962). Quando se pretende que uma obra tenha um efeito duradouro, é conveniente, segundo Alfredini (2005), que esteja associada a outros métodos de defesa costeira (esporões ou alimentação artificial de areias).

As obras longitudinais aderentes podem ser verticais ou em talude, e de variados materiais, consoante a sua configuração (Burcharth e Hughes, 2006a). Na Figura 7 representa-se a secção transversal típica de obras longitudinais aderentes em talude.

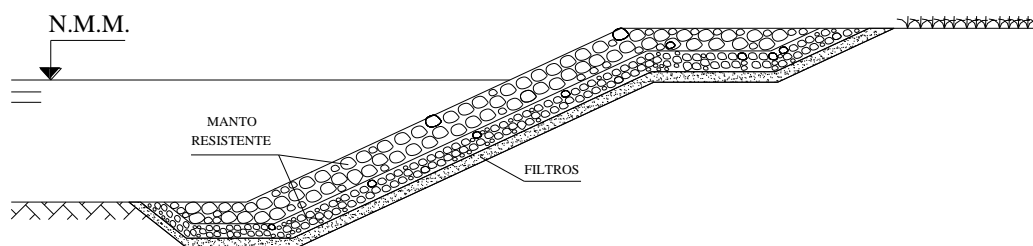


Figura 7: Perfil-tipo de obras longitudinais aderentes (baseado em Fleming *et al.*, 1998).

O comprimento deste tipo de obras deve estar de acordo com o comprimento da zona que se pretende proteger, visto que apenas protegem as zonas adjacentes. Por este motivo, deve ser dada especial atenção ao remate das estruturas. A altura da estrutura deve ser o maior possível, de modo a evitar galgamentos, visto que estes, para além de colocarem em risco as zonas protegidas, podem desencadear o colapso da estrutura. Devido às acções das ondas, podem gerar-se correntes junto às fundações que, ao provocarem erosões, podem também levar ao colapso da estrutura (Castanho, 1962).

### **2.1.3. Quebramares destacados**

Os quebramares destacados são estruturas aproximadamente paralelas à linha de costa, dela desligadas, sendo por isso implantadas a profundidades maiores que as restantes estruturas de defesa costeira (Alfredini, 2005). Podem ser submersos ou emersos, conforme a cota de coroamento se encontre abaixo do nível de baixa-mar ou não, respectivamente (Castanho, 1962).

A principal função deste tipo de estruturas consiste na redução da acção das ondas, através de fenómenos de difracção, fazendo com que atinjam a zona de costa com menores intensidades, diminuindo assim a capacidade erosiva. Assim sendo, é gerada uma zona abrigada no tardo da estrutura que favorece a acumulação de sedimentos transportados pelas correntes (CIRIA, 2007b), podendo criar-se bancos de areia, que podem evoluir para tômbolos. Dependendo da distância a que o quebramar se encontra da costa, estes tômbolos podem ou não fazer a ligação da estrutura à linha de costa (Figura 8). Neste caso, o comportamento da estrutura passa a assemelhar-se ao comportamento dos esporões, interceptando-se os sedimentos transportados longitudinalmente (Alfredini, 2005).

Os quebramares destacados podem funcionar individualmente ou em conjunto (Figura 8), sendo o seu comprimento e a distância que os separa, fundamentalmente, função da distância à linha de costa (CIRIA, 2007b).

O enrocamento é o material mais utilizado para a construção de quebramares destacados, visto que, a rugosidade e a porosidade destes maciços conduzem a baixos valores de reflexão, sendo a energia das ondas fortemente dissipada no talude. A principal desvantagem reside na grande quantidade de material exigido para a construção das

estruturas, o que conduz naturalmente a um elevado custo, optando-se por vezes pela utilização de blocos pré-fabricados de betão (Taveira-Pinto, 2001).

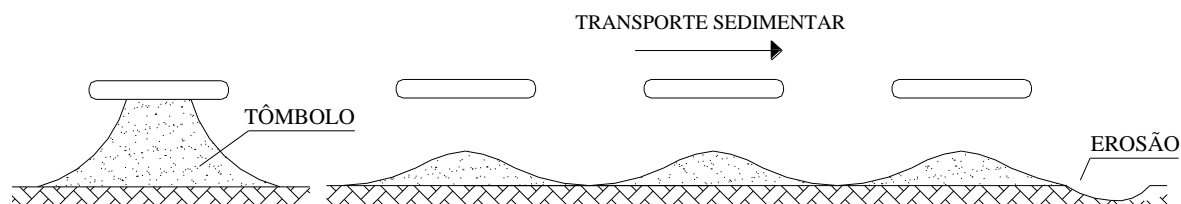


Figura 8: Formação de tómbolo num quebramar destacado e comportamento de um conjunto de quebramares (Basco, 2006).

## 2.2. Escolha do Tipo de Obra

A escolha do tipo de obra de defesa costeira a implementar em determinado local, depende essencialmente das características do local de implantação e da zona que se pretende proteger. No entanto, muitas vezes, na decisão do tipo de intervenção estão questões de ordem política, independentes das características físicas do local (custos, prazos de execução, etc.).

Quando o transporte sedimentar ao longo da costa é abundante e na maioria das vezes ocorre no mesmo sentido, devem ser adoptadas estruturas perpendiculares à linha de costa. Quando o transporte de sedimentos é baixo ou nulo, deve optar-se por estruturas paralelas à linha de costa (destacadas ou não). A posição que se pretende para a linha de costa, o nível médio das águas da zona de implementação, a altura máxima de preia-mar de águas vivas e a altura mínima de baixa-mar de águas vivas, bem como a altura da onda de projecto são, de acordo com CIRIA (2007b), parâmetros preponderantes na escolha do tipo de obra a implementar.

Na definição do tipo de estrutura, para além de questões relacionadas com as características do local, é também necessário ter em conta o impacte ambiental provocado pela construção da obra de defesa (CIRIA, 2007b). Visto que uma intervenção de defesa costeira implica sempre efeitos indesejáveis a sotamar, é importante optar pela estrutura que minimiza esses efeitos. É também importante analisar se a obra a implementar tem um carácter definitivo ou temporário, o que vai influenciar, para além do tipo de obra, a

escolha dos materiais a utilizar (Castanho, 1962). Na decisão final, o factor económico torna-se por vezes crucial, optando-se pelo tipo de estrutura que apresenta uma melhor relação custo-benefício.

Como se pode verificar, são muitos os factores a ter em consideração para a definição do tipo de obra de defesa costeira a implementar em determinado local. Assim sendo, o estudo que antecede um projecto é crucial para o sucesso da obra. Por este motivo, é usual a realização de modelos físicos e matemáticos que simulam o comportamento real da estrutura, pois uma obra mal projectada pode acarretar elevados prejuízos económicos e pode ainda agravar os processos de erosão costeira.

### **2.3. Secção Transversal**

A secção transversal de obras de defesa costeira pode ser considerada mais ou menos constante ao longo do comprimento da estrutura ou pode variar substancialmente. Geralmente, no primeiro caso inserem-se as obras longitudinais aderentes ou quebramares destacados, enquanto o segundo caso se aplica aos esporões.

A secção transversal dos esporões, de acordo com CIRIA (2007b), pode variar muito ao longo do comprimento, em termos de dimensões ou até mesmo em termos de materiais constituintes, visto que se iniciam em zonas da costa pouco profundas (enraizamento da estrutura) e se prolongam até profundidades substanciais (cabeça do esporão).

Relativamente às secções transversais das obras longitudinais aderentes e dos quebramares destacados, apesar de, geralmente, se manterem mais ou menos constantes ao longo do comprimento das estruturas, apresentam muitas diferenças entre si, visto que as primeiras são implantadas junto à costa e as segundas a maiores profundidades.

No âmbito do presente trabalho, consideram-se apenas secções transversais em talude (Figura 9). É de realçar que, por vezes, a secção transversal das obras de defesa costeira pode não estar de acordo com a representada na Figura 9, podendo, nalguns casos, conter o material do manto resistente em toda a zona da secção.

Descrevem-se em seguida as principais considerações relativas às camadas constituintes da secção transversal, largura e cota de coroamento, e inclinação dos taludes.



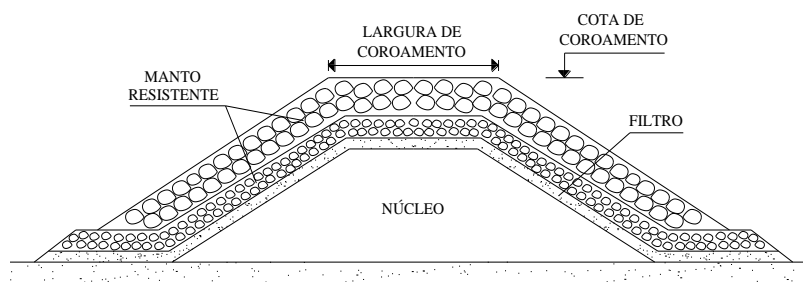


Figura 9: Secção transversal-tipo de estruturas em talude (Burcharth e Hughes, 2006b).

### Camadas constituintes

De acordo com Burcharth e Hughes (2006b), o manto resistente das obras de defesa costeira, isto é, a zona que recebe o impacto de forças induzidas pelas acções que solicitam a estrutura, deve ser constituído por duas camadas, podendo por vezes apresentar três camadas ou apenas uma, apesar de não ser recomendável. Estas considerações aplicam-se tanto no caso de camadas de enrocamento, como no caso de blocos pré-fabricados de betão. A espessura das camadas depende essencialmente do peso e do diâmetro dos blocos que as constituem. Sob as camadas que constituem o manto resistente, existe a camada de filtros e o núcleo. A camada filtrante pode ser de areia e/ou geotêxtil, apresentando este último a vantagem adicional de melhorar o comportamento estrutural. A Figura 10 demonstra a fase construtiva de uma obra longitudinal aderente, onde é possível visualizar as camadas constituintes.



Figura 10: Fase construtiva de uma obra longitudinal aderente.

### Largura e cota de coroamento

Para definir a largura e a cota do coroamento da estrutura é necessário analisar qual o grau de segurança que se pretende para a estrutura, isto é, a frequência com que é permitido que

haja galgamento, visto que é economicamente impossível evitar que este ocorra. Assim sendo, a cota de coroamento é definida em função do espraiamento da onda (altura máxima que a onda pode atingir) na estrutura, conjugado com a frequência permitida para o galgamento. A largura de coroamento é definida geralmente em função da cota de coroamento (Pita, 1986) e depende do valor considerado para o peso unitário dos blocos a colocar no manto resistente (Burcharth e Hughes, 2006b).

### Inclinação dos taludes

A inclinação dos taludes deve ser estabelecida de modo a garantir que a estrutura se encontre hidraulicamente estável, isto é, minimizando o efeito da reflexão da onda na estrutura e conseqüente erosão na zona junto às fundações. Os taludes devem ter uma inclinação que minimize a probabilidade de ocorrência de galgamentos e simultaneamente devem evitar que ocorra a rotura por escorregamento do terreno (CIRIA, 2007b).

## **2.4. Materiais**

Os materiais utilizados nas obras costeiras são determinantes para o respectivo sucesso e longevidade. As propriedades físicas, a resistência, a durabilidade, a flexibilidade, o custo, a disponibilidade de aquisição, os requisitos de manuseamento e manutenção e os impactos ambientais que provocam, são características preponderantes a ter em conta na escolha do material. O conhecimento do desempenho dos materiais em obras costeiras similares, realizadas anteriormente, é um importante contributo na escolha do tipo de material a utilizar (Hughes, 2006). A rocha (enrocamento), a madeira, o aço (e outros metais), a areia, a terra, o betão (betuminoso ou de cimento) e os geotêxteis, são, de acordo com o mesmo autor, exemplos de materiais geralmente utilizados na construção de obras de defesa costeira.

No presente trabalho será dada maior ênfase à construção de obras de defesa costeira cujos mantos resistentes são constituídos por enrocamento ou blocos pré-fabricados de betão (tetrápodos, em particular), aos quais estão geralmente associados materiais como os geotêxteis, areias ou argilas. Os geotêxteis são geralmente utilizados para funções filtrantes ou drenantes, enquanto as areias, para além de poderem desempenhar as mesmas funções, podem também ser utilizadas como material de enchimento no núcleo das estruturas, em conjunto (ou não) com as argilas (CIRIA, 2007b).

O meio ambiente que envolve as obras de defesa costeira é muito agressivo para os materiais constituintes, quer se trate de enrocamento, quer de blocos pré-fabricados de betão. A degradação dos materiais traduzir-se-á numa redução da resistência ao longo do tempo. As causas da deterioração dos materiais podem ser de dois tipos: físicas, que englobam os mecanismos de abrasão, fissuração superficial (Figura 11) e fracturação, ou químicas, que consistem na destruição de um bloco por reacções químicas ou electroquímicas que começam na sua superfície. Verifica-se que tanto o material rochoso, como os blocos pré-fabricados de betão, estão sujeitos às acções de deterioração física. No entanto, no que diz respeito às acções químicas, verifica-se que o efeito no enrocamento é pouco importante (Pita, 1986).



Figura 11: Exemplo de fissuração num tetrápodo.

#### **2.4.1. Enrocamento**

De acordo com CIRIA (2007b), a construção de obras de defesa costeira com recurso a pedra apresenta variados benefícios quando comparada com outros materiais disponíveis. Várias são as razões que justificam a afirmação:

- ✓ Durabilidade - o material rochoso é dos melhores materiais para resistir ao atrito e desgaste provocados pela acção das ondas e marés.
- ✓ Absorção da energia das ondas - o facto das rochas serem porosas e apresentarem faces arredondadas faz com que seja reflectida uma menor percentagem da energia da onda incidente, reduzindo assim os fenómenos de erosão costeira e diminuindo o efeito negativo provocado pela acção da onda na estrutura de defesa.

- ✓ Flexibilidade - o material rochoso adapta-se com facilidade a modificações das condições ambientais. Pode também ser considerado flexível a nível de deformações, adaptando-se facilmente a assentamentos da estrutura.
- ✓ Custo - o material rochoso pode muitas vezes ser adquirido nas imediações do local de construção da obra, o que pode reduzir muito o custo do material em termos de transporte.
- ✓ Impacte visual - considera-se que o material rochoso se integra melhor na envolvente paisagística, reduzindo o impacte visual.

#### **2.4.2. Blocos pré-fabricados de betão**

O betão, tal como o enrocamento, é um material que oferece inúmeras vantagens à construção de obras de defesa costeira, das quais se salientam a elevada resistência à compressão, a consistência e a trabalhabilidade (Hughes, 2006). Relativamente às obras de enrocamento, as estruturas em betão têm a vantagem de, devido à sua maior resistência, ocuparem menor espaço marítimo.

Existem inúmeros tipos de blocos pré-fabricados de betão. A existência de um número tão vasto de blocos deve-se, segundo Pita (1986), a duas razões principais: à insatisfação com as características (hidráulicas e estruturais) dos tipos de blocos existentes e à necessidade de pagamento dos direitos de autor para utilização de alguns desses blocos (o que, para pequenas obras, pode representar um encargo significativo no custo global).

Os cubos, os tetrápodos, os dolos, os acrópodes, e os stabits, são alguns exemplos de blocos pré-fabricados de betão existentes para o manto resistente das obras de defesa costeira. No entanto, no programa de cálculo desenvolvido no âmbito do presente trabalho, para além do enrocamento, apenas se incluem formulações para a determinação do peso unitário de tetrápodos.

O tetrápodo (Figura 11) surgiu em França, em 1950 e, para além de apresentar um bom comportamento hidráulico, é de fácil colocação e fabrico, daí a sua utilização ser tão frequente na construção de mantos resistentes de obras de defesa costeira. Verifica-se que os tetrápodos apresentam mau comportamento hidráulico quando colocados na cabeça das estruturas (Pita, 1986).

## 2.5. Estabilidade Estrutural

A fundação de uma obra de defesa costeira desempenha um papel muito importante na segurança da estrutura, visto que nestas zonas se geram fortes correntes, que podem provocar a remoção dos materiais adjacentes, criando instabilidades que podem levar à rotura (Figura 12a). No caso de obras longitudinais aderentes, a rotura pode ocorrer não só devido à erosão dos fundos, mas também devido ao escoamento gerado no tardoz da estrutura, na sequência de galgamentos (Figura 12b).

Assim, a fundação deve ser dimensionada de modo a proteger a estrutura contra as erosões causadas devido ao movimento da água e ainda de maneira a evitar o deslizamento dos blocos do talude. As fundações devem estar suficientemente profundas para que as areias circundantes não interfiram com a sua estabilidade (Figura 13). Antes da construção de uma obra de defesa costeira é essencial avaliar as características do terreno onde esta vai ser implantada. O material mais utilizado para a execução das fundações é o enrocamento (CIRIA, 2007b).

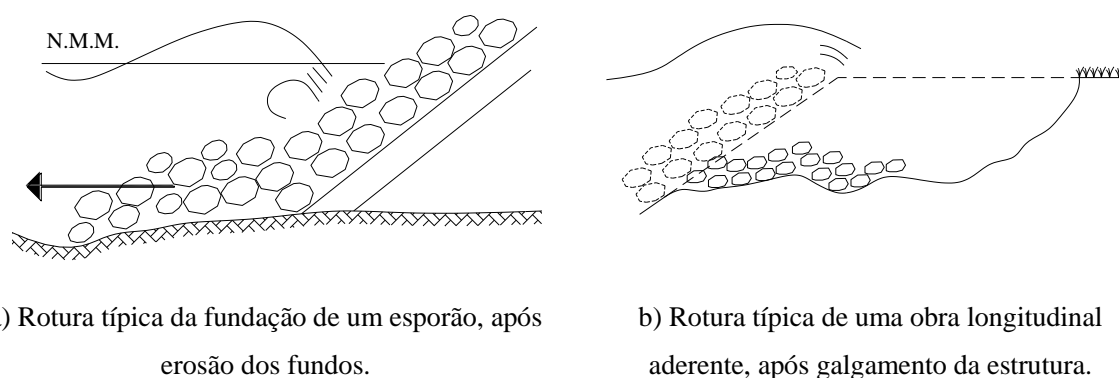


Figura 12: Formas típicas de rotura (Burcharth e Hughes, 2006a).

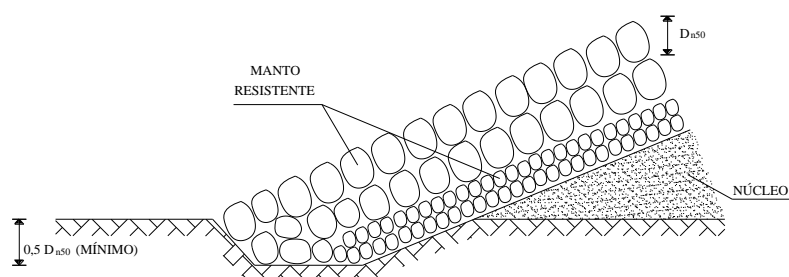


Figura 13: Detalhe da solução de dimensionamento de uma fundação (baseado em CIRIA, 2007b).

## 2.6. Monitorização e Manutenção

A monitorização das obras de defesa costeira é um processo de extrema importância, uma vez que a maior parte dos conhecimentos utilizados no dimensionamento deste tipo de estruturas se baseia na experiência adquirida em construções anteriores, através da observação do seu comportamento em serviço. Por outro lado, a observação das estruturas existentes, também pode permitir prever e planear eventuais obras de manutenção, evitando assim, que a estrutura atinja um nível de degradação tal, que a reparação se torne difícil e de elevado custo.

É importante a observação dos danos associados no manto resistente das estruturas, isto porque, a sua degradação tem influência directa na degradação das camadas inferiores, o que pode levar à rotura da estrutura. Assim, deve recolher-se informação relativa à queda de blocos (número e localização), degradação dos blocos e níveis de assentamento. Quando a estrutura está assente em fundos de areia poderão ocorrer erosões que provoquem assentamentos na estrutura, justificando-se a inspecção periódica das zonas dos fundos (Pita, 1985).

A manutenção de obras de defesa costeira é um assunto que assume particular interesse e ao qual deve ser dada especial atenção, visto que, pode acarretar custos muito significativos, comparativamente aos custos associados à construção da estrutura.

Não é possível o dimensionamento de uma obra de defesa costeira que garanta que o galgamento da estrutura nunca vá ocorrer, visto que isso implicaria custos de construção demasiado avultados. Assim sendo, é necessário ter em conta que em determinadas situações de temporal as estruturas podem ser galgadas, o que pode provocar danos a nível estrutural. O galgamento de obras longitudinais aderentes, por exemplo, pode desencadear escoamentos no tardo da obra que podem levar ao desmoronamento da estrutura, como referido anteriormente.

As correntes que se geram junto às fundações das estruturas podem, a longo prazo, desencadear processos de instabilidade estrutural, como já foi referido, tornando-se assim indispensável uma revisão periódica das estruturas. Como boa prática, pode sugerir-se que seja garantida uma intervenção ligeira nas estruturas de dois em dois anos e uma intervenção profunda após períodos de doze anos (Veloso-Gomes e Taveira-Pinto, 1999).

Cunha e Taveira-Pinto (2010), consideram que os custos de manutenção de uma estrutura ao longo do seu período de vida útil se relacionam com o seu dimensionamento inicial e defendem que deve ser realizado um dimensionamento otimizado das estruturas que minimize o custo total (construção e manutenção). Assim, deverá ser considerado no dimensionamento, um valor para o período de retorno que equilibre os custos iniciais de construção e os custos associados à manutenção das estruturas ao longo do seu período de vida útil - valor óptimo (Figura 14).

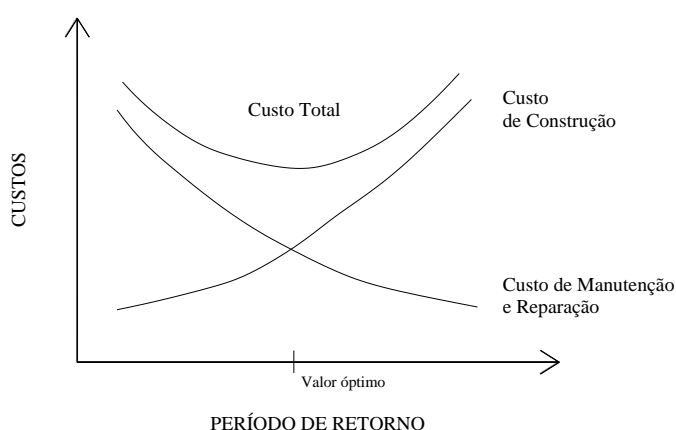


Figura 14: Relação entre custos e o período de retorno considerado (Herbich, 2000).

## 2.7. Notas Finais

Pretendeu-se, com este capítulo, descrever os principais tipos de obras de defesa costeira e tecer algumas considerações relativas à sua constituição e construção. O objectivo do capítulo consistia apenas na realização de um breve enquadramento teórico do tema, pelo que, se optou por focar os aspectos mais importantes e de maior interesse. Para um conhecimento mais aprofundado poderá consultar-se Hughes (2006), Burcharth e Hughes (2006a) e CIRIA (2007b), entre outros.

No capítulo seguinte são descritas as formulações relativas ao pré-dimensionamento deste tipo de estruturas. De realçar que estas formulações são essencialmente empíricas, daí a necessidade de observar sistematicamente o comportamento em serviço das obras existentes. Assim, como referido neste capítulo, a monitorização das obras costeiras tem dois propósitos fundamentais: o planeamento de reparações e a obtenção de informação de base para novos projectos e para a manutenção de estruturas análogas.





## **Capítulo 3**

---

### **PRÉ - DIMENSIONAMENTO**



### 3. PRÉ-DIMENSIONAMENTO

Para o dimensionamento adequado de uma obra de defesa costeira, é conveniente uma correcta caracterização das acções, a realização de um pré-dimensionamento, baseado em formulações empíricas, e a construção de modelos reduzidos, com o intuito de testar as soluções obtidas na fase de pré-dimensionamento (Figura 15).

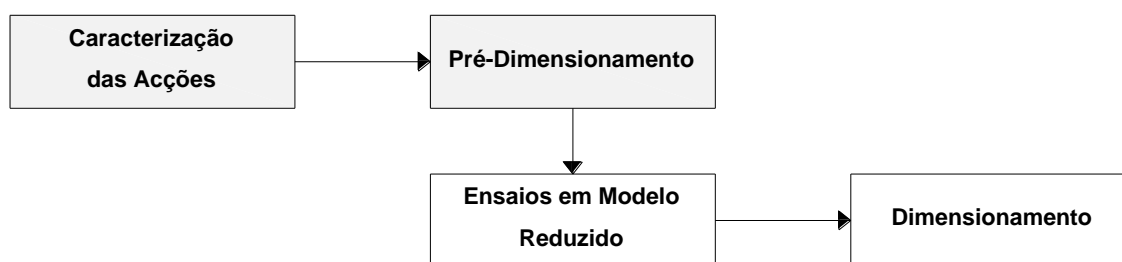


Figura 15: Faseamento de um projecto de obras costeiras (baseado em Pita, 1985).

O presente trabalho, como já referido, diz respeito essencialmente ao segundo ponto do fluxograma anterior, ou seja, à fase de pré-dimensionamento, não contemplando os dois últimos pontos. Relativamente à caracterização das acções, é realizada, neste capítulo, uma descrição genérica das solicitações a que as estruturas marítimas se encontram sujeitas no seu período de vida útil.

Existem diversos métodos de pré-dimensionamento de estruturas costeiras, que consistem, basicamente, em diferentes formulações para a determinação do peso dos blocos do manto resistente, que deverá resistir às solicitações da estrutura. De referir que, as formulações a utilizar não dependem do tipo de estrutura (esporão, quebramar destacado, etc.), mas sim, do facto das obras serem não galgáveis, galgáveis ou submersas. Com este capítulo, pretende-se apresentar as formulações utilizadas e as considerações adoptadas no desenvolvimento do programa de cálculo.

O capítulo inicia-se com considerações relativas às acções que solicitam as estruturas. Em seguida, são descritas as formulações relativas ao pré-dimensionamento do peso unitário dos blocos que constituem o manto resistente, consoante o tipo de estrutura. Por fim, apresentam-se as formulações para a definição de algumas das características da secção transversal, cujos parâmetros dependem do valor obtido para o peso unitário dos blocos.

De referir que, as metodologias utilizadas para o pré-dimensionamento foram desenvolvidas essencialmente para quebra-mares (obras portuárias), mas, são muitas vezes adaptadas e aplicadas a outros tipos de estrutura (Fleming *et al.*, 1998). Vários autores referem apenas formulações para esse tipo de estruturas, no entanto, por analogia, estenderam-se as metodologias existentes para quebra-mares de talude, aos restantes tipos de obra de defesa costeira.

### **3.1. Acções**

Nas obras costeiras verifica-se que, para estruturas semelhantes, o dimensionamento pode ser muito distinto, visto que as acções a considerar variam muito de local para local, por muito próximo que as estruturas se encontrem.

As acções a que as estruturas de defesa costeira se encontram sujeitas são devidas aos fenómenos de hidrodinâmica marítima. Os fenómenos de hidrodinâmica marítima traduzem-se essencialmente pela acção da agitação marítima, marés, correntes e ventos. Segundo Teixeira (2009), a agitação marítima é a grande modeladora do litoral, e traduz-se por oscilações na superfície livre da água, sendo que, o fenómeno que mais a influencia é a acção das ondas. Para Taveira-Pinto e Neves (2003), a onda é, dada a sua severidade, o fenómeno que directamente mais afecta as estruturas, podendo levar à queda, deslocamento ou rotura dos blocos constituintes do manto resistente e, conseqüentemente, por vezes, à ruína da estrutura. Assim, a determinação da altura de onda de projecto constitui um parâmetro fundamental no cálculo da estabilidade do manto resistente das obras costeiras.

De acordo com Banyard (2002), os fenómenos provocados pelas ondas, marés e correntes traduzem praticamente a totalidade das solicitações a que as estruturas estão sujeitas durante o seu período de vida útil. Assim sendo, na presente secção analisa-se cada um destes fenómenos. De referir que, pelo facto de ser a acção mais agressiva para as estruturas, será dada maior ênfase à caracterização da onda (fenómeno que mais influencia a agitação marítima).

#### **3.1.1. Ondas**

As ondas originam-se devido à influência do vento sobre a superfície da água, proveniente de tempestades que se formam no mar. O tamanho das ondas aumenta em função da

velocidade do vento, do *fetch* (área de interação do vento com a superfície do oceano) e da duração da tempestade (Alfredini, 2005).

De acordo com Demirbilek e Vincent (2008), uma onda apresenta partes altas (cristas) e partes baixas (cavas). A diferença entre o nível das cristas e cavas é a altura de onda ( $H'$ ). A distância horizontal entre dois pontos homólogos consecutivos é o comprimento de onda ( $L'$ ). A relação entre o comprimento e a altura de onda denomina-se declividade da onda ( $H'/L'$ ). O intervalo de tempo correspondente à passagem de duas cristas sucessivas por um ponto fixo é o período da onda ( $T$ ). A frequência ( $f$ ) é o número de cristas que passa num dado ponto por unidade de tempo, e corresponde a  $1/T$ . A celeridade traduz a velocidade com que a onda se propaga (Figura 16).

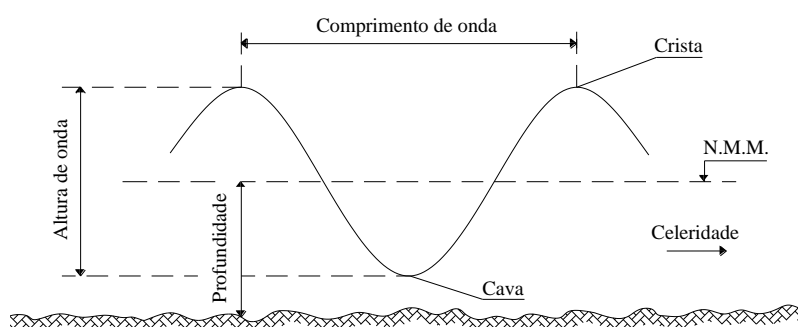


Figura 16: Características principais de uma onda (baseado em RGCI, 2011).

As ondas podem classificar-se em diferentes tipos, consoante a profundidade em análise: ondas que se propagam em águas profundas, ondas que se propagam em águas baixas, ou ondas de transição. As características da onda, nomeadamente a altura e o comprimento, variam consoante a profundidade (Demirbilek e Vincent, 2008).

Em seguida, descrevem-se alguns dos parâmetros principais que caracterizam a onda, como a altura, período, comprimento e declividade, e tecem-se alguns comentários relativos aos fenómenos de alteração e deformação da agitação na propagação em direcção à costa, dando especial ênfase ao fenómeno da rebentação, uma vez que este tem influência directa nas formulações usadas para o pré-dimensionamento dos blocos do manto resistente das estruturas.

### Altura de onda

As obras de defesa costeira deverão ser dimensionadas de modo a suportar o efeito da máxima altura de onda previsível no local da obra, tornando-se por isso necessário definir

à partida a altura de onda de projecto ( $H$ ). A sua definição assume especial relevância, dado que, uma subavaliação pode resultar num maior risco para a estrutura e uma sobreavaliação resulta num aumento do custo da obra (Taveira-Pinto e Neves, 2003). Segundo os mesmos autores, para uma melhor aproximação da realidade, na definição da altura de onda de projecto, deve ser considerado o carácter irregular da agitação marítima.

A questão que se impõe é a seguinte: Qual o valor de  $H$  que os projectistas devem considerar? Vários autores se têm debruçado sobre este assunto, procurando um “parâmetro equivalente”, isto é, uma altura de onda de uma agitação regular, determinada a partir dos registos da agitação marítima (irregular) do local, que cause os mesmos danos na estrutura que esta última (Taveira-Pinto e Neves, 2003). É usual considerar como altura de onda de projecto a altura de onda significativa ( $H_s$  - média do terço mais elevado das alturas de onda que foram registadas durante o período de observação, de acordo com IH, 2011), do temporal mais violento que se prevê vir a atingir a estrutura durante a sua vida útil (Pita, 1986). O conhecimento dos valores extremos das alturas de onda, isto é, a determinação do regime de extremos, é um aspecto fundamental no dimensionamento das estruturas marítimas. A partir da distribuição das alturas de onda significativas máximas anuais e das alturas de onda máximas anuais é possível calcular (por extrapolação) as alturas de onda para determinado período de retorno. Assim, a definição da altura de onda de projecto está associada a um determinado período de retorno, a um determinado nível de risco e a uma dada probabilidade de excedência (Taveira-Pinto e Neves, 2003).

Posto isto, verifica-se que é extremamente difícil definir um “parâmetro equivalente” capaz de ser generalizado, sendo apenas válido para as condições em que é obtido. Assim, cabe ao projectista a tarefa de definir a altura de onda de projecto para cada caso específico, de forma mais sensata.

### Período de onda

O período de onda de pico ( $T_p$ ) é o período correspondente à frequência com maior densidade espectral. É o parâmetro representativo das ondas mais energéticas. O período de onda médio ( $T_m$ ) corresponde à média dos períodos observados durante determinado tempo de observação e representa o período típico das ondas registadas durante esse tempo (RGCI, 2011).

O período de onda mantém-se aproximadamente constante, qualquer que seja a profundidade considerada, e é usual admitir-se, entre o valor médio e de pico, a relação indicada na Expressão 1 (Basco e Hughes, 2006).

$$T_m = 0,82 T_p \quad (1)$$

O valor da altura de onda significativa,  $H_s$ , e do período médio,  $T_m$ , relacionam-se entre si. São várias as propostas de expressões que representam esta relação. A Expressão 2 indica a proposta estabelecida pelo LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil), em 1996 (Coelho, 2005):

$$T_m = 1,03 H_s + 5,2 \quad (2)$$

### Comprimento de onda

Para grandes profundidades, ao largo ( $L_o$ ), o comprimento de onda relaciona-se directamente com o período médio ou de pico, de acordo com as Expressões 3 e 4, respectivamente (Burcharth e Hughes, 2006b e CIRIA, 2007a). Para pequenas profundidades, junto às estruturas, de acordo com o estipulado em Demirbilek e Vincent (2008), o comprimento de onda local obtém-se a partir do valor considerado ao largo através da equação implícita representada na Expressão 5 (neste caso para as condições de pico, sendo, no entanto válida para as condições médias).

$$L_{om} = g T_m^2 / 2\pi \quad (3)$$

$$L_{op} = g T_p^2 / 2\pi \quad (4)$$

$$L_p = L_{op} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_p}\right) \quad (5)$$

O parâmetro  $d$  representa a profundidade local.

### Declividade da onda

A declividade da onda depende do valor do período de onda (ou comprimento de onda, uma vez que estes se relacionam entre si) e da altura de onda. Para grandes profundidades, a declividade da onda ao largo, média ( $s_{om}$ ) ou de pico ( $s_{op}$ ), é dada genericamente pela Expressão 6 (Burcharth e Hughes, 2006b; CIRIA, 2007a).

$$s_o = H/L_o = \frac{2\pi H}{g T^2} \quad (6)$$

Para pequenas profundidades, considera-se igualmente a relação anterior, admitindo, no entanto, o comprimento de onda local (Expressão 7, para o caso das condições de pico).

$$s_p = H/L_p \quad (7)$$

### Fenómenos de transformação da onda

Devido aos fenómenos de alteração e deformação da agitação na propagação em direcção à costa, a altura de onda local difere de ponto para ponto e é distinta da altura de onda ao largo. Os principais fenómenos de transformação da onda são a refacção, a difracção, o empolamento, a reflexão, a rebentação, o espraiamento e o refluxo. Optou-se, no presente trabalho, por não descrever os diferentes fenómenos, à excepção do fenómeno da rebentação, visto que a sua compreensão tem influência nos capítulos seguintes. Para uma análise detalhada de cada um dos fenómenos pode consultar-se Veloso-Gomes (1981), Veloso-Gomes (1995a) e Sorensen (1997).

Quando as ondas se propagam sobre fundos de profundidade decrescente, o seu comprimento vai diminuindo, ao mesmo tempo que a sua altura aumenta. Quando a profundidade desce além de um determinado valor, a onda torna-se instável e rebenta (Coelho, 2005). Segundo Veloso-Gomes (1981), em determinadas situações, a onda pode atingir a estrutura sem que tenha ocorrido rebentação (ondulação de pequena amplitude e períodos longos).

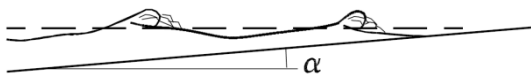
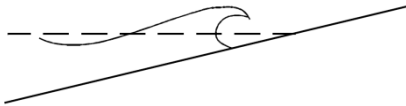

Existem diferentes tipos de rebentação, que dependem essencialmente da inclinação do talude sobre o qual a onda se propaga ( $\alpha$ ) e da declividade da onda ( $s_o$ ). É habitual considerar, e interessa distinguir, os casos de rebentação progressiva, rebentação mergulhante e rebentação oscilatória.

O número de Iribarren ( $\xi$ ) é um parâmetro adimensional que permite estabelecer as gamas de ocorrência dos diferentes tipos de rebentação (Tabela 1). A determinação deste parâmetro segue a Expressão 8.

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{s_o^{0,5}} \quad \text{ou} \quad \xi = \frac{\tan \alpha}{\left(\frac{H}{L_o}\right)^{0,5}} \quad (8)$$



Tabela 1: Critério de classificação do tipo de rebentação das ondas (baseado em Coelho, 2005 e Burcharth e Hughes, 2006b).

| TIPO DE REBENTAÇÃO | GAMA DE OCORRÊNCIAS | ESQUEMATIZAÇÃO   |
|--------------------|---------------------|--|
| Progressiva        | $\xi < 0,5$         |  |
| Mergulhante        | $0,5 < \xi < 3,3$   |  |
| Oscilatória        | $\xi > 3,3$         |  |

De acordo com Taveira-Pinto e Neves (2003), a rebentação mergulhante ocorre de forma súbita sobre o talude, o que constitui a forma mais gravosa para a estabilidade do manto.

### 3.1.2. Marés

A maré é um fenómeno cósmico que se manifesta em todos os oceanos por uma oscilação rítmica do nível das águas, acompanhada por correntes variáveis, em grandeza e direcção. Consoante a origem, as marés podem ser classificadas em marés astronómicas ou marés meteorológicas. Maré astronómica, ou simplesmente maré, é a oscilação periódica do nível das águas, devido às acções atractivas da Lua e do Sol. À maré astronómica sobrepõem-se outras alterações do nível da superfície das águas provocadas por influência do vento ou pelas variações de pressão, a que se chama usual e impropriamente maré meteorológica (Veloso-Gomes, 1995b).

Segundo Pita (1986), as marés não afectam directamente a estabilidade das estruturas, dada a lentidão da variação da cota da superfície livre da água. No entanto, as correntes que provocam, podem originar infra-escavação, no caso dos fundos serem de areia.

### 3.1.3. Correntes

As correntes caracterizam os movimentos horizontais das águas do mar. Podem ser de origem astronómica quando resultam da acção das marés (correntes de maré), podem ter origem na acção do vento (correntes de deriva), podem ter origem na sobrelevação do

nível das águas perto da zona da costa (correntes de talude) ou podem ser provenientes da ondulação. Geralmente são definidas pela sua direcção e velocidade (Souto, 1989).

A acção das correntes pode ter efeitos muito nefastos na zona das fundações das obras de defesa costeira, provocando erosão junto aos fundos, podendo mesmo levar à rotura deste tipo de estruturas.

### **3.2. Manto Resistente**

Até ao ano de 1933, o projectista de uma obra de defesa costeira apenas se poderia basear na experiência para o dimensionamento das respectivas estruturas. Foi neste ano que surgiu a primeira formulação para o pré-dimensionamento do peso dos blocos do manto resistente, proposta pelo espanhol Castro. No ano de 1950 verifica-se uma grande evolução na hidráulica marítima e as investigações fazem ressaltar as limitações das formulações desenvolvidas até então, o que se traduz no aparecimento de novas propostas (Pita, 1986).

O pré-dimensionamento do manto resistente das estruturas consiste essencialmente na determinação do valor mínimo do peso unitário dos blocos constituintes, capaz de resistir às acções solicitadas, caracterizadas essencialmente pela altura de onda incidente, tendo em conta o nível de dano admissível.

A complexidade da acção da agitação marítima sobre os blocos do manto resistente, aliada à irregularidade da forma de alguns blocos e à sua colocação/disposição aleatória, torna difícil o cálculo das forças actuantes, pelo que, as formulações utilizadas no cálculo da estabilidade são baseadas essencialmente em resultados de ensaios com modelos reduzidos (Taveira-Pinto e Neves, 2003). Por este motivo, aconselha-se que a sua aplicação se limite à fase de pré-dimensionamento, sendo necessário, quando tal se justifica, a realização de ensaios em modelos reduzidos ou o recurso a resultados baseados em experiências anteriores, para o dimensionamento final da estrutura.

A determinação do peso dos blocos a colocar no manto resistente depende de diversos parâmetros, que variam consoante o tipo de estrutura pretendida e consoante a formulação utilizada. De acordo com Fleming *et al.* (1998), as formulações mais comuns para o pré-dimensionamento do peso dos blocos do manto resistente são as de Hudson e de van der Meer. Assim, para os três tipos de estrutura, não galgável, galgável e submersa,

descrevem-se, nas secções seguintes, as formulações propostas por estes autores para o cálculo do peso unitário dos blocos. Na Figura 17 apresenta-se um organigrama com as formulações que serão descritas.

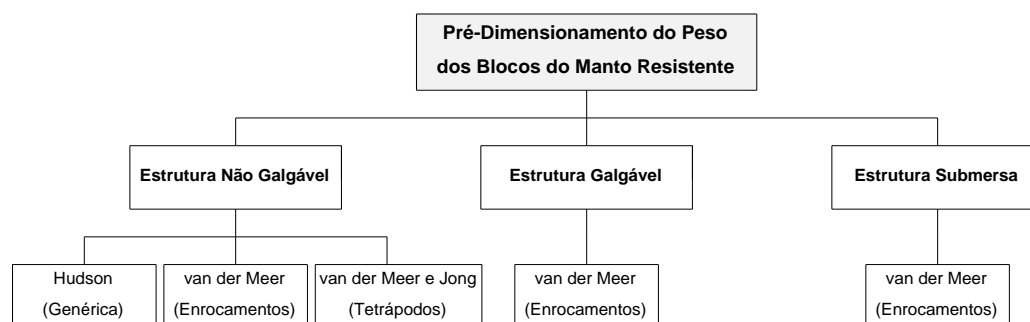


Figura 17: Formulações consideradas no *D-Coast*, para o pré-dimensionamento do peso dos blocos a colocar no manto resistente das estruturas.

No presente trabalho, bem como no programa desenvolvido, adoptou-se a nomenclatura indicada na Tabela 2 para as diferentes formulações.

Tabela 2: Nomenclatura adoptada para as formulações do manto resistente.

| TIPO DE ESTRUTURA | NOMENCLATURA ADOPTADA            | REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA              |
|-------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
|                   | Hudson (genérica)                | Hudson (1974)                         |
| Não galgável      | van der Meer (enrocamento)       | van der Meer (1988a)                  |
|                   | van der Meer e Jong (tetrápodos) | van der Meer (1988b) e De Jong (1996) |
| Galgável          | van der Meer (enrocamento)       | van der Meer (1991)                   |
| Submersa          | van der Meer (enrocamento)       | van der Meer (1991)                   |

As referências indicadas na tabela anterior foram consultadas em Fleming *et al.* (1998), Burcharth e Hughes (2006b) e em CIRIA (2007a).

### 3.2.1. Estruturas não galgáveis

Estruturas não galgáveis são estruturas com cotas de coroamento suficientemente elevadas, para as quais apenas ocorre galgamento quando sujeitas a condições de temporal muito

severas. A acção das ondas sobre os taludes das estruturas não galgáveis é mais prejudicial comparativamente aos restantes tipos de obra, o que implica a necessidade de pesos maiores para os blocos do manto resistente (Lima *et al.*, 2011).

Para as estruturas não galgáveis são apresentadas três formulações distintas: Hudson (genérica), van der Meer (enrocamento) e van der Meer e Jong (tetrápodos).

#### Hudson (genérica)

A formulação de Hudson é uma das formulações existentes para o cálculo do peso unitário dos blocos do manto resistente de estruturas não galgáveis e considera uma abordagem simplista da agitação marítima (carácter regular). De acordo com Fleming *et al.* (1998), Burcharth e Hughes (2006b) e CIRIA (2007a), entre outros, para o caso de estruturas em enrocamento, a formulação de Hudson traduz-se pelas seguintes expressões:

$$\frac{H}{\Delta D_{n50}} = (K_D \cot \alpha)^{1/3} \quad \text{ou} \quad M_{50} = \frac{\rho_s H^3}{K_D \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1\right)^3 \cot \alpha} \quad (9)$$

Onde  $H$  representa a altura de onda incidente de projecto,  $D_{n50}$  corresponde ao comprimento da aresta de um cubo de volume equivalente ao bloco,  $\rho_s$  e  $\rho_w$  são a massa volúmica do material e da água respectivamente,  $\Delta$  corresponde à densidade relativa ( $\Delta = \rho_s / \rho_w - 1$ ),  $\alpha$  é a inclinação do talude, expressa em graus,  $K_D$  é o coeficiente de estabilidade e  $M_{50}$  é dado pela expressão seguinte:

$$M_{50} = \rho_s D_{n50}^3 \quad (10)$$

Considerando  $W$  o peso unitário dos blocos constituintes do manto resistente (Expressão 11),  $\gamma_s$  e  $\gamma_w$  o peso volúmico do material e o peso volúmico da água, respectivamente, obtém-se a Expressão 12.

$$W = M_{50} g \quad (11)$$

$$W = \frac{\gamma_s H^3}{K_D \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right)^3 \cot \alpha} \quad (12)$$

Para duas camadas de manto resistente de enrocamento, de acordo com Fleming *et al.* (1998), é usual considerar-se o coeficiente de estabilidade de 3,5, quando consideradas ondas com rebentação mergulhante, e de 4,0 para ondas com rebentação oscilatória,

admitindo, em ambos os casos, a altura de onda incidente ( $H$ ) igual à altura de onda significativa ( $H_s$ ).

Para o caso de se considerarem blocos de betão pré-fabricados no manto resistente das estruturas, o cálculo do peso unitário dos blocos pode ser obtido recorrendo à Expressão 9, no entanto considera-se  $D_n$  em vez de  $D_{n50}$ , sendo  $D_n$  o valor do diâmetro nominal do bloco. Neste caso, o valor do coeficiente de estabilidade,  $K_D$ , assume valores geralmente superiores aos considerados para blocos de enrocamento (CIRIA, 2007a). Na Tabela 3, apresentam-se valores de  $K_D$  comuns para cinco tipos de blocos de betão pré-fabricados.

Tabela 3: Coeficiente de estabilidade recomendado para blocos de betão (Fleming *et al.*, 1998).

| TIPO DE BLOCO DE BETÃO | $K_D$ |
|------------------------|-------|
| Tetrápodo              | 6-8   |
| Cubo                   | 6-8   |
| Acrópode               | 10-12 |
| Stabit                 | 10-12 |
| Dolo                   | 10-12 |

Os valores de  $K_D$  são obtidos com base em resultados de ensaios experimentais, considerando o carácter regular da agitação marítima, admitindo que não há galgamentos (CIRIA, 2007a). O valor do coeficiente de estabilidade é função de vários parâmetros, como o material constituinte, interligação dos blocos, número de camadas do manto resistente, localização do perfil, inclinação do talude, percentagem de blocos deslocados permitida, etc. (Taveira-Pinto e Neves, 2003).

De referir que, tanto para mantos resistentes em enrocamento, como para blocos de betão pré-fabricados, para a zona da cabeça das estruturas, recomendam-se valores inferiores para o coeficiente  $K_D$  (Fleming *et al.*, 1998).

Apesar de ser amplamente aplicada e do elevado interesse nas aplicações práticas, a formulação de Hudson possui algumas limitações devido à não inclusão de alguns parâmetros hidrodinâmicos, considerados influentes na estabilidade da estrutura (período de onda, declividade da onda, duração do temporal, etc.). O facto de apenas considerar núcleos permeáveis e estruturas onde não são admissíveis galgamentos, associado às incertezas relativas aos efeitos de escala aquando dos ensaios para a determinação dos

coeficientes de estabilidade, são algumas das limitações associadas a esta formulação (Fleming *et al.*, 1998).

### Van der Meer (enrocamento)

A formulação de van der Meer surge com o principal objectivo de suprimir algumas das principais lacunas da formulação de Hudson. Assim, segundo Fleming *et al.* (1998) e Taveira-Pinto e Neves (2003), esta proposta considera o carácter irregular da agitação marítima, diferentes valores para a permeabilidade do núcleo e camadas inferiores, diferentes níveis de dano admissíveis para a estrutura e diferentes condições de rebentação da onda (oscilatória/mergulhante).

Assim, para o caso de estruturas não galgáveis, com mantos resistentes constituídos por duas camadas de enrocamento e considerando ondas com rebentação oscilatória, no caso da Expressão 13, e ondas com rebentação mergulhante, no caso da Expressão 14, Burcharth e Hughes (2006b), CIRIA (2007a), entre outros, propõem:

No caso de rebentação do tipo oscilatório ( $\xi_m > \xi_{mc}$ ):

$$\frac{H}{\Delta D_{n50}} = 1,0 S^{0,2} P^{-0,13} N_z^{-0,1} (\cot \alpha)^{0,5} \xi_m^P \quad (13)$$

No caso de rebentação do tipo mergulhante ( $\xi_m < \xi_{mc}$ ):

$$\frac{H}{\Delta D_{n50}} = 6,2 S^{0,2} P^{0,18} N_z^{-0,1} \xi_m^{-0,5} \quad (14)$$

O valor de  $S$  representa a área erodida relativa ou nível de dano, que depende da inclinação do talude considerada e do nível de danos pretendido para a estrutura (Tabela 4). O valor de  $P$  corresponde ao factor de permeabilidade (Figura 18) e  $N_z$  ao valor do número de ondas (dependente da duração do temporal e do período da onda,  $T_m$ ). Verifica-se que  $\xi_m$  simboliza o número de Iribarren médio, dado pela Expressão 8, quando considerada a declividade média ao largo ( $s_{om}$ ). O valor de  $s_{om}$  depende da altura de onda incidente,  $H$ , e do comprimento de onda ao largo (para grandes profundidades),  $L_{om}$ , e é dado pela Expressão 6. O valor de  $L_{om}$  relaciona-se com o valor de  $T_m$ , através da Expressão 3. O número de Iribarren crítico,  $\xi_{mc}$ , depende do valor da permeabilidade e da inclinação do talude (Expressão 15).

$$\xi_{mc} = (6,2P^{0,31}(\tan \alpha)^{0,5})^{1/(P+0,5)} \quad (15)$$

De referir que, para van der Meer (1988a), a classificação do tipo de rebentação (oscilatória ou mergulhante) depende do valor do número de Iribarren médio e crítico.

Conhecido o valor do  $D_{n50}$ , o peso unitário dos blocos do manto resistente ( $W$ ), obtém-se recorrendo às Expressões 10 e 11.

Tabela 4: Valores recomendáveis para o nível de dano ( $S$ ), de mantos resistentes constituídos por duas camadas de enrocamento (Burcharth e Hughes, 2006b).

| INCLINAÇÃO<br>(cot $\alpha$ ) | ÁREA ERODIDA RELATIVA - $S$ |                 |       |
|-------------------------------|-----------------------------|-----------------|-------|
|                               | Dano inicial                | Dano intermédio | Ruína |
| 1,5                           | 2                           | 3-5             | 8     |
| 2,0                           | 2                           | 4-6             | 8     |
| 3,0                           | 2                           | 6-9             | 12    |
| 4,0                           | 3                           | 8-12            | 17    |
| 6,0                           | 3                           | 8-12            | 17    |

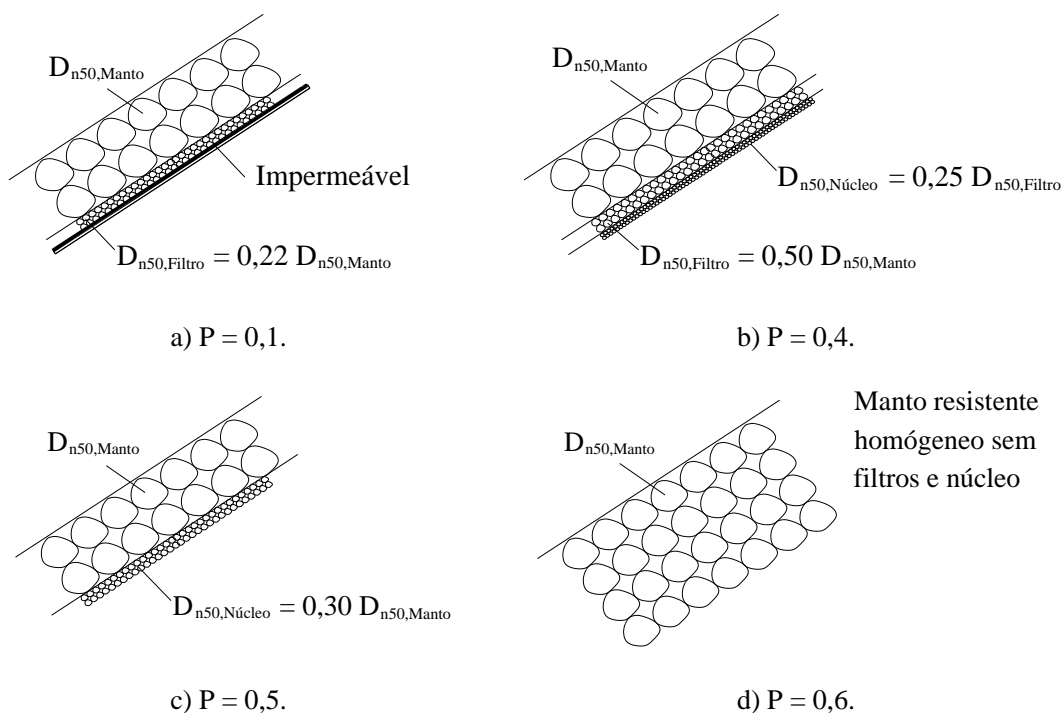


Figura 18: Factor de permeabilidade (baseado em Burcharth e Hughes, 2006b).

Como se verifica na Figura 18, o factor de permeabilidade pode variar entre 0,1, correspondente a mantos resistentes constituídos por enrocamento sobre filtros impermeáveis, e 0,6, para o caso da estrutura ser permeável, ou seja, apenas com enrocamento, não existindo filtros nem núcleos. É de salientar o facto do valor da permeabilidade influenciar fortemente o nível de danos da estrutura e o peso unitário dos blocos necessário para o manto resistente (Fleming *et al.*, 1998).

A formulação de van der Meer apenas pode ser utilizada no caso de:  $N_z \leq 7500$ , valor a partir do qual o equilíbrio de dano é atingido (um maior número de ondas durante o temporal já não aumenta o nível de dano da estrutura);  $0,1 \leq P \leq 0,6$ ;  $0,005 \leq s_{om} \leq 0,06$  e  $20 \text{ kN/m}^3 \leq \gamma_s \leq 31 \text{ kN/m}^3$ . Quando  $\cot \alpha \geq 4,0$ , não há transição entre rebentação do tipo mergulhante e oscilatório, pelo que, apenas a Expressão 14 poderá ser considerada. Para grandes profundidades ( $d > L_{om}/2$ ), sendo  $d$  a profundidade local, as Expressões 13 e 14 são válidas. Para pequenas profundidades relativas ( $d/L_{om} < 1/25$ ), poderão ser utilizadas as mesmas expressões, devendo, no entanto, considerar-se  $H = H_{2\%}/1,4$ , sendo  $H_{2\%}$  a altura de onda que apenas é excedida em 2% dos casos (Burcharth e Hughes, 2006b).

O coeficiente de variação na definição dos factores 1,0 e 6,2, nas Expressões 13 e 14, oscila, segundo Taveira-Pinto e Neves (2003), entre os 8% e os 6,5%, respectivamente.

#### Van der Meer e Jong (tetrápodos)

De acordo com Taveira-Pinto e Neves (2003), as formulações sugeridas por van der Meer para mantos de betão, tiveram como base o dimensionamento proposto para mantos de enrocamento. Apresentam-se de seguida formulações relativas aos tetrápodos. Para os restantes tipos de blocos, as formulações diferem das apresentadas e não serão referidas no presente trabalho.

Segundo Taveira-Pinto e Neves (2003), Burcharth e Hughes (2006b) e CIRIA (2007a), van der Meer (1988b) propõe a seguinte expressão para mantos com duas camadas de tetrápodos:

$$\frac{H}{\Delta D_n} = \left( 3,75 \left( \frac{N_{od}}{\sqrt{N_z}} \right)^{0,5} + 0,85 \right) s_{om}^{-0,2} \quad (16)$$



Onde  $D_n$  representa o valor do diâmetro nominal do bloco e  $N_{od}$  representa o número de blocos deslocados do manto resistente, numa camada de espessura  $D_n$ , ou seja, representa o nível de dano associado à estrutura. Alguns valores comuns de  $N_{od}$  podem ser consultados na Tabela 5.

A expressão anterior é válida apenas quando considerados taludes com inclinação  $H/V = 3/2$  ( $\approx 34^\circ$ ), permeabilidades de 0,4 e número de Iribarren médio ( $\xi_m$ ), compreendido entre 3 e 6. CIRIA (2007a) afirma que a Expressão 16 só é válida para o caso de ondas com rebentação do tipo oscilatória, ou seja, segundo van der Meer (1988a), quando  $\xi_m > \xi_{mc}$  ( $\xi_m$  e  $\xi_{mc}$  são definidos pela Expressão 8 e 15, respectivamente). No programa de cálculo considera-se o critério de transição apresentado por van der Meer (1988a).

De acordo com CIRIA (2007a), De Jong (1996) propõe uma nova formulação, baseada na anterior, válida, no entanto, para ondas com rebentação mergulhante (Expressão 17).

$$\frac{H}{\Delta D_n} = \left( 8,6 \left( \frac{N_{od}}{\sqrt{N_z}} \right)^{0,5} + 3,94 \right) s_{om}^{-0,2} \quad (17)$$

Em ambas as expressões, o valor do peso unitário dos blocos do manto resistente ( $W$ ), obtém-se a partir do valor de  $D_{n50}$ , através das Expressões 10 e 11.

Tabela 5: Valores para o nível de dano ( $N_{od}$ ), considerando duas camadas de blocos de betão (CIRIA, 2007a).

| TIPO DE BLOCO | NÍVEL DE DANO - $N_{od}$ |                 |       |
|---------------|--------------------------|-----------------|-------|
|               | Dano inicial             | Dano intermédio | Ruína |
| Cubo          | 0,2 - 0,5                | 1               | 2     |
| Tetrápodo     | 0,2 - 0,5                | 1               | 1 - 5 |
| Acrópode      | 0                        | -               | > 0,5 |

Apesar de apenas se incluírem formulações para a determinação do peso unitário de tetrápodos, apresentam-se na tabela anterior, valores para outros tipos de blocos, de forma a comparar os valores correspondentes. De acordo com CIRIA (2007a), a consideração de  $N_{od} = 0$  traduz-se num dimensionamento demasiado conservativo.

### 3.2.2. Estruturas galgáveis

Estruturas galgáveis são estruturas para as quais é admitido galgamento, isto é, para determinada altura de onda incidente, a altura de espraiamento correspondente pode atingir valores superiores ao coroamento da estrutura (Lima *et al.*, 2011).

Para o pré-dimensionamento de estruturas galgáveis descreve-se a formulação proposta por van der Meer, para enrocamento.

#### Van der Meer (enrocamento)

De acordo com Burcharth e Hughes (2006b) e CIRIA (2007a), van der Meer (1991) propõe, para as estruturas galgáveis, que o valor do diâmetro dos blocos a colocar no manto resistente ( $D_{n50,Galgável}$ ) resulte do valor do diâmetro obtido considerando a estrutura não galgável (através das Expressões 13 e 14), afectado de uma factor de redução  $f_i$  (Expressões 18 e 19). Conhecido o valor de  $D_{n50}$  da estrutura galgável, o valor correspondente ao peso unitário dos blocos obtém-se através das Expressões 10 e 11.

$$D_{n50,Galgável} = f_i D_{n50,Não\ Galgável} \quad (18)$$

$$f_i = \left( 1,25 - 4,8 \frac{R_c}{H} \sqrt{\frac{s_{op}}{2\pi}} \right)^{-1} \quad (19)$$

Na Expressão 19,  $s_{op}$  representa a declividade correspondente ao comprimento de onda ao largo, de pico ( $L_{op}$ ), de acordo com a Expressão 6. O valor de  $L_{op}$  relaciona-se com o período de onda de pico ( $T_p$ ), através da Expressão 4. O valor de  $R_c$  corresponde à altura de galgamento, ou seja, representa o desnível entre o coroamento da estrutura e o nível da superfície da água (Figura 19). A Expressão 19 apenas é válida no caso de se verificar a condição da Expressão 20, de onde se deduz que  $0,8 < f_i < 1,0$ .

$$0 < \frac{R_c}{H} \sqrt{\frac{s_{op}}{2\pi}} < 0,052 \quad (20)$$

Existem outras expressões para o cálculo do peso unitário dos blocos do manto resistente de estruturas galgáveis, como as apresentadas por Powell e Allsop (1985), referida em Burcharth e Hughes (2006b) e CIRIA (2007a), no entanto não são abordadas no presente trabalho.

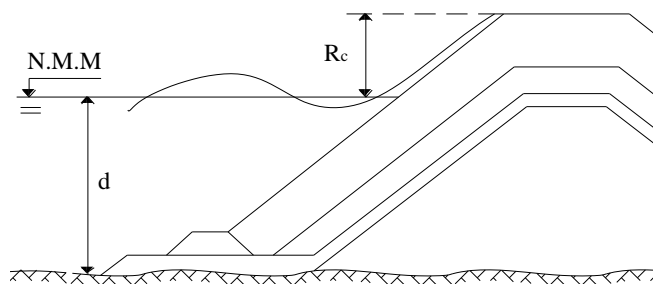


Figura 19: Representação da altura de galgamento (Burcharth e Hughes, 2006b).

### 3.2.3. Estruturas submersas

Estruturas submersas são estruturas para as quais a cota de coroamento se encontra abaixo do nível médio das águas (Lima *et al.*, 2011).

Relativamente a este tipo de estruturas é descrita a formulação de van der Meer para enrocamento (resultados de ensaios com ondas irregulares e taludes com inclinação  $H/V = 2/1$ ), proposta por van der Meer (1991).

#### Van der Meer (enrocamento)

No caso de estruturas submersas, de acordo com Taveira-Pinto e Neves (2003) e Burcharth e Hughes (2006b), van der Meer (1991) propõe que, para taludes com inclinação  $H/V = 2/1$  ( $\approx 27^\circ$ ) e considerando o carácter irregular da agitação, se utilize a expressão seguinte para o cálculo do peso unitário dos blocos a colocar no manto resistente:

$$\frac{h'_c}{d} = (2,1 + 0,1S) \exp(-0,14N_s^*) \quad (21)$$

Onde  $h'_c$  corresponde à altura total da obra submersa, de acordo com a Figura 20, e  $N_s^*$  representa o número de estabilidade espectral (Expressão 22).

$$N_s^* = \frac{H}{\Delta D_{n50}} s_p^{-1/3} \quad (22)$$

O parâmetro  $s_p$  representa a declividade de pico (Expressão 7), que depende da altura de onda ( $H$ ) e do comprimento de onda local ( $L_p$ ), correspondente ao período de pico ( $T_p$ ). O valor de  $L_p$  obtém-se a partir do valor do comprimento de onda de pico ao largo ( $L_{op}$ ), que

por sua vez depende do valor do período de pico (Expressão 4), e determina-se recorrendo à Expressão implícita 5. Conhecido o valor do  $D_{n50}$ , o peso unitário dos blocos do manto resistente ( $W$ ) obtém-se recorrendo às Expressões 10 e 11. Como já referido, é usual considerar-se  $T_m = 0,82T_p$  (Expressão 1).

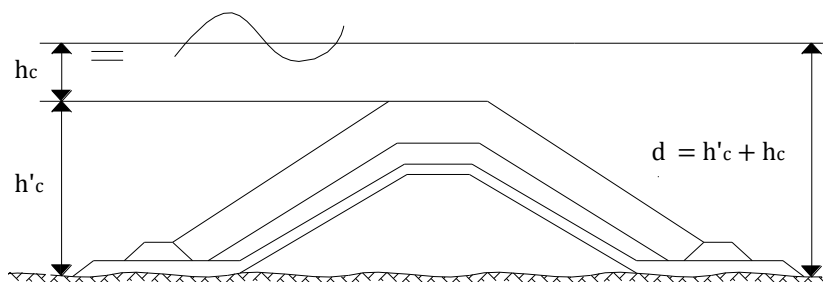


Figura 20: Representação da altura da obra submersa.

### 3.3. Secção Transversal

Na presente secção descrevem-se as formulações relativas à determinação dos diferentes parâmetros considerados para a secção transversal. Verifica-se que em todos os casos, os parâmetros determinados dependem do valor considerado para o peso volúmico do material e do valor do peso unitário dos blocos do manto resistente, necessário para responder às solicitações impostas (valor obtido recorrendo às expressões descritas na secção 3.2).

No âmbito do presente trabalho, descrevem-se formulações para a determinação da largura de coroamento, da espessura do manto resistente e do número de blocos por unidade de área (Figura 21).

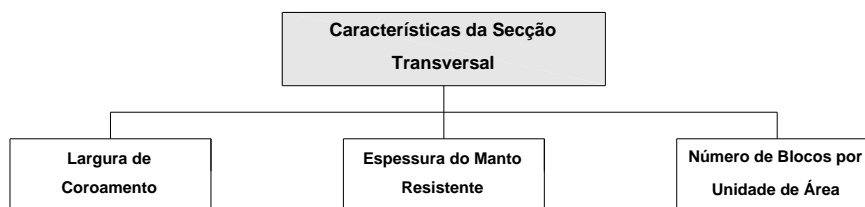


Figura 21: Parâmetros considerados para a avaliação das características da secção transversal.

Para o peso unitário dos blocos a colocar nas subcamadas, filtros e núcleo (Figura 9), considera-se, de acordo com o estipulado em Burcharth e Hughes (2006b), os valores da Tabela 6.

Tabela 6: Peso unitário dos blocos a colocar nas subcamadas, filtros e núcleos.

| CAMADA           | PESO UNITÁRIO DOS BLOCOS |
|------------------|--------------------------|
| Manto resistente | W                        |
| Subcamada        | W/10                     |
| Filtros          | W/200                    |
| Núcleo           | W/4000                   |

### Largura de coroamento

A largura de coroamento ( $B$ ) depende, segundo Burcharth e Hughes (2006b), do número de blocos colocados na berma,  $n_b$  (recomenda-se um mínimo de três blocos), do peso unitário dos blocos do manto resistente,  $W$ , do peso volúmico do material,  $\gamma_s$ , e do coeficiente empírico,  $k_\Delta$  (Tabela 7), de acordo com a seguinte expressão:

$$B = n_b k_\Delta \left( \frac{W}{\gamma_s} \right)^{1/3} \quad (23)$$

No entanto, o funcionamento e circulação dos equipamentos de construção e reparação das estruturas podem ser condicionantes para o valor da largura de coroamento, sendo recomendável um valor superior a seis metros (Pita, 1986).

### Espessura do manto resistente

De acordo com Burcharth e Hughes (2006b), a espessura do manto resistente ( $r$ ) depende do número de camadas de blocos constituintes ( $n$ ), do peso unitário dos blocos do manto resistente ( $W$ ), do peso volúmico do material ( $\gamma_s$ ) e do coeficiente empírico,  $k_\Delta$  (referido anteriormente). A Expressão 24 traduz a espessura do manto resistente:

$$r = n k_\Delta \left( \frac{W}{\gamma_s} \right)^{1/3} \quad (24)$$

### Número de blocos por unidade de área

Segundo Burcharth e Hughes (2006b), o número de blocos por unidade de área ( $N_a/A$ ), obtém-se através da Expressão 25 e depende, para além dos parâmetros referidos para a espessura do manto resistente, da porosidade,  $P'$  (expressa em %), função do tipo de bloco considerado (Tabela 7).

$$\frac{N_a}{A} = n k_{\Delta} \left( 1 - \frac{P'}{100} \right) \left( \frac{Y_s}{W} \right)^{2/3} \quad (25)$$

A porosidade é um parâmetro essencial no comportamento de uma estrutura, isto porque a dissipação da energia das ondas ocorre na sua passagem pelos vazios existentes entre blocos. Assim, verifica-se que num manto resistente muito poroso, ocorre maior dissipação da energia. A porosidade depende, para além da forma dos blocos, do modo como estes estão colocados entre si.

Tabela 7: Valores do coeficiente de camada e da porosidade consoante o tipo de bloco, considerando duas camadas de manto resistente (Burcharth e Hughes, 2006b).

| TIPO DE BLOCO        | COEFICIENTE DE CAMADA, $k_{\Delta}$ | POROSIDADE, $P'$ (%) |
|----------------------|-------------------------------------|----------------------|
| Enrocamento (liso)   | 1,02                                | 38                   |
| Enrocamento (rugoso) | 1,00                                | 37                   |
| Cubo                 | 1,10                                | 47                   |
| Tetrápodo            | 1,04                                | 50                   |
| Acrópode             | 1,51                                | 59 - 62              |
| Dolo                 | 0,94                                | 56                   |
| Core-Loc             | 1,51                                | 60 - 64              |

### 3.4. Notas Finais

Pretendeu-se, com este capítulo, descrever sucintamente as técnicas de pré-dimensionamento de obras de defesa costeira e apresentar todas as formulações e considerações que o programa desenvolvido contempla.

Foram apresentadas cinco formulações para o cálculo do peso unitário dos blocos do manto resistente para os três tipos de obra. No entanto, é de referir a existência de um número mais vasto de formulações, propostas por outros autores, cuja análise não foi englobada no presente trabalho.

É de realçar que as expressões e considerações descritas apenas são válidas numa fase de pré-dimensionamento, uma vez que, como já referido, são baseadas em métodos empíricos,

possuindo assim, algumas limitações. O dimensionamento final deve ser complementado com ensaios em modelo reduzido ou com resultados obtidos em experiências já concretizadas, de forma a adequar a solução ao local e condições específicas da construção.

Verifica-se que, a maior incerteza no pré-dimensionamento das estruturas reside na quantificação das acções, caracterizadas essencialmente pela altura de onda incidente. Cabe ao projectista definir qual o valor adoptado para a altura de onda de projecto, aliando o conhecimento e regras, ao bom senso, de modo a não subestimar o valor, colocando em risco a segurança da estrutura, nem sobrestimar, o que implicaria um acréscimo significativo do custo da obra. O valor recomendado para a altura de onda de projecto é um assunto muito complexo, não consensual e cujas considerações variam para cada caso específico, sendo conveniente o estudo de sensibilidade da solução à sua variação.





## **Capítulo 4**

---

### **PROGRAMA *D-COAST***



## 4. PROGRAMA *D-COAST*

O principal objectivo do presente trabalho consistiu no desenvolvimento de uma ferramenta de cálculo automático, de utilização rápida e expedita, que permitisse o pré-dimensionamento do manto resistente de obras de defesa costeira. Surgiu assim o *D-Coast (Design of COAstal Structures)*, desenvolvido em Microsoft Visual C#, para determinação do valor do peso dos blocos a colocar no manto resistente, para diferentes tipos de obras e diferentes formulações de cálculo. Para além disso, o programa permite ainda a determinação das principais características da respectiva secção transversal.

O *D-Coast* foi concebido com o intuito de facilitar a comparação de várias soluções estruturais possíveis para as obras de defesa costeira, permitindo, de forma rápida, tomadas de decisão sustentadas, e facilitando a compreensão da influência, nos resultados finais, dos diferentes parâmetros envolvidos nos cálculos.

Pretende-se com o presente capítulo apresentar o programa desenvolvido, começando por descrever a linguagem de programação adoptada, seguida da descrição do conteúdo, das potencialidades e do modo como deve ser utilizado o *D-Coast*.

### 4.1. Linguagem de Programação

A linguagem de programação adoptada para o desenvolvimento do *D-Coast* foi a linguagem C#, constituída por um amplo conjunto de ferramentas de desenvolvimento da Microsoft, especialmente desenhadas para operar sobre a plataforma *framework .NET* - o Microsoft Visual Studio 2010.

A *framework* é uma estrutura de suporte que inclui programas de apoio, bibliotecas de código, linguagens de *script* e outros *softwares*, para ajudar a desenvolver e juntar diferentes componentes de um projecto. A *.NET* é uma iniciativa da Microsoft que visa uma plataforma única para o desenvolvimento e a execução de sistemas e aplicações. Todo e qualquer código gerado para *.NET* pode ser executado em qualquer dispositivo ou plataforma que possua a *framework*: a “plataforma *.NET*”. Tal como acontece com a plataforma Java, o programador deixa de escrever código para um sistema ou dispositivo

específico, passando a escrever para a plataforma .NET (Loureiro, 2011). Esta plataforma é um sistema desenvolvido para facilitar a elaboração de aplicações, uma vez que diminui as linhas de código necessárias à execução de um programa.

A linguagem C# foi desenvolvida em 2001, por uma equipa de dois engenheiros da Microsoft, Anders Hejlsberg e Scott Wiltamuth, e consiste numa evolução das linguagens C e C++, tendo no entanto, muitas influências de Java. É uma linguagem de programação recente, contendo por isso, muitos dos melhores recursos de outras linguagens já existentes (Liberty e MacDonald, 2006). Apresenta algumas vantagens, relativamente a outras linguagens que usam a plataforma .NET, pelo facto de ter sido criada com o objectivo de usar esta plataforma, enquanto outras tiveram que ser adaptadas (Watson et al., 2010).

O C# é uma linguagem de programação orientada a objectos (POO). Este é um conceito que surgiu com o intuito de encontrar uma forma de aumentar a produtividade dos programadores, isto é, de fazer com que existisse a possibilidade de se utilizar parte de determinadas aplicações noutras, empregando basicamente as mesmas ideias, o mesmo código e os mesmos objectos. As características da POO foram particularmente bem sucedidas, na medida em que simplificaram consideravelmente projectos que até então eram extremamente complexos e difíceis de estruturar. Com esta nova filosofia, um programa deixou de consistir apenas num conjunto de instruções que visava o desempenho de uma tarefa específica e passou a ser definido como um conjunto de instruções e objectos que interagem entre si, onde cada elemento preserva a sua individualidade e desempenha um papel especial na execução de uma tarefa (Loureiro, 2011).

A utilização da tecnologia POO na linguagem C#, devido à sua versatilidade e redução do tempo de execução, reflecte-se no aumento da produtividade dos programadores, justificando-se assim a sua utilização no presente trabalho. Para uma melhor compreensão dos conceitos relacionados com a POO, pode consultar-se Liberty e MacDonald (2006), Watson et al. (2010) e Loureiro (2011).

## **4.2. Descrição do *D-Coast***

O *D-Coast* permite o cálculo do valor do peso unitário dos blocos a colocar no manto resistente e a determinação das principais características da secção transversal das estruturas a dimensionar.

No caso do peso dos blocos, consideram-se cinco formulações diferentes, correspondentes a três tipos de obras distintos (não galgável, galgável e submersa). Na Figura 17 apresenta-se um organigrama com os tipos de obra e formulações que o programa contempla. Todas as considerações a ter em conta no cálculo encontram-se descritas no Capítulo 3.

No que diz respeito às restantes características da secção transversal, o *D-Coast* inclui formulações para o cálculo da largura de coroamento, da espessura das camadas e do número de blocos por unidade de área, conforme referido no organigrama da Figura 21.

Como já referido, devido à diversidade de parâmetros que influenciam o peso dos blocos a colocar no manto resistente e devido à dependência dos resultados consoante o tipo de obra e formulação em causa, o *D-Coast* permite, para além do cálculo para situações isoladas, a análise de sensibilidades dos resultados aos diferentes parâmetros envolvidos, facilitando assim uma rápida comparação das diversas formulações e dos resultados de cada formulação em função das diversas variáveis.

Para uma melhor compreensão do conteúdo e organização do programa desenvolvido, apresenta-se, na Figura 22, um organigrama com as suas funcionalidades. Pode considerar-se que o *D-Coast* está dividido em duas partes: na primeira parte, e mais relevante no âmbito do presente trabalho, determina-se o valor do peso unitário dos blocos a colocar no manto resistente, e na segunda parte, recorrendo aos resultados obtidos na primeira, determinam-se as restantes características da secção transversal.

Relativamente ao cálculo do valor do peso dos blocos a colocar no manto resistente (1ª parte) verifica-se, pela análise da Figura 22, que o processo se inicia com a escolha do tipo de obra e da formulação pretendida. Posto isto, o utilizador define se pretende realizar um cálculo isolado ou uma análise de sensibilidades, definindo para ambos os casos, todos os parâmetros necessários à obtenção do resultado final. Finalizado o processo relativo à 1ª parte, o utilizador obtém um valor único para o peso dos blocos (no caso de realizado um cálculo isolado) ou uma lista de valores (para o caso de ser realizada uma análise de sensibilidades ou cálculo repetido). Assim, poderá passar-se à 2ª parte, onde, definidos todos os parâmetros necessários, se obtém as restantes características da secção transversal e respectiva esquematização (no caso de na 1ª parte se ter realizado um cálculo isolado), ou se obtém uma tabela de resultados (no caso de na 1ª parte se ter determinado mais que um valor para o peso dos blocos). De realçar que os resultados referentes à 2ª parte são

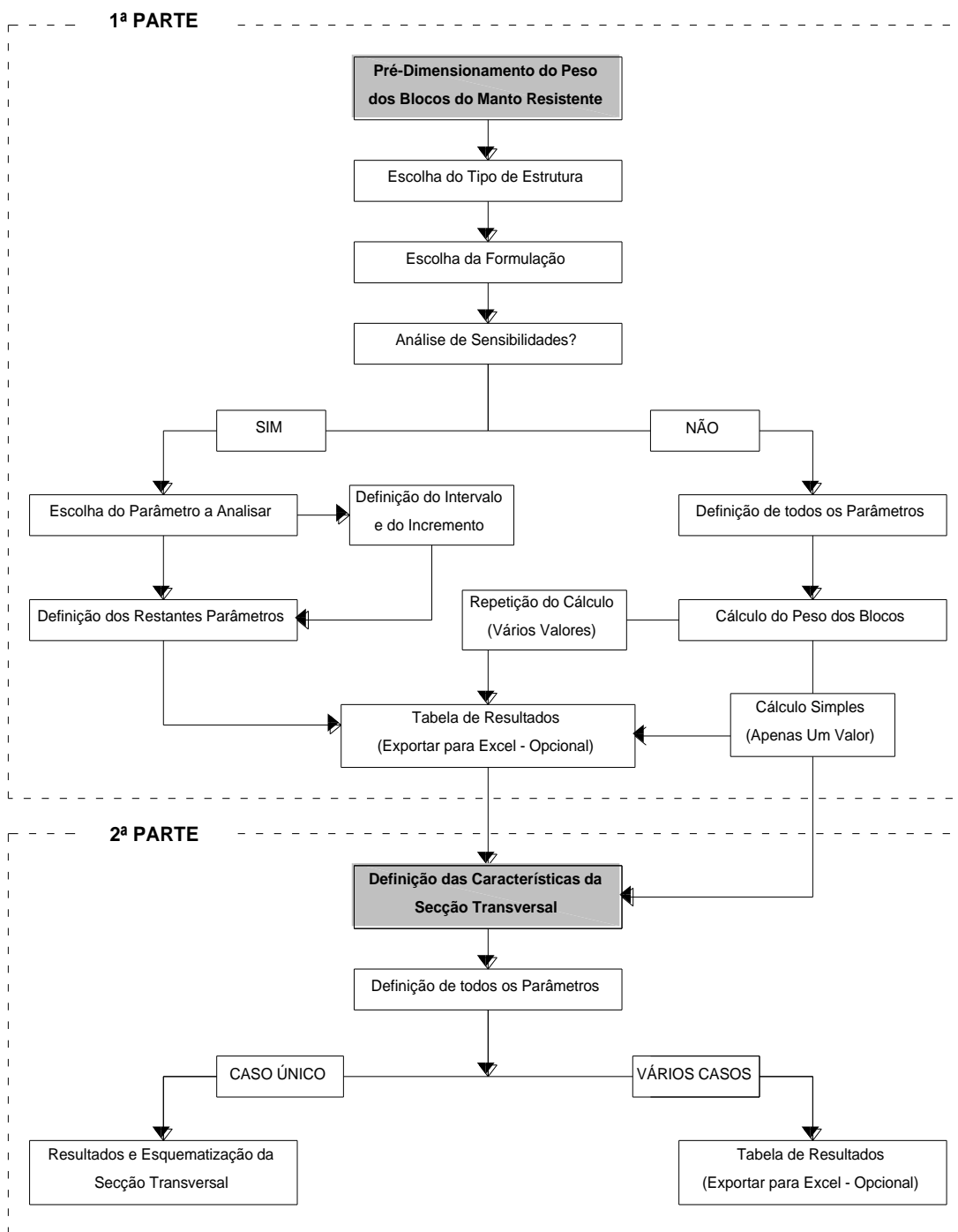


Figura 22: Organograma do programa de cálculo *D-Coast*.

dependentes do valor do peso unitário dos blocos, logo não poderão ser obtidos sem que antes se realize o processo de cálculo relativo à 1ª parte.

No que diz respeito à 1ª parte, a incógnita a determinar é o peso dos blocos a colocar no manto resistente, em função das diversas variáveis envolvidas em cada formulação. No entanto, para o caso da formulação de Hudson para estruturas não galgáveis, para além do

cálculo do peso dos blocos em função dos vários parâmetros envolvidos, o *D-Coast* permite que a incógnita a determinar seja qualquer uma das variáveis incluídas na formulação. Esta funcionalidade revela-se útil, por exemplo, no caso de se estipular um valor para o peso unitário dos blocos, sendo possível a determinação do valor máximo da altura da onda incidente admissível para as condições estipuladas. No entanto, apesar de ser possível a determinação de qualquer um dos parâmetros envolvidos em função dos restantes, apenas é possível realizar análises de sensibilidades quando a incógnita a determinar é o peso unitário dos blocos.

Com o intuito de facilitar os processos de cálculo e análises de resultados, o *D-Coast* permite que as tabelas de resultados obtidas sejam exportadas para Excel®, possibilitando ao utilizador avaliar os resultados recorrendo às ferramentas disponibilizadas por este *software* (elaboração de gráficos, análises numéricas, etc.).

De forma a proporcionar uma utilização mais rápida e expedita, o *D-Coast* prevê o acesso a alguns documentos e *sites* relacionados com o tema e ainda a utilização da calculadora disponível pelo sistema operativo, sem que haja necessidade de sair do programa. Enumeram-se em seguida os documentos disponibilizados em formato .pdf e os *sites* aos quais é possível aceder directamente, através da barra de menus do programa.

#### Documentos disponibilizados

- Manual de utilização do *D-Coast*;
- Conceitos teóricos relativos a cada formulação;
- Este documento (“Programação de Métodos de Pré-Dimensionamento de Obras Costeiras”);
- Artigo 7<sup>ª</sup>s Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, relativo ao presente trabalho.

#### Sites acessíveis\*

- Instituto Hidrográfico ([www.hidrografico.pt](http://www.hidrografico.pt));
- Instituto da Água ([www.inag.pt](http://www.inag.pt));
- Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos ([www.aprh.pt](http://www.aprh.pt));
- Universidade de Aveiro ([www.ua.pt](http://www.ua.pt));
- Laboratório Nacional de Engenharia Civil ([www.lnec.pt](http://www.lnec.pt)).



\* Endereço *WEB* em vigor à data do presente trabalho.

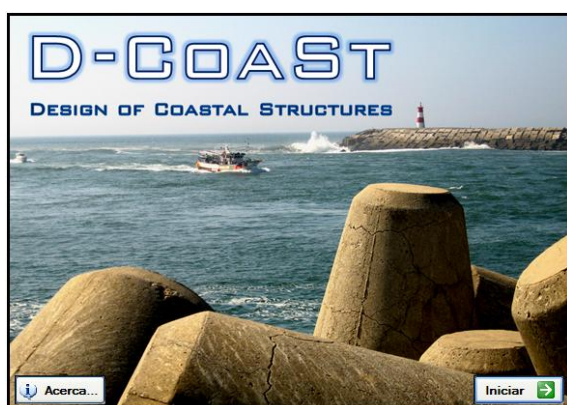
Nas janelas de cálculo do *D-Coast*, encontram-se por vezes ícones de ajuda ( ? ), que têm como objectivo esclarecer o utilizador relativamente ao parâmetro a introduzir. No entanto, esta funcionalidade não está disponível para todos os parâmetros, tornando-se indispensável para o utilizador o conhecimento das considerações relativas a cada formulação (descritas no Capítulo 3), com vista a uma utilização correcta do *software*. O *D-Coast* tem ainda previstas caixas de diálogo, quando determinados parâmetros introduzidos ou resultados obtidos não são coerentes ou não são válidos, com o objectivo de alertar o utilizador para a ocorrência de erros.

### 4.3. Utilização do *D-Coast*

Pretende-se nesta secção demonstrar aos utilizadores do *D-Coast* todas as funcionalidades disponíveis e descrever o seu funcionamento, começando pelo iniciar do programa, descrição dos elementos disponíveis na barra de menus, o modo de iniciar um novo cálculo, a descrição das janelas de cálculo (desde a introdução de dados à obtenção de resultados) e a apresentação das tabelas de resultados.

#### 4.3.1. Iniciar o programa

Ao iniciar o *D-Coast* surge de imediato a respectiva janela de boas-vindas (Figura 23a). O utilizador pode iniciar o programa (comando ) ou pode visualizar a janela de informação do *D-Coast* (comando )



a) Janela de boas-vindas.



b) Janela de informação.

Figura 23: Janelas de abertura do *D-Coast*.



A janela de informação (Figura 23b) fornece ao utilizador informações relativas ao autor do programa, respectivos orientadores, instituição associada e ainda alguns avisos relativos ao *software* desenvolvido.

Uma vez iniciado o programa, surge a janela inicial (Figura 24). A janela inicial corresponde à janela de cálculo, quando nenhuma formulação está seleccionada.

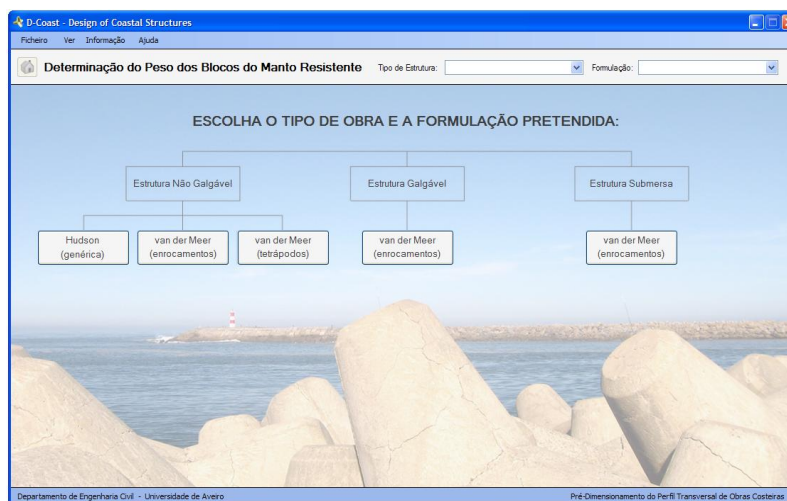
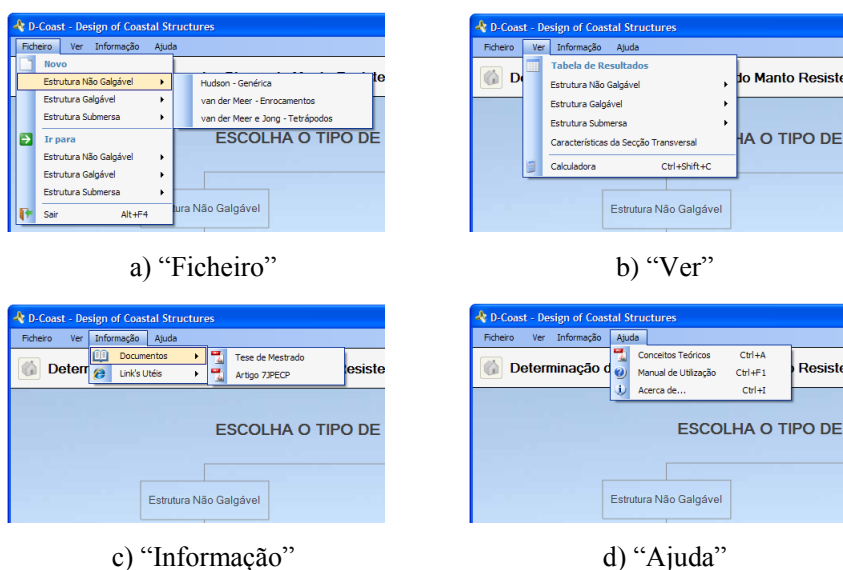


Figura 24: Janela inicial do *D-Coast*.

#### 4.3.2. Barra de menus

A barra de menus é constituída por quatro itens principais: “Ficheiro”, “Ver”, “Informação” e “Ajuda”, conforme demonstrado na Figura 25.






c) “Informação”



d) “Ajuda”

Figura 25: Barra de menus do *D-Coast*.



### “Ficheiro”

O menu “Ficheiro” inclui três comandos principais: “Novo” () , “Ir para” () e “Sair” () . Os dois primeiros comandos dependem da escolha do tipo de obra e da formulação, conforme demonstrado na Figura 25a, e o último permite ao utilizador sair do programa. Quando utilizado o comando “Novo” ou “Ir para”, uma vez escolhido o tipo de estrutura e a formulação, é mostrada, em ambos os casos, a janela de cálculo correspondente. No entanto, no primeiro caso, as caixas de texto relativas à introdução de parâmetros estão vazias, enquanto no segundo caso, apenas é mostrada a janela de cálculo pretendida, mantendo-se os dados introduzidos previamente. Quando utilizado o comando “Sair” é accionada uma caixa de diálogo que permite confirmar a opção ou voltar atrás.




### “Ver”

No menu “Ver” estão disponíveis dois comandos: “Tabela de Resultados” () e “Calculadora” () . O primeiro implica a escolha da tabela de resultados pretendida, relativa ao cálculo do peso dos blocos (escolha do tipo de obra e formulação), ou relativa às características da secção transversal (inclui todas as formulações), conforme demonstrado na Figura 25b. Ao accionar o comando “Calculadora” é mostrada uma janela com a calculadora disponível pelo sistema operativo, que pode ser utilizada sem que haja necessidade de sair do programa.

### “Informação”

O menu “Informação” contém o comando “Documentos” () , que permite o acesso a alguns documentos úteis aquando da utilização do *D-Coast* e contém também o comando “Link’s Úteis” () , que abre directamente páginas predefinidas da Internet (Figura 25c). Os documentos e páginas incluídos foram referidos na secção 4.2.

### “Ajuda”

No menu “Ajuda” estão incluídos o comando “Conceitos Teóricos” () , “Manual de Utilização” () e “Acerca do *D-Coast*...” () , como demonstrado na Figura 25d. O comando “Conceitos Teóricos” consiste num documento .pdf que contém informações

relativas às formulações que o programa contempla (semelhante ao apresentado em 3.2 e 3.3). O “Manual de Utilização”, também em formato .pdf, descreve e explica o funcionamento do *D-Coast*. O comando “Acerca do *D-Coast*...” remete o utilizador para a janela de informação do *D-Coast* (Figura 23b).

#### 4.3.3. Iniciar novo cálculo

Quando iniciado o programa, ou seja, quando visualizada a janela inicial (Figura 24), existem três opções para iniciar um novo cálculo, ou seja, abrir a janela de cálculo correspondente à formulação pretendida:

- 1) Através da barra de menus (“Ficheiro” → “Novo” → Escolher Tipo de Estrutura → Escolher Formulação);
- 2) Através das caixas de selecção “Tipo de Estrutura” e “Formulação”;
- 3) Clicando no nome da formulação pretendida, no centro da janela inicial.

Depois de iniciada a janela de cálculo correspondente à formulação pretendida, pode aceder-se às outras formulações sem que os dados introduzidos sejam perdidos. Para isso, pode recorrer-se às caixas de selecção referidas anteriormente ou recorrer à barra de menus, fazendo “Ficheiro” → “Ir para” → Escolher Tipo de Estrutura → Escolher Formulação. No entanto, caso seja utilizado o comando “Ficheiro” → “Novo”, os dados introduzidos previamente serão perdidos.

A escolha do tipo de obra e formulação diz respeito à determinação do peso dos blocos a colocar no manto resistente (1ª parte), já que, o cálculo relativo às características da secção transversal (2ª parte) é comum a todos os tipos de obra e formulações, não necessitando de opções específicas.

#### 4.3.4. Janelas de cálculo

O *D-Coast* contém cinco janelas de cálculo distintas, correspondentes às cinco formulações incluídas. Inicialmente vai descrever-se o processo de cálculo comum a todas as formulações, tomando como referência a formulação de Hudson (Figura 26 e Figura 27). O processo descrito é válido para todas as formulações disponíveis. Posto isto, apresentam-se

as cinco janelas de cálculo, descrevem-se os parâmetros de entrada e de saída, bem como todas as considerações necessários ao seu manuseamento.

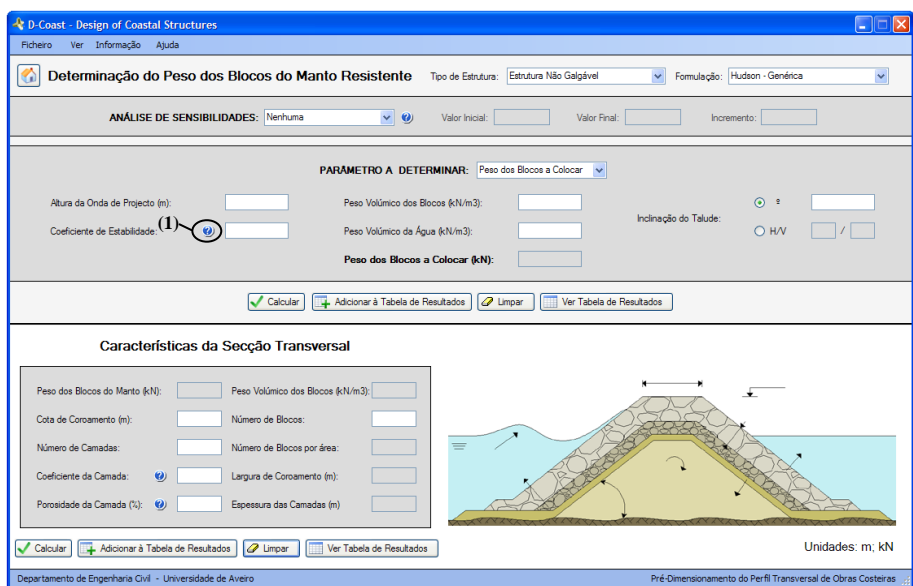


Figura 26: Janela de cálculo da formulação de Hudson (estruturas não galgáveis), correspondente à situação de cálculo isolado.

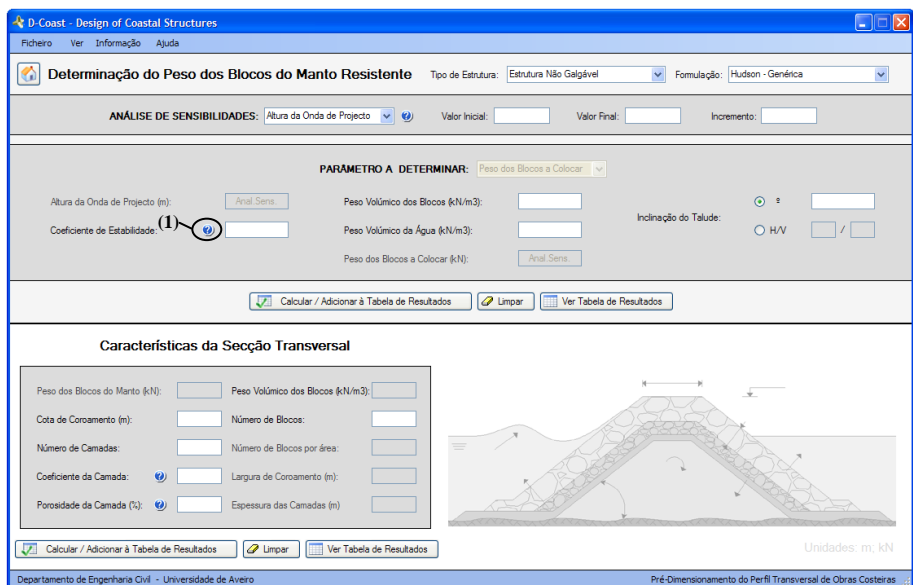
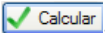
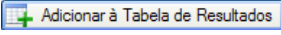
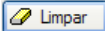
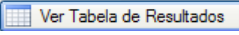


Figura 27: Janela de cálculo da formulação de Hudson (estruturas não galgáveis), correspondente a uma análise de sensibilidades.

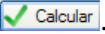
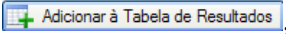
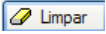
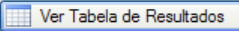
Como verificado no organigrama da Figura 22, após a escolha do tipo de obra e da formulação é necessário optar pelo tipo de cálculo que se pretende realizar: cálculo isolado ou análise de sensibilidades.

### Cálculo isolado

Para realizar um cálculo isolado, selecciona-se a caixa de selecção “Análise de Sensibilidades” com a opção “Nenhuma” (Figura 26). Introdzem-se todos os dados de entrada necessários, correspondentes às caixas de texto com fundo branco, e calculam-se os resultados, recorrendo ao comando .

Posteriormente, o utilizador pode guardar o cálculo realizado, adicionando-o à tabela de resultados correspondente à formulação em causa, recorrendo ao comando . Caso pretenda realizar um novo cálculo, pode recorrer ao comando . Para visualizar os resultados armazenados na tabela, o utilizador deve recorrer ao comando . O processo de cálculo relativo à determinação do peso dos blocos a colocar no manto resistente pode ser repetido o número de vezes que o utilizador desejar, podendo armazenar na tabela, o número de resultados que pretender.

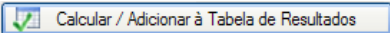

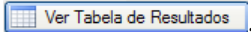
Para o caso específico da formulação de Hudson, o utilizador pode ainda escolher, através da caixa de selecção “Parâmetro a Determinar”, qual a incógnita a determinar (Figura 26).

Finalizado o processo de cálculo relativo ao peso dos blocos, passa-se à 2ª parte do cálculo, relativo às características da secção transversal. Os valores do peso unitário dos blocos e do peso volúmico do material, obtidos na 1ª parte, são automaticamente transcritos para as caixas de texto correspondentes na 2ª parte. O utilizador deverá introduzir os restantes parâmetros de entrada necessários ao cálculo e de seguida pode calcular os respectivos resultados, recorrendo ao comando . Para armazenar os resultados, apagar os valores das caixas de texto e visualizar a tabela de resultados referente às características da secção transversal, recorre-se, respectivamente, aos comandos, ,  e , tal como referido para a 1ª parte. Quando calculados os resultados, os valores são automaticamente transcritos para a esquematização da secção transversal. O esquema da secção transversal está predefinido e varia consoante o tipo de obra e formulação escolhidos.

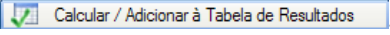
### Análise de sensibilidades

Quando se pretende realizar uma análise de sensibilidades, selecciona-se na caixa de selecção “Análise de Sensibilidades” o parâmetro que se pretende analisar. Desde que a

opção escolhida seja diferente de “Nenhuma”, verifica-se de imediato que as caixas de texto relativas ao intervalo de valores ficam disponíveis e que no parâmetro a analisar, bem como no valor do peso dos blocos a colocar, surge a informação “Anal. Sens.” (Figura 27).

Relativamente ao intervalo de dados, o utilizador deverá definir o valor inicial, o valor final e o incremento pretendido entre valores. Estes elementos definem a quantidade de cálculos a realizar. Definidos os dados de entrada, para calcular os resultados, recorre-se ao comando  e os resultados correspondentes ao intervalo definido são automaticamente calculados e armazenados na tabela de resultados. Para apagar os parâmetros introduzidos recorre-se ao comando  e para visualizar os resultados armazenados na tabela, recorre-se ao comando .

O processo descrito anteriormente pode ser realizado o número de vezes que o utilizador pretender, sendo os resultados acrescentados à tabela correspondente à formulação.

No que diz respeito ao cálculo das características da secção transversal (2ª parte), verifica-se que, após introduzidos os dados de entrada e pressionado o comando , são determinados e armazenados na tabela correspondente, o número de resultados contidos na tabela obtida no cálculo do peso unitário dos blocos.

Quando alterada a janela de cálculo (ou seja, quando alterada a formulação a utilizar), os resultados contidos na tabela de resultados relativa às características da secção transversal, mantêm-se, podendo conjugar-se valores provenientes de formulações distintas, de modo a permitir a comparação entre formulações e tipos de obra (esta funcionalidade é válida também para a situação de cálculo isolado).

Quando realizada uma análise de sensibilidades, devido ao facto de existir mais que um resultado, não está disponível a esquematização da secção transversal.

Apresentam-se em seguida, as janelas de cálculo relativas às restantes quatro formulações, para a situação de cálculo isolado (Figura 28 à Figura 31). Para o caso de análise de sensibilidades, as alterações para cada uma das formulações são semelhantes às verificadas na Figura 27. Para as cinco formulações relativas ao cálculo do peso dos blocos (casos 1 a 5) e para as características da secção transversal (caso 6), descrevem-se os parâmetros de

entrada necessários, bem como os resultados obtidos (Tabela 8 à Tabela 13). Para as cinco formulações, estão disponíveis, para análise de sensibilidades, todos os parâmetros de entrada, à excepção do peso volúmico da água. Relativamente às características da onda, o parâmetro disponível para análise é o período de onda, e para análise da inclinação do talude, o valor deverá ser introduzido em graus.

#### 1) Hudson (genérica) - estruturas não galgáveis

Na janela de cálculo representada na Figura 26, correspondente à situação de cálculo isolado, verifica-se que a incógnita a determinar é o peso dos blocos a colocar, e na Figura 27, correspondente à análise de sensibilidades, o parâmetro escolhido para a análise é a altura de onda de projecto. De realçar, como já referido, que a formulação de Hudson tem a particularidade de permitir a escolha da incógnita a determinar, através da caixa de selecção “Parâmetro a Determinar”.

Na Figura 26 e 27, a ajuda de cálculo assinalada com (1), remete o utilizador para uma janela que contém a Tabela 3, com informação relativa ao coeficiente de estabilidade.

Tabela 8: Parâmetros da formulação de Hudson (não galgável).

| Parâmetros de Entrada        | Un                | Parâmetros de Saída      | Un       |
|------------------------------|-------------------|--------------------------|----------|
| Altura de onda de projecto   | m                 | Inclinação do talude     | ° ou H/V |
| Coefficiente de estabilidade | -                 | Peso unitário dos blocos | kN       |
| Peso volúmico dos blocos     | kN/m <sup>3</sup> |                          |          |
| Peso volúmico da água        | kN/m <sup>3</sup> |                          |          |
| Inclinação do talude         | ° ou H/V          |                          |          |

#### 2) Van der Meer (enrocamento) - estruturas não galgáveis

As ajudas de cálculo, assinaladas com (1) e (2) na Figura 28, remetem o utilizador para janelas que contêm, respectivamente a Tabela 4 e a Figura 18, ajudando a esclarecer questões relacionadas com o nível de dano (área erodida relativa) e com a permeabilidade.

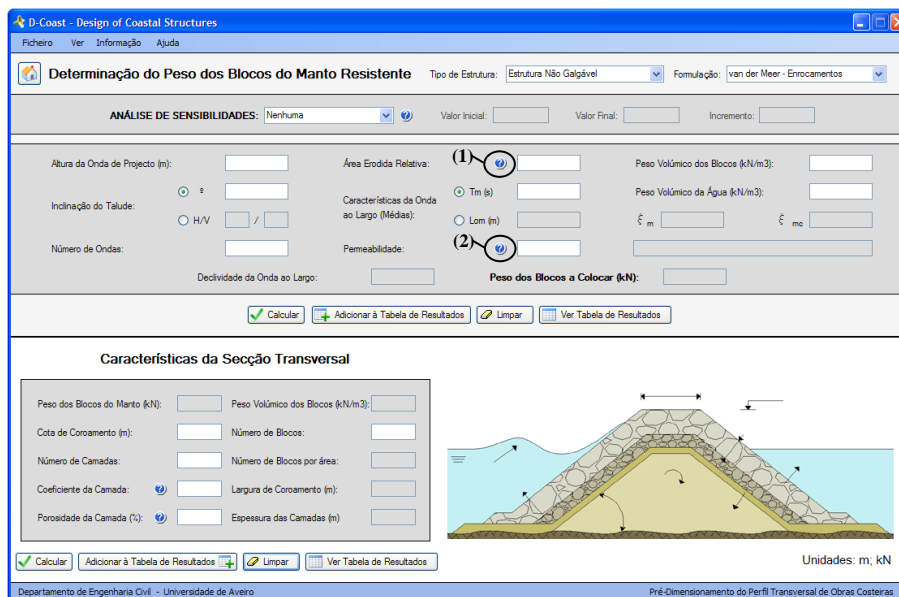


Figura 28: Janela de cálculo da formulação de van der Meer para enrocamento (estruturas não galgáveis), correspondente à situação de cálculo isolado.

Tabela 9: Parâmetros da formulação de van der Meer para enrocamento (não galgável).

| Parâmetros de Entrada  | Un                | Parâmetros de Saída  | Un       |
|--|-------------------|--|----------|
| Altura de onda de projecto   | m                 | Inclinação do talude   | ° ou H/V |
| Inclinação do talude   | ° ou H/V          | Características da onda médias:<br>período ou comprimento ao largo | s ou m   |
| Número de ondas  | -                 | Declividade da onda ao largo                                       | -        |
| Área erodida relativa  | -                 | Número de Iribarren médio  | -        |
| Características da onda médias:<br>período ou comprimento ao largo | s ou m            | Número de Iribarren crítico  | -        |
| Permeabilidade   | -                 | Tipo de rebentação   | -        |
| Peso volúmico dos blocos   | kN/m <sup>3</sup> | Peso unitário dos blocos   | kN       |
| Peso volúmico da água  | kN/m <sup>3</sup> |  |          |

### 3) Van der Meer e Jong (tetrápodos) - estruturas não galgáveis

A ajuda de cálculo, assinalada com (1) na Figura 29, remete o utilizador para uma janela que contém a Tabela 5, apresentando valores para o nível de dano ( $N_{od}$ ).



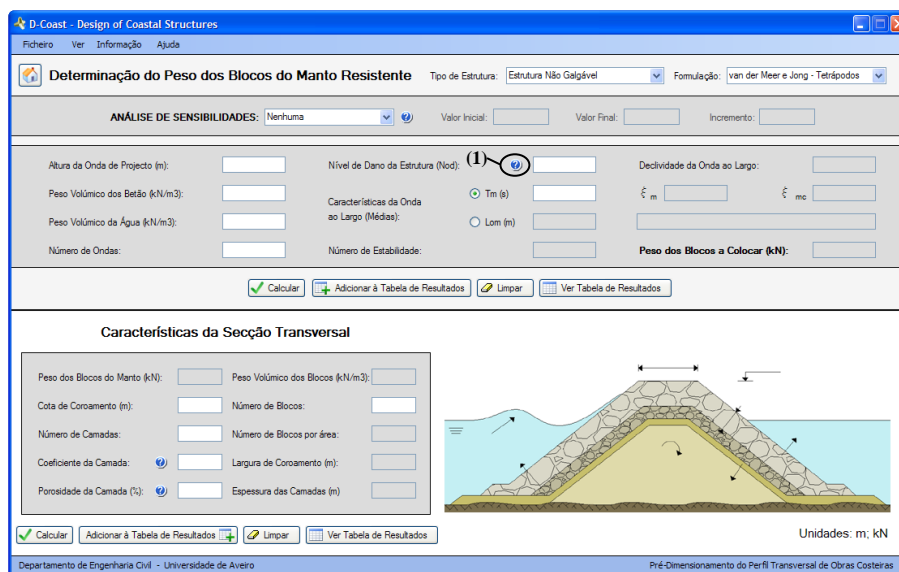


Figura 29: Janela de cálculo da formulação de van der Meer e Jong para tetrápodos (estruturas não galgáveis), correspondente à situação de cálculo isolado.

Tabela 10: Parâmetros da formulação de van der Meer e Jong para tetrápodos (não galgável).

| Parâmetros de Entrada  | Un                | Parâmetros de Saída  | Un     |
|--|-------------------|--|--------|
| Altura de onda de projecto   | m                 | Características da onda médias:<br>período ou comprimento ao largo | s ou m |
| Peso volúmico do betão   | kN/m <sup>3</sup> | Número de estabilidade   | -      |
| Peso volúmico da água  | kN/m <sup>3</sup> | Declividade da onda ao largo                                       | -      |
| Número de ondas  | -                 | Número de Iribarren médio  | -      |
| Nível de dano da estrutura   | -                 | Número de Iribarren crítico  | -      |
| Características da onda médias:<br>período ou comprimento ao largo | s ou m            | Tipo de rebentação   | -      |
|  |                   | Peso unitário dos blocos   | kN     |

#### 4) Van der Meer (enrocamento) - estruturas galgáveis

As ajudas de cálculo, assinaladas com (1), (2) e (3) na Figura 30, remetem o utilizador para janelas que contêm, respectivamente a Figura 19, com a representação da altura de galgamento, a Tabela 4 e a Figura 18, já referidas anteriormente.

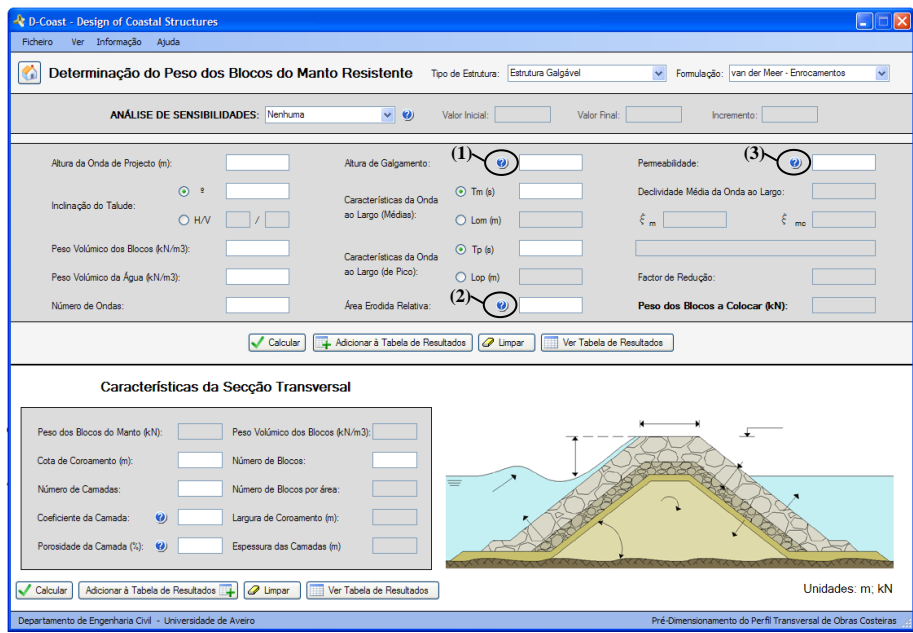


Figura 30: Janela de cálculo da formulação de van der Meer para enrocamento (estruturas galgáveis), correspondente à situação de cálculo isolado.

Tabela 11: Parâmetros da formulação de van der Meer para enrocamento (galgável).

| Parâmetros de Entrada   | Un                | Parâmetros de Saída   | Un       |
|---|-------------------|---|----------|
| Altura de onda de projecto  | m                 | Inclinação do talude  | ° ou H/V |
| Inclinação do talude  | ° ou H/V          | Características da onda médias:<br>período ou comprimento ao largo  | s ou m   |
| Peso volúmico dos blocos  | kN/m <sup>3</sup> | Características da onda de pico:<br>período ou comprimento ao largo | s ou m   |
| Peso volúmico da água   | kN/m <sup>3</sup> | Declividade média da onda ao largo                                  | -        |
| Número de ondas   | -                 | Número de Iribarren médio   | -        |
| Altura de galgamento  | m                 | Número de Iribarren crítico   | -        |
| Características da onda médias:<br>período ou comprimento ao largo  | s ou m            | Tipo de rebentação  | -        |
| Características da onda de pico:<br>período ou comprimento ao largo | s ou m            | Factor de redução   | -        |
| Área erodida relativa   | -                 | Peso unitário dos blocos  | kN       |
| Permeabilidade  | -                 |   |          |

5) Van der Meer (enrocamento) - estruturas submersas

As ajudas de cálculo, assinaladas com (1) e (2) na Figura 31, remetem o utilizador para janelas que contêm, respectivamente a Tabela 4, com indicações relativas ao nível de dano, e a Figura 20, onde se representa a altura da obra submersa.

Figura 31: Janela de cálculo da formulação de van der Meer para enrocamento (estruturas submersas), correspondente à situação de cálculo isolado.

Tabela 12: Parâmetros da formulação de van der Meer para enrocamento (submersa).

| Parâmetros de Entrada  | Un                | Parâmetros de Saída  | Un     |
|--|-------------------|--|--------|
| Altura de onda de projecto   | m                 | Declividade da onda local  | -      |
| Peso volúmico dos blocos   | kN/m <sup>3</sup> | Características da onda de pico:<br>período ou comprimento local ou<br>ou comprimento ao largo | s ou m |
| Peso volúmico da água  | kN/m <sup>3</sup> | Peso unitário dos blocos   | kN     |
| Área erodida relativa  | -                 |  |        |
| Características da onda de pico:<br>período ou comprimento local ou<br>ou comprimento ao largo | s ou m            |  |        |
| Profundidade local   | m                 |  |        |
| Altura da obra submersa  | m                 |  |        |

## 6) Características da secção transversal

Relativamente às características da secção transversal, verifica-se que, os parâmetros de entrada e de saída são comuns, qualquer que seja a formulação e tipo de obra em causa, variando apenas a esquematização da secção transversal. O cálculo das características da secção transversal corresponde à 2ª parte da janela de cálculo de todas as formulações descritas anteriormente.

Existem duas ajudas de cálculo, representadas nas Figura 26 à Figura 31 (2ª parte), respectivas ao coeficiente de camada e à porosidade da camada, que remetem o utilizador, em ambos os casos, para uma janela que contém a Tabela 7.

Na Tabela 13 apresentam-se os parâmetros de entrada e saída, correspondentes à 2ª parte do cálculo, comum às cinco janelas apresentadas anteriormente.

Tabela 13: Parâmetros relativos às características da secção transversal.

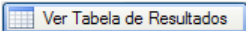
| Parâmetros de Entrada                             | Un                | Parâmetros de Saída                  | Un |
|---|-------------------|--------------------------------------|----|
| Peso unitário dos blocos                          | kN                | Número de blocos por unidade de área | -  |
| Peso volúmico dos blocos                          | kN/m <sup>3</sup> | Largura de coroamento                | m  |
| Número de camadas de blocos (no manto resistente) | -                 | Espessura das camadas                | m  |
| Coeficiente de camada                             | -                 |                                      |    |
| Porosidade da camada                              | %                 |                                      |    |
| Número de blocos (na largura de coroamento)       | -                 |                                      |    |

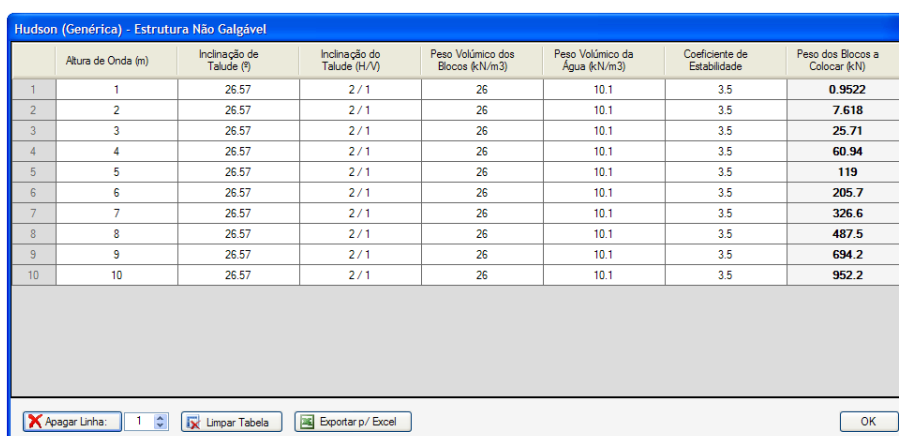
Na esquematização da secção transversal apresenta-se, para além dos parâmetros já referidos, o valor do peso unitário dos blocos das subcamadas e do núcleo, de acordo com o descrito na secção 3.3 (Tabela 6). De referir que a esquematização da secção transversal apenas é visível quando realizado um cálculo isolado.

### 4.3.5. Tabelas de resultados

O *D-Coast* inclui seis tabelas de resultados, cinco das quais referentes à determinação do peso unitário dos blocos para cada uma das formulações que o programa contempla, e a sexta, referente às características da secção transversal, que engloba todas as formulações.

Em seguida, descrevem-se as potencialidades associadas às tabelas de cálculo, tomando como referência a tabela associada à determinação do peso unitário dos blocos, através da formulação de Hudson (Figura 32). Verifica-se, no entanto, que as potencialidades descritas para esta tabela são válidas para as restantes cinco tabelas de resultados.

Para visualizar as tabelas de resultados, o utilizador tem duas opções: recorrendo à barra de menus, fazendo “Ver” → “Tabela de Resultados” → Escolher a tabela pretendida, ou através do comando  na janela de cálculo correspondente.



|    | Altura de Onda (m) | Inclinação de Talude (°) | Inclinação do Talude (H/V) | Peso Volúmico dos Blocos (kN/m <sup>3</sup> ) | Peso Volúmico da Água (kN/m <sup>3</sup> ) | Coefficiente de Estabilidade | Peso dos Blocos a Colocar (kN) |
|----|--------------------|--------------------------|----------------------------|---|--|------------------------------|--------------------------------|
| 1  | 1                  | 26.57                    | 2 / 1                      | 26  | 10.1                                       | 3.5                          | 0.9522                         |
| 2  | 2                  | 26.57                    | 2 / 1                      | 26  | 10.1                                       | 3.5                          | 7.618                          |
| 3  | 3                  | 26.57                    | 2 / 1                      | 26  | 10.1                                       | 3.5                          | 25.71                          |
| 4  | 4                  | 26.57                    | 2 / 1                      | 26  | 10.1                                       | 3.5                          | 60.94                          |
| 5  | 5                  | 26.57                    | 2 / 1                      | 26  | 10.1                                       | 3.5                          | 119                            |
| 6  | 6                  | 26.57                    | 2 / 1                      | 26  | 10.1                                       | 3.5                          | 205.7                          |
| 7  | 7                  | 26.57                    | 2 / 1                      | 26  | 10.1                                       | 3.5                          | 326.6                          |
| 8  | 8                  | 26.57                    | 2 / 1                      | 26  | 10.1                                       | 3.5                          | 487.5                          |
| 9  | 9                  | 26.57                    | 2 / 1                      | 26  | 10.1                                       | 3.5                          | 694.2                          |
| 10 | 10                 | 26.57                    | 2 / 1                      | 26  | 10.1                                       | 3.5                          | 952.2                          |

Figura 32: Exemplo de uma tabela de resultados do *D-Coast*.

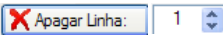
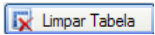
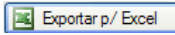
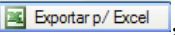
Obtida a tabela de resultados, o utilizador pode eliminar resultados pontuais não desejáveis, através do comando  ou eliminar todos os dados da tabela através do comando . De forma a guardar os resultados obtidos e a permitir um fácil tratamento de dados (realização de gráficos, etc.), o utilizador pode exportar a tabela de resultados para um ficheiro de Excel®, recorrendo ao comando , obtendo, no caso da tabela da Figura 32, o ficheiro representado na Figura 33. Por cada vez que o utilizador recorre ao comando , é aberto um ficheiro de Excel® diferente, que pode ser guardado onde o utilizador pretender.

TABELA DE RESULTADOS - NÃO GALGÁVEL (HUDSON - GENÉRICA)

| Altura de Onda (m) | Inclinação do Talude (º) | Inclinação do Talude (H/V) | Peso Volúmico dos Blocos (kN/m³) | Peso Volúmico da Água (kN/m³) | Coefficiente de Estabilidade | Peso dos Blocos a Colocar (kN) |
|--------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| 1                  | 20                       | 2,75 / 1                   | 26                               | 10,1                          | 3,5                          | 0,693                          |
| 2                  | 20                       | 2,75 / 1                   | 26                               | 10,1                          | 3,5                          | 5,544                          |
| 3                  | 20                       | 2,75 / 1                   | 26                               | 10,1                          | 3,5                          | 18,71                          |
| 4                  | 20                       | 2,75 / 1                   | 26                               | 10,1                          | 3,5                          | 44,35                          |
| 5                  | 20                       | 2,75 / 1                   | 26                               | 10,1                          | 3,5                          | 86,63                          |
| 6                  | 20                       | 2,75 / 1                   | 26                               | 10,1                          | 3,5                          | 149,7                          |
| 7                  | 20                       | 2,75 / 1                   | 26                               | 10,1                          | 3,5                          | 237,7                          |
| 8                  | 20                       | 2,75 / 1                   | 26                               | 10,1                          | 3,5                          | 354,8                          |
| 9                  | 20                       | 2,75 / 1                   | 26                               | 10,1                          | 3,5                          | 505,2                          |
| 10                 | 20                       | 2,75 / 1                   | 26                               | 10,1                          | 3,5                          | 693                            |

Figura 33: Aspecto do ficheiro de Excel® referente à tabela de resultados da Figura 32.

#### 4.4. Notas Finais

O *D-Coast* é compatível com o sistema operativo *Windows*, no entanto, foi desenvolvido utilizando o sistema operativo *Microsoft Windows XP* e o *Microsoft Office 2007*. Assim sendo, quando o programa for utilizado associado a outros sistemas operativos, poderão existir algumas alterações, essencialmente visuais, que não foram contempladas aquando do seu desenvolvimento.

Apesar do *software* desenvolvido apresentar diversas indicações relativas às formulações incluídas e incorporar algumas caixas de diálogo informativas, torna-se essencial o conhecimento teórico dos processos de cálculo, com vista a uma utilização correcta do programa.

Por fim, é de realçar, que os responsáveis pelo *D-Coast* não se responsabilizam pelo uso incorrecto do *software* e respectivas consequências que daí possam advir.

## **Capítulo 5**

---

# **ANÁLISE DE SENSIBILIDADES**





## 5. ANÁLISE DE SENSIBILIDADES

O pré-dimensionamento de obras de defesa costeira é, como já referido, baseado em formulações empíricas, que fornecem o valor do peso unitário dos blocos a colocar no manto resistente, necessário para resistir às solicitações impostas. Para a realização de um pré-dimensionamento eficaz, isto é, capaz de responder às acções impostas com a menor quantidade de material possível, é essencial a compreensão da influência dos diferentes parâmetros envolvidos, no valor final do peso dos blocos do manto resistente.

Assim, no presente capítulo, recorrendo ao programa desenvolvido, pretende-se realizar um estudo de sensibilidades, que tem como principal objectivo, perceber qual a influência da variação de cada um dos parâmetros, no valor final do peso dos blocos. A análise de sensibilidades realizada abrange a formulação de Hudson (genérica), van der Meer (enrocamento) e van der Meer e Jong (tetrápodos), para o caso das estruturas não galgáveis e a formulação de van der Meer (enrocamento) para as estruturas galgáveis e submersas.

Uma vez que, a definição da altura de onda de projecto é essencial para o pré-dimensionamento das estruturas, para uma melhor compreensão da sua influência, nas análises realizadas considera-se sempre, o peso unitário dos blocos a variar em função da altura de onda (considerando um intervalo entre 1 e 10 metros).

Inicialmente, apresentam-se graficamente os resultados das análises de sensibilidades realizadas e descrevem-se as considerações efectuadas para a sua obtenção (secção 5.1 a 5.3). Por fim, na secção 5.4, são discutidos e analisados os resultados obtidos.

### 5.1. Estruturas Não Galgáveis

Estruturas não galgáveis, são estruturas onde apenas são admissíveis galgamentos para condições de temporal muito severas. De acordo com as Expressões 12 (Hudson), 13 e 14 (van der Meer - enrocamento), e 16 e 17 (van der Meer e Jong - tetrápodos), verifica-se que a altura de onda de projecto ( $H$ ), o peso volúmico dos blocos e o peso volúmico da água ( $\gamma_s$  e  $\gamma_w$ , respectivamente) são parâmetros intervenientes nas três formulações. A

influência do peso volúmico da água não é avaliada, considerando-se, para todas as análises, o peso volúmico da água salgada ( $\gamma_w = 10,1 \text{ kN/m}^3$ ).

#### Hudson (genérica)

De acordo com a Expressão 12, verifica-se que o peso unitário dos blocos a colocar no manto resistente ( $W$ ) depende, para além dos parâmetros comuns às três formulações, do valor admitido para a inclinação do talude ( $\alpha$ ) e para o coeficiente de estabilidade ( $K_D$ ). Assim, analisa-se a influência da variação da inclinação do talude, do coeficiente de estabilidade e do peso volúmico dos blocos, no valor final do peso unitário dos blocos.

Para o estudo da influência dos três parâmetros referidos, optou-se por considerar cinco valores diferentes para o parâmetro em análise, fixando os restantes. Assim, para cada caso específico, obtêm-se cinco curvas, que representam a variação do peso unitário dos blocos do manto resistente em função da altura de onda incidente (Figura 34).

No primeiro caso, faz-se variar a inclinação do talude aproximadamente entre os 18 e os 45° (correspondente a  $H/V = 3/1$  e  $H/V = 1/1$ , respectivamente) e considera-se o coeficiente de estabilidade ( $K_D = 3$ ) e o peso volúmico dos blocos ( $\gamma_s = 26 \text{ kN/m}^3$ ) constantes, obtendo-se as curvas representadas na Figura 34a.

Para o segundo caso, faz-se variar o coeficiente de estabilidade entre 3 e 19, considera-se um talude com inclinação  $H/V = 2/1$  (aproximadamente 27°) e mantém-se o peso volúmico dos blocos ( $\gamma_s = 26 \text{ kN/m}^3$ ), obtendo-se as curvas representadas na Figura 34b.

Para a terceira situação, considera-se a mesma inclinação do caso anterior ( $H/V = 2/1$ ), um coeficiente de estabilidade  $K_D = 3$  e faz-se variar o peso volúmico dos blocos entre 20 e 32  $\text{kN/m}^3$ , obtendo-se as curvas da Figura 34c.

#### Van der Meer (enrocamento)

Para estruturas não galgáveis, van der Meer (1988a) propõe duas expressões para o cálculo do peso unitário dos blocos do manto resistente, cuja utilização depende do tipo de rebentação em causa (Expressão 13, para ondas com rebentação do tipo oscilatório e Expressão 14, para ondas com rebentação mergulhante).

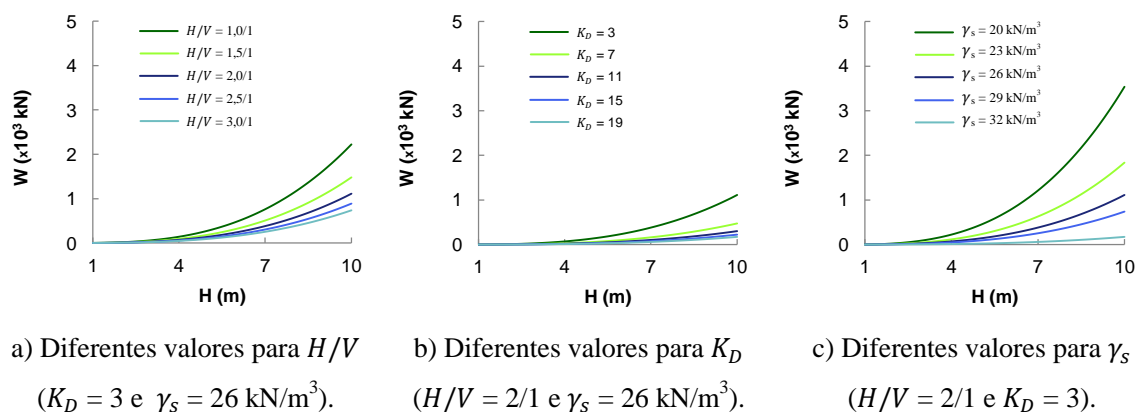


Figura 34: Peso dos blocos de estruturas não galgáveis, de acordo com a formulação de Hudson (genérica).

A classificação do tipo de rebentação depende da relação entre o número de Iribarren médio,  $\xi_m$  (Expressão 8), e crítico,  $\xi_{mc}$  (Expressão 15). Pela análise das duas expressões, verifica-se que o número de Iribarren médio e crítico, e consequentemente o tipo de rebentação da onda, dependem da altura da onda incidente ( $H$ ), do período de onda ( $T_m$ ), da inclinação do talude ( $\alpha$ ) e da permeabilidade ( $P$ ).

Para além dos parâmetros agora referidos e dos parâmetros comuns às três formulações, analisando as Expressões 13 e 14 verifica-se que o peso unitário dos blocos depende ainda, do valor admitido para o nível de dano ( $S$ ) e do valor do número de ondas ( $N_z$ ). Assim, analisa-se a influência de todos estes parâmetros, à excepção do nível de dano, para o qual se considera o valor correspondente a danos iniciais ( $S = 2$ ), na variação do valor final do peso unitário dos blocos.

De forma a englobar o estudo da influência de todos os parâmetros, optou-se por avaliar a influência da inclinação do talude (Figura 35) e do peso volúmico dos blocos (Figura 36) para três situações distintas: na primeira situação, considerando dois valores para o período de onda ( $T_m = 8 \text{ s}$  e  $T_m = 12 \text{ s}$ ); na segunda, considerando dois valores para a permeabilidade ( $P = 0,1$  e  $P = 0,6$ ) e por último, considerando dois valores para o número de ondas ( $N_z = 2000$  e  $N_z = 7500$ ).

Para o estudo da influência da inclinação do talude, consideram-se três valores distintos, a variar entre  $H/V = 1/1$  e  $H/V = 3/1$ , obtendo-se, para as três situações referidas, as curvas

representadas na Figura 35a, 35b e 35c. No caso da avaliação da influência do peso volúmico dos blocos, consideram-se igualmente três valores, a variar entre 20 e 32 kN/m<sup>3</sup>, obtendo-se as curvas da Figura 36a, 36b e 36c, para as três situações definidas.

Para uma melhor compreensão dos resultados, foi definido um “caso padrão”, representado na Figura 35 e na Figura 36 pelas curvas a traço contínuo (—), para o qual se considera:  $T_m = 8$  s,  $P = 0,1$ ,  $N_z = 7500$ ,  $H/V = 2/1$  e  $\gamma_s = 26$  kN/m<sup>3</sup>. Quando um parâmetro não se encontra em análise, admite-se o valor correspondente ao “caso padrão”.

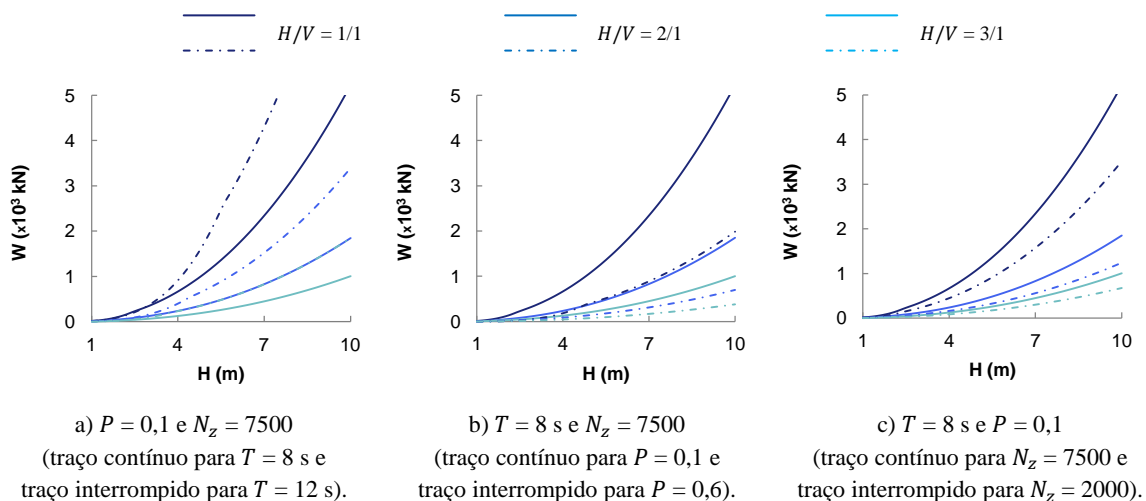


Figura 35: Peso dos blocos de estruturas não galgáveis, de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento), para diferentes valores de inclinação do talude.

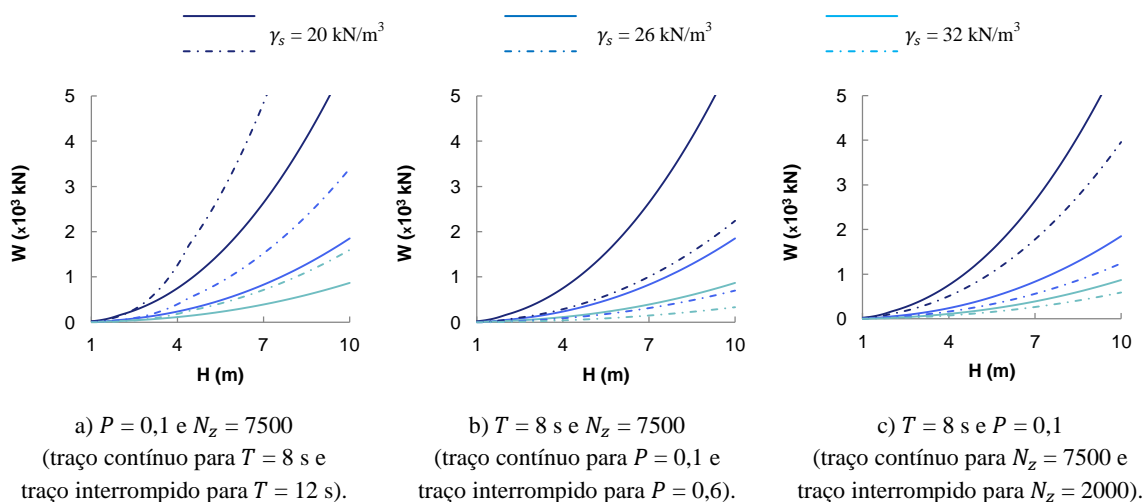


Figura 36: Peso dos blocos de estruturas não galgáveis, de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento), para diferentes valores de peso volúmico dos blocos.

De salientar que no gráfico da Figura 35a, a curva correspondente à inclinação  $H/V = 2/1$  e período de onda  $T = 8$  s é coincidente com a curva correspondente a  $H/V = 3/1$  e  $T = 12$  s, para alturas de onda incidentes superiores a 4 metros. Verifica-se que a partir de  $H = 4$  m, a rebentação é do tipo mergulhante, pelo que deverá ser utilizada a Expressão 14 para o cálculo do peso unitário dos blocos do manto resistente. Assim, para os dois casos, apenas difere o valor considerado para  $\xi_m = s_{om}^{-0,5} \tan \alpha$ , dado que os restantes parâmetros são iguais. Sabe-se que a declividade média da onda ( $s_{om} = 2\pi H / gT_m^2$ ) depende directamente do valor do período (a altura de onda incidente é igual nos dois casos), logo, em ambos os casos a variação do valor do peso dos blocos apenas depende de  $T_m$  e de  $\tan \alpha$ . Nesta situação, a relação entre estes dois parâmetros dá origem a resultados com linhas coincidentes.

#### Van der Meer e Jong (tetrápodos)

Para a determinação do peso unitário dos blocos do manto resistente de estruturas não galgáveis, constituído por tetrápodos, van der Meer (1988b) propõe a Expressão 16, no caso de ondas com rebentação oscilatória, e De Jong (1996) apresenta a Expressão 17, para ondas com rebentação mergulhante. Pela análise das duas expressões, verifica-se que o peso unitário dos blocos depende, para além dos parâmetros comuns às três formulações ( $H$  e  $\gamma_s$ ), do período de onda ( $T_m$ ), do número de ondas ( $N_z$ ) e do nível de dano associado (definido, nesta formulação, por  $N_{od}$ ).

Para o estudo da influência dos parâmetros referidos, faz-se variar o valor do peso volumico do material entre 20 e 32 kN/m<sup>3</sup>, considerando três situações distintas (Figura 37a, 37b e 37c): na primeira situação, consideram-se dois valores para o período de onda ( $T_m = 8$  s e  $T_m = 12$  s), na segunda, consideram-se dois valores para o número de ondas ( $N_z = 2000$  e  $N_z = 7500$ ) e, na terceira situação, dois valores para o nível de dano ( $N_{od} = 0,0$  e  $N_{od} = 1,5$ ).

## **5.2. Estruturas Galgáveis**

Estruturas galgáveis, como referido em 3.2.1, são estruturas onde o espraiamento da onda pode atingir cotas superiores ao coroamento da estrutura. Para este tipo de obras,

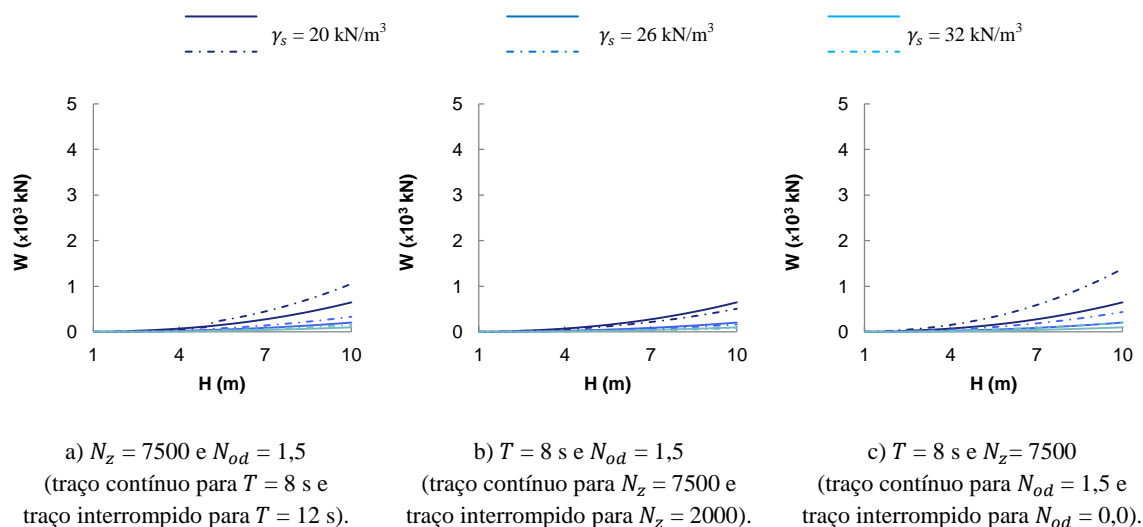


Figura 37: Peso dos blocos de estruturas não galgáveis, de acordo com a formulação de van der Meer e Jong (tetrápodos), para diferentes valores de peso volúmico dos blocos.

apresenta-se em seguida o estudo da influência dos diferentes parâmetros envolvidos, no valor final do peso unitário dos blocos a colocar no manto resistente, de acordo com a formulação proposta por van der Meer (1991).

Van der Meer (enrocamento)

Van der Meer (1991) sugere que o peso unitário dos blocos a colocar no manto resistente das estruturas resulte do peso necessário para estruturas não galgáveis, afectado por um factor de redução. Assim, de acordo com o descrito em 3.2.2, verifica-se a relação  $D_{n50,Galgável} = f_i D_{n50,Não\ Galgável}$ , sendo o valor de  $D_{n50,Não\ Galgável}$  obtido através das Expressões 13 e 14, para ondas com rebentação oscilatória e mergulhante, respectivamente, e o valor  $f_i$  dado pela Expressão 19. Pelo descrito, pode deduzir-se a relação  $W_{Galgável} = f_i^3 W_{Não\ Galgável}$ , dado que  $W = \gamma_s D_{n,50}^3$ .

Uma vez que os resultados obtidos para o peso unitário dos blocos de estruturas galgáveis, dependem do valor correspondente às estruturas não galgáveis, não será analisada a influência dos parâmetros incluídos nas Expressões 13 e 14, visto que este estudo já foi realizado em 5.1. Assim, realiza-se apenas o estudo da influência do valor da altura de galgamento,  $R_c$  (ou seja, o desnível entre o coroamento da estrutura e o nível da superfície

da água, representado na Figura 19), uma vez que é o parâmetro que mais influencia o valor do factor de redução e, conseqüentemente, o valor final do peso unitário dos blocos.

Consideram-se cinco valores de  $R_c$ , a variar entre 0 e 4 metros, e obtêm-se as curvas representadas na Figura 38a, que traduzem o valor do peso unitário dos blocos em função da altura de onda incidente. Representa-se também, na mesma figura, a curva relativa ao peso unitário dos blocos, no caso de estruturas não galgáveis. Na Figura 38b, apresentam-se seis curvas, que representam o valor do factor de redução ( $f'_i = f_i^3$ ) em função da altura de onda, e que correspondem às seis situações representadas na Figura 38a. De acordo com a Expressão 20, verifica-se que  $0,8 < f_i < 1,0$ , logo, pode deduzir-se que  $0,512 < f'_i < 1,0$ . Para os restantes parâmetros, consideram-se os valores correspondentes ao “caso padrão”, descrito em 5.1, ou seja,  $T_m = 8$  s,  $P = 0,1$ ,  $N_z = 7500$ ,  $H/V = 2/1$  e  $\gamma_s = 26$  kN/m<sup>3</sup>. Para o peso volúmico da água e nível de dano, considera-se, respectivamente,  $\gamma_w = 10,1$  kN/m<sup>3</sup> e  $S = 2$ , tal como nos casos anteriores, e para o valor do período de pico considera-se  $T_p = 9,8$  s (admitindo a relação  $T_m = 0,82 T_p$ , Expressão 1).

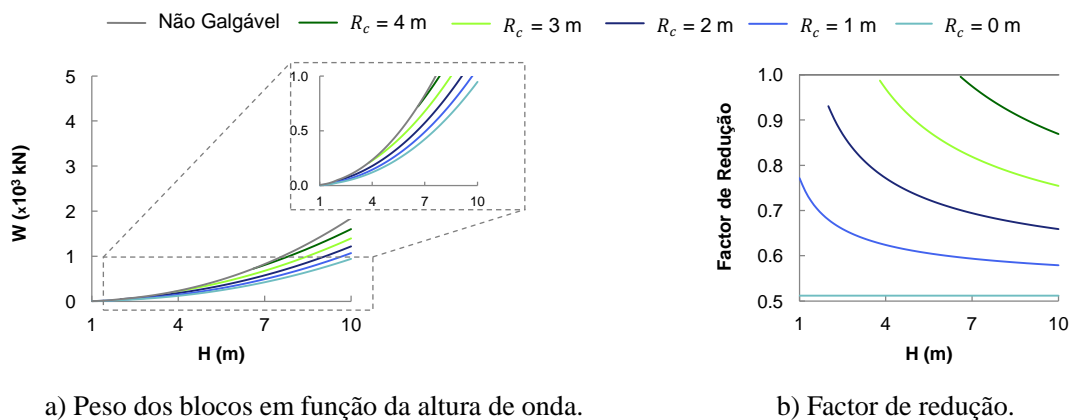


Figura 38: Avaliação do efeito da altura de galgamento, no peso dos blocos de estruturas galgáveis, de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento).

### 5.3. Estruturas Submersas

Estruturas submersas, como referido em 3.2.3, são estruturas para as quais a cota de coroamento se encontra abaixo do nível médio das águas. Nesta secção, realiza-se o estudo da sensibilidade do peso unitário dos blocos do manto resistente, à variação de alguns dos parâmetros envolvidos, de acordo com a formulação proposta por van der Meer (1991).

Van der Meer (enrocamento)

Para as estruturas submersas, verifica-se, pela análise das Expressões 21 e 22, que o peso unitário dos blocos do manto resistente depende da altura de onda de projecto ( $H$ ), do peso volúmico dos blocos e da água ( $\gamma_s$  e  $\gamma_w$ , respectivamente), do período de onda de pico ( $T_p$ ), do nível de dano ( $S$ ), da altura da obra ( $h'_c$ ) e da profundidade local ( $d$ ).

Analisa-se a influência da altura da obra submersa e da profundidade local, no valor do peso unitário dos blocos. Para o primeiro caso, faz-se variar a profundidade local entre 3 e 15 metros e considera-se constante a altura da obra submersa ( $h'_c = 3$  m), obtendo-se as cinco curvas representadas na Figura 39a. No segundo caso, consideram-se cinco valores para a altura da obra submersa, a variar entre 1 e 9 metros, admitindo o valor da profundidade fixo ( $d = 9$  m), originando as curvas representadas na Figura 39b. Em ambas as análises realizadas, considera-se  $\gamma_s = 26 \text{ kN/m}^3$ ,  $\gamma_w = 10,1 \text{ kN/m}^3$ ,  $T_p = 9,8$  s, e  $S = 2$ .

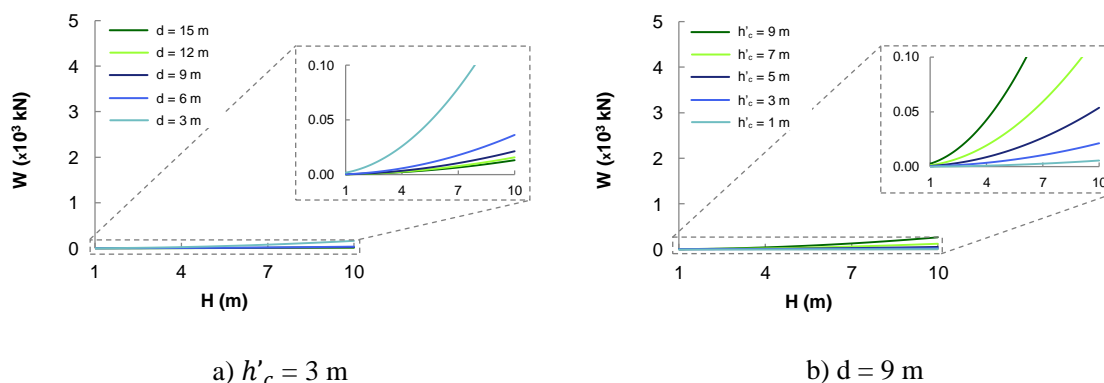


Figura 39: Avaliação do efeito da profundidade e altura da obra, no peso dos blocos de estruturas submersas, de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento).

**5.4. Discussão dos Resultados**

Uma vez apresentadas as análises de sensibilidades realizadas, na presente secção analisam-se e interpretam-se os resultados obtidos, primeiramente numa perspectiva global, mais genérica, e depois avaliando os comportamentos específicos de cada formulação (secções 5.4.1 a 5.4.5).

Para o estudo da influência dos diferentes parâmetros, considerou-se, em todas as formulações, o valor do peso unitário dos blocos em função da variação da altura de onda



incidente (altura de onda de projecto -  $H$ ). Como seria de esperar, verifica-se que o aumento da altura de onda incidente resulta num aumento significativo do valor do peso unitário dos blocos a colocar no manto resistente, sendo esse aumento constante, qualquer que seja o valor atribuído aos restantes parâmetros. No entanto, identificaram-se duas excepções: no caso da formulação de van der Meer, para estruturas não galgáveis e galgáveis, quando a rebentação é do tipo oscilatório, e no caso das estruturas galgáveis, quando o valor da altura de galgamento ( $R_c$ ) varia. Nestas duas situações, o acréscimo relativo do valor do peso dos blocos devido ao aumento da altura de onda, varia consoante o valor atribuído aos restantes parâmetros.

Para todas as formulações, o acréscimo do peso unitário dos blocos é superior para valores baixos de  $H$ , e diminui à medida que este aumenta. Este facto releva a importância da definição da altura de onda de projecto, uma vez, que a incerteza na consideração desse valor, para alturas de onda baixas, resulta numa variação percentual grande do peso dos blocos (impacto significativo). Quando a situação corresponde a alturas de onda de projecto elevadas, a incerteza na altura de onda não tem tanto impacto percentual, mas, obviamente, referem-se a pesos absolutos maiores para cada bloco. Por exemplo, para valores de  $H$  compreendidos entre 7 e 10 metros, o aumento percentual do peso dos blocos, correspondente ao acréscimo de 1 metro na altura de onda é de aproximadamente 40%, enquanto para valores de  $H$  compreendidos entre 1 e 4 metros o acréscimo atinge valores superiores a 300%.

Nas análises de sensibilidades realizadas, não foi avaliada a influência da variação do peso volúmico da água, nem a influência do nível de dano ( $S$ ). De uma forma geral, o aumento do peso volúmico da água implica um acréscimo no valor do peso unitário dos blocos do manto resistente. Esta análise não é realizada em detalhe, visto que a variação do peso volúmico da água é, em geral, muito pequena.

No que diz respeito à influência do nível de dano (também denominado por área erodida relativa), de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento), para os três tipos de obra, verifica-se que, quanto maior é o nível de dano admissível para a estrutura, menor será o peso unitário dos blocos do manto resistente. Na Figura 40 representa-se a variação do valor do peso unitário, tendo em conta diferentes valores para o dano admissível da estrutura. O nível de dano  $S = 2$  corresponde, em geral, a danos iniciais na estrutura, e

$S = 20$  corresponde a situações próximas da rotura. No que diz respeito aos restantes parâmetros, considera-se  $H = 4$  m,  $\gamma_s = 26$  kN/m<sup>3</sup>,  $\gamma_w = 10,1$  kN/m<sup>3</sup>,  $T_m = 8$  s,  $T_p = 9,8$  s,  $P = 0,1$ ,  $N_z = 7500$ ,  $H/V = 2/1$ ,  $R_c = 1$  m,  $d = 9$  m e  $h'_c = 3$  m.

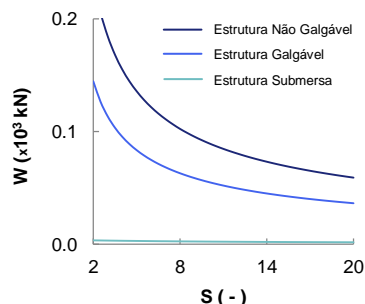


Figura 40: Influência do nível de dano no valor final do peso unitário dos blocos, de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento).

Para estruturas não galgáveis e galgáveis, o comportamento é idêntico, no entanto, para o caso das estruturas submersas, a variação do nível de dano tem um impacto inferior na variação do peso unitário dos blocos. Para as três situações, o aumento do peso unitário dos blocos, proporcionado pela diminuição do nível de dano admissível, é mais significativo quando considerados valores baixos de  $S$ . Por exemplo, ao considerar um nível de dano  $S = 2$  ao invés de  $S = 4$ , verifica-se um acréscimo no peso unitário dos blocos de 52%, enquanto que, se for considerado um nível de dano  $S = 18$  em vez de  $S = 20$ , o acréscimo já será de apenas 7% (no caso de estruturas não galgáveis e galgáveis). Para estruturas submersas, o acréscimo será de 14% e 6%, respectivamente.

#### 5.4.1. Hudson (genérica) - não galgável

Para a formulação de Hudson, de modo geral, o peso unitário dos blocos do manto resistente aumenta com o aumento da inclinação do talude, com a diminuição do coeficiente de estabilidade e com a diminuição do peso volúmico do material.

O acréscimo relativo do peso unitário dos blocos devido ao aumento da inclinação do talude é constante, qualquer que seja o valor atribuído aos restantes parâmetros. No entanto, verifica-se que este acréscimo não é linear, isto é, para gamas de inclinação baixas, o aumento do peso dos blocos é mais significativo, do que quando consideradas gamas mais elevadas (Figura 34a). Na Figura 41, indicam-se os valores dos acréscimos

relativos do peso unitário dos blocos do manto resistente, tendo em conta os valores de inclinação do talude adoptados para a análise.

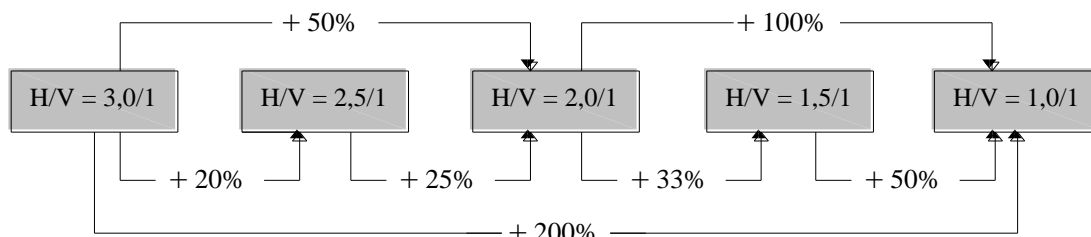


Figura 41: Acréscimo relativo do peso dos blocos, tendo em conta a variação da inclinação do talude, de acordo com a formulação de Hudson.

Pela análise dos resultados apresentados na Figura 41, subentende-se que o acréscimo relativo é superior para inclinações maiores, no entanto é de referir que a passagem de  $H/V = 1,5/1$  para  $H/V = 1,0/1$ , corresponde uma variação de  $11^\circ$ , enquanto que, ao passar de  $H/V = 3,0/1$  para  $H/V = 2,5/1$ , o intervalo já é de apenas  $3^\circ$ .

O acréscimo relativo do peso unitário dos blocos, devido à diminuição do coeficiente de estabilidade (Figura 34b), também é constante, quaisquer que sejam os valores adoptados para os restantes parâmetros. Verifica-se, pela análise da Figura 42, que o acréscimo relativo é significativamente superior quando considerados valores mais baixos para o coeficiente de estabilidade.

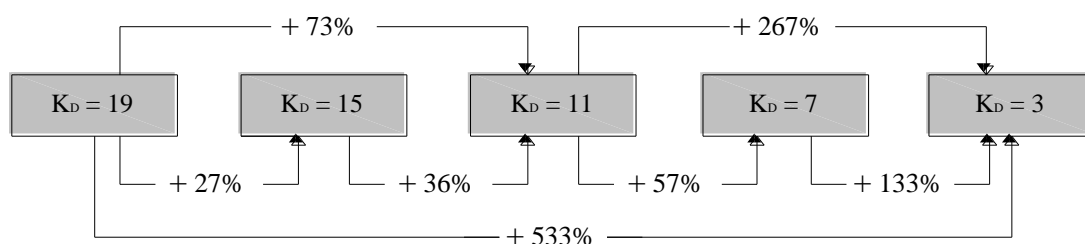


Figura 42: Acréscimo relativo do peso dos blocos, tendo em conta a variação do coeficiente de estabilidade, de acordo com a formulação de Hudson.

Por fim, verifica-se que o peso unitário dos blocos aumenta com a diminuição do peso volúmico do material (Figura 34c), sendo este aumento superior para gamas mais baixas (Figura 43).

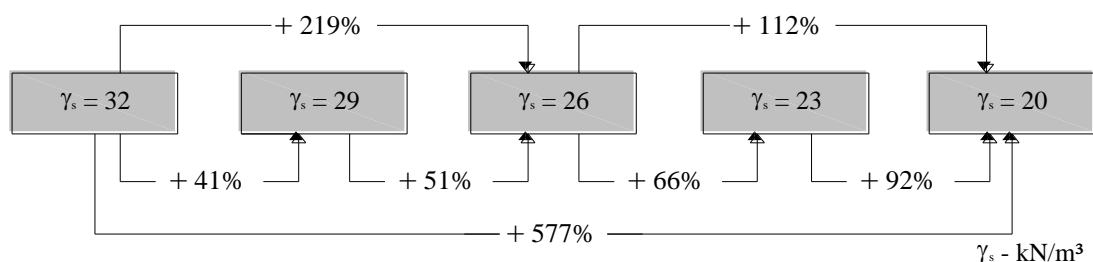


Figura 43: Acréscimo relativo do peso dos blocos, tendo em conta a variação do peso volumétrico do material, de acordo com a formulação de Hudson.

Analisando, de modo geral, as curvas da Figura 34, verifica-se, para os intervalos considerados, que o peso volumétrico do material é o parâmetro que mais influencia o valor do peso unitário dos blocos, enquanto que o coeficiente de estabilidade é o parâmetro que tem menos influência.

#### 5.4.2. Van der Meer (enrocamento) - não galgável

Relativamente à formulação de van der Meer para enrocamento, no caso de estruturas não galgáveis (e conseqüentemente galgáveis, dado que se utilizam as mesmas formulações afectadas do factor de redução), para uma melhor compreensão do estudo de sensibilidades realizado, é importante analisar o valor da altura de onda incidente para o qual ocorre a transição entre rebentação do tipo oscilatório e mergulhante, isto porque, a formulação para o cálculo do peso unitário dos blocos é diferente (Expressões 13 e 14, respectivamente).

Analisando as expressões relativas ao cálculo do número de Iribarren médio e crítico (8 e 15, respectivamente), verifica-se que, o valor da altura de onda para o qual ocorre a transição entre o tipo de rebentação depende do período de onda, da permeabilidade e da inclinação do talude. Assim, tendo em conta as análises realizadas em 5.1, verifica-se que, a transição entre o tipo de rebentação ocorre para os valores de altura de onda representados na Tabela 14.

Para esta formulação, analisou-se o efeito da variação da inclinação do talude (Figura 35) e do peso volumétrico dos blocos (Figura 36), considerando, em ambos os casos, diferentes valores para o período de onda, permeabilidade e número de ondas.

Tabela 14: Altura de onda (m) correspondente à transição entre ondas oscilatórias e mergulhantes, para diferentes permeabilidades, inclinações e períodos de onda.

| $H/V$                | $P = 0,1$ |     |     | $P = 0,6$ |     |     |
|----------------------|-----------|-----|-----|-----------|-----|-----|
|                      | 1/1       | 2/1 | 3/1 | 1/1       | 2/1 | 3/1 |
| $T_m = 8 \text{ s}$  | 2,5       | 1,9 | 1,7 | 4,9       | 2,3 | 1,5 |
| $T_m = 12 \text{ s}$ | 5,5       | 4,5 | 3,9 | >10       | 5,1 | 3,3 |

O comportamento da variação da inclinação do talude é análogo para as três situações analisadas (Figura 35a, 35b e 35c), e constante, qualquer que seja o valor atribuído aos restantes parâmetros (à exceção do caso da alteração do valor da permeabilidade, que influencia os resultados relativos às ondas oscilatórias). De referir também que, o acréscimo relativo do peso dos blocos, devido ao aumento da inclinação, varia consoante se trate de ondas com rebentação oscilatória ou mergulhante, verificando-se que, é mais significativo na presença de ondas com rebentação mergulhante. Na Figura 44, representam-se os acréscimos relativos do valor do peso unitário dos blocos, tendo em conta a alteração do valor da inclinação do talude, para ondas com rebentação oscilatória e mergulhante.

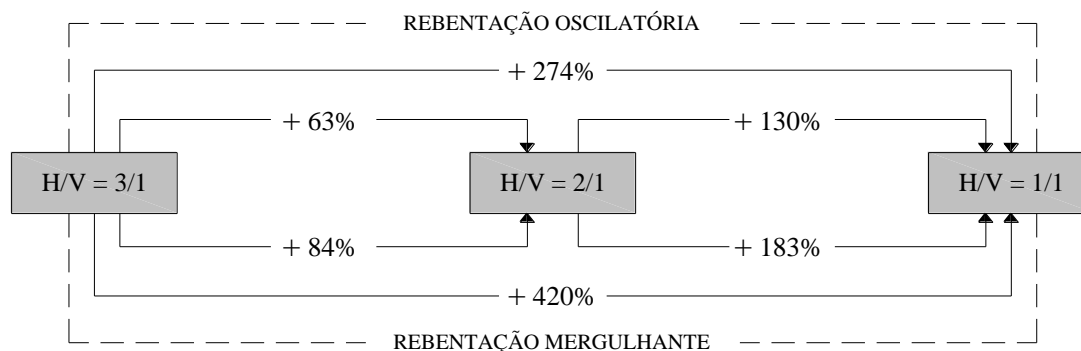


Figura 44: Acréscimo relativo do peso dos blocos, tendo em conta a variação da inclinação do talude, de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento).

A variação do peso volúmico dos blocos apresenta um comportamento semelhante nos três casos estudados (Figura 36a, 36b e 36c), e constante, quando considerados outros valores para os restantes parâmetros. Como o peso volúmico do material não interfere com o tipo de rebentação, a sua influência no valor final do peso dos blocos é igual para ondas do tipo oscilatório ou mergulhante. Como seria de esperar, o peso unitário dos blocos aumenta

com a diminuição do peso volúmico, sendo este acréscimo mais significativo, quando considerados pesos volúmcicos inferiores (Figura 45).

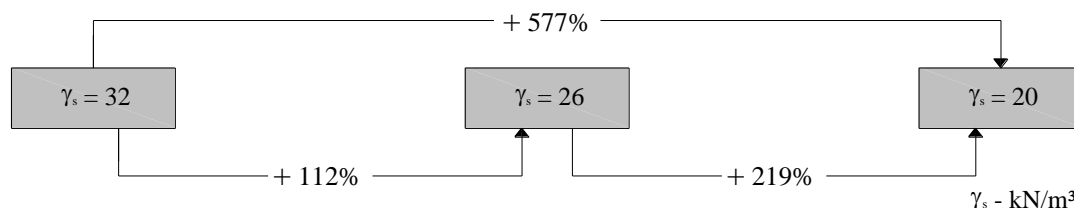
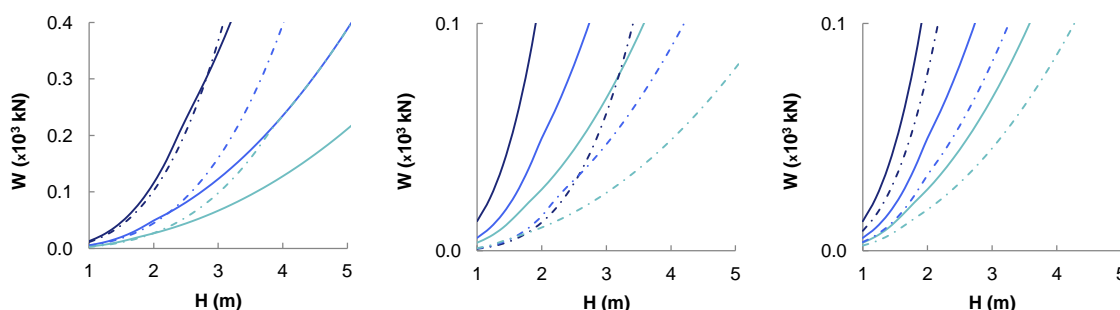


Figura 45: Acréscimo relativo do peso dos blocos, tendo em conta a variação do peso volúmcico do material, de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento).

Para uma melhor compreensão do efeito da variação do período de onda, permeabilidade e número de ondas, apresenta-se na Figura 46, uma pormenorização das curvas obtidas na Figura 35, que permite visualizar a zona de transição entre o tipo de rebentação. Relativamente à análise dos parâmetros referidos considerando valores diferentes para o peso volúmcico do material (Figura 36), o comportamento verificado é análogo, pelo que, não são apresentadas as curvas em pormenor. Verifica-se que o comportamento devido à alteração do valor do período de onda, permeabilidade e número de ondas é igual, qualquer que seja a inclinação e peso volúmcico considerados.



a) Pormenorização da Figura 35a. b) Pormenorização da Figura 35b. c) Pormenorização da Figura 35c.

Figura 46: Pormenorização dos resultados da Figura 35, para baixas alturas de onda.

No que diz respeito ao período de onda, o facto de se considerar ondas com rebentação oscilatória ou mergulhante, tem muita influência na variação do peso unitário dos blocos. Assim, pela análise da Figura 46a, observa-se que, para alturas de onda baixas (ondas oscilatórias), o peso unitário dos blocos correspondente a um período  $T_m = 8$  s é superior ao obtido quando  $T_m = 12$  s, no entanto, para ondas mergulhantes, a situação inverte-se (Figura 47). A relação entre pesos é constante qualquer que seja o valor atribuído aos

restantes parâmetros, à exceção da permeabilidade, cuja variação altera o valor das percentagens referidas.

Através da Figura 46b, observa-se que o peso unitário dos blocos correspondente a taludes impermeáveis ( $P = 0,1$ ), é significativamente superior ao necessário quando considerados taludes permeáveis ( $P = 0,6$ ). No entanto, a relação entre pesos não é constante, na presença de ondas com rebentação oscilatória, sendo superior quando considerados valores mais baixos de altura de onda. Para o caso de ondas mergulhantes o acréscimo do peso unitário é constante, qualquer que seja o valor considerado para os restantes parâmetros (Figura 47).

O aumento do número de ondas implica um acréscimo no valor do peso unitário dos blocos (Figura 46c), constante para ondas oscilatórias e mergulhantes, já que o tipo de rebentação não depende do número de ondas (Figura 47). Ao alterar o valor dos restantes parâmetros, verifica-se a mesma relação entre pesos.

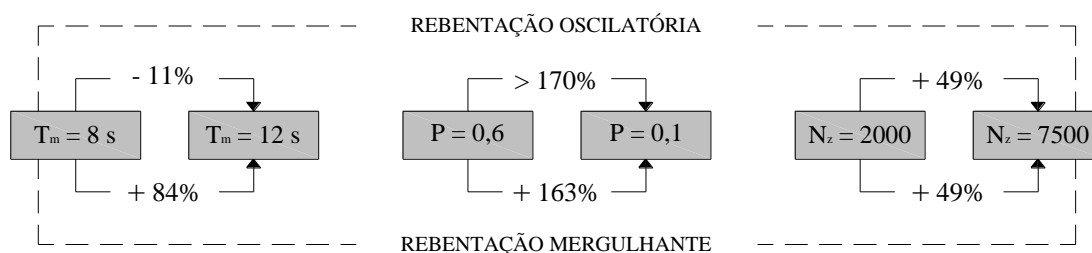
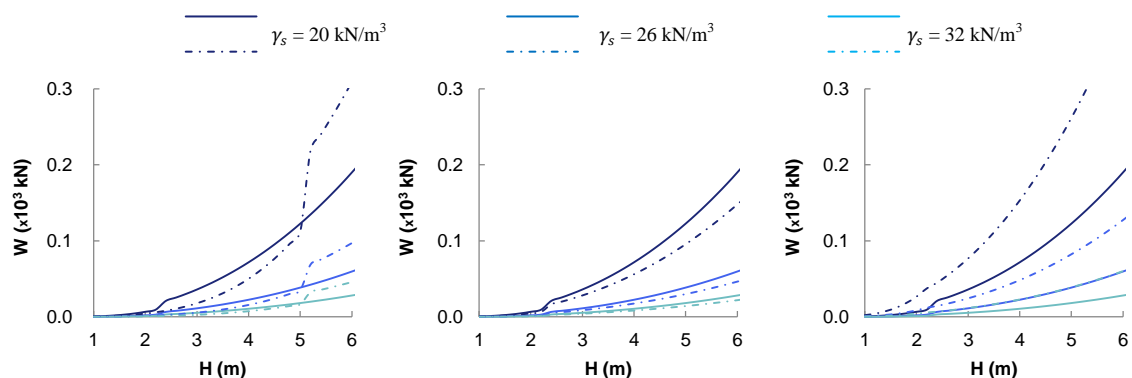


Figura 47: Acréscimo relativo do peso dos blocos, tendo em conta a variação do período de onda, permeabilidade e número de ondas, de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento).

#### 5.4.3. Van der Meer e Jong (tetrápodos) - não galgável

Para a formulação de van der Meer e Jong para tetrápodos, foi analisada a influência do período de onda ( $T_m$ ), do número de ondas ( $N_z$ ) e do nível de dano ( $N_{od}$ ), no valor do peso unitário dos blocos, considerando três valores distintos para o peso volúmico do material (Figura 37). Na Figura 48, apresenta-se uma pormenorização da Figura 37, de forma a permitir uma análise do comportamento do peso dos blocos na zona de transição entre rebentação oscilatória e mergulhante.

Uma vez que esta formulação não depende da inclinação do talude, nem da permeabilidade (é válida apenas quando  $H/V = 2/1$  e  $P = 0,4$ ), a transição entre ondas oscilatórias e



a) Pormenorização da Figura 37a. b) Pormenorização da Figura 37b. c) Pormenorização da Figura 37c.

Figura 48: Pormenorização dos resultados da Figura 37, para baixas alturas de onda.

mergulhantes depende apenas do valor considerado para o período de onda. Assim, verifica-se que, quando  $T_m = 8$  s, a transição ocorre para  $H = 2,3$  m e quando  $T_m = 12$  s, ocorre para  $H = 5,1$  m.

No que diz respeito à influência do peso volúmico do material, o comportamento é análogo ao verificado para a formulação de van der Meer (enrocamento), obtendo-se, para as três situações analisadas, as relações entre pesos representadas na Figura 45.

Relativamente à influência do período de onda, analisando a Figura 48a, verifica-se que para ondas oscilatórias, o peso unitário dos blocos correspondente a  $T_m = 8$  s é superior ao valor obtido quando considerado  $T_m = 12$  s e que, para ondas mergulhantes a situação se inverte, tal como verificado para a formulação de van der Meer (enrocamento).

O aumento do número de ondas implica um acréscimo no valor do peso unitário dos blocos, no entanto, contrariamente ao verificado no caso de van der Meer (enrocamento), a relação entre pesos, varia consoante se trate de ondas com rebentação oscilatória ou mergulhante e depende do valor considerado para o nível de dano (Figura 48b).

Para a avaliação da influência do nível de dano no valor final do peso unitário, consideraram-se dois valores,  $N_{od} = 0,0$  (correspondente a danos iniciais) e  $N_{od} = 1,5$  (correspondente a danos próximos da rotura). Verifica-se, pela análise da Figura 48c, que a consideração de um nível de danos inferior implica um acréscimo significativo no valor final do peso unitário dos blocos. De referir que, o acréscimo é superior para ondas com rebentação oscilatória e que as relações obtidas dependem do número de ondas.



Para os três casos referidos anteriormente, apresentam-se na Figura 49, os respectivos acréscimos no valor final do peso unitário dos blocos.

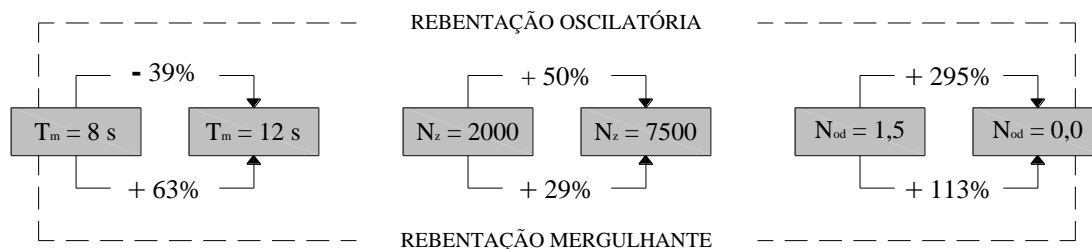


Figura 49: Acréscimo relativo do peso dos blocos, tendo em conta a variação do período de onda, número de ondas e nível de dano de acordo com a formulação de van der Meer e Jong (tetrápodos).

#### 5.4.4. Van der Meer (enrocamento) - galgável

Relativamente à formulação de van der Meer para estruturas galgáveis, como já referido, apenas se analisa o efeito da altura de galgamento ( $R_c$ ), no valor final do peso unitário dos blocos, isto porque, a análise dos restantes parâmetros é semelhante à realizada para estruturas não galgáveis.

Para uma melhor compreensão da análise realizada, comparou-se o valor do peso unitário dos blocos para um determinado valor de  $R_c$ , com o valor correspondente à estrutura não galgável. De um modo geral, quanto maior é o valor de  $R_c$ , maior será o valor do factor de redução, logo menor é a relação entre os respectivos pesos. A relação entre pesos varia consoante o valor considerado para a altura de onda, à excepção do caso  $R_c = 0$  m (limite da classificação entre estrutura galgável e submersa), onde o valor do factor de redução é constante e corresponde à redução máxima de 49%. Na Figura 50, apresentam-se as percentagens de redução do valor do peso unitário dos blocos, para diferentes valores de  $R_c$ , considerando uma altura de onda  $H = 7$  m.

O valor do factor de redução depende, para além de  $R_c$ , do valor do período de onda de pico,  $T_p$ . Verifica-se, tendo em conta a análise realizada, que um acréscimo no valor de  $T_p$ , implica uma diminuição no factor de redução, logo concluiu-se que, para o mesmo valor de  $R_c$ , a consideração de períodos de pico mais elevados proporciona valores mais baixos para o peso unitário dos blocos do manto resistente.

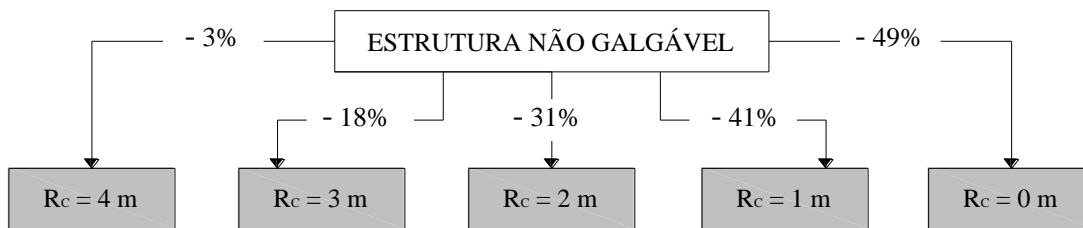


Figura 50: Redução do valor do peso dos blocos, para diferentes valores  $R_c$ , considerando  $H = 7$  m, de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento).

### 5.4.5. Van der Meer (enrocamento) - submersa

Para as estruturas submersas, avaliou-se na Figura 39, a influência da variação da profundidade local (considerando o valor da altura da obra fixo -  $h'_c = 3$  m) e a influência da variação da altura da obra submersa (considerando fixo o valor da profundidade local -  $d = 9$  m), no valor final do peso unitário dos blocos a colocar no manto resistente.

Relativamente à influência da profundidade local, verifica-se que a sua diminuição proporciona um aumento no valor do peso unitário dos blocos, sendo esse acréscimo superior, quando consideradas profundidades mais baixas (Figura 51). Os valores referidos são válidos, qualquer que seja a altura de onda considerada, no entanto, aumentam, quando considerada uma altura de obra superior.

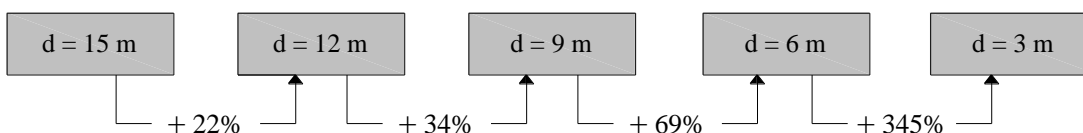


Figura 51: Acréscimo relativo do peso dos blocos, tendo em conta a variação da profundidade, considerando a altura da obra submersa fixa ( $h'_c = 3$  m).

Considerando a mesma profundidade local, verifica-se que, o aumento da altura da obra implica um acréscimo no valor do peso unitário dos blocos, superior quando consideradas alturas de obra inferiores (Figura 52).

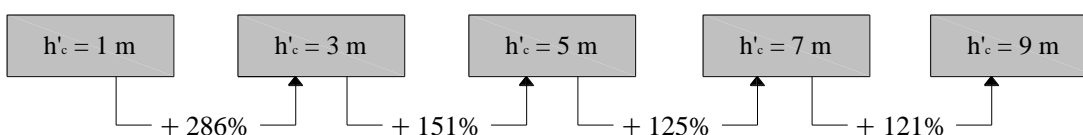


Figura 52: Acréscimo relativo do peso dos blocos, tendo em conta a variação da altura da obra submersa, considerando o valor da profundidade local fixo ( $d = 9$  m).

### 5.4.6. Tabela resumo

Nesta secção, apresenta-se, sob a forma de tabela, um resumo da influência de cada um dos parâmetros, no valor final do peso unitário dos blocos a colocar no manto resistente das estruturas. Assim, na Tabela 15, identifica-se, para cada formulação, quais os parâmetros que influenciam o valor do peso unitário dos blocos e verifica-se se o seu acréscimo implica um aumento ou diminuição do peso dos blocos.

Tabela 15: Influência do acréscimo dos diferentes parâmetros no valor final do peso dos blocos.

|            | NÃO GALGÁVEL         |                               |                                     | GALGÁVEL                      | SUBMERSA                      |
|------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|            | Hudson<br>(genérica) | van der Meer<br>(enrocamento) | van der Meer e<br>Jong (tetrápodos) | van der Meer<br>(enrocamento) | van der Meer<br>(enrocamento) |
| $H$        | ↗                    | ↗                             | ↗                                   | ↗                             | ↗                             |
| $\alpha$   | ↗                    | ↗                             | -                                   | ↗                             | -                             |
| $\gamma_s$ | ↘                    | ↘                             | ↘                                   | ↘                             | ↘                             |
| $\gamma_w$ | ↗                    | ↗                             | ↗                                   | ↗                             | ↗                             |
| $K_D$      | ↘                    | -                             | -                                   | -                             | -                             |
| $P$        | -                    | ↘                             | -                                   | ↘                             | -                             |
| $S$        | -                    | ↘                             | -                                   | ↘                             | ↘                             |
| $N_z$      | -                    | ↗                             | ↗                                   | ↗                             | -                             |
| $T_m$      | -                    | *                             | *                                   | *                             | -                             |
| $T_p$      | -                    | -                             | -                                   | ↘                             | ↗                             |
| $N_{od}$   | -                    | -                             | ↘                                   | -                             | -                             |
| $R_c$      | -                    | -                             | -                                   | ↗                             | -                             |
| $h'_c$     | -                    | -                             | -                                   | -                             | ↗                             |
| $d$        | -                    | -                             | -                                   | -                             | ↘                             |

\* A influência do período de onda médio, no valor final do peso unitário dos blocos, depende do tipo de rebentação considerada. Assim, para ondas oscilatórias, o aumento de  $T_m$  implica um redução no valor do peso dos blocos, e para ondas mergulhantes a situação inverte-se.

## 5.5. Notas Finais

No presente capítulo, pretendeu-se, com recurso ao *D-Coast*, realizar uma análise de sensibilidade dos diversos parâmetros envolvidos nas formulações, de forma a perceber a sua influência no valor final do peso unitário dos blocos a colocar no manto resistente.

Verificou-se, como seria de esperar, que o peso dos blocos a colocar no manto resistente de estruturas não galgáveis é superior ao necessário para estruturas onde são admissíveis galgamentos, que por sua vez é substancialmente superior ao peso necessário para estruturas submersas.

Optou-se por não comparar os resultados obtidos para cada uma das três formulações apresentadas para as estruturas não galgáveis, isto porque, os parâmetros que influenciam o peso unitário dos blocos do manto resistente diferem muito de formulação para formulação.

É de referir que, nas análises realizadas para a formulação de van der Meer (não galgável e galgável, para enrocamento), para determinados valores de altura de onda, a declividade média obtida encontra-se fora do intervalo de validade e que, apesar da formulação abranger apenas pesos volúmicos inferiores a  $31 \text{ kN/m}^3$ , considerou-se nas análises de sensibilidades um intervalo entre 20 e  $32 \text{ kN/m}^3$ .

Em todas as análises realizadas, foi possível verificar que, pequenas variações no valor da altura de onda de projecto implicam grandes acréscimos no valor final do peso dos blocos do manto resistente. Assim, torna-se essencial uma correcta definição do seu valor.

## Capítulo 6

---

### APLICAÇÃO DO *D-COAST*



## 6. APLICAÇÃO DO *D-COAST*

O *D-Coast* foi desenvolvido com o intuito de facilitar e otimizar os processos de pré-dimensionamento do peso unitário dos blocos do manto resistente de obras de defesa costeira. Pretende-se, com este capítulo, demonstrar algumas das aplicações possíveis de realizar recorrendo à sua utilização.

Assim, são resolvidos alguns exemplos de cálculo, que pretendem englobar todas as formulações incluídas, são apresentadas tabelas de pré-dimensionamento expedito, construídas a partir dos resultados do *D-Coast*, e são comparados resultados com casos de estudo existentes na bibliografia.

### 6.1. Exemplos de Cálculo

Nesta secção, admitindo uma situação de projecto hipotética, relativa ao pré-dimensionamento da secção transversal de um quebramar destacado, apresentam-se, com recurso à utilização do *D-Coast*, diferentes propostas para o peso unitário dos blocos a colocar no manto resistente, correspondentes a cada uma das formulações estudadas.

Como referido no Capítulo 2, os quebramares destacados são estruturas de defesa costeira, destacadas da linha de costa e aproximadamente paralelas, que podem ser submersas ou emersas, consoante o coroamento se encontre abaixo do nível do mar ou não, respectivamente.

Nos exemplos apresentados de seguida, considera-se o valor da profundidade local fixo ( $d = 4$  m) e três hipóteses para a cota de coroamento da estrutura ( $C$ ):  $C = 8$  m, considerando que o quebramar destacado é não galgável;  $C = 5$  m, admitindo que a estrutura é galgável (ao que corresponde uma altura de galgamento  $R_c = 1$  m) e  $C = 3$  m, ficando o coroamento da estrutura um metro abaixo do nível médio das águas - estrutura submersa.

De referir que, nos exemplos apresentados, apenas se têm em conta as formulações descritas no Capítulo 3, ou seja, para cada caso, determina-se apenas o peso unitário dos

blocos do manto resistente e algumas das características da secção transversal (largura de coroamento,  $B$ , espessura do manto resistente,  $r$ , número de blocos por unidade de área,  $N_a/A$ , e o peso unitário dos blocos das subcamadas e núcleo).

### Definição das condições gerais para o cálculo

Para o pré-dimensionamento do perfil transversal do quebramar destacado, admitiu-se, para todas as situações, uma altura de onda de projecto  $H = 3$  m. Para a determinação do período de onda médio ( $T_m$ ) e período de onda de pico ( $T_p$ ), recorreu-se às Expressões 2 e 1, respectivamente, obtendo-se  $T_m = 8,3$  s e  $T_p = 10,1$  s. Admitiu-se uma duração de temporal ( $t$ ) de 16 horas, que origina um número de ondas ( $N_z$ ) de aproximadamente 7000 ( $N_z = 3600 t / T_m$ ). Considerou-se uma inclinação do talude de  $H/V = 2/1$  (aproximadamente  $27^\circ$ ), admitindo que é permeável, ou seja, de acordo com a Figura 18,  $P = 0,6$ . Admitiu-se ainda, para todas as situações, um nível de danos inicial. Na Figura 53 representa-se a secção transversal-tipo pretendida para o quebramar destacado em estudo.

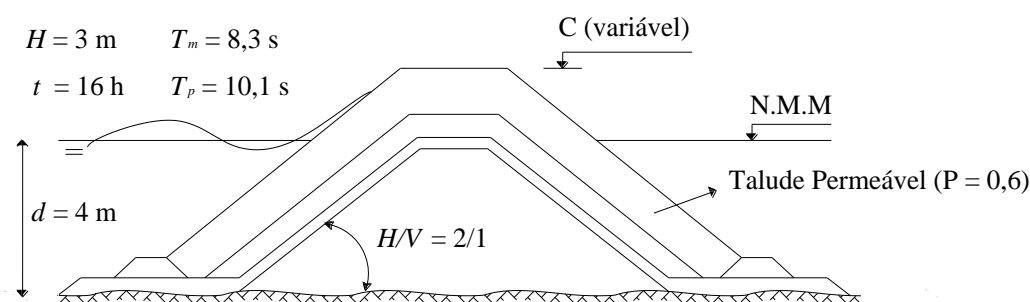


Figura 53: Secção transversal-tipo, correspondente aos exemplos de cálculo.

No caso do material constituinte do manto ser o enrocamento, considerou-se um peso volúmico  $\gamma_s = 26$  kN/m<sup>3</sup> e no caso de se optar por blocos pré-fabricados de betão, o peso volúmico admitido foi  $\gamma_s = 24$  kN/m<sup>3</sup>. Para o peso volúmico da água admitiu-se sempre  $\gamma_w = 10,1$  kN/m<sup>3</sup>.

Relativamente ao cálculo das restantes características da secção transversal, considerou-se, para o caso do enrocamento, um coeficiente de camada  $k_\Delta = 1,02$  e porosidade  $P' = 38\%$ , e para o caso de blocos pré-fabricados de betão,  $k_\Delta = 1,04$  e  $P' = 50\%$  (Tabela 7). Em ambos



os casos, consideraram-se três blocos colocados na berm da largura de coroamento ( $n_b$ ) e duas camadas de blocos no manto resistente ( $n$ ).

### Hudson (genérica) - estrutura não galgável

Como já referido, a formulação de Hudson pode ser estendida a vários tipos de materiais, fazendo variar o peso volúmico do material ( $\gamma_s$ ) e o coeficiente de estabilidade ( $K_D$ ). Assim, para esta formulação, determinou-se o peso unitário dos blocos considerando enrocamento (Figura 54 e Tabela 16) e considerando tetrápodos (Tabela 17). Para o primeiro caso, admitiu-se  $K_D = 3,5$  e para o segundo,  $K_D = 7$  (de acordo com a Tabela 3).

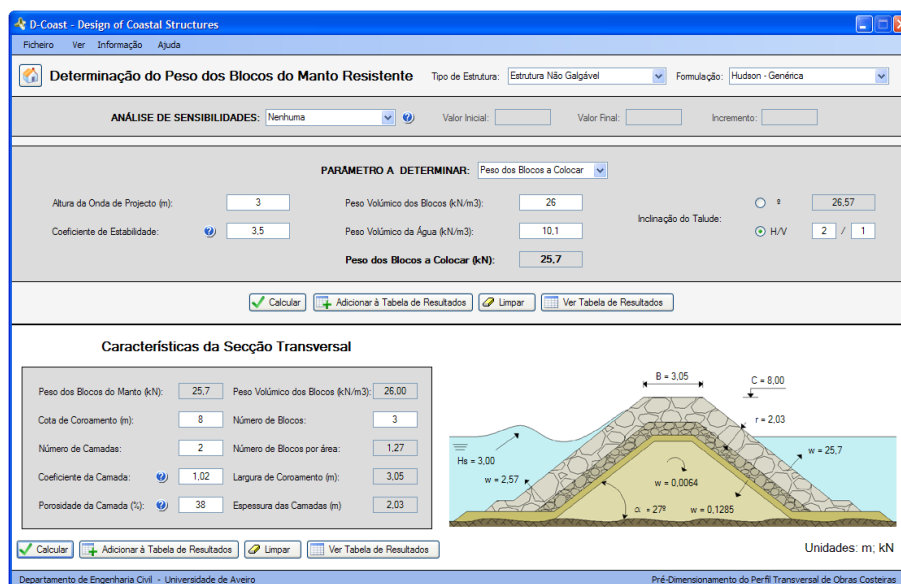


Figura 54: Resultados do *D-Coast*, para a formulação de Hudson, considerando enrocamento (estrutura não galgável).

Tabela 16: Resumo dos resultados obtidos para a formulação de Hudson, considerando enrocamento (estrutura não galgável).

| PESO UNITÁRIO DOS BLOCOS |        |    | RESTANTES CARACTERÍSTICAS            |      |   |
|--------------------------|--------|----|--------------------------------------|------|---|
| Manto resistente         | 25,70  | kN | Largura de coroamento                | 3,05 | m |
| Subcamada                | 2,570  | kN | Espessura das camadas                | 2,03 | m |
| Filtros                  | 0,1285 | kN | Número de blocos por unidade de área | 1,27 | m |
| Núcleo                   | 0,0064 | kN |                                      |      |   |

Tabela 17: Resumo dos resultados obtidos para a formulação de Hudson, considerando tetrapódos (estrutura não galgável).

| PESO UNITÁRIO DOS BLOCOS |        |    | RESTANTES CARACTERÍSTICAS            |      |   |
|--------------------------|--------|----|--------------------------------------|------|---|
| Manto resistente         | 17,76  | kN | Largura de coroamento                | 2,82 | m |
| Subcamada                | 1,776  | kN | Espessura das camadas                | 1,88 | m |
| Filtros                  | 0,0888 | kN | Número de blocos por unidade de área | 1,15 | m |
| Núcleo                   | 0,0044 | kN |                                      |      |   |

Van der Meer (enrocamento) – estrutura não galgável

Para a formulação de van der Meer para enrocamento, para além dos parâmetros já definidos nas condições gerais, interessa saber o valor de  $S$  (nível de dano) correspondente às condições iniciais. Assim, de acordo com a Tabela 4, a uma inclinação  $H/V = 2/1$ , equivale  $S = 2$ .

Na Tabela 18, apresenta-se apenas o resumo dos resultados obtidos, podendo visualizar-se os resultados intermédios na janela de cálculo correspondente (Figura 55).

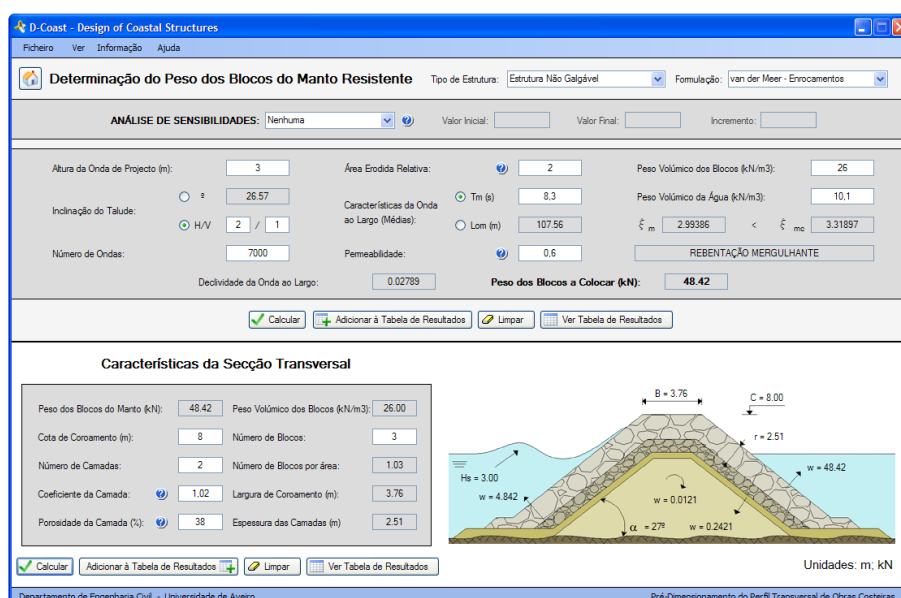


Figura 55: Resultados do *D-Coast*, para a formulação de van der Meer, considerando enrocamento (estrutura não galgável).

Tabela 18: Resumo dos resultados obtidos para a formulação de van der Meer, considerando enrocamento (estrutura não galgável).

| PESO UNITÁRIO DOS BLOCOS |        |    | RESTANTES CARACTERÍSTICAS            |      |   |
|--------------------------|--------|----|--------------------------------------|------|---|
| Manto resistente         | 48,42  | kN | Largura de coroamento                | 3,76 | m |
| Subcamada                | 4,842  | kN | Espessura das camadas                | 2,51 | m |
| Filtros                  | 0,2421 | kN | Número de blocos por unidade de área | 1,03 | m |
| Núcleo                   | 0,0121 | kN |                                      |      |   |

### Van der Meer e Jong (tetrápodos) – estrutura não galgável

Para a formulação de van der Meer e Jong, o nível de dano é definido pelo parâmetro  $N_{od}$ , que depende do tipo de bloco e da percentagem de danos admissível. Assim, de acordo com a Tabela 5, às condições do problema, corresponde, aproximadamente,  $N_{od} = 0,35$ . De referir que, a formulação de van der Meer e Jong é válida para  $H/V = 3/2$  e  $P = 0,4$ , pelo que, os resultados demonstrados na Figura 56 e na Tabela 19 são apenas aproximados.

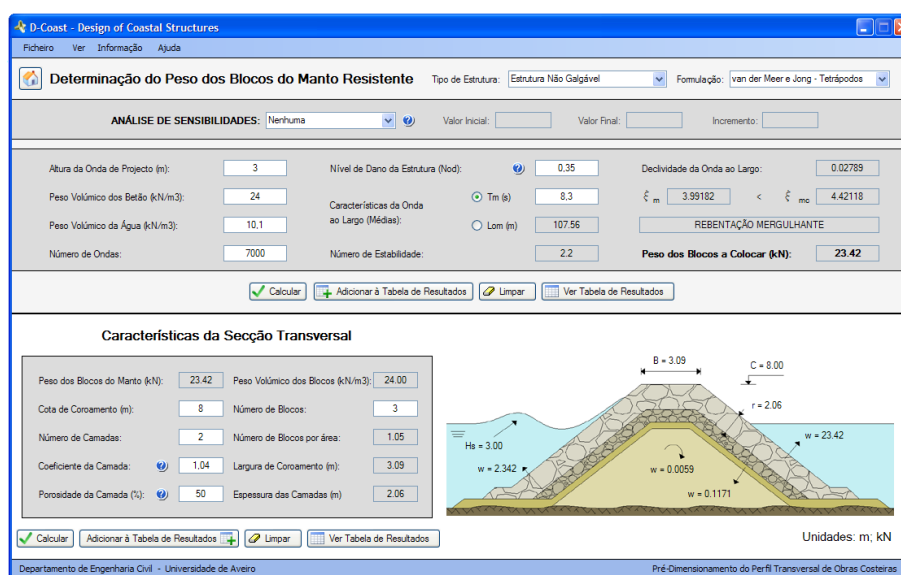


Figura 56: Resultados do *D-Coast*, para a formulação de van der Meer e Jong, considerando tetrápodos (estrutura não galgável).

### Van der Meer (enrocamento) – estrutura galgável

Considerando a estrutura em estudo galgável, à qual corresponde um valor  $R_c = 1$  m ( $R_c = C - d$ ), obtêm-se os resultados da Figura 57 e da Tabela 20.

Tabela 19: Resumo dos resultados obtidos para a formulação de van der Meer e Jong, considerando tetrapodos (estrutura não galgável).

| PESO UNITÁRIO DOS BLOCOS |        |    | RESTANTES CARACTERÍSTICAS            |      |   |
|--------------------------|--------|----|--------------------------------------|------|---|
| Manto resistente         | 23,42  | kN | Largura de coroamento                | 3,09 | m |
| Subcamada                | 2,342  | kN | Espessura das camadas                | 2,06 | m |
| Filtros                  | 0,1171 | kN | Número de blocos por unidade de área | 1,05 | m |
| Núcleo                   | 0,0059 | kN |                                      |      |   |

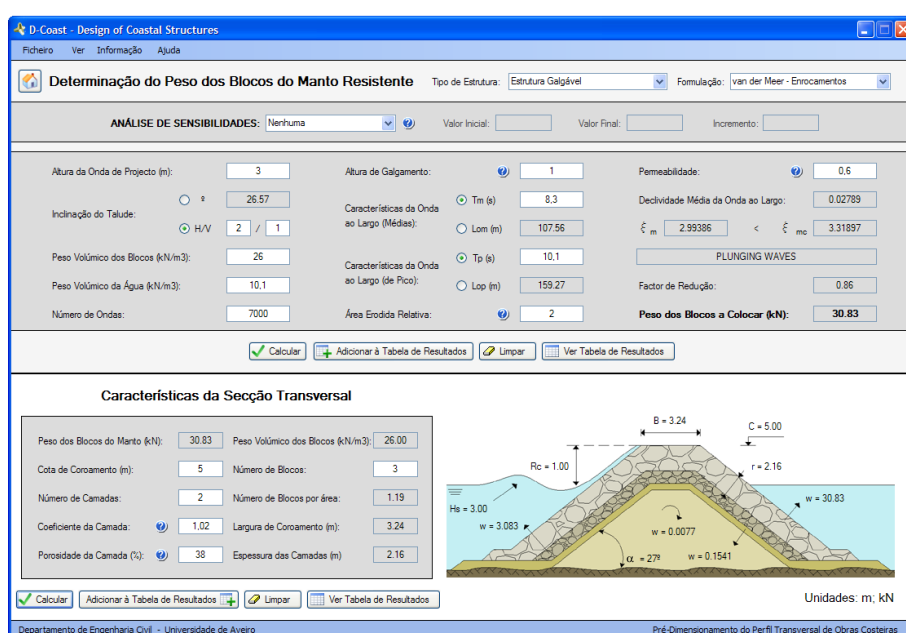


Figura 57: Resultados do *D-Coast*, para a formulação de van der Meer, considerando enrocamento (estrutura galgável).

Tabela 20: Resumo dos resultados obtidos para a formulação de van der Meer, considerando enrocamento (estrutura galgável).

| PESO UNITÁRIO DOS BLOCOS |        |    | RESTANTES CARACTERÍSTICAS            |      |   |
|--------------------------|--------|----|--------------------------------------|------|---|
| Manto resistente         | 30,83  | kN | Largura de coroamento                | 3,24 | m |
| Subcamada                | 3,083  | kN | Espessura das camadas                | 2,16 | m |
| Filtros                  | 0,1541 | kN | Número de blocos por unidade de área | 1,19 | m |
| Núcleo                   | 0,0077 | kN |                                      |      |   |

Van der Meer (enrocamento) – estrutura submersa

Ao impor a cota de coroamento da estrutura abaixo do nível médio das águas ( $C = 3$  m), obtêm-se os resultados expressos na Figura 58 e na Tabela 21.

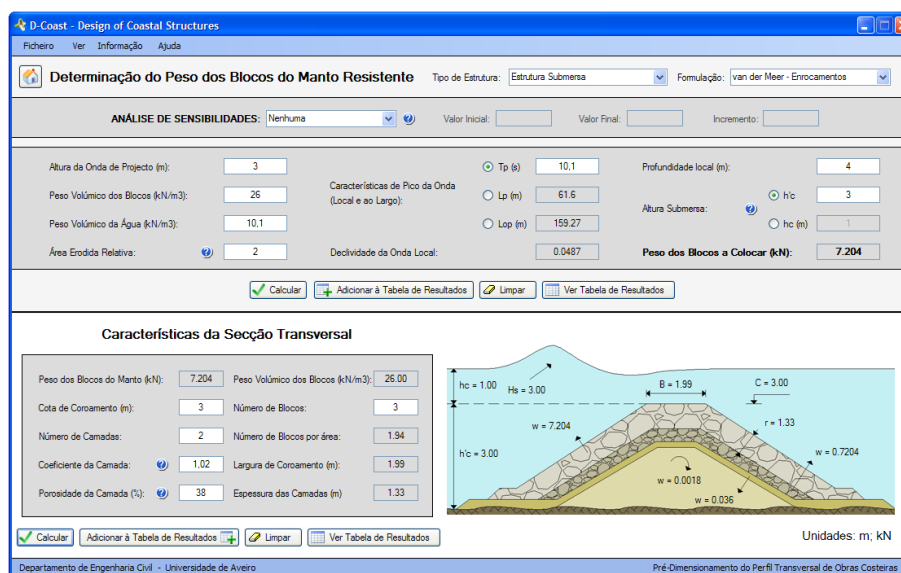


Figura 58: Resultados do *D-Coast*, para a formulação de van der Meer, considerando enrocamento (estrutura submersa).

Tabela 21: Resumo dos resultados obtidos para a formulação de van der Meer, considerando enrocamento (estrutura submersa).

| PESO UNITÁRIO DOS BLOCOS |        |    | RESTANTES CARACTERÍSTICAS            |      |   |
|--------------------------|--------|----|--------------------------------------|------|---|
| Manto resistente         | 7,204  | kN | Largura de coroamento                | 1,99 | m |
| Subcamada                | 0,7204 | kN | Espessura das camadas                | 1,33 | m |
| Filtros                  | 0,036  | kN | Número de blocos por unidade de área | 1,94 | m |
| Núcleo                   | 0,0018 | kN |                                      |      |   |

Para facilitar a comparação dos resultados obtidos nos exemplos propostos anteriormente, apresenta-se, na Tabela 22, um resumo do valor do peso unitário dos blocos a colocar no manto resistente, para as diferentes situações.

Não é possível uma comparação directa e total dos resultados obtidos para as diferentes formulações, uma vez que cada uma apresenta critérios específicos de utilização. No entanto, pela análise da Tabela 22, pode concluir-se que o peso dos blocos a colocar no

Tabela 22: Peso unitário dos blocos, correspondente aos exemplos de cálculo.

| TABELA RESUMO - PESO UNITÁRIO DOS BLOCOS DO MANTO RESISTENTE (kN) |              |                     |            |
|---|--------------|---------------------|------------|
| ESTRUTURA NÃO GALGÁVEL  | Hudson       | Enrocamento         | 25,70      |
|   |              | Tetrápodos          | 17,76      |
|   | Van der Meer | Enrocamento         | 48,42      |
|   |              | Van der Meer e Jong | Tetrápodos |
| ESTRUTURA GALGÁVEL  | Van der Meer | Enrocamento         | 30,83      |
| ESTRUTURA SUBMERSA  | Van der Meer | Enrocamento         | 7,20       |

manto resistente de estruturas não galgáveis é superior ao peso dos blocos a colocar nas estruturas galgáveis, que por sua vez é substancialmente superior ao necessário para as estruturas submersas. Comparando os resultados da formulação de van der Meer, para os três tipos de obra, verificam-se os acréscimos relativos indicados na Figura 59.

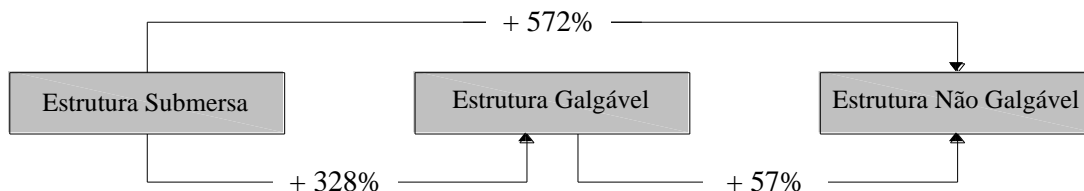


Figura 59: Acréscimo relativo do peso dos blocos, considerando a formulação de van der Meer (enrocamento), para os três tipos de obra.

Analisando os valores da Tabela 22, verifica-se ainda que mantos resistentes de enrocamento apresentam pesos unitários superiores a mantos de tetrápodos, sendo o acréscimo relativo diferente consoante a formulação em causa, e que, de forma geral, a formulação de van der Meer resulta em valores mais conservativos, comparativamente à formulação de Hudson (Figura 60).

Relativamente à largura de coroamento, é de referir que apesar dos valores obtidos serem inferiores a 6 metros, é recomendável considerar este como valor mínimo, pelas razões referidas em 3.3.

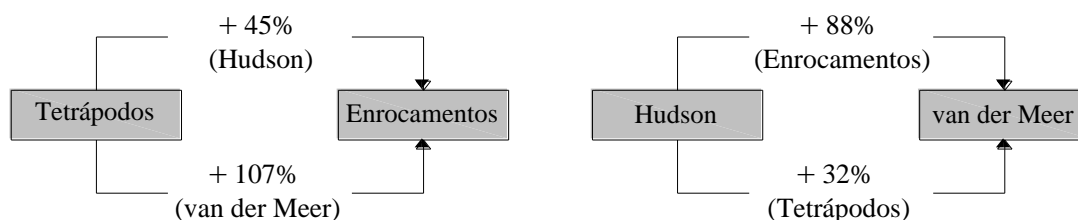


Figura 60: Acréscimos relativos do peso dos blocos, consoante o tipo de material (enrocamento e tetrápodos) e formulação (Hudson e van der Meer).

## 6.2. Tabelas de Pré – Dimensionamento

A existência de tabelas de pré-dimensionamento expedito, que forneçam o valor do peso unitário dos blocos a colocar no manto resistente, em função de diversas combinações de valores para os parâmetros envolvidos, pode constituir uma mais-valia para os projectistas de obras marítimas.

Nesta secção, apresentam-se alguns exemplos de tabelas de pré-dimensionamento expedito, correspondentes às cinco formulações estudadas no presente trabalho. Os valores referentes ao peso unitário dos blocos foram obtidos através da utilização do *D-Coast*. As tabelas de pré-dimensionamento foram elaboradas de forma a englobar, para cada caso, todos os parâmetros que influenciam o valor do peso unitário dos blocos.

Para as cinco formulações, são considerados três valores para a altura de onda de projecto ( $H$ ) e três valores para o peso volúmico do material constituinte dos blocos ( $\gamma_s$ ). A influência do peso volúmico da água não é tida em conta, uma vez que, como já referido, a sua variação é pequena (considera-se  $\gamma_w = 10,1 \text{ kN/m}^3$ ).

### Hudson (genérica) – estrutura não galgável

Relativamente à formulação de Hudson, apresenta-se na Tabela 23, o valor do peso unitário dos blocos a colocar no manto resistente, considerando dois valores para o coeficiente de estabilidade ( $K_D = 3$  corresponde ao valor médio para enrocamento e  $K_D = 7$ , para tetrápodos), e três inclinações possíveis para o talude.

### Van der Meer (enrocamento) – estrutura não galgável

Para a formulação de van der Meer, apresenta-se o valor do peso unitário dos blocos, considerando três inclinações possíveis para o talude, dois períodos de onda distintos e dois

Tabela 23: Pré-dimensionamento do peso blocos (kN), de acordo com a formulação de Hudson (genérica), para estruturas não galgáveis.

|                                |                   | $K_D = 3$   |             |             | $K_D = 7$   |             |             |
|--------------------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                |                   | $H/V = 1/1$ | $H/V = 2/1$ | $H/V = 3/1$ | $H/V = 1/1$ | $H/V = 2/1$ | $H/V = 3/1$ |
| $\gamma_s = 20 \text{ kN/m}^3$ | $H = 2 \text{ m}$ | 56,6        | 28,3        | 18,9        | 24,3        | 12,1        | 8,1         |
|                                | $H = 4 \text{ m}$ | 453,1       | 226,5       | 151,0       | 194,2       | 97,1        | 64,7        |
|                                | $H = 6 \text{ m}$ | 1529,0      | 764,5       | 509,7       | 655,3       | 327,7       | 218,4       |
| $\gamma_s = 26 \text{ kN/m}^3$ | $H = 2 \text{ m}$ | 17,8        | 8,9         | 5,9         | 7,6         | 3,8         | 2,5         |
|                                | $H = 4 \text{ m}$ | 142,2       | 71,1        | 47,4        | 60,9        | 30,5        | 20,3        |
|                                | $H = 6 \text{ m}$ | 479,8       | 239,9       | 159,9       | 205,6       | 102,8       | 68,6        |
| $\gamma_s = 32 \text{ kN/m}^3$ | $H = 2 \text{ m}$ | 8,4         | 4,2         | 2,8         | 3,6         | 1,8         | 1,2         |
|                                | $H = 4 \text{ m}$ | 67,0        | 33,5        | 22,3        | 28,7        | 14,4        | 9,6         |
|                                | $H = 6 \text{ m}$ | 226,0       | 113,0       | 75,3        | 96,9        | 48,4        | 32,3        |

valores para o número de ondas, para quatro situações diferentes: na primeira, considerando uma permeabilidade  $P = 0,1$  (talude impermeável) e um nível de dano  $S = 2$ , correspondente à situação de danos iniciais (Tabela 24); para a segunda situação, correspondente à Tabela 25, considera-se o mesmo nível de dano, mas uma permeabilidade  $P = 0,6$  (talude permeável); na terceira, considera-se novamente  $P = 0,1$ , no entanto, considera-se um nível de dano intermédio,  $S = 10$  (Tabela 26) e por fim, para a quarta situação, correspondente à Tabela 27, considera-se  $P = 0,6$  e  $S = 10$ .

#### Van der Meer e Jong (tetrápodos) – estrutura não galgável

Para a formulação de van der Meer e Jong para tetrápodos, apresenta-se na Tabela 28, o valor do peso unitário dos blocos considerando três níveis de dano distintos, dois valores para o período de onda médio e dois valores para o número de ondas. De referir que, para esta formulação, os valores considerados para o peso volúmico dos blocos são diferentes dos anteriores, pelo facto desta ser referente a blocos pré-fabricados de betão.



Tabela 24: Pré-dimensionamento do peso dos blocos (kN), de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento), para estruturas não galgáveis ( $P = 0,1$  e  $S = 2$ ).

|                                |                   | $N_z = 2000$         |             |             | $N_z = 7500$ |             |             |        |
|--------------------------------|-------------------|----------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------|
|                                |                   | $H/V = 1/1$          | $H/V = 2/1$ | $H/V = 3/1$ | $H/V = 1/1$  | $H/V = 2/1$ | $H/V = 3/1$ |        |
| $\gamma_s = 20 \text{ kN/m}^3$ | $H = 2 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 248,4       | 105,9       | 57,7         | 369,2       | 157,5       | 85,7   |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 219,9       | 95,7        | 58,9         | 327,0       | 142,3       | 87,5   |
|                                | $H = 4 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 1426,0      | 504,0       | 274,4        | 2119,0      | 749,3       | 407,9  |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 1952,0      | 849,7       | 504,0        | 2902,0      | 1263,0      | 749,3  |
|                                | $H = 6 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 3550,0      | 1255,0      | 683,1        | 5277,0      | 1866,0      | 1016,0 |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 6521,0      | 2305,0      | 1255,0       | 9694,0      | 3427,0      | 1866,0 |
| $\gamma_s = 26 \text{ kN/m}^3$ | $H = 2 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 77,9        | 33,2        | 18,1         | 115,9       | 49,4        | 26,9   |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 69,0        | 30,0        | 18,5         | 102,6       | 44,7        | 27,5   |
|                                | $H = 4 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 447,4       | 158,2       | 86,1         | 665,1       | 235,1       | 128,0  |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 612,6       | 266,6       | 158,2        | 910,7       | 396,4       | 235,1  |
|                                | $H = 6 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 1114,0      | 393,8       | 214,4        | 1656,0      | 585,5       | 318,7  |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 2046,0      | 723,5       | 393,8        | 3042,0      | 1076,0      | 585,4  |
| $\gamma_s = 32 \text{ kN/m}^3$ | $H = 2 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 36,7        | 15,7        | 8,5          | 54,6        | 23,3        | 12,7   |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 32,5        | 14,2        | 8,7          | 48,3        | 21,0        | 12,9   |
|                                | $H = 4 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 210,7       | 74,5        | 40,6         | 313,3       | 110,8       | 60,3   |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 288,5       | 125,6       | 74,5         | 428,9       | 186,7       | 110,8  |
|                                | $H = 6 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 524,6       | 185,5       | 101,0        | 780,0       | 275,8       | 150,1  |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 963,8       | 340,8       | 185,5        | 1433,0      | 506,6       | 275,8  |

Tabela 25: Pré-dimensionamento do peso dos blocos (kN), de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento), para estruturas não galgáveis ( $P = 0,6$  e  $S = 2$ ).

|                                |                   | $N_z = 2000$         |             |             | $N_z = 7500$ |             |             |       |
|--------------------------------|-------------------|----------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------|
|                                |                   | $H/V = 1/1$          | $H/V = 2/1$ | $H/V = 3/1$ | $H/V = 1/1$  | $H/V = 2/1$ | $H/V = 3/1$ |       |
| $\gamma_s = 20 \text{ kN/m}^3$ | $H = 2 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 26,6        | 32,7        | 21,9         | 39,5        | 48,7        | 32,6  |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 12,8        | 15,8        | 17,8         | 19,1        | 23,5        | 26,5  |
|                                | $H = 4 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 396,8       | 191,5       | 104,3        | 589,9       | 284,7       | 155,0 |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 191,2       | 235,5       | 191,5        | 284,3       | 350,0       | 284,8 |
|                                | $H = 6 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 1349,0      | 476,9       | 259,6        | 2005,0      | 709,0       | 385,9 |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 929,9       | 876,1       | 476,9        | 1382,0      | 1302,0      | 709,0 |
| $\gamma_s = 26 \text{ kN/m}^3$ | $H = 2 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 8,3         | 10,3        | 6,9          | 12,4        | 15,3        | 10,2  |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 4,0         | 5,0         | 5,6          | 6,0         | 7,4         | 8,3   |
|                                | $H = 4 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 124,5       | 60,1        | 32,7         | 185,1       | 89,4        | 48,6  |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 60,0        | 73,9        | 60,1         | 89,2        | 109,8       | 89,4  |
|                                | $H = 6 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 423,3       | 149,7       | 81,5         | 629,3       | 222,5       | 121,1 |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 291,8       | 274,9       | 149,6        | 433,8       | 408,7       | 222,5 |
| $\gamma_s = 32 \text{ kN/m}^3$ | $H = 2 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 3,9         | 4,8         | 3,2          | 5,8         | 7,2         | 4,8   |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 1,9         | 2,3         | 2,6          | 2,8         | 3,5         | 3,9   |
|                                | $H = 4 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 58,7        | 28,3        | 15,4         | 87,2        | 42,1        | 22,9  |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 28,3        | 34,8        | 28,3         | 42,0        | 51,7        | 42,1  |
|                                | $H = 6 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 199,4       | 70,5        | 38,4         | 296,4       | 104,8       | 57,0  |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 137,4       | 129,5       | 70,5         | 204,3       | 192,5       | 104,8 |

Tabela 26: Pré-dimensionamento do peso dos blocos (kN), de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento), para estruturas não galgáveis ( $P = 0,1$  e  $S = 10$ ).

|                                |                   | $N_z = 2000$         |             |             | $N_z = 7500$ |             |             |       |
|--------------------------------|-------------------|----------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------|
|                                |                   | $H/V = 1/1$          | $H/V = 2/1$ | $H/V = 3/1$ | $H/V = 1/1$  | $H/V = 2/1$ | $H/V = 3/1$ |       |
| $\gamma_s = 20 \text{ kN/m}^3$ | $H = 2 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 94,6        | 40,3        | 22,0         | 140,6       | 60,0        | 32,6  |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 83,7        | 36,5        | 22,4         | 124,5       | 54,2        | 33,3  |
|                                | $H = 4 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 542,8       | 191,9       | 104,5        | 806,9       | 285,3       | 155,3 |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 743,2       | 323,5       | 191,9        | 1105,0      | 480,9       | 285,3 |
|                                | $H = 6 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 1351,0      | 477,8       | 260,1        | 2009,0      | 710,3       | 386,7 |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 2483,0      | 877,7       | 477,8        | 3691,0      | 1305,0      | 710,3 |
| $\gamma_s = 26 \text{ kN/m}^3$ | $H = 2 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 29,7        | 12,7        | 6,9          | 44,1        | 18,8        | 10,2  |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 26,3        | 11,4        | 7,0          | 39,1        | 17,0        | 10,5  |
|                                | $H = 4 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 170,3       | 60,2        | 32,8         | 253,2       | 89,5        | 48,7  |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 233,2       | 101,5       | 60,2         | 346,7       | 150,9       | 89,5  |
|                                | $H = 6 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 424,1       | 149,9       | 81,6         | 630,5       | 222,9       | 121,3 |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 779,1       | 275,4       | 149,9        | 1158,0      | 409,5       | 222,9 |
| $\gamma_s = 32 \text{ kN/m}^3$ | $H = 2 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 14,0        | 6,0         | 3,2          | 20,8        | 8,9         | 4,8   |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 12,4        | 5,4         | 3,3          | 18,4        | 8,0         | 4,9   |
|                                | $H = 4 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 80,2        | 28,4        | 15,4         | 119,3       | 42,2        | 23,0  |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 109,8       | 47,8        | 28,4         | 163,3       | 71,1        | 42,2  |
|                                | $H = 6 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 199,7       | 70,6        | 38,4         | 297,0       | 105,0       | 57,2  |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 367,0       | 129,7       | 70,6         | 545,5       | 192,9       | 105,0 |

Tabela 27: Pré-dimensionamento do peso dos blocos (kN), de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento), para estruturas não galgáveis ( $P = 0,6$  e  $S = 10$ ).

|                                |                   | $N_z = 2000$         |             |             | $N_z = 7500$ |             |             |       |
|--------------------------------|-------------------|----------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------|
|                                |                   | $H/V = 1/1$          | $H/V = 2/1$ | $H/V = 3/1$ | $H/V = 1/1$  | $H/V = 2/1$ | $H/V = 3/1$ |       |
| $\gamma_s = 20 \text{ kN/m}^3$ | $H = 2 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 10,1        | 12,5        | 8,3          | 15,1        | 18,5        | 12,4  |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 4,9         | 6,0         | 6,8          | 7,3         | 8,9         | 10,1  |
|                                | $H = 4 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 151,1       | 72,9        | 39,7         | 224,6       | 108,4       | 59,0  |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 72,8        | 89,6        | 72,9         | 108,2       | 133,3       | 108,4 |
|                                | $H = 6 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 513,6       | 181,6       | 98,8         | 763,5       | 269,9       | 146,9 |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 354,0       | 333,6       | 181,6        | 526,3       | 495,9       | 269,9 |
| $\gamma_s = 26 \text{ kN/m}^3$ | $H = 2 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 3,2         | 3,9         | 2,6          | 4,7         | 5,8         | 3,9   |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 1,5         | 1,9         | 2,1          | 2,3         | 2,8         | 3,2   |
|                                | $H = 4 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 47,4        | 22,9        | 12,5         | 70,5        | 34,0        | 18,5  |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 22,9        | 28,1        | 22,9         | 34,0        | 41,8        | 34,0  |
|                                | $H = 6 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 161,2       | 57,0        | 31,0         | 239,6       | 84,7        | 46,1  |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 111,1       | 104,7       | 57,0         | 165,2       | 155,6       | 84,7  |
| $\gamma_s = 32 \text{ kN/m}^3$ | $H = 2 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 1,5         | 1,8         | 1,2          | 2,2         | 2,7         | 1,8   |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 0,7         | 0,9         | 1,0          | 1,1         | 1,3         | 1,5   |
|                                | $H = 4 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 22,3        | 10,8        | 5,9          | 33,2        | 16,0        | 8,7   |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 10,8        | 13,3        | 10,8         | 16,0        | 19,7        | 16,0  |
|                                | $H = 6 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 75,9        | 26,8        | 14,6         | 112,8       | 39,9        | 21,7  |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 52,3        | 49,3        | 26,8         | 77,8        | 73,3        | 39,9  |

Tabela 28: Pré-dimensionamento do peso dos blocos (kN), de acordo com a formulação de van der Meer e Jong (tetrápodos), para estruturas não galgáveis.

|                                |                   | $N_z = 2000$         |                |                | $N_z = 7500$   |                |                |       |
|--------------------------------|-------------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|
|                                |                   | $N_{od} = 0,0$       | $N_{od} = 0,5$ | $N_{od} = 1,5$ | $N_{od} = 0,0$ | $N_{od} = 0,5$ | $N_{od} = 1,5$ |       |
| $\gamma_s = 20 \text{ kN/m}^3$ | $H = 2 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 26,5           | 8,4            | 4,5            | 26,5           | 11,1           | 6,7   |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 16,3           | 5,2            | 2,8            | 16,3           | 6,8            | 4,1   |
|                                | $H = 4 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 153,2          | 82,2           | 55,9           | 153,2          | 96,7           | 71,8  |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 197,3          | 62,6           | 33,4           | 197,3          | 82,9           | 50,0  |
|                                | $H = 6 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 405,5          | 217,5          | 147,8          | 405,5          | 255,9          | 190,1 |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 659,5          | 353,7          | 240,5          | 659,5          | 416,2          | 309,2 |
| $\gamma_s = 24 \text{ kN/m}^3$ | $H = 2 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 11,5           | 3,6            | 1,9            | 11,5           | 4,8            | 2,9   |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 7,1            | 2,2            | 1,2            | 7,1            | 3,0            | 1,8   |
|                                | $H = 4 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 66,4           | 35,6           | 24,2           | 66,4           | 41,9           | 31,1  |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 85,5           | 27,1           | 14,5           | 85,5           | 35,9           | 21,7  |
|                                | $H = 6 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 175,8          | 94,3           | 64,1           | 175,8          | 110,9          | 82,4  |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 285,9          | 153,4          | 104,3          | 285,9          | 180,4          | 134,1 |
| $\gamma_s = 28 \text{ kN/m}^3$ | $H = 2 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 6,3            | 2,0            | 1,1            | 6,3            | 2,6            | 1,6   |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 3,9            | 1,2            | 0,7            | 3,9            | 1,6            | 1,0   |
|                                | $H = 4 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 36,3           | 19,5           | 13,2           | 36,3           | 22,9           | 17,0  |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 46,7           | 14,8           | 7,9            | 46,7           | 19,6           | 11,8  |
|                                | $H = 6 \text{ m}$ | $T_m = 8 \text{ s}$  | 96,0           | 51,5           | 35,0           | 96,0           | 60,6           | 45,0  |
|                                |                   | $T_m = 12 \text{ s}$ | 156,2          | 83,8           | 57,0           | 156,2          | 98,6           | 73,2  |

Van der Meer (enrocamento) – estrutura galgável

Para as estruturas galgáveis apresentam-se apenas os valores do factor de redução. Este factor depende da altura de onda, do valor do período de pico e da altura de galgamento (Expressão 19). Assim, partindo dos valores do peso dos blocos para as estruturas não galgáveis (Tabela 24 à Tabela 27), é possível, recorrendo aos valores do factor de redução correspondentes (Tabela 29), determinar o peso unitário dos blocos para as estruturas galgáveis.

Tabela 29: Factor de redução ( $f_i'$ ), de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento), para estruturas galgáveis.

|           |              | Altura de galgamento de acordo com a Figura 19 (m) |             |             |             |             |             |             |
|-----------|--------------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|           |              | $R_c = 0,5$  | $R_c = 1,0$ | $R_c = 1,5$ | $R_c = 2,0$ | $R_c = 2,5$ | $R_c = 3,0$ | $R_c = 3,5$ |
| $H = 2$ m | $T_p = 10$ s | 0,59   | 0,68        | 0,78        | 0,91        | -           | -           | -           |
|           | $T_p = 15$ s | 0,55   | 0,61        | 0,68        | 0,73        | -           | -           | -           |
| $H = 4$ m | $T_p = 10$ s | 0,57   | 0,61        | 0,68        | 0,75        | 0,83        | 0,94        | -           |
|           | $T_p = 15$ s | 0,55   | 0,57        | 0,61        | 0,66        | 0,70        | 0,75        | 0,80        |
| $H = 6$ m | $T_p = 10$ s | 0,55   | 0,59        | 0,64        | 0,70        | 0,75        | 0,83        | 0,91        |
|           | $T_p = 15$ s | 0,53   | 0,57        | 0,59        | 0,64        | 0,66        | 0,70        | 0,75        |

Para o período de pico, consideram-se os valores  $T_p = 10$  s e  $T_p = 15$  s, para respeitar, aproximadamente, a relação indicada na Expressão 1 ( $T_m = 0,82 T_p$ ).

Van der Meer (enrocamento) – estrutura submersa

Para as estruturas submersas, apresenta-se o valor do peso unitário dos blocos a colocar no manto resistente, considerando diferentes valores para a altura da obra submersa, profundidade e período de onda de pico. A Tabela 30 corresponde à situação de danos iniciais ( $S = 2$ ) e a Tabela 31, a danos intermédio ( $S = 10$ ).

Tabela 30: Pré-dimensionamento do peso dos blocos (kN), de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento), para estruturas submersas ( $S = 2$ ).

|                                |                   | $d = 5 \text{ m}$    |                      |                      | $d = 10 \text{ m}$   |                      |                      |       |
|--------------------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------|
|                                |                   | $h'_c = 1 \text{ m}$ | $h'_c = 3 \text{ m}$ | $h'_c = 5 \text{ m}$ | $h'_c = 5 \text{ m}$ | $h'_c = 7 \text{ m}$ | $h'_c = 9 \text{ m}$ |       |
| $\gamma_s = 20 \text{ kN/m}^3$ | $H = 2 \text{ m}$ | $T_p = 10 \text{ s}$ | 1,1                  | 6,5                  | 27,3                 | 6,1                  | 12,8                 | 26,1  |
|                                |                   | $T_p = 15 \text{ s}$ | 1,7                  | 9,9                  | 41,7                 | 9,5                  | 20,0                 | 40,7  |
|                                | $H = 4 \text{ m}$ | $T_p = 10 \text{ s}$ | 4,3                  | 26,0                 | 109,2                | 24,2                 | 51,2                 | 104,3 |
|                                |                   | $T_p = 15 \text{ s}$ | 6,6                  | 39,8                 | 167,0                | 37,8                 | 79,8                 | 162,7 |
|                                | $H = 6 \text{ m}$ | $T_p = 10 \text{ s}$ | 9,7                  | 58,5                 | 245,7                | 54,5                 | 115,1                | 234,6 |
|                                |                   | $T_p = 15 \text{ s}$ | 14,9                 | 89,5                 | 375,7                | 85,1                 | 179,6                | 366,0 |
| $\gamma_s = 26 \text{ kN/m}^3$ | $H = 2 \text{ m}$ | $T_p = 10 \text{ s}$ | 0,3                  | 2,0                  | 8,6                  | 1,9                  | 4,0                  | 8,2   |
|                                |                   | $T_p = 15 \text{ s}$ | 0,5                  | 3,1                  | 13,1                 | 3,0                  | 6,3                  | 12,8  |
|                                | $H = 4 \text{ m}$ | $T_p = 10 \text{ s}$ | 1,4                  | 8,2                  | 34,3                 | 7,6                  | 16,1                 | 32,7  |
|                                |                   | $T_p = 15 \text{ s}$ | 2,1                  | 12,5                 | 52,4                 | 11,9                 | 25,1                 | 51,1  |
|                                | $H = 6 \text{ m}$ | $T_p = 10 \text{ s}$ | 3,1                  | 18,4                 | 77,1                 | 17,1                 | 36,1                 | 73,6  |
|                                |                   | $T_p = 15 \text{ s}$ | 4,7                  | 28,1                 | 117,9                | 26,7                 | 56,4                 | 114,9 |
| $\gamma_s = 32 \text{ kN/m}^3$ | $H = 2 \text{ m}$ | $T_p = 10 \text{ s}$ | 0,2                  | 1,0                  | 4,0                  | 0,9                  | 1,9                  | 3,9   |
|                                |                   | $T_p = 15 \text{ s}$ | 0,2                  | 1,5                  | 6,2                  | 1,4                  | 2,9                  | 6,0   |
|                                | $H = 4 \text{ m}$ | $T_p = 10 \text{ s}$ | 0,6                  | 3,8                  | 16,1                 | 3,6                  | 7,6                  | 15,4  |
|                                |                   | $T_p = 15 \text{ s}$ | 1,0                  | 5,9                  | 24,7                 | 5,6                  | 11,8                 | 24,1  |
|                                | $H = 6 \text{ m}$ | $T_p = 10 \text{ s}$ | 1,4                  | 8,7                  | 36,3                 | 8,1                  | 17,0                 | 34,7  |
|                                |                   | $T_p = 15 \text{ s}$ | 2,2                  | 13,2                 | 55,5                 | 12,6                 | 26,6                 | 54,1  |

Tabela 31: Pré-dimensionamento do peso dos blocos (kN), de acordo com a formulação de van der Meer (enrocamento), para estruturas não galgáveis ( $S = 10$ ).

|                                |                   | $d = 5 \text{ m}$    |                      |                      | $d = 10 \text{ m}$   |                      |                      |       |
|--------------------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------|
|                                |                   | $h'_c = 1 \text{ m}$ | $h'_c = 3 \text{ m}$ | $h'_c = 5 \text{ m}$ | $h'_c = 5 \text{ m}$ | $h'_c = 7 \text{ m}$ | $h'_c = 9 \text{ m}$ |       |
| $\gamma_s = 20 \text{ kN/m}^3$ | $H = 2 \text{ m}$ | $T_p = 10 \text{ s}$ | 0,8                  | 3,6                  | 10,9                 | 3,5                  | 6,5                  | 11,4  |
|                                |                   | $T_p = 15 \text{ s}$ | 1,2                  | 5,4                  | 16,7                 | 5,5                  | 10,2                 | 17,8  |
|                                | $H = 4 \text{ m}$ | $T_p = 10 \text{ s}$ | 3,1                  | 14,3                 | 43,6                 | 14,2                 | 26,1                 | 45,5  |
|                                |                   | $T_p = 15 \text{ s}$ | 4,7                  | 21,8                 | 66,6                 | 22,1                 | 40,8                 | 71,0  |
|                                | $H = 6 \text{ m}$ | $T_p = 10 \text{ s}$ | 6,9                  | 32,1                 | 98,0                 | 31,9                 | 58,8                 | 102,4 |
|                                |                   | $T_p = 15 \text{ s}$ | 10,5                 | 49,0                 | 149,9                | 49,8                 | 91,8                 | 159,8 |
| $\gamma_s = 26 \text{ kN/m}^3$ | $H = 2 \text{ m}$ | $T_p = 10 \text{ s}$ | 0,2                  | 1,1                  | 3,4                  | 1,1                  | 2,1                  | 3,6   |
|                                |                   | $T_p = 15 \text{ s}$ | 0,4                  | 1,7                  | 5,2                  | 1,7                  | 3,2                  | 5,6   |
|                                | $H = 4 \text{ m}$ | $T_p = 10 \text{ s}$ | 1,0                  | 4,5                  | 13,7                 | 4,5                  | 8,2                  | 14,3  |
|                                |                   | $T_p = 15 \text{ s}$ | 1,5                  | 6,8                  | 20,9                 | 6,9                  | 12,8                 | 22,3  |
|                                | $H = 6 \text{ m}$ | $T_p = 10 \text{ s}$ | 2,2                  | 10,1                 | 30,8                 | 10,0                 | 18,5                 | 32,1  |
|                                |                   | $T_p = 15 \text{ s}$ | 3,3                  | 15,4                 | 47,0                 | 15,6                 | 28,8                 | 50,2  |
| $\gamma_s = 32 \text{ kN/m}^3$ | $H = 2 \text{ m}$ | $T_p = 10 \text{ s}$ | 0,1                  | 0,5                  | 1,6                  | 0,5                  | 1,0                  | 1,7   |
|                                |                   | $T_p = 15 \text{ s}$ | 0,2                  | 0,8                  | 2,5                  | 0,8                  | 1,5                  | 2,6   |
|                                | $H = 4 \text{ m}$ | $T_p = 10 \text{ s}$ | 0,5                  | 2,1                  | 6,4                  | 2,1                  | 3,9                  | 6,7   |
|                                |                   | $T_p = 15 \text{ s}$ | 0,7                  | 3,2                  | 9,8                  | 3,3                  | 6,0                  | 10,5  |
|                                | $H = 6 \text{ m}$ | $T_p = 10 \text{ s}$ | 1,0                  | 4,7                  | 14,5                 | 4,7                  | 8,7                  | 15,1  |
|                                |                   | $T_p = 15 \text{ s}$ | 1,6                  | 7,2                  | 22,2                 | 7,4                  | 13,6                 | 23,6  |



### 6.3. Validação de Resultados

Nesta secção, apresentam-se alguns casos de estudo, relativos a cada uma das formulações, apresentados por diferentes autores. Pretende-se, com recurso à utilização do *D-Coast*, reproduzir cada uma das situações apresentadas, de forma a verificar se os resultados obtidos se assemelham aos propostos na bibliografia.

#### Hudson (genérica) – estrutura não galgável

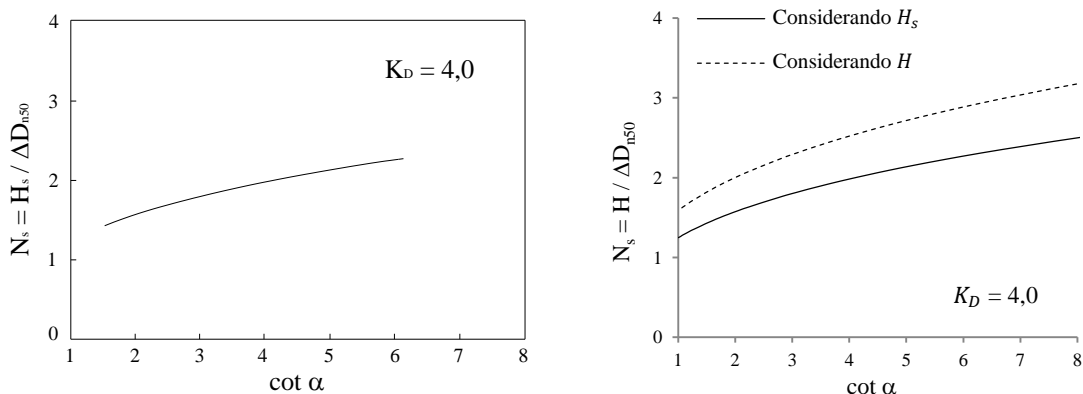
Van der Meer (1988c) apresenta, para a formulação de Hudson, um estudo da variação do número de estabilidade ( $N_s = H_s / \Delta D_{n50}$ ), tendo em conta diferentes valores para a inclinação do talude (expressos através de  $\cot \alpha$ ), considerando um coeficiente de estabilidade  $K_D = 4$ . Na Figura 61a, transcrevem-se os resultados propostos por van der Meer (1988c) e na Figura 61b, apresentam-se os resultados obtidos com o *D-Coast*. As curvas de comportamento apresentadas consistem na representação gráfica da Expressão 9 e não variam, qualquer que seja o valor considerado para a altura de onda e pesos volúmicos.

De referir que, van der Meer (1988c) representa o número de estabilidade em função do valor da altura de onda significativa ( $H_s$ ), admitindo que  $H = 1,27 H_s$ , sendo  $H$  a altura de onda incidente na estrutura. Para facilitar a comparação dos resultados, na Figura 61b, apresentam-se os resultados obtidos pelo *D-Coast*, considerando o número de estabilidade em função de  $H$  ( $N_s = H / \Delta D_{n50}$  - curva a tracejado) e em função de  $H_s$  ( $N_s = H / 1,27 / \Delta D_{n50}$  - curva a cheio).

Analisando a curva comum (curva a cheio) da Figura 61a e 61b, verifica-se que os resultados do *D-Coast* apresentam um comportamento similar ao proposto por van der Meer (1988c).

#### Van der Meer (enrocamento) – estrutura não galgável

Van der Meer (1987) apresenta, para esta formulação, um estudo da influência do número de Iribarren médio  $\xi_m$  no valor do número de estabilidade ( $N_s$ ), para diferentes valores de permeabilidade do talude ( $P = 0,1$ ,  $P = 0,5$  e  $P = 0,6$ ). Para este estudo, o autor considera

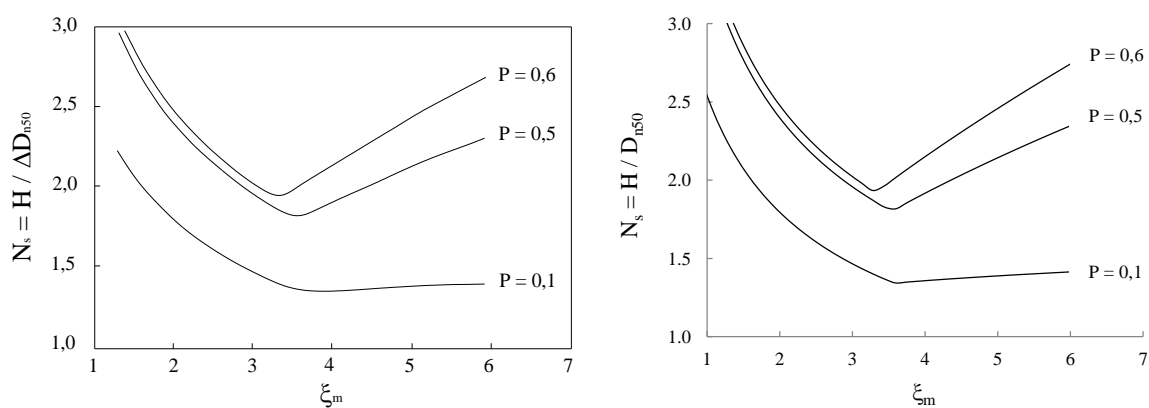


a) Resultados de van der Meer (1988c).

b) Resultados do *D-Coast*.

Figura 61: Influência da inclinação do talude na variação do número de estabilidade, de acordo com a formulação de Hudson (não galgável).

um talude com inclinação  $H/V = 2/1$ , número de ondas  $N_z = 3000$  e um nível de dano  $S = 5$ . O valor considerado para os restantes parâmetros não é relevante para o estudo, uma vez que o comportamento se mantém constante. Na Figura 62a, transcrevem-se os resultados propostos por van der Meer (1987) e na Figura 62b, apresentam-se os resultados obtidos recorrendo ao *D-Coast* para as mesmas condições, verificando-se que apresentam um comportamento semelhante.



a) Resultados de van der Meer (1987).

b) Resultados do *D-Coast*.

Figura 62: Influência do número de Iribarren na variação do número de estabilidade para diferentes permeabilidades, de acordo com a formulação de van der Meer para enrocamento (não galgável).

### Van der Meer e Jong (tetrápodos) – estrutura não galgável

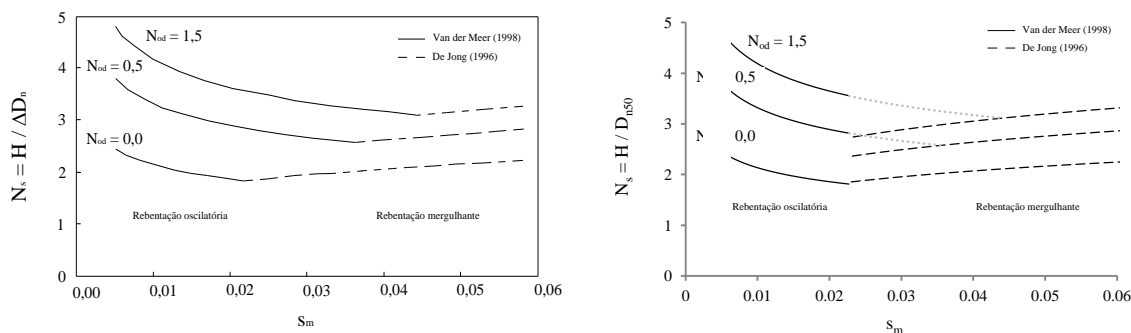
Van der Meer (1998) realizou um estudo da influência da declividade média da onda ( $s_{om}$ ) no valor do número de estabilidade ( $N_s$ ), considerando diferentes níveis de dano ( $N_{od} = 0,0$ ,  $N_{od} = 0,5$  e  $N_{od} = 1,5$ ) e um número de ondas  $N_z = 1000$ . Tal como referido em 3.2.1, para ondas oscilatórias deverá ser utilizada a formulação proposta por van der Meer (1988b), Expressão 16, e para ondas mergulhantes, a formulação proposta por De Jong (1996), Expressão 17. Considera-se que a transição ocorre quando o número de Iribarren médio ( $\xi_m$ ) iguala o número de Iribarren crítico ( $\xi_{mc}$ ).

Na Figura 63a, transcrevem-se os resultados obtidos por van der Meer (1998) e na Figura 63b, apresentam-se os resultados obtidos com recurso à utilização do *D-Coast*. Pela análise da Figura 63a, verifica-se que a transição entre ondas oscilatórias e mergulhantes, ou seja, a transição entre o tipo de formulação utilizada, ocorre quando o número de estabilidade dado pela formulação de van der Meer (curvas com linha a cheio) iguala o número de estabilidade correspondente à formulação de De Jong (curvas a tracejado). No *D-Coast* considera-se que a transição entre formulações ocorre quando o número de Iribarren médio iguala o crítico, logo ocorre, para as três situações apresentadas, para iguais valores de  $s_{om}$  (como a inclinação do talude é constante, o número de Iribarren médio depende apenas da declividade da onda,  $s_{om}$ , e o número de Iribarren crítico é constante para os três casos). Na Figura 63b, representa-se as curvas correspondentes à formulação de van der Meer (linha a cheio), as curvas relativas à formulação de De Jong (a tracejado) e, a ponteadado, o prolongamento da formulação de Van der Meer, no caso de se considerar o critério de transição de van der Meer (1998).

De um modo geral, verifica-se que, à excepção do critério considerado para a transição do tipo de rebentação, o comportamento das curvas obtidas através do *D-Coast* se assemelha ao obtido em van der Meer (1998).

### Van der Meer (enrocamento) – estrutura galgável

Para o caso da estrutura galgável, uma vez que o comportamento da formulação se assemelha à estrutura não galgável, optou-se por apresentar uma situação de cálculo, proposta por Basco e Hughes (2006). Pretende-se determinar o peso unitário dos blocos do



a) Resultados de van der Meer (1998).

b) Resultados do *D-Coast*.

Figura 63: Influência da declividade média na variação do número de estabilidade para diferentes níveis de dano, de acordo com a formulação de van der Meer e Jong para tetrápodos (não galgável).

manto resistente, para cinco situações distintas, considerando todos os parâmetros fixos, à exceção do valor da altura de galgamento ( $R_c$ ).

Assim, de acordo com Basco e Hughes (2006), considera-se uma altura de onda  $H = 1,8$  m, um talude impermeável ( $P = 0,1$ ), com inclinação  $H/V = 2,5/1$ , um nível de dano  $S = 2$ , um número de ondas total  $N_z = 7500$ , e para o peso volúmico dos blocos e da água considera-se, respectivamente,  $\gamma_s = 26 \text{ kN/m}^3$  e  $\gamma_w = 9,81 \text{ kN/m}^3$ . Basco e Hughes (2006) indicam que o período de onda de pico é  $T_p = 8$  s, no entanto, são omissos relativamente ao valor a considerar para o período de onda médio ( $T_m$ ). Assim, de acordo com o estipulado na Expressão 1, opta-se por considerar  $T_m = 6,56$  s.

Na Tabela 32, apresentam-se os resultados propostos por Basco e Hughes (2006), [1], e os resultados obtidos com recurso ao *D-Coast*, [2], para os diferentes valores de  $R_c$  considerados.

Analisando a Tabela 32, verifica-se que os resultados obtidos pelo *D-Coast* são muito próximos dos propostos por Basco e Hughes (2006), sendo as diferenças justificadas pelo valor de  $T_m$ .

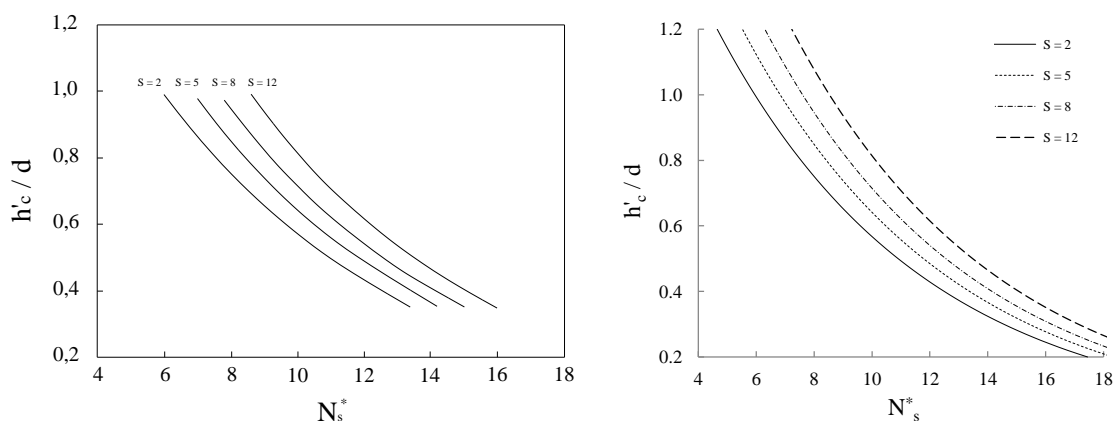
### Van der Meer (enrocamento) – estrutura submersa

Van der Meer e Pilarczyk (1990) realizaram, para as estruturas submersas, um estudo da relação entre a altura submersa relativa ( $h'_c/d$ , sendo  $h'_c$  a altura da obra submersa e  $d$  a

Tabela 32: Resultados obtidos por Basco e Hughes (2006), [1], e pelo *D-Coast*, [2], para o exemplo apresentado.

| $R_c$ (m) | $R_c/H$ (-) | $f_i$ (-) |      | $f'_i$ (-) | $W$ (kN) |       |
|-----------|-------------|-----------|------|------------|----------|-------|
|           |             | [1]       | [2]  |            | [1]      | [2]   |
| 1,80      | 1,00        | 1,00      | 1,00 | 1,0        | 18,33    | 17,99 |
| 1,53      | 0,85        | 0,97      | 0,97 | 0,91       | 16,56    | 16,39 |
| 1,35      | 0,75        | 0,95      | 0,95 | 0,86       | 15,38    | 15,23 |
| 0,90      | 0,50        | 0,89      | 0,89 | 0,70       | 12,88    | 12,76 |
| 0,00      | 0,00        | 0,80      | 0,80 | 0,51       | 9,30     | 9,21  |

profundidade local) e o número de estabilidade espectral ( $N_s^*$  - Expressão 22), traduzida pela Expressão 21. Para a análise realizada, os autores consideraram quatro valores distintos para o nível de dano ( $S = 2$ ,  $S = 5$ ,  $S = 8$  e  $S = 12$ ). O comportamento das curvas é independente do valor considerado para os restantes parâmetros. Na Figura 64a, transcrevem-se as curvas obtidas por van der Meer e Pilarczyk (1990), e na Figura 64b, apresentam-se os resultados obtidos com recurso à utilização do *D-Coast*. Verifica-se que os resultados obtidos através do programa desenvolvido são semelhantes aos propostos por van der Meer e Pilarczyk (1990).



a) Resultados de van der Meer e Pilarczyk (1990).

b) Resultados do *D-Coast*.

Figura 64: Relação entre altura submersa relativa e número de estabilidade espectral, para diferentes níveis de dano, de acordo com a formulação de van der Meer (submersa).

## 6.4. Notas Finais

Com este capítulo pretendeu-se demonstrar algumas das aplicações possíveis de realizar com o *D-Coast*. Foram apresentados exemplos de cálculo, construídas tabelas de pré-dimensionamento expedito e comparados alguns resultados do *D-Coast*, com análises semelhantes existentes na bibliografia.

Na construção das tabelas de pré-dimensionamento expedito pretendeu-se abranger todos os parâmetros que influenciam o valor final do peso unitário dos blocos do manto resistente, considerando valores comuns, ou valores extremos. Os valores podem ser interpolados, no entanto é necessário ter em conta que o comportamento não é linear.

Verifica-se, de modo geral, que os resultados obtidos com o *D-Coast* são, para todas as formulações, idênticos aos consultados na bibliografia.

## **Capítulo 7**

---

# **CONSIDERAÇÕES FINAIS**





## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o presente trabalho, pretendeu-se a programação de métodos de pré-dimensionamento de obras de defesa costeira. Assim, foi desenvolvida, em linguagem C#, uma aplicação informática – o *D-Coast*, cujo principal objectivo consiste na determinação do peso unitário dos blocos, para diferentes tipos de obra e diferentes formulações de cálculo.

Com vista à compreensão da influência de cada um dos parâmetros, no valor final do peso unitário dos blocos, foi realizada uma análise de sensibilidades para cada uma das formulações em estudo, recorrendo à utilização do programa desenvolvido.

### 7.1. Conclusões

O pré-dimensionamento de obras de defesa costeira é baseado essencialmente em formulações empíricas. Assim, o dimensionamento deste tipo de estruturas deve ser complementado com ensaios em modelo reduzido ou com resultados obtidos em experiências já concretizadas, sendo essencial observar sistematicamente o comportamento em serviço das obras existentes.

O *D-Coast* foi desenvolvido com o intuito de facilitar o cálculo do peso unitário dos blocos do manto resistente das estruturas, de forma a possibilitar uma rápida comparação entre várias soluções possíveis e a permitir a realização de análises de sensibilidades. Assim, para além de ser rápido, expedito e da interface gráfica ser de fácil utilização, permite, não só a realização de um cálculo isolado, mas também de um cálculo repetido, originando tabelas de resultados, que podem ser exportadas para Excel®. Esta potencialidade permite ao utilizador manipular os resultados obtidos, usufruindo das funcionalidades desse *software*.

O programa desenvolvido contempla estruturas não galgáveis, estruturas galgáveis e estruturas submersas, determinando o peso unitário dos blocos com base em três formulações no primeiro caso e numa, no segundo e terceiro. Para estruturas não galgáveis incluem-se as formulações de Hudson (genérica), van der Meer para enrocamento e van

der Meer e Jong para tetrápodos. No caso de estruturas galgáveis e submersas, inclui-se a formulação de van der Meer para enrocamento.

Para todas as formulações, foi realizada uma análise de sensibilidades, com o objectivo de avaliar a influência da variação de cada um dos parâmetros, no valor final do peso unitário dos blocos do manto resistente. Na Tabela 15 é possível verificar, para cada formulação, quais os parâmetros que influenciam o valor final do peso unitário dos blocos e analisar se o seu acréscimo implica um aumento ou diminuição do mesmo. A altura de onda incidente, o peso volúmico do material e o peso volúmico da água são parâmetros comuns a todas as formulações estudadas. Os restantes parâmetros variam consoante o tipo de estrutura e a formulação em causa. Verifica-se que a altura de onda é o parâmetro que mais influencia o peso unitário dos blocos, devendo por isso, dar-se especial relevância à sua definição, visto que, pequenas variações implicam acréscimos significativos no valor do peso final. A influência de cada um dos parâmetros varia de formulação para formulação e verifica-se, de um modo geral, que não apresenta um comportamento linear.

A análise de sensibilidades realizada permitiu compreender qual a influência de cada parâmetro no resultado final, fornecendo bases que possam levar o projectista à solução que melhor se adequa a cada caso específico, optimizando o peso unitário dos blocos a colocar no manto resistente.

Apesar de não serem realizadas análises de sensibilidades entre as diferentes formulações e tipos de obra, verifica-se, para os exemplos apresentados, que o peso unitário dos blocos de estruturas não galgáveis é aproximadamente 60% superior ao necessário para estruturas galgáveis, que por sua vez atinge valores acima de 300% superiores ao peso dos blocos de estruturas submersas (tendo em conta os resultados da formulação de van der Meer para enrocamento). Para a mesma altura de onda, verifica-se que a formulação de van der Meer devolve valores superiores aos obtidos pela formulação de Hudson (que podem atingir os 90%, no caso de enrocamento). A construção de mantos resistentes em enrocamento implica acréscimos no peso dos blocos, de cerca 107%, para a formulação de van der Meer, e de cerca de 45%, no caso da formulação de Hudson, relativamente a mantos de tetrápodos.

Recorrendo aos resultados do *D-Coast*, foram construídas, para todas as formulações estudadas, tabelas de pré-dimensionamento expedito, que fornecem o peso unitário dos

blocos para diferentes combinações dos parâmetros envolvidos. Este tipo de tabelas pode ser muito útil, pois permite, de forma rápida, a comparação entre várias soluções possíveis.

Para cada formulação, foram realizadas pequenas análises de comportamento, com o intuito de comparar os resultados obtidos através do *D-Coast*, com dados fornecidos na bibliografia. Verificou-se, de um modo geral, que para todas as situações os resultados foram semelhantes.

## **7.2. Desenvolvimentos Futuros**

Com o agravamento dos problemas de erosão costeira, é fundamental o aprofundamento do estudo de possíveis soluções a implementar no sentido da defesa dos litorais. A construção de obras de defesa conduz a custos de investimento e de manutenção elevados, pelo que, é essencial a compreensão dos processos envolvidos no seu dimensionamento, de forma a obter resultados otimizados.

Devido ao elevado número de formulações existentes para o pré-dimensionamento do peso unitário dos blocos, contemplar, no futuro, um número mais vasto de formulações na aplicação desenvolvida, seria uma mais-valia para a compreensão da influência dos diferentes parâmetros, nos resultados finais.

No *D-Coast*, as acções que solicitam as estruturas são caracterizadas essencialmente pela altura de onda de projecto, ou seja, pela altura de onda incidente na estrutura. A inclusão de processos de cálculo que permitam a sua determinação, através do valor da altura de onda ao largo, tendo em conta os fenómenos de transformação da onda, facilitaria a fase de pré-dimensionamento.

Ainda relacionado com os fenómenos de transformação da onda, a inclusão de formulações para a determinação do espraçamento, tendo em conta o valor da altura da onda incidente, contribuiria para a determinação da cota de coroamento mínima, necessária para evitar a existência de galgamentos.

Relativamente ao *D-Coast*, a incorporação de funcionalidades de produção intrínseca de gráficos, facilitaria as análises de resultados, sem que o utilizador tivesse necessidade de exportar as tabelas de resultados para Excel®. De forma a permitir que um número mais

vasto de utilizadores usufrua das potencialidades do *D-Coast*, seria também uma mais-valia a incorporação de outros idiomas, nomeadamente uma versão em inglês.

As formulações relativas ao pré-dimensionamento do perfil transversal apresentam algumas lacunas, uma vez que contemplam parâmetros distintos e não têm em conta determinadas características importantes (inclinação dos fundos, por exemplo). Assim, é importante complementar o cálculo numérico com ensaios laboratoriais, contribuindo para o avanço do conhecimento em relação a aspectos específicos do comportamento das estruturas (como é o caso da zona da cabeça).

O estudo dos impactes morfológicos provocados pela implantação de obras de defesa (alteração da posição da linha de costa) deve ser tido em conta na fase de pré-dimensionamento, conduzindo a soluções que conjuguem os benefícios e as consequências negativas.

O desenvolvimento de ferramentas que permitam uma análise custo-benefício, aplicadas à construção de obras de defesa, pode revelar-se extremamente útil, visto que estas intervenções conduzem a custos de investimento e manutenção elevados, o que leva por vezes à ponderação entre defender ou retirar a população das zonas de risco.

Por fim, considera-se que o presente trabalho já oferece significativos contributos à realização da fase de pré-dimensionamento de obras de defesa costeira, disponibilizando uma ferramenta de cálculo automático, rápida e intuitiva, resultados de análises de sensibilidades e tabelas de pré-dimensionamento expedito. No entanto, muito há a desenvolver neste âmbito, de forma a melhorar os processos de dimensionamento de estruturas de defesa costeira, passando, não só pelo desenvolvimento de aplicações informáticas (optimização dos processos de cálculo), mas também, pela realização de ensaios laboratoriais (análise do comportamento das estruturas).

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

---



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Alfredini, P. (2005).** Obras e Gestão de Portos e Costas. A técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental. Blücher, São Paulo, Brasil, 688 p.

**Banyard, L. S. (2002).** Breakwaters, Coastal Structures and Coastlines. Paper 15: Design of rock groynes and sand beach replenishment under strong tidal flows, N. W. H. Allsop, London, pp 191-202.

**Basco, D. R. (2006).** Shore Protection Projects. Coastal Engineering Manual, Part V: Coastal Project Planning and Design, Chapter 3, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC, pp 45.

**Basco, D. R., Hughes, S. (2006).** Example Problems. Coastal Engineering Manual, Part VI: Design of Coastal Project Elements, Chapter 7, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC, pp 31.

**Burcharth, H. F., Hughes, S. A. (2006a).** Types and Functions of Coastal Structures. Coastal Engineering Manual, Part VI: Design of Coastal Project Elements, Chapter 2, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC, 48 p.

**Burcharth, H. F., Hughes, S. A. (2006b).** Fundamentals of Design. Coastal Engineering Manual, Part VI: Design of Coastal Project Elements, Chapter 5, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC, 312 p.

**Castanho, J. P. (1962).** Métodos Empregados na Defesa contra a Erosão Costeira. Memória nº 196, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 22 p.

**CIRIA, C. C. (2007a).** The Rock Manual. The Use of Rock in Hydraulic Engineering (2<sup>nd</sup> Edition). Chapter V - Physical Processes and Design Tools, C683, CIRIA, Londres, pp 487-756.

**CIRIA, C. C. (2007b).** The Rock Manual. The Use of Rock in Hydraulic Engineering (2<sup>nd</sup> Edition). Chapter VI - Design of Marine Structures, C683, CIRIA, Londres, pp 778-908.

**Coelho, C. (2005).** Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira. Tese de Doutorado, Universidade de Aveiro, 405 p.

**Cunha, P. G., Taveira-Pinto, F. (2010).** Dimensionamento Optimizado de Quebramares de Taludes. Aplicação ao Manto Resistente do Quebramar Norte do Porto de Leixões. 5<sup>as</sup> Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente.

**De Jong, T. J. (1996).** Stability of Tetrapods at Front Crest and Rear of a Low-Crested Breakwater. Delft Hydraulics Publication No. 453, Delft Hydraulics Laboratory, The Netherlands. Citado por CIRIA (2007a).

**Demirbilek, Z., Vincent, C. L. (2008).** Water Wave Mechanics. Coastal Engineering Manual, Part II: Coastal Hydrodynamics, Chapter 1, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC, 121 p.

**Fleming, C. A., Allsop, N. W. H., Leeming, M. B., Sharp, B. N., Slater, D., Williams, A. J., Titman, P. (1998).** Concrete in Coastal Structures. Thomas Telford, London, 301 p.

**French, P. W. (2001).** Coastal Defences. Processes, problems and solutions., Routledge, Londres, 366 p.

**Herbich, J. B. (2000).** Handbook of Coastal Engineering. Chapter 8: Coastal Protection Methods, McGraw-Hill, New York, U. S. A., 66 p.

**Hudson, R. Y. (1974).** Concrete Armor Units for Protection Against Wave Attack. Miscellaneous, Paper H-74-2, U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS. Citado por Burcharth e Hughes (2006b).

**Hughes, S. A. (2006).** Materials and Construction Aspects. Coastal Engineering Manual, Part VI: Design of Coastal Project Elements, Chapter 4, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC, 60 p.



**IH (2011).** Instituto Hidrográfico. <http://www.hidrografico.pt>. Última visualização a 29 de Outubro de 2011.

**Liberty, J., MacDonald, B. (2006).** Learning C# 2005. O'REILLY, 528 p.

**Lima, M., Coelho, C., Cachim, P. (2011).** Programação de Métodos de Pré-Dimensionamento de Obras de Defesa Costeira. 7as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, 6 e 7 de Outubro, Comunicação 26, Porto, Portugal, 18 p.

**Loureiro, H. (2011).** C# 4.0 com Visual Studio 2010. Curso Completo. FCA, Lisboa, Portugal, 589 p.

**Pita, C. (1985).** Considerações sobre a Observação de Quebra-Mares de Talude. Memória Nº 647, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 17 p.

**Pita, C. (1986).** Dimensionamento Hidráulico do Manto Resistente de Quebra-Mares de Talude. Memória nº 670, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 68 p.

**Powell, K. A., Allsop, N. W. (1985).** Low-Crested Breakwaters, Hydraulic Performance and Stability. Report No. SR 57, Hydraulics Research Station, Wallingford, England. Citado por Burchard e Hughes (2006b).

**Reeve, D., Chadwick, A., Fleming, C. (2004).** Coastal Engineering. Processes, theory and design practice., Spon Press, U.S.A., 461 p.

**RGCI (2011).** Glossário da Revista de Gestão Costeira Integrada. <http://www.aprh.pt/rgci>. Última Visualização a: 20 de Outubro de 2011.

**Sorensen, R. M. (1997).** Basic Coastal Engineering. British Library, Kluwer Academic Publishers, Londres, 301.

**Souto, C. D. (1989).** Recolha de Elementos de Base no Instituto Hidrográfico. Obras de Defesa Costeira, Seminário 210, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 52 p.

**Taveira-Pinto, F. A. (2001).** Análise das Oscilações e dos Campos de Velocidades nas proximidades de Quebramares Submersos sob a Acção da Agitação Marítima. Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 351 p.

**Taveira-Pinto, F. A., Neves, A. C. (2003).** A Importância da Consideração do Carácter Irregular da Agitação Marítima no Dimensionamento de Quebramares de Taludes. Número 16, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, pp 95-111.

**Teixeira, S. B. (2009).** Demarcação do Leito e da Margem das Águas do Mar no Litoral Sul do Algarve. Administração da Região Hidrográfica do Algarve, Faro, 207 p.

**van der Meer, J. W. (1987).** Stability of Breakwater Armour Layers - Design Formulae. Journal of Coastal Engineering, 11, pp 219-239.

**van der Meer, J. W. (1988a).** Rock Slopes and Gravel Beaches Under Wave Attack. Ph.D. diss, Delft University of Technology, The Netherlands, 214 p.

**van der Meer, J. W. (1988b).** Stability of Cubes, Tetrapods and Accropode. Proceedings of the Breakwaters '88 Conference, Design of Breakwaters, Institution of Civil Engineers, Thomas Telford, London, UK, pp 71-80.

**van der Meer, J. W. (1988c).** Deterministic and Probabilistic Design of Breakwater Armor Layers. Proc. ASCE, Journal of WPC and OE, Vol. 114, No. 1, pp 66-80.

**van der Meer, J. W. (1991).** Stability and Transmission at Low-Crested Structures. Delft Hydraulics Publication No. 453, Delft Hydraulics Laboratory, The Netherlands. Citado por Burcharth e Hughes (2006b).

**van der Meer, J. W. (1998).** Application and Stability Criteria for Rock and Artificial Units., Chapter 11 in: "Seawalls, dikes and revetments", K.W. Pilarczyk. Balkema, Rotterdam, pp 1-23.

**van der Meer, J. W., Pilarczyk, K. W. (1990).** Stability of Low-Crested and Reef Breakwaters. Chapter 103, Proc. 22th. ICCE, Delft, pp 1375-1388.

**Veloso-Gomes, F. (1981).** Espraçamento de Ondas Regulares sobre Taludes de Obras Marítimas. Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 346 p.

**Veloso-Gomes, F. (1995a).** Fenómenos de Alteração e Deformação da Agitação na Propagação em Direcção à Costa - Interação Agitação/Taludes. 1ª Edição, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 76 p.

**Veloso-Gomes, F. (1995b).** Trabalhos Fluviais e Marítimos - Marés. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, pp 166-187.

**Veloso-Gomes, F., Taveira-Pinto, F. (1999).** Reconstruction and Repair of Portuguese Coastal Defence Structures. Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.

**Watson, K., Nagel, C., Pedersen, J. H., Reid, J. D., Skinner, M. (2010).** Beginning C# 2010. Wiley Publishing Inc., Indianapolis, U.S.A, 1037 p.





