

PROGRAMAÇÃO DE MÉTODOS DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE OBRAS DE DEFESA COSTEIRA

Márcia Lima¹; Carlos Coelho²; Paulo Cachim³

¹Dep. de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro - marcia.lima@ua.pt

²Dep. de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro & CESAM, 3810-193 Aveiro - ccoelho@ua.pt

³Dep. de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro & LABEST, 3810-193 Aveiro - pcachim@ua.pt

RESUMO

O fenómeno da erosão costeira pode causar avultados prejuízos, com particular incidência nas frentes urbanas, colocando em risco pessoas e bens. Por isso, o estudo de formas de defesa contra a erosão é um assunto importante, nomeadamente no que diz respeito ao dimensionamento e desempenho de obras de defesa costeira.

Este trabalho consiste na apresentação de uma ferramenta de cálculo automático, desenvolvida em Microsoft Visual C#. O modelo numérico tem como principal objectivo a determinação do peso dos blocos do manto resistente de estruturas de defesa costeira não galgáveis (formulações de Hudson e de van der Meer), estruturas galgáveis (formulações de Powell/Allsop e de van der Meer) e estruturas submersas (formulação de van der Meer).

Recorrendo ao programa desenvolvido, efectuou-se uma análise de sensibilidades das diferentes formulações aos parâmetros envolvidos no cálculo, possibilitando a determinação do peso unitário dos blocos para diferentes valores das variáveis envolvidas, permitindo uma rápida comparação entre formulações e parâmetros de cálculo, e facilitando o pré-dimensionamento expedito das obras de defesa costeira.

Palavras-Chave: Obras de Defesa Costeira, Pré-Dimensionamento, Programação.

1. INTRODUÇÃO

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

De facto, a erosão nas zonas costeiras pode causar avultados prejuízos, colocando em risco pessoas e bens, pelo que se torna necessário um aprofundamento do estudo de métodos de defesa contra a erosão, nomeadamente no que diz respeito à construção de obras de defesa costeira. No entanto, a existência de variadas formulações essencialmente empíricas, relacionadas com o pré-dimensionamento deste tipo de estruturas, aliadas à necessidade crescente de agir no sentido da defesa dos litorais, fazem com que se torne necessário o desenvolvimento de ferramentas de auxílio nas tomadas de decisão. Assim, é fundamental que

existam ferramentas numéricas, que permitam a implementação e verificação de soluções, devidamente sustentadas em estudos científicos validados.

Com o presente trabalho, efectuou-se a programação de métodos expeditos de pré-dimensionamento de obras de defesa costeira, com o intuito de facilitar a comparação de várias soluções possíveis, permitindo, de forma rápida, tomadas de decisão sustentadas. Surge assim um programa de cálculo automático, desenvolvido em Microsoft Visual C#, que tem como principal objectivo a determinação do peso unitário dos blocos do manto resistente em função dos diversos parâmetros intervenientes nas formulações de cálculo (altura de onda, inclinação do talude, peso volúmico do material, nível de dano, etc.). O programa desenvolvido contempla estruturas não galgáveis, estruturas galgáveis e estruturas submersas, estimando o peso dos blocos com base em duas formulações distintas no primeiro e segundo caso e apenas uma formulação, no terceiro caso. No estudo das estruturas não galgáveis foram consideradas as formulações de Hudson (1974) e de van der Meer (1988), para as estruturas galgáveis foram incluídas no modelo de cálculo as formulações de Powell e Allsop (1985) e de van der Meer (1991) e em relação às estruturas submersas, a formulação de van der Meer (1991). A altura da onda incidente, o peso volúmico do material dos blocos a colocar e o peso volúmico da água são parâmetros fundamentais e comuns a todas as formulações e tipos de estrutura. Na secção 2 deste trabalho são descritas as diferentes formulações consideradas no programa de cálculo, bem como os restantes parâmetros que contemplam.

As acções a que as obras de defesa costeira se encontram sujeitas são devidas aos fenómenos de hidrodinâmica marítima. Estes fenómenos traduzem-se essencialmente pela acção da agitação marítima (ondas, vagas, etc.), marés, correntes e ventos (Banyard, 2002). A onda é considerada a grande acção modeladora do litoral (Teixeira, 2009), pelo que, no programa de cálculo desenvolvido, as acções sobre as estruturas de defesa costeira são caracterizadas apenas pela altura de onda incidente na estrutura.

Para um dimensionamento eficaz das obras de defesa costeira é essencial uma correcta caracterização das acções actuantes na estrutura, um pré-dimensionamento ponderado, baseado em formulações empíricas e a construção de modelos reduzidos (Pita, 1985). A definição da altura de onda incidente assume especial relevância, visto que a sua subavaliação poderá resultar num maior risco para a estrutura e a sua sobreavaliação num aumento do custo da obra. A consideração do carácter irregular da agitação marítima, na definição da altura de onda incidente, conduz a resultados mais aproximados dos reais (Taveira-Pinto e Neves, 2003).

A adequada escolha em projecto, dos materiais utilizados nas obras costeiras é determinante para o sucesso e longevidade da obra. As propriedades físicas, a resistência, a durabilidade, a flexibilidade, o custo, a disponibilidade de aquisição, os requisitos de manuseamento e manutenção e os impactes ambientais provocados, são características preponderantes a ter em conta na escolha do material (Hughes, 2006). As formulações incluídas no programa de cálculo foram desenvolvidas considerando enrocamento em pedra. No entanto, no caso da formulação de Hudson (estrutura não galgável) poderão ser incluídos outros materiais (blocos pré-fabricados de betão, por exemplo) fazendo variar o coeficiente de estabilidade.

As obras de defesa costeira são geralmente de secção transversal em talude (apenas este tipo de secção é incluído na ferramenta de cálculo desenvolvida) e são constituídas pelo manto resistente (em média duas camadas), filtros e núcleo, geralmente constituídos por materiais finos, como as areias e argilas (Figura 1).

Devido à diversidade de parâmetros que influenciam o peso dos blocos a colocar no manto resistente e à dependência dos resultados consoante o tipo de obra e formulação em causa, a ferramenta desenvolvida permite, para além do cálculo para situações isoladas, a análise de sensibilidades dos resultados aos diversos parâmetros envolvidos, facilitando assim uma rápida comparação das diversas formulações e dos resultados de cada formulação em função das diversas variáveis. Assim, fazendo uso desta potencialidade, é realizada na secção 4, uma análise de sensibilidades do peso unitário dos blocos do manto resistente, aos diferentes parâmetros envolvidos no cálculo.

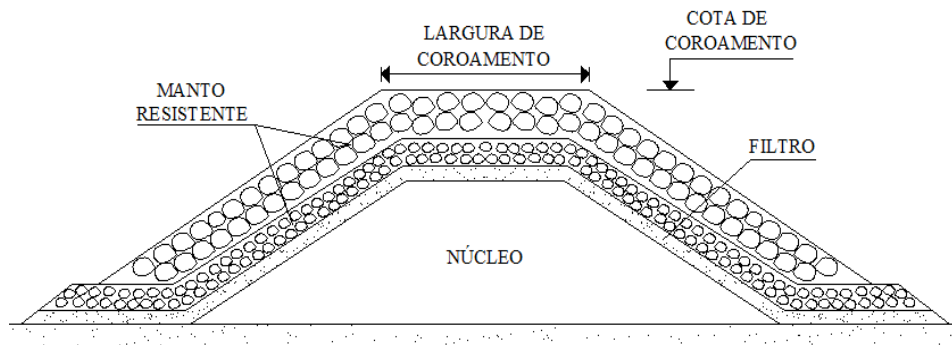


Figura 1 - Secção transversal-tipo de obras de defesa costeira (Burcharth e Hughes, 2006).

2. FORMULAÇÕES UTILIZADAS NO PRÉ-DIMENSIONAMENTO

Na presente secção são descritas as formulações utilizadas e as considerações adoptadas para o desenvolvimento do programa de cálculo. Primeiramente referem-se as considerações relativas ao dimensionamento do peso unitário dos blocos a colocar no manto resistente das estruturas e, por fim, descrevem-se as expressões utilizadas para a definição dos parâmetros que caracterizam a secção transversal.

É de realçar que as expressões e considerações descritas apenas são válidas numa fase de pré-dimensionamento, uma vez que 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 anteriormente.

2.1. Pré-Dimensionamento do Peso dos Blocos do Manto Resistente

A determinação do peso dos blocos a considerar no manto resistente depende de diversos parâmetros, que variam consoante o tipo de estrutura pretendida e consoante a formulação utilizada. Em seguida são descritas as considerações para cinco formulações de cálculo, compreendendo o dimensionamento de estruturas não galgáveis, galgáveis e submersas (Figura 2).

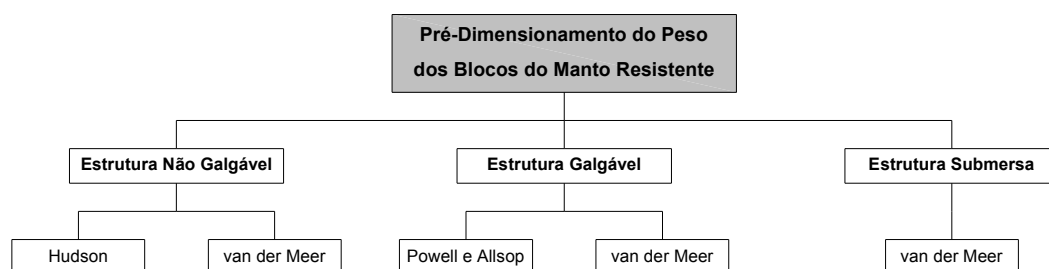


Figura 2 - Tipos de estrutura e formulações consideradas no programa de cálculo.

2.1.1. 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 estrutura, o que implica a necessidade de pesos maiores para os blocos do manto resistente.

Relativamente às estruturas não galgáveis são descritas duas formulações distintas: Hudson (1974) e van der Meer (1988), ambas referenciadas em Burcharth e Hughes (2006).

HUDSON

A fórmula de Hudson é uma das fórmulas existentes para o cálculo do peso unitário dos blocos do manto resistente de estruturas não galgáveis e considera uma abordagem simplista da agitação marítima. É considerada semi-empírica e, de acordo com Taveira-Pinto e Neves (2003), apesar do elevado interesse nas aplicações práticas, possui algumas limitações devido à não inclusão de alguns parâmetros hidrodinâmicos considerados influentes na estabilidade da estrutura (período de onda, declividade, duração do temporal, etc.). Traduz-se pela seguinte expressão:

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

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, ρ_s e ρ_w são a massa volúmica do material e da água respectivamente, Δ corresponde à densidade relativa ($\Delta = (\rho_s/\rho_w) - 1$), α é a inclinação do talude em graus, K_D é o coeficiente de estabilidade e $M_{50} = \rho_s D_{n50}^3$.

Considerando W o peso unitário dos blocos constituintes do manto resistente ($W = M_{50}g$), γ_s e γ_w o peso volúmico do material e o peso volúmico da água, respectivamente, obtém-se a seguinte expressão:

$$W = \frac{\gamma_s H^3}{K_D \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right)^3 \cot \alpha} \quad (2)$$

O valor do coeficiente de estabilidade é função de vários parâmetros, como o material constituinte dos blocos, interligação dos blocos, número de camadas do manto resistente, localização do perfil, inclinação do talude, percentagem de blocos deslocados permitida, etc.

VAN DER MEER

A fórmula de van der Meer surge com o principal objectivo de suprimir algumas das principais limitações da fórmula de Hudson. Por isso, a fórmula de van der Meer pode considerar o carácter irregular da agitação marítima (Taveira-Pinto e Neves, 2003). Segundo CIRIA (2007), podem também considerar-se diferentes permeabilidades do núcleo/filtros (na fórmula de Hudson, estes elementos da estrutura são considerados permeáveis) e diferentes condições de rebentação (oscilatória/mergulhante).

Assim, no caso de estruturas não galgáveis, com mantos resistentes constituídos por duas camadas de enrocamento e considerando ondas com rebentação mergulhante (Equação 3) ou oscilatória (Equação 4), apresentam-se em Burcharth e Hughes (2006) as seguintes expressões:

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

$$\frac{H}{\Delta D_{n50}} = 6,2 S^{0,2} P^{0,18} N_z^{-0,1} \xi_m^{-0,5} \quad (3)$$

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

$$\frac{H}{\Delta D_{n50}} = 1,0 S^{0,2} P^{-0,13} N_z^{-0,1} (\cot \alpha)^{0,5} \xi_m^P \quad (4)$$

Onde S representa o nível de dano (Tabela 1), P corresponde ao factor de permeabilidade (Figura 3), N_z é número de ondas (dependente da duração do temporal e do período da onda), ξ_m simboliza o número de Iribarren ($\xi_m = s_m^{-0,5} \tan \alpha$) sendo s_m a declividade média da onda ($s_m = H/L_{om}$) e L_{om} o comprimento de onda para grandes profundidades (ao largo), correspondente ao período de onda médio T_m ($L_{om} = gT_m^2/2\pi$) e ξ_{mc} corresponde ao número de Iribarren crítico ($\xi_{mc} = (6,2P^{0,31}(\tan \alpha)^{0,5})^{1/(P+0,5)}$).

Tabela 1 – Valores recomendáveis para o nível de dano, para mantos resistentes constituídos por duas camadas de enrocamento (CIRIA, 2007).

INCLINAÇÃO (cot α)	NÍVEL DE DANO - 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

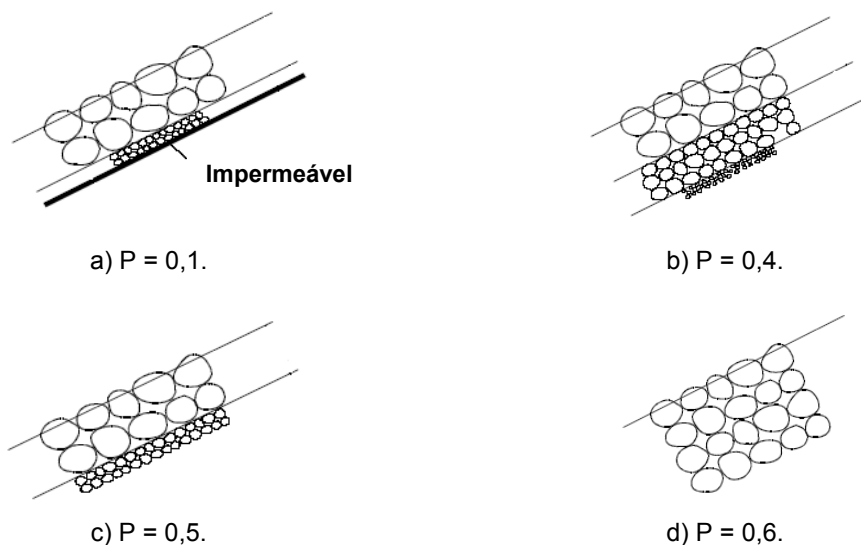


Figura 3 - Factor de permeabilidade (baseado em Burcharth e Hughes, 2006).

A fórmula de van der Meer apenas pode ser utilizada se: $N_z \leq 7500$, 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); $0,1 \leq P \leq 0,6$; $0,005 \leq s_m \leq 0,06$; $20 \text{ kN/m}^3 \leq \gamma_s \leq 31 \text{ kN/m}^3$. Quando $\cot \alpha \geq 4,0$ não há transição entre rebentação do tipo mergulhante e oscilatória, pelo que apenas a Equação 3 poderá ser considerada. Para grandes profundidades ($d > L_0/2$), sendo d a profundidade local e L_0 o comprimento de onda ao largo, as Equações 3 e 4 são válidas. Para pequenas profundidades relativas ($d/L_0 < 1/25$), poderão ser utilizadas as mesmas expressões, considerando $H = H_{2\%}/1,4$, sendo $H_{2\%}$ a altura de onda que apenas é excedida em 2% dos casos.

2.1.2. 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. Relativamente às estruturas galgáveis são descritas as formulações de Powell e Allsop (1985) e van der Meer (1991), ambas referenciadas em Burcharth e Hughes (2006).

POWELL E ALLSOP

Para estruturas galgáveis, constituídas por duas camadas de enrocamento, em Burcharth e Hughes (2006) são propostas as seguintes expressões para o cálculo do peso unitário dos blocos do manto resistente:

$$\frac{N_{od}}{N_a} = a \exp[b s_p^{-1/3} H / (\Delta D_{n50})] \quad \text{ou} \quad \frac{H}{\Delta D_{n50}} = \frac{s_p^{1/3}}{b} \ln\left(\frac{1 N_{od}}{a N_a}\right) \quad (5)$$

Onde N_{od} e N_a representam o número de blocos deslocados e o número total de blocos do manto resistente, respectivamente, a e b são coeficientes empíricos que dependem da relação R_c/H , onde R_c representa o desnível entre o coroamento da estrutura e o nível da superfície da água (Tabela 2) e s_p é a declividade correspondente ao comprimento de onda local de pico ($s_p = H/L_p$; $L_p = L_{op} \tanh(2\pi d/L_p)$; $L_{op} = gT_p^2/2\pi$).

Tabela 2 – Valor para os coeficientes a e b (Burcharth e Hughes, 2006).

R_c/H	$a \cdot 10^4$	b	s_p
0,29	0,07	1,66	< 0,03
0,39	0,18	1,58	< 0,03
0,57	0,09	1,92	< 0,03
0,38	0,59	1,07	> 0,03

VAN DER MEER

Para as estruturas galgáveis, considera-se que o valor do diâmetro dos blocos a colocar no manto resistente ($D_{n50, Galgável}$) é o valor do diâmetro obtido considerando a estrutura não galgável (Equações 3 e 4) afectado do factor de redução f_i ($D_{n50, Galgável} = f_i D_{n50, Não Galgável}$). Assim, de acordo com Burcharth e Hughes (2006), tem-se a seguinte expressão:

$$f_i = \left(1,25 - 4,8 \frac{R_c}{H} \sqrt{\frac{s_{op}}{2\pi}}\right)^{-1} \quad (6)$$

Onde s_{op} é a declividade correspondente ao comprimento de onda ao largo de pico (L_{op}). A expressão anterior apenas é válida caso se verifique a seguinte condição:

$$0 < \frac{R_c}{H} \sqrt{\frac{s_{op}}{2\pi}} < 0,052, \text{ de onde se deduz que } 0,8 < f_i < 1,0.$$

2.1.3. Estruturas Submersas

Estruturas submersas são estruturas para as quais a cota de coroamento se encontra abaixo do nível médio da água. Relativamente a este tipo de estruturas é descrita a formulação de van der Meer (1991), baseada em dados de Givler e Sorensen (1986), apresentados em Burcharth e Hughes (2006).

VAN DER MEER

No caso de estruturas submersas, van der Meer (1991), sugere que, para taludes com inclinação H/V = 2/1 ($\approx 27^\circ$) e considerando o carácter irregular da agitação, se utilize a seguinte expressão para o cálculo do peso dos blocos a colocar no manto resistente:

$$\frac{h'_c}{d} = (2,1 + 0,1S) \exp(-0,14N_s^*) \quad (7)$$

Onde h'_c corresponde à altura total da obra submersa e N_s^* representa o número de estabilidade espectral $\left(\frac{H}{\Delta D_{n50}} S_p^{-1/3}\right)$.

2.2. Características da Secção Transversal

Relativamente às características da secção transversal, faz-se referência à determinação do número de blocos existentes por unidade de área, à determinação do valor a considerar para a largura de coroamento e à determinação do valor médio da espessura das camadas do manto resistente.

2.2.1. Largura de coroamento

A largura de coroamento depende, segundo Burcharth e Hughes (2006), 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, γ_s , e do coeficiente empírico, k_Δ . Assim, obtém-se a seguinte expressão:

$$B = n_b k_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_s}\right)^{1/3} \quad (8)$$

O valor do coeficiente empírico k_Δ depende do tipo de bloco e considera-se 1,00 e 1,02 no caso de enrocamento com acabamento rugoso e liso, respectivamente.

Muitas vezes, a largura de coroamento é limitada inferiormente por questões de funcionamento e circulação de equipamentos. Assim recomenda-se que este valor nunca seja inferior a 6 metros (Cruz, 2008).

2.2.2. Espessura do manto resistente

De acordo com Burcharth e Hughes (2006), 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, γ_s , e do coeficiente empírico, k_Δ (referido anteriormente). A Equação 9 traduz a espessura do manto resistente:

$$r = n k_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_s}\right)^{1/3} \quad (9)$$

2.2.3. Número de blocos por área

De acordo com Burcharth e Hughes (2006), o número de blocos por unidade de área N_a/A , depende, para além dos parâmetros referidos em 2.2.2, da porosidade, P (expressa em %), função do tipo de bloco considerado (Equação 10):

$$\frac{N_a}{A} = n \cdot k_\Delta \left(1 - \frac{P}{100}\right) \left(\frac{\gamma_s}{W}\right)^{2/3} \quad (10)$$

Para blocos de enrocamento com superfície lisa considera-se $P = 38\%$ e para blocos de enrocamento com superfície rugosa admite-se $P = 37\%$, no caso de $n = 2$ e $P = 40\%$, no caso de $n \geq 3$.

3. DESCRIÇÃO DO PROGRAMA DESENVOLVIDO

Na presente secção pretende-se tecer algumas considerações acerca do programa de pré-dimensionamento de obras de defesa costeira desenvolvido. A linguagem de programação adoptada foi o Microsoft Visual C# 2010 Express Edition, associado à plataforma .NET na sua versão mais actual, 4.0. É uma linguagem de programação recente que contém muitos dos melhores recursos de outras linguagens de programação.

Na Figura 4, apresenta-se como exemplo o aspecto visual da janela de cálculo de uma das formulações que o programa contempla. A janela de cálculo das restantes quatro formulações apresenta um aspecto visual idêntico, variando apenas nos campos dos parâmetros de que dependem cada uma das formulações.

O programa de cálculo divide-se em duas partes. A primeira parte permite a determinação do peso dos blocos a colocar no manto resistente das estruturas e numa segunda parte, recorrendo aos resultados obtidos na primeira parte, permite a definição e o cálculo de algumas características da secção transversal (ver na Figura 5 o organigrama do programa desenvolvido).

Figura 4 - Janela de cálculo do programa desenvolvido (Estrutura Não Galgável - Formulação de van der Meer).

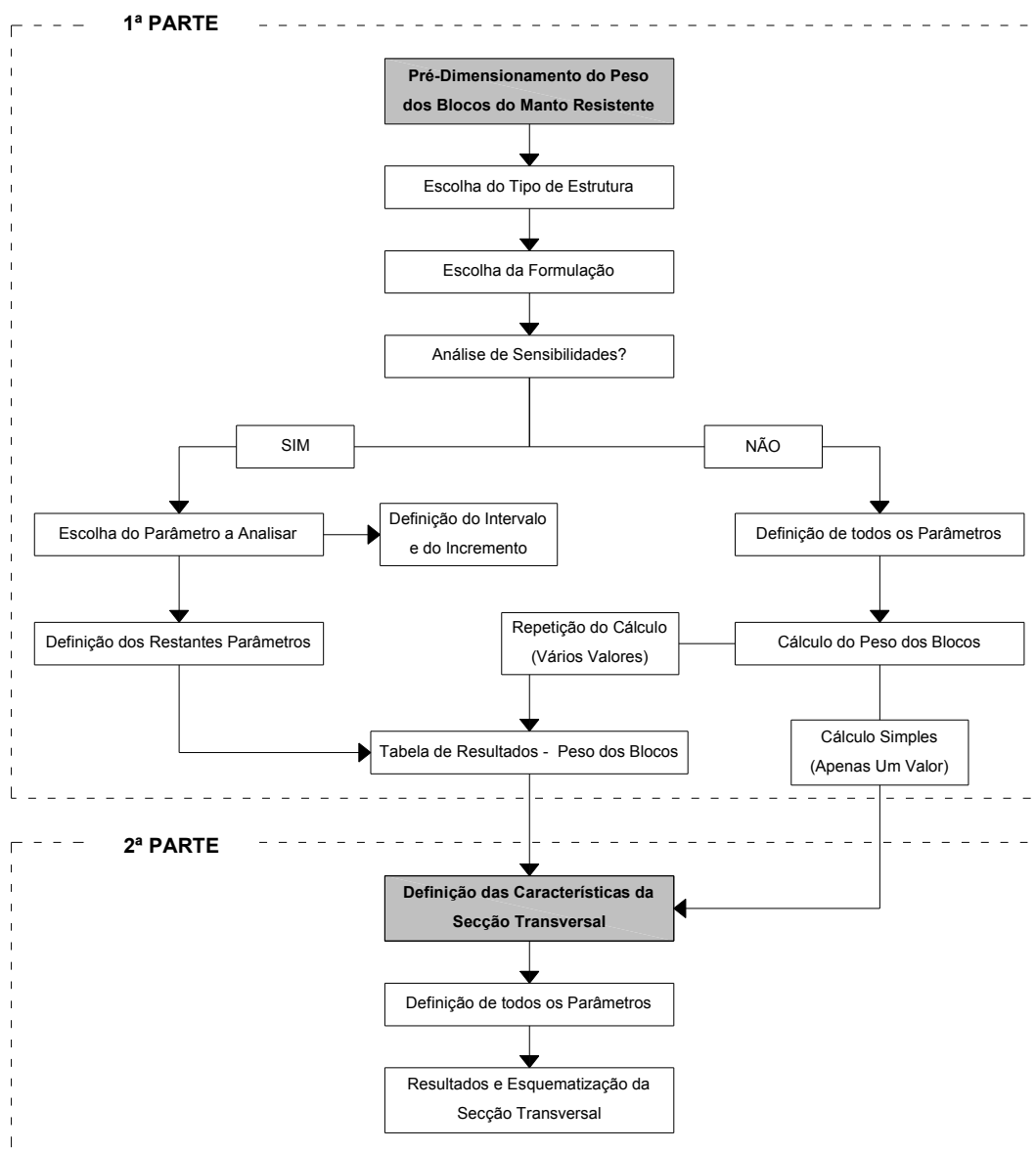


Figura 5 - Organograma do programa de cálculo.

1ª PARTE: PRÉ-DIMENSIONAMENTO DO PESO DOS BLOCOS DO MANTO RESISTENTE

A determinação do peso dos blocos do manto resistente é função de vários parâmetros, que como se verificou, variam consoante o tipo de estrutura e a formulação a utilizar. No esquema da Figura 2, já se referiram os tipos de estrutura bem como as formulações que o programa de cálculo contempla. As expressões utilizadas para a determinação do peso unitário dos blocos encontram-se descritas na secção 2.1

As funcionalidades desenvolvidas no programa, para o cálculo do peso dos blocos do manto resistente, são as mesmas para as cinco formulações disponíveis, à excepção da formulação de Hudson (estrutura não galgável), que apresenta mais algumas funcionalidades.

Primeiramente vai descrever-se as considerações comuns às cinco formulações e posteriormente as especificidades desenvolvidas para a formulação de Hudson.

Assim, para as cinco formulações procede-se ao cálculo do peso dos blocos a colocar no manto resistente em função dos diversos parâmetros envolvidos. Para isso, pode realizar-se um cálculo simples (optando por “Nenhuma” na caixa de selecção “Análise de Sensibilidades” - ver Figura 4), isto é, determina-se um valor de W (peso dos blocos a colocar) correspondente aos parâmetros introduzidos. Este processo pode ser repetido o número de vezes que o utilizador desejar, podendo os valores e respectivos parâmetros serem armazenados na tabela de resultados correspondente à formulação. Para tal, devem seguir-se os passos:

- 1) Introduzir todos os dados necessários ao cálculo;
- 2) Recorrendo ao comando “Calcular”, obtém-se o valor do peso dos blocos a colocar, bem como de alguns parâmetros resultantes de cálculos intermédios;
- 3) Caso se pretenda guardar os valores obtidos, recorre-se ao comando “Guardar Resultados” e os parâmetros introduzidos bem como os resultados são automaticamente armazenados na tabela de resultados correspondente à formulação;
- 4) Para visualizar a listagem de cálculos realizados, pode recorrer-se ao comando “Ver Tabela de Resultados”.

Em alternativa ao cálculo simples, pode ser realizada uma análise de sensibilidades do peso dos blocos do manto em relação a um determinado parâmetro, escolhido pelo utilizador. Assim, o utilizador deverá proceder da seguinte forma:

- 1) Seleccionar o parâmetro que pretende analisar (escolher na caixa de selecção “Análise de Sensibilidades”);
- 2) Determinar o intervalo de valores que se pretende analisar, bem como o incremento desejado entre cada valor;
- 3) Introduzir os restantes dados necessários ao cálculo;
- 4) Recorrer ao comando “Calcular/Guardar Resultados”, obtendo assim uma listagem de valores do peso dos blocos a colocar no manto resistente, correspondente aos diferentes valores do parâmetro em análise considerados no intervalo;
- 5) Recorrer ao comando “Ver Tabela de Resultados”, para visualizar a listagem de valores calculados.

Relativamente à formulação de Hudson, o programa de cálculo permite, para além das funcionalidades descritas anteriormente, a determinação de qualquer um dos parâmetros envolvidos fixando os restantes, enquanto em todas as outras formulações, o objectivo do cálculo apenas poderá ser o peso dos blocos a colocar no manto resistente. Assim, a título de exemplo, estipulando um valor para o peso dos blocos do manto, bem como para os restantes parâmetros, o programa permite a determinação do valor máximo da altura da onda incidente permitido para as condições estipuladas.

DESCRIÇÃO DA 2ª PARTE: DEFINIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DA SECÇÃO TRANSVERSAL

A definição das características da secção transversal é comum às cinco formulações consideradas. O programa de cálculo permite a determinação da largura de coroamento da estrutura, a determinação da espessura média das camadas do manto resistente e a quantificação do número de blocos por unidade de área.

A determinação dos parâmetros mencionados é realizada de acordo com as expressões descritas em 2.2 e depende directamente do valor do peso unitário dos blocos do manto resistente, obtido previamente.

O valor dos parâmetros pode ser determinado apenas para um valor do peso dos blocos ou poderá ser determinado para cada um dos valores da tabela de resultados (no caso de se ter realizado uma análise de sensibilidades ou no caso de terem guardado os valores correspondentes ao cálculo simples). Na primeira situação obtém-se apenas um valor para cada um dos parâmetros determinados e exemplificam-se no esquema da secção transversal (Figura 4). No segundo caso obtém-se uma tabela de resultados com os valores correspondentes.

4. ANÁLISE DE SENSIBILIDADES

Nesta secção apresenta-se uma análise de sensibilidades aos resultados das formulações e parâmetros envolvidos, recorrendo à utilização do programa de cálculo desenvolvido. A análise de sensibilidades baseia-se essencialmente no estudo da influência dos diversos parâmetros na variação do peso unitário dos blocos do manto resistente e abrange as formulações de Hudson (estrutura não galgável) e van der Meer (para os três tipos de estrutura estudados).

Para as quatro formulações em estudo, considera-se, sempre, a variação do peso dos blocos em função da altura de onda incidente (H), admitindo que esta varia entre 1 e 10 metros e admite-se o peso volúmico da água salgada ($\gamma_w = 10,1 \text{ kN/m}^3$). A altura da onda incidente, o peso volúmico do material dos blocos a colocar (γ_s) e o peso volúmico da água são parâmetros intervenientes em todas as formulações e tipos de estrutura.

Nas secções 4.1 a 4.4, são apresentados graficamente os resultados obtidos através da ferramenta desenvolvida para cada uma das formulações estudadas e são descritas as considerações efectuadas para a sua obtenção. Em 4.5 são analisados e discutidos os resultados da análise realizada.

4.1. Hudson (Não Galgável)

De acordo com a Expressão 1, verifica-se que o peso unitário dos blocos a colocar no manto resistente (W) depende, para além dos parâmetros comuns a todas as formulações, do coeficiente de estabilidade (K_s) e da inclinação do talude (α).

Assim, pretendeu-se analisar o efeito da variação da inclinação, do coeficiente de estabilidade e do peso volúmico dos blocos no valor do peso unitário dos blocos a colocar no manto resistente. Para isso consideraram-se cinco valores diferentes para o parâmetro a analisar, fixando os restantes dois. Para o primeiro caso, considerou-se a inclinação do talude a variar entre 18 e 45° ($H/V=3/1$ a $H/V=1/1$ respectivamente) e o valor do coeficiente de estabilidade ($K_s=3$) e do peso volúmico dos blocos ($\gamma_s=26 \text{ kN/m}^3$) fixos, obtendo-se as curvas representadas na Figura 6a. No segundo caso fez-se variar o coeficiente de estabilidade entre 3 e 19, considerando um valor intermédio para a inclinação do talude $H/V=2/1 \approx 27^\circ$ e mantendo o peso volúmico dos blocos de 26 kN/m^3 , obtendo-se assim as curvas representadas no gráfico da Figura 6b. Para o terceiro caso considerou-se a mesma inclinação do talude do caso anterior, um coeficiente de estabilidade $K_s=3$ e faz-se variar o peso volúmico dos blocos entre 20 e 32 kN/m^3 , obtendo-se assim as curvas representadas na Figura 6c.

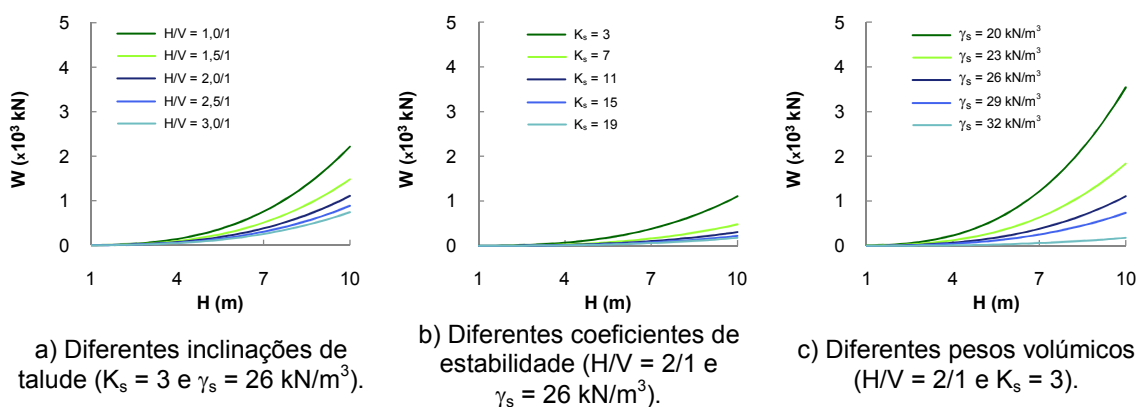


Figura 6 - Peso dos blocos do manto resistente de estruturas não galgáveis, de acordo com a formulação de Hudson.

4.2. Van der Meer (Não Galgável)

Para estruturas não galgáveis, van der Meer propõe duas expressões (Equação 3 e 4), consoante se trate de ondas oscilatórias ou ondas mergulhantes. A classificação destes dois

tipo de onda, de acordo com van der Meer (1991), depende do valor da altura de onda, do período de onda, T_m , da permeabilidade, P , e da inclinação do talude. Pelas Equações 3 e 4, verifica-se que o peso unitário dos blocos do manto resistente varia consoante o nível de dano (S) considerado, a inclinação do talude, o número de ondas (N_z), o período de onda e a permeabilidade do talude.

Pretendeu-se analisar o efeito da variação dos diferentes parâmetros referidos no valor do peso dos blocos do manto. Primeiramente, avaliou-se o efeito da inclinação do talude (Figura 7) e do peso volúmico dos blocos (Figura 8), considerando três valores para cada um dos casos ($H/V=1/1$, $H/V=2/1$, $H/V=3/1$ e $\gamma_s=20 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_s=26 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_s=32 \text{ kN/m}^3$). Em todos os casos a análise foi realizada considerando dois valores para o período da onda ($T=8 \text{ s}$ e $T=12 \text{ s}$), representados na Figura 7a e 8a, dois valores diferentes de permeabilidade ($P=0,1$ e $P=0,6$), representados na Figura 7b e 8b, e dois valores para o número de ondas ($N_z=2000$ e $N_z=7500$), representados nas Figuras 7c e 8c, respectivamente. Em todos os cálculos considerou-se que o nível de dano admitido para a estrutura era de $S=2$. Foi definida uma situação de estudo como “caso padrão” (representado nos gráficos da Figura 7 e 8 com linha a cheio), adoptando valores por defeito para os parâmetros que não estavam em análise, nomeadamente $T=8 \text{ s}$, $P=0,6$, $N_z=7500$, $H/V=2/1$ e $\gamma_s=26 \text{ kN/m}^3$.

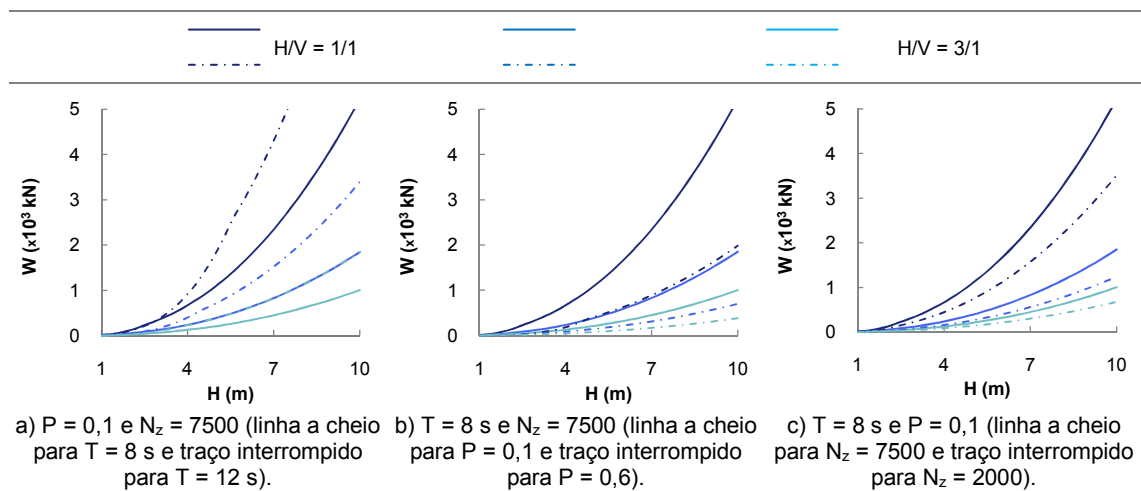


Figura 7 - Peso dos blocos do manto resistente de estruturas não galgáveis, de acordo com a formulação de van der Meer, para diferentes valores de inclinação do talude.

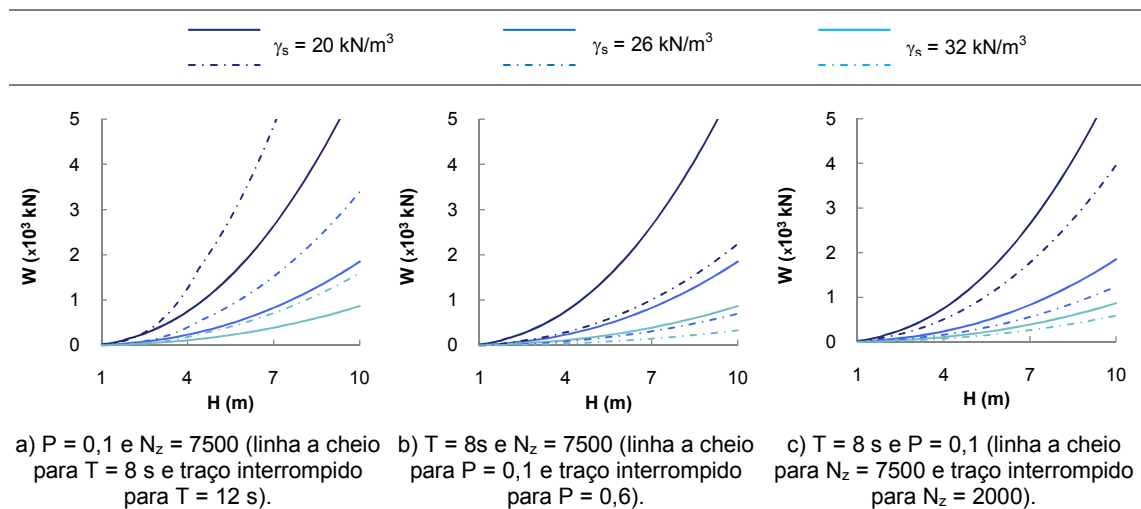


Figura 8 - Peso dos blocos do manto resistente de estruturas não galgáveis, de acordo com a formulação de van der Meer, para diferentes valores de peso volúmico dos blocos.

De salientar que no gráfico da Figura 7a, a curva correspondente a uma inclinação de $H/V=2/1$ e $T=8s$ é coincidente com a curva correspondente a $H/V=3/1$ e $T=12s$, para alturas de onda incidentes superiores a 4 metros. Verifica-se que a partir de $H=4$ m, as ondas são mergulhantes, pelo que deverá ser utilizada a Equação 3 para o cálculo do peso unitário dos blocos do manto resistente. Assim, para os dois casos, apenas difere o valor considerado para $\xi_m = s_m^{-0.5} \tan \alpha$, dado que os restantes parâmetros são iguais. Sabe-se que a declividade média da onda ($s_m = 2\pi H/gT_m^2$) 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 $\cot \alpha$. Nesta situação, a relação entre estes dois parâmetros dá origem a resultados com linhas coincidentes.

4.3. Van der Meer (Galgável)

Para a determinação do peso dos blocos a colocar no manto resistente de estruturas galgáveis, recorreu-se às expressões de van der Meer para estruturas não galgáveis, afectadas de um factor de redução. Assim, tal como referido em 2.1.2, $D_{n50,Galgável} = f_i D_{n50,Não\ Galgável}$, sendo f_i dado pela Equação 6. Logo, pode deduzir-se que $W_{Galgável} = f_i^3 W_{Não\ Galgável}$, dado que $W = \gamma_s D_{n,50}$.

Assim sendo, não será novamente avaliada a sensibilidade dos parâmetros das Equações 3 e 4, visto que o tipo de comportamento seria idêntico à formulação não galgável. Avaliou-se por isso apenas a sensibilidade do factor de redução, e consequentemente do peso dos blocos a colocar no manto resistente, ao valor de R_c (desnível entre o coroamento da estrutura e o nível da superfície da água), considerando cinco valores a variar entre 0 e 4 metros (Figura 9a e 9b). O valor dos restantes parâmetros foi adoptado igual ao considerado no “caso padrão”, na secção 4.2. Por relação com o período de onda, foi admitido um período de pico de 9,6 s.

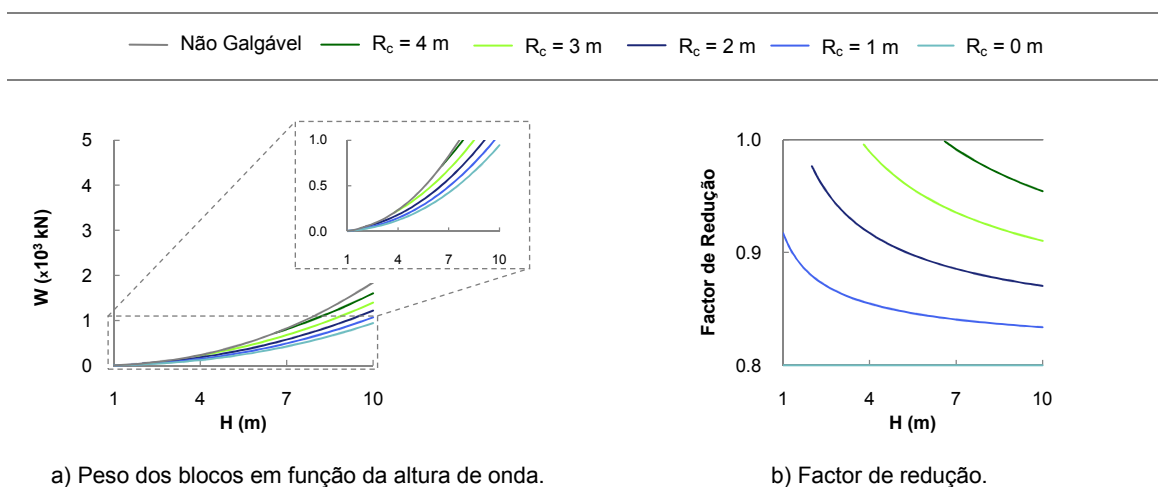


Figura 9 - Avaliação do efeito da altura de galgamento para estruturas galgáveis, de acordo com a formulação de van der Meer.

4.4. Van der Meer (Submersa)

Para além dos parâmetros comuns a todas as formulações, a determinação do peso dos blocos do manto resistente para estruturas submersas depende do nível de dano permitido para a estrutura, do período de onda de pico (T_p), da profundidade local (d) e da altura da obra submersa (h'_c).

Nesta formulação analisou-se a sensibilidade dos resultados do peso dos blocos à variação da profundidade local e à altura da obra submersa. Para isso consideraram-se em cada caso cinco valores distintos, admitindo que a profundidade local varia entre 3 e 15 metros e que a altura da obra submersa varia entre 1 e 9 metros. Para o primeiro teste, considerou-se o valor fixo de 3 metros para a altura da obra submersa e no segundo teste, fixou-se em 9 metros a profundidade local, sendo que em ambos os casos se considerou um nível de dano de 2, período de onda de pico de 9,6 s e peso volúmico dos blocos de 26 kN/m^3 , obtendo-se assim as curvas descritas nas Figuras 10a e 10b.

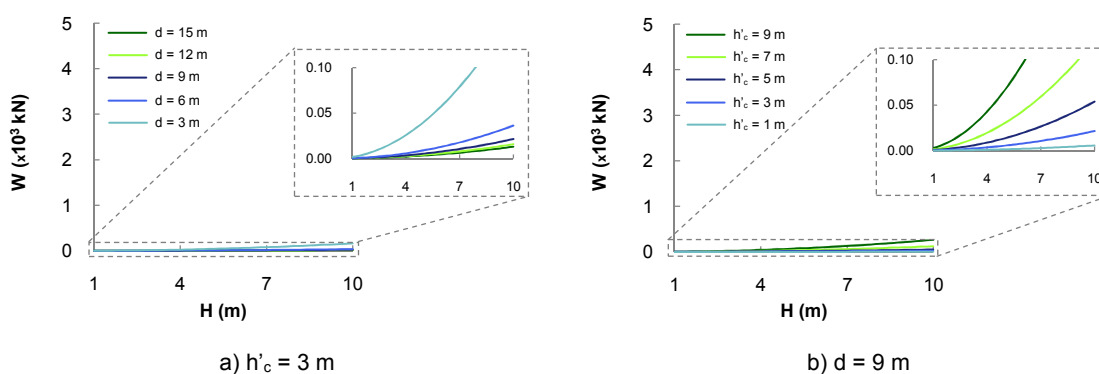


Figura 10 - Avaliação do efeito da profundidade e altura da obra no peso dos blocos do manto resistente para estruturas submersas, de acordo com a formulação de van der Meer.

4.5. Discussão de Resultados

Após a apresentação de todas as sensibilidades das formulações a diversos parâmetros, nesta secção analisam-se os resultados obtidos, primeiro numa perspectiva global mais genérica e depois avaliando os comportamentos específicos de cada formulação.

Para todas as formulações, verificou-se naturalmente que o aumento da altura de onda resulta num aumento significativo do valor do peso unitário dos blocos a colocar no manto resistente. No entanto, o aumento relativo do peso dos blocos mantém-se constante, qualquer que seja o valor atribuído aos restantes parâmetros, ou seja, a proporção do aumento de peso dos blocos por efeito da altura de onda é independente da generalidade dos parâmetros. Como excepção, referem-se o caso das estruturas não galgáveis, para ondas oscilatórias e o caso das estruturas galgáveis, onde o resultado varia consoante o valor de R_c . No entanto, em todas as situações, verifica-se que o aumento percentual do valor absoluto do peso dos blocos é superior para valores baixos de H e vai diminuindo consoante este aumenta. Este facto releva a importância da definição da altura de onda de projecto, pois a incerteza na consideração desse valor em 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%, em geral para todas as formulações.

Ainda numa análise global, verifica-se que, tal como previsto, o peso unitário dos blocos a colocar no manto resistente de estruturas não galgáveis é superior ao das estruturas galgáveis, que por sua vez é superior ao das estruturas submersas.

Em todas as análises foi considerado um nível de dano admissível de 2 (à excepção de Hudson por não depender deste parâmetro) e em nenhum dos casos foi analisada a

sensibilidade do peso dos blocos do manto resistente à sua variação. No entanto, verifica-se que o peso dos blocos diminui com o aumento do nível de dano admissível, não tendo sido quantificada a respectiva variação percentual.

Relativamente à formulação de Hudson (Figura 6), verifica-se que o peso dos blocos a colocar no manto resistente de estruturas não galgáveis aumenta com o aumento da inclinação do talude, com a diminuição do coeficiente de estabilidade e com o aumento do peso volúmico dos blocos. Verifica-se que o acréscimo relativo do peso dos blocos é superior para a gama das inclinações mais elevadas (por exemplo, ao passar de uma inclinação $H/V=1,5/1$ para uma inclinação $H/V=1/1$ o acréscimo no valor do peso dos blocos é de 50%, enquanto, ao passar de uma inclinação de $H/V=3/1$ para $H/V=2,5/1$ o acréscimo já é de apenas 20% (Figura 6a). Na análise do coeficiente de estabilidade, verifica-se que considerar o valor 15 ao invés de 19, o acréscimo no peso dos blocos é de 27% enquanto que, passando de um valor de 7 para 3, o acréscimo já será de 133% (Figura 6b). No caso do peso volúmico dos blocos, verifica-se que, ao substituir um material de peso volúmico 32 kN/m^3 por um material de 29 kN/m^3 , o acréscimo de peso dos blocos do manto é de 41%, no entanto, no caso de se substituir um material de 23 kN/m^3 por um material de 20 kN/m^3 de peso volúmico o acréscimo já será de 92%. Em termos médios globais, no intervalo de valores avaliados para a inclinação do talude, coeficiente de estabilidade e peso volúmico do material dos blocos, verifica-se que o aspecto com maior impacto nos resultados do peso dos blocos é o peso volúmico do material dos blocos e o de menor impacto é o coeficiente de estabilidade.

No caso da formulação de van der Meer, para estruturas não galgáveis (e consequentemente para galgáveis, dado que se utilizam as mesmas formulações afectadas do factor de redução), é importante analisar o valor de altura de onda incidente, para o qual ocorre a transição entre rebentação oscilatória e rebentação mergulhante. Tal deve-se ao facto da variação do valor do peso dos blocos depender, em grande parte, dessa transição, dado que no cálculo se passa a considerar a Equação 3 ao invés da Equação 4. Como já referido, o valor da altura de onda para o qual ocorre a transição depende, do período de onda, da permeabilidade e da inclinação do talude. Assim, tendo em conta as análises realizadas em 4.2, obtém-se os valores representados na Tabela 3.

Tabela 3 – Altura de onda (em metros) correspondente à transição de ondas oscilatórias para mergulhantes, para diferentes permeabilidades (P), inclinações (H/V) e períodos de onda (T_m).

	$P = 0,1$			$P = 0,6$		
	$H/V = 1/1$	$H/V = 2/1$	$H/V = 3/1$	$H/V = 1/1$	$H/V = 2/1$	$H/V = 3/1$
$T_m = 8 \text{ s}$	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

Na Figura 7a, verifica-se que a relação entre o peso unitário dos blocos considerando $T_m=8 \text{ s}$ e $T_m=12 \text{ s}$ não apresenta um comportamento constante. Tendo em conta os valores da Tabela 3 e a Figura 11a, pode concluir-se que para ondas oscilatórias o peso dos blocos correspondente ao período $T_m=8 \text{ s}$ é superior ao correspondente a um período de 12 s, para a mesma altura de onda e que para ondas mergulhantes a situação inverte-se. A relação é constante para qualquer inclinação considerada para o talude e para qualquer altura de onda, à excepção da zona de transição (intervalo de altura de onda onde, para $T_m=8 \text{ s}$ as ondas são mergulhantes e para $T_m=12 \text{ s}$ as ondas são oscilatórias). Assim verifica-se que, para ondas oscilatórias, o peso dos blocos correspondente a $T_m=12 \text{ s}$ é 11% inferior ao correspondente a $T_m=8 \text{ s}$, enquanto para ondas mergulhantes é 84% superior. Na zona de transição, a relação entre o peso dos blocos considerando $T_m=12 \text{ s}$ e o peso dos blocos considerando $T_m=8 \text{ s}$ não é constante, isto é, aumenta até atingir o valor correspondente às ondas mergulhantes. Ao considerar uma permeabilidade de 0,6, verifica-se que o peso dos blocos para $T_m=12 \text{ s}$ é 52% inferior ao peso

correspondente a $T_m=8$ s, no caso de ondas oscilatórias. As restantes relações mantêm-se constantes. A alteração de qualquer um dos outros parâmetros não traduz diferenças nas relações referidas para $P=0,1$. Relativamente ao comportamento da variação da inclinação do talude, verifica-se que é constante qualquer que seja o período considerado. Ao considerar uma inclinação $H/V=1/1$ ao invés de $H/V=2/1$, verifica-se, para ondas oscilatórias, um aumento de 130% no peso dos blocos, enquanto que ao considerar $H/V=2/1$ em vez de $H/V=3/1$ o aumento já é de apenas 63%. Para ondas mergulhantes, na primeira situação o aumento é de 183% e no segundo caso de 84%. Na fase de transição a relação não é constante. As relações referidas mantêm-se, qualquer que seja o valor atribuído aos restantes parâmetros.

Na Figura 7b, analisa-se o comportamento do peso dos blocos considerando diferentes valores de permeabilidade. Quando $P=0,1$ (talude com comportamento impermeável), o peso dos blocos é superior ao obtido para uma permeabilidade de 0,6 (talude permeável). A relação entre pesos é constante para ondas mergulhantes, qualquer que seja a inclinação considerada (para $P=0,1$ o peso é 163% superior ao peso para $P=0,6$), sendo que para ondas oscilatórias e na zona de transição é variável, aumentando a relação com a diminuição da altura de onda. Relativamente à variação da inclinação do talude, para $P=0,1$ o comportamento é igual ao descrito na análise da Figura 7a para $T_m=8$ s. No entanto, quando $P=0,6$ verifica-se uma alteração do comportamento para ondas oscilatórias, sendo que ao considerar uma inclinação de $H/V=1/1$ ao invés de $H/V=2/1$ verifica-se um diminuição no peso dos blocos de 19%, contrariamente ao ocorrido quando $P=0,1$ (Figura 11b). Para ondas mergulhantes as relações são idênticas às obtidas para $P=0,1$.

No caso da Figura 7c, analisa-se o comportamento da variação do número de ondas para três inclinações distintas. Uma vez que se mantém constante o período de onda e a permeabilidade, não há variação de comportamento entre ondas oscilatórias e mergulhantes. Assim, verifica-se o peso dos blocos para um número de ondas de 7500 é 49% superior ao peso correspondente a $N_z=2000$, para qualquer valor de altura de onda incidente e inclinação de talude. Quando comparadas inclinações diferentes, as relações obtidas são iguais ao “caso padrão” ($P=0,1$ e $T_m=8$ s) da Figura 7a e 7b.

Relativamente aos resultados expostos na Figura 8, a análise relativa ao período de onda, permeabilidade e número de ondas é idêntica à realizada para os resultados da Figura 7, sendo que em vez de se fazer variar a inclinação do talude, se variou o peso volúmico dos blocos. Verifica-se que a relação entre os dois períodos de onda considerados, bem como entre as duas permeabilidades e os dois números de onda se mantêm constantes, isto é, o comportamento é igual ao descrito na análise da Figura 7. Assim, analisa-se apenas a relação entre o peso dos blocos, quando considerados pesos volúmcicos diferentes. Quando se diminui o peso volúmico de 26 kN/m^3 para 20 kN/m^3 verifica-se um aumento de 219% no peso dos blocos a colocar no manto resistente, enquanto que considerando um peso volúmico de 26 kN/m^3 em vez de 32 kN/m^3 o acréscimo é de 112%. Estas relações são válidas para o caso da Figura 8a, 8b ou 8c, e são constantes para qualquer valor da altura de onda.

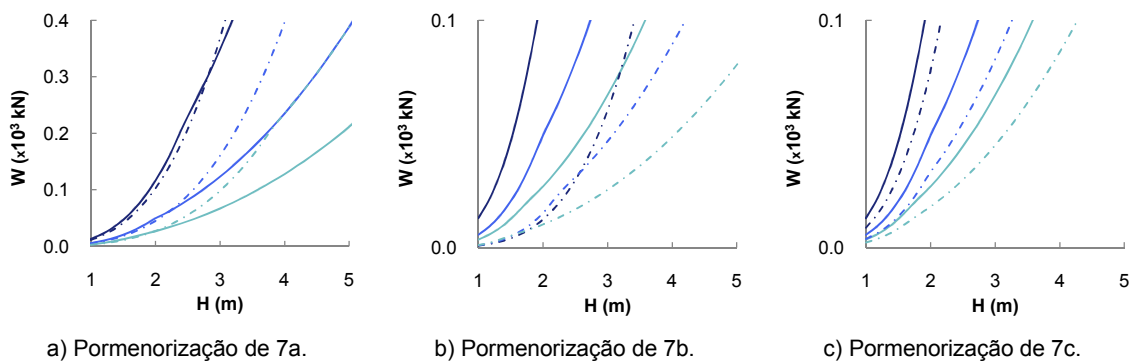


Figura 11 - Pormenorização dos resultados da Figura 7, para baixas alturas de onda.

Note-se que nesta análise não foi verificada a validade das expressões no que diz respeito à declividade média, conforme estipulado na secção 2.1.1. Apesar de em 2.1.1 se referir que o peso volúmico máximo a adoptar para o material dos blocos deverá ser de 31 kN/m^3 , considerou-se na análise de sensibilidades um intervalo entre 20 e 32 kN/m^3 .

Tendo por base a Figura 9, analisou-se a relação entre o peso dos blocos considerando um determinado valor de R_c e o peso dos blocos correspondente à estrutura não galgável. Verifica-se que quanto maior o valor de R_c , maior será a relação entre pesos, isto é, maior será o valor do factor de redução. O factor de redução está compreendido entre 0,8 e 1,0. A relação entre pesos varia consoante a altura de onda, à excepção de $R_c=0$, onde é sempre constante (limite da classificação entre estrutura galgável e submersa). Por exemplo, considerando uma altura de onda de 7 metros, verifica-se uma redução relativamente ao peso dos blocos da estrutura não galgável de 49%, para $R_c=0$ m, de 41% para $R_c=1$ m, de 31% para $R_c=2$ m, de 18% para $R_c=3$ m e de 3% quando $R_c=4$ m. Ao considerar um período de pico superior, verifica-se que o valor do factor de redução é inferior, logo para os mesmos valores de R_c correspondem valores inferiores de peso dos blocos a colocar no manto resistente.

No caso das obras submersas e de acordo com a Figura 10, procedeu-se também à análise do peso dos blocos em função da profundidade e da altura da obra submersa. No primeiro caso verifica-se que quanto maior é a profundidade local, menor será o valor do peso dos blocos a colocar no manto resistente, enquanto no segundo caso, quanto maior a altura da obra submersa maior é o peso dos blocos. Considerando uma altura de 3 metros de obra submersa, verifica-se que para uma profundidade de 6 m ao invés de 9 m, o aumento no peso dos blocos é na ordem dos 60%, enquanto que passando de uma profundidade de 15 m para 12 m o aumento já será de apenas 22%. No entanto, caso se considere que a altura da obra submersa é de 6 metros, verifica-se no primeiro caso, um aumento de 175% e no segundo caso um aumento de 38%. As relações referidas anteriormente mantêm-se constantes, qualquer que seja o valor da altura de onda. Relativamente à altura de obra submersa, verifica-se, para uma profundidade de 9 m, um acréscimo de 121% no peso dos blocos quando se considera uma altura da obra de 9 m ao invés de 7 m e um acréscimo de 286% quando se considera um valor de 3 m em vez de 1 m.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O programa de cálculo desenvolvido tem como principal objectivo a comparação rápida entre várias soluções de pré-dimensionamento do peso dos blocos a colocar no manto resistente das obras de defesa costeira, com vista a decisões baseadas em estudos científicos sustentados.

No programa são consideradas estruturas não galgáveis, estruturas galgáveis e estruturas submersas, tendo em consideração um total de cinco formulações distintas (Hudson e van der Meer nas estruturas não galgáveis, Powell/Allsop e van der Meer nas estruturas galgáveis e van der Meer nas situação de estruturas submersas). A ferramenta desenvolvida, para além de permitir o cálculo directo do peso dos blocos para diferentes soluções, permite também uma análise de sensibilidade do valor do peso à variação de determinado parâmetro (altura de onda, inclinação do talude, etc.) escolhido pelo utilizador.

Foram consideradas várias situações de cálculo, fazendo variar os parâmetros que influenciam o peso dos blocos para as diferentes formulações (à excepção de Powell e Allsop) e obtidos os resultados recorrendo ao programa. Realizou-se uma análise de sensibilidade, verificando-se, numa análise global, que o peso dos blocos a colocar aumenta significativamente com o aumento da altura de onda e com a inclinação do talude, diminui com o aumento da permeabilidade dos taludes, com o aumento do peso volúmico dos blocos e com o aumento do nível de dano, entre outros factores. Verifica-se que o peso dos blocos a colocar no manto resistente de estruturas não galgáveis é superior ao peso dos blocos a colocar nas estruturas galgáveis, que por sua vez é superior ao das estruturas submersas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

Burcharth, H. F., Hughes, S. A. (2006). 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.

CIRIA, C. C. (2007). The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition). Chapter V – Physical Processes and Design Tools, C683, CIRIA, London, pp 487-756.

Cruz, D. F. V. (2008). Estruturas Portuárias – Possibilidades e Desafios no Dimensionamento de Quebramares. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro, 135 p.

Givler, L. D., e Sorensen, R. M. (1986). An Investigation of the Stability of Submerged Homogeneous Rubble-Mound Structures Under Wave Attack. Relatório IHL 110-86, H.R. IMBT Hydraulics, Lehigh, University, Philadelphia, PA. Citado por Burcharth e Hughes (2006).

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 (2006).

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.

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

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

Taveira-Pinto, F., 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. (1988). Rock Slopes and Gravel Beaches Under Wave Attack, Ph.D. diss., Delft University of Technology, The Netherlands (Also Delft Hydraulics Publication No. 396).

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 (2006).