



Universidade de Aveiro
Ano 2022

**Matilde Rui
Gonçalves Mateus**

**PROGRAMAÇÃO DA ESTIMATIVA DE FREQUÊNCIA
DE GALGAMENTOS E CUSTOS ASSOCIADOS**



**Matilde Rui
Gonçalves Mateus**

Programação da estimativa de frequência de galgamentos e custos associados

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 com Agregação do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, e coorientação científica da Doutora Márcia Lima, Investigadora do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

Este trabalho foi financiado pelo projeto “Adaptação Integrada às Alterações Climáticas para Comunidades Resilientes”, INCCA - POCI-01-0145-FEDER-030842, suportado pelos orçamentos do Programa Operacional Competitividade e Internacionalização, na sua componente FEDER, e da Fundação para a Ciência e a Tecnologia, na sua componente de Orçamento de Estado.

Dedico este trabalho aos meus pais.

o júri

presidente

Prof.^a Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues
professora auxiliar com agregação da Universidade de Aveiro

vogais

Prof. Doutor Joaquim Luís Pais Barbosa
Investigador doutorado associado da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Carlos Daniel Borges Coelho
professor auxiliar com agregação da Universidade de Aveiro

agradecimentos

À minha mãe, por ser o maior e melhor exemplo de força, resistência e audácia. Sem dúvida o maior alicerce desta caminhada de cinco anos. Abriu-me o seu mundo, ensinando-me a enfrentar os percalços desta viagem atribulada demonstrando que a resiliência vence sempre a fraqueza.

Ao meu pai, por me completar e continuar a mostrar-me a beleza nos percalços, a simplicidade na complexidade, a garra no desespero e acima de tudo, a pintar o meu mundo de fundo amarelo sem limites.

À minha irmã, por continuar a ser o espelho daquilo que quero ser e seguir. Faço de minhas as tuas palavras: obrigada por me “obrigares” a rir, mesmo quando não havia vontade, me distraíres quando o que precisava era de concentração, e principalmente, por me fazeres acreditar no meu valor.

À Tia Rora, por viver esta viagem de perto comigo e por todas as chamadas repletas de carinho e o aconchego de “casa”, nem que fosse por 30 segundos. Desde que ingressei na universidade a ouço dizer, com os seus belos 93 anos, “Tilinha só espero ainda estar cá para te ver formada!”. E é com orgulho que digo: Conseguimos!

Aos meus amigos, a família que Aveiro me deixou escolher, obrigada por toda a amizade, companheirismos, prontidão e por todos os momentos vivenciados ao longo desta etapa da minha vida. É de coração cheio que vos agradeço por me mostrarem que casa é um sentimento e não um local.

Ao meu professor e orientador, Carlos Coelho, e coorientadora, Doutora Márcia Lima, que foram incansáveis durante todo o semestre, mostrando-se sempre disponíveis, recetivos e interessados em acompanhar-me e aconselhar-me ao longo de todo o percurso.

palavras-chave

galgamentos costeiros, inundações, clima de agitação, obras longitudinais aderentes, cenários de intervenção, cenários económicos.

resumo

Em Portugal, são cada vez mais frequentes situações de emergência fruto das tendências climáticas e das condições adversas do mar, traduzindo-se em preocupações acrescidas para a sociedade, a economia e para o ambiente. Com o passar dos anos, os fenómenos hidrometeorológicos extremos têm vindo a ganhar cada vez mais destaque, manifestando-se como uma preocupação, dada a ocorrência de galgamentos costeiros e possíveis risco de inundações que destes advêm. A gestão das zonas costeiras passa pela previsão das tendências futuras do regime de agitação marítima e da implementação de medidas de mitigação e prevenção das estruturas longitudinais aderentes, sustentadas numa análise custo vs benefício.

Nesta dissertação, procurou-se estimar a frequência de galgamentos costeiros em estruturas marítimas, quantificar o caudal galgado face ao registo de ocorrência, e os custos que se associam. Este estudo teve por base a otimização e programação de uma sequência de cálculos com o auxílio do *software* Excel. A existência de diversos modelos de quantificação dos caudais galgados requerem uma avaliação dos resultados minuciosa. O mesmo se aplica às definições dos parâmetros de entrada que caracterizam a estrutura e os custos de defesa costeira.

Dada à elevada incerteza associada à definição e quantificação dos parâmetros envolvidos, e de forma a explorar todas as vertentes da folha de cálculo desenvolvida, analisou-se individualmente cada uma das características que definem os fenómenos de espraiamento e galgamentos costeiros, assim como os fatores inerentes aos custos de galgamento, de intervenção e manutenção das estruturas de prevenção costeira. Para isso, e tendo por base um cenário de referência, foram comparados diferentes cenários, conjugando os diferentes fenómenos de propagação e de alteração das ondas.

Esta dissertação pretende contribuir para o estudo dos impactos de obras longitudinais aderentes e para a discussão sobre a eficácia destas estruturas como uma possível solução no combate aos galgamentos costeiros e, consequentemente, possíveis inundações.

keywords

coastal overtopping, flooding, wave climate, longitudinal works revestment, intervention scenarios, economic scenarios.

abstract

In Portugal, emergency situations are increasingly frequent as a result of climate trends and adverse wave climate conditions, representing increased concerns for society, the economy and the environment. Over the years, extreme hydro-meteorological phenomena have been gaining more and more prominence, manifesting themselves as a concern, given the occurrence of coastal overflows and the consequent possible risk of flooding. The management of coastal zones involves the prediction of future trends of the wave regime and the implementation of mitigation and prevention measures, as longitudinal coastal structures, based on a cost-benefit analysis.

In this dissertation, the aim was to estimate the frequency of coastal overtopping in maritime structures, to quantify the overtopped flow in relation to the record of occurrence, and the associated costs. This study was based on the optimisation and programming of a sequence of calculations with the aid of Excel software. The existence of several models to quantify overflows requires a thorough evaluation of the results. The same applies to the definitions of the input parameters that characterise the structure and the coastal defence costs.

Given the high uncertainty associated to the definition of involved parameter, and in order to explore all the aspects for which the spreadsheet was developed, each characteristic defining coastal overtopping phenomena was individually analysed, as well as the factors inherent to the costs of overtopping, flooding, coastal intervention and maintenance of these prevention structures. For this, and based on a reference scenario, different scenarios were compared, combining the different wave propagation and alteration phenomena.

This dissertation aims to contribute to the study of the impacts of longitudinal revetment works and to the discussion about the effectiveness of these structures as a possible solution to combat coastal overtopping and, consequently, possible flooding.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	15
ÍNDICE DE TABELAS	17
SIMBOLOGIA	18
1. Introdução	23
1.1. Enquadramento.....	23
1.2. Objetivos	24
1.3. Estrutura do documento.....	24
2. Estado de arte.....	29
2.1. Espraiamento e galgamento.....	29
2.1.1. Conceitos	29
2.1.2. Ação da onda	31
2.1.3. Caracterização da estrutura.....	32
2.2. Quantificação do galgamento	34
2.2.1. Formulações empíricas	37
2.2.2. Modelos numéricos.....	41
2.2.3. Metodologia.....	42
2.3. Avaliação do risco de inundações	43
2.4. Custos associados a inundações	44
3. Manual de funcionamento do software excel.....	51
3.1. Registo de dados.....	51
3.1.1. Fenómeno de Espraiamento.....	52
3.1.2. Galgamento.....	53
3.1.3. Custos	53
3.2. Cálculo dos custos	55
3.3. Resultados	57
4. Cenários	61
4.1. Cenário de referência.....	62
4.2. Características do fenómeno de espraiamento.....	64
4.3. Características do fenómeno de galgamentos.....	66
4.4. Características do custo	66
4.4.1. Custos de primeira intervenção	68
4.4.2. Custos de manutenção	68
4.4.3. Custos de galgamento	68
4.4.4. Taxa de desconto	69
5. Resultados	74
5.1. Cenário de referência.....	74
5.2. Caracterização da ação	75
5.2.1. Nível médio do mar	75

5.2.2.	Variação do nível médio do mar.....	78
5.3.	Caracterização da estrutura.....	81
5.3.1.	Cota de coroamento.....	81
5.3.2.	Cota de fundo.....	83
5.3.3.	Inclinação do talude.....	86
5.3.4.	Largura de coroamento da estrutura.....	89
5.4.	Caracterização do custo.....	91
5.4.1.	Custo de 1ª Intervenção.....	91
5.4.2.	Porcentagem do valor de obra de manutenção.....	92
5.4.3.	Frequência de manutenção.....	94
5.4.4.	Taxa de desconto.....	96
5.4.5.	Custo de galgamento.....	97
6.	Considerações finais.....	102
6.1.	Síntese e conclusões.....	102
6.2.	Desenvolvimentos futuros.....	105
7.	Referências bibliográficas.....	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1- Representação esquemática dos fenómenos de espraçamento e de galgamento sobre uma obra longitudinal aderente (Pombo, 2016).	29
Figura 2.2- Ilustração dos diferentes tipos de galgamentos costeiros (Pombo, 2016).	30
Figura 2.3- Parâmetros que caracterizam as estruturas de proteção de galgamentos (Rodrigues, 2011).	33
Figura 2.4- Relação entre os tipos de rebentação e o declive da estrutura de proteção (Coelho, 2017).	34
Figura 2.5- Definição de $R_{m\acute{a}x}$ e R_c numa estrutura de proteção marítima (Bravo, 2012).	35
Figura 2.6- Geometria da estrutura de obra longitudinal aderente de defesa costeira.	43
Figura 3.1- Painel de abertura da folha inicial de cálculo.	52
Figura 3.2- Representação do processo de registo de ondas e suas propriedades iniciais.	54
Figura 3.3- Identificação do procedimento inicial do cálculo das características de ondas.	54
Figura 3.4- Identificação do procedimento de verificação de ocorrência de galgamentos costeiros.	55
Figura 3.5- Processo do sistema de utilização da macro “Copiar Dados_Folha Final”.	55
Figura 3.6- Painel de abertura da folha final de cálculo.	56
Figura 3.7- Representação do processo de quantificação do custo de galgamento e de manutenção.	57
Figura 4.1- Distribuição temporal dos rumos de ondulação.	62
Figura 4.2- Distribuição temporal das alturas de ondas.	62
Figura 4.3- Distribuição temporal dos períodos das ondas.	63
Figura 5.1- Galgamento em função do nível médio do mar, ao longo de 20 anos, considerando ondas ao largo. 76	
Figura 5.2- Galgamento em função do nível médio do mar, ao longo de 20 anos, considerando ondas propagadas.	77
Figura 5.3- Custo de galgamentos, em função do nível médio do mar, considerando ondas ao largo.	78
Figura 5.4- Custo de galgamentos, em função do nível médio do mar, considerando ondas propagadas.	78
Figura 5.5- Galgamento em função da taxa de variação do nível médio do mar, ao longo de 20 anos, considerando ondas ao largo.	79
Figura 5.6- Galgamento em função da taxa de variação do nível médio do mar, ao longo de 20 anos, considerando ondas propagadas.	79
Figura 5.7- Custo de galgamentos, em função da taxa de variação do nível médio do mar, considerando ondas ao largo.	80
Figura 5.8- Custo de galgamentos, em função da taxa de variação do nível médio do mar, considerando ondas propagadas.	81
Figura 5.9- Galgamento em função da cota de coroamento, ao longo de 20 anos, considerando ondas ao largo. 82	
Figura 5.10- Custos de galgamentos, em função da cota de coroamento, considerando ondas ao largo.	83
Figura 5.11- Galgamento em função da cota de fundo, ao longo de 20 anos, considerando ondas ao largo.	84
Figura 5.12- Galgamento em função da cota de fundo, ao longo de 20 anos, considerando ondas propagadas.	84
Figura 5.13- Custos de galgamentos, em função da cota de fundo, considerando ondas ao largo.	85
Figura 5.14- Custos de galgamentos, em função da cota de fundo, considerando ondas propagadas.	86
Figura 5.15- Galgamento em função da inclinação do talude, ao longo de 20 anos, considerando ondas ao largo.	87

Figura 5.16- Galgamento em função da inclinação do talude, ao longo de 20 anos, considerando ondas propagadas.	87
Figura 5.17- Custos de galgamentos, em função da inclinação do talude, considerando ondas ao largo.	88
Figura 5.18- Custos de galgamentos, em função da inclinação do talude, considerando ondas propagadas.	89
Figura 5.19- Galgamento em função da largura de coroamento, ao longo de 20 anos, considerando ondas ao largo.	90
Figura 5.20- Galgamento em função da largura de coroamento, ao longo de 20 anos, considerando ondas propagadas.....	90
Figura 5.21- Custos de galgamentos, em função do primeiro investimento, considerando ondas ao largo.....	91
Figura 5.22- Custos de galgamentos, em função do primeiro investimento, considerando ondas propagadas.	92
Figura 5.23- Custos de galgamentos, em função do valor percentual dotado para a manutenção, considerando ondas ao largo.	94
Figura 5.24- Custos de galgamentos, em função do valor percentual dotado para a manutenção, considerando ondas propagadas.....	94
Figura 5.25- Custos de galgamentos, em função taxa de desconto, considerando ondas ao largo.	96
Figura 5.26- Custos de galgamentos, em função taxa de desconto, considerando ondas propagadas.	97
Figura 5.27- Custos de galgamentos, em função do custo unitário de galgamento, considerando ondas ao largo.	98
Figura 5.28- Custos de galgamentos, em função do custo unitário de galgamento, considerando ondas. propagadas.	98

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1- Formulações empíricas de galgamentos (adaptado de Brito, 2007).	40
Tabela 2.2- Formulações adotadas para o cálculo do caudal galgado	42
Tabela 2.3- Custos e benefícios de diferentes estratégias de mitigação do risco de inundação costeira.	45
Tabela 3.1- Formatação do manual de funcionamento.	51
Tabela 4.1- Características adotadas no cenário de referência do fenómeno de espraiamento.....	63
Tabela 4.2- Características adotadas no cenário de referência do fenómeno de galgamento.	63
Tabela 4.3- Parâmetros do cenário de referência relativos à quantificação do custo.....	64
Tabela 4.4- Identificação dos cenários considerados na caracterização do espraiamento.	65
Tabela 4.5- Identificação dos cenários considerados na caracterização do fenómeno de galgamento	66
Tabela 4.6- Cenários adotados na avaliação do custo.	67
Tabela 4.7- Identificação dos cenários considerados na caracterização do custo de galgamentos.	70
Tabela 5.1- Registo das ocorrências de galgamentos costeiros e respetivos caudais galgados.	75
Tabela 5.2- Valor de 1º investimento face aos cenários analisados.....	85
Tabela 5.3- Resultados obtidos face a alçada dos custos de 1ª intervenção.....	91
Tabela 5.4- Registo do custo de manutenção face os diferentes cenários.	93
Tabela 5.5- Custos de manutenção.	95

SIMBOLOGIA

A_c	Altura da berma de coroamento	[m]
B	Largura da berma da estrutura	[m]
B_t	Largura do pé do talude da estrutura	[m]
C_{Ac}	Cenário do bordo livre do manto permeável da estrutura	[-]
C_{Cc}	Cenário da cota de coroamento	[-]
C_{Cf}	Cenário da cota de fundo	[-]
C_{Fm}	Cenário da frequência de manutenção	[-]
C_{Cg}	Cenário do custo de galgamento	[-]
C_{Gc}	Cenário da largura do coroamento da estrutura	[-]
C_i	Cenários da inclinação	[-]
C_m	Cenário do nível médio da superfície do mar	[-]
Cot α_a	Declive da estrutura abaixo da berma	[-]
Cot α_u	Declive da estrutura acima da berma	[-]
C_{Pi}	Cenário de primeiro investimento	[-]
C_r	Cenário de referência	[-]
C_{Ta}	Cenário da taxa de desconto	[-]
C_v	Cenário da variação do nível médio do mar	[-]
C_{Vm}	Cenário do valor percentual considerado para obras de manutenção	[-]
DDFs	Funções de dano de profundidade	[-]
D_i	Taxa de danos	[%]
g	Aceleração da gravidade	[m/s ²]
G_c	Largura do coroamento da estrutura	[m]
h	Profundidade da água em frente à estrutura	[m]
h_b	Profundidade da água na berma	[m]
h_t	Profundidade da água no pé do talude da estrutura	[m]

H_b	Altura da onda na rebentação	[m]
H_i	Altura da inundação	[m]
H_{m0}	Altura de onda significativa calculada com o momento de ordem zero do espetro	[m]
k	Número de onda	[-]
k_s	Coefficiente de refração	[-]
k_r	Coefficiente de empolamento	[-]
L₀	Comprimento de onda	[m]
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil	[-]
NMM	Nível médio do mar	[m]
PAPVL	Plano de Ação de Proteção e Valorização do Litoral	[-]
Q	Caudal médio galgado adimensional	[-]
q	Caudal médio galgado	[m ³ /s/m]
r	Taxa de desconto	[%]
R	Bordo livre adimensional	[-]
R_c	Bordo livre da parte impermeável do coroamento da estrutura	[m]
R_{máx}	Nível máximo de espraçamento	[m]
R_{u2%}	Nível de espraçamento que é excedido por 2% do número de ondas incidentes	[m]
s	Declividade da onda	[-]
T_{Hs}	Período de onda significativo	[s]
T_{om}	Período de onda médio	[s]
T_{op}	Período de onde de pico	[s]
tan α_b	Declive da berma	[-]
V	Valores monetários	[€]
VA	Valores atualizados	[€]
V_t	Valor monetário atualizado à data de referência	[€]
	Valor monetário não atualizado	[€]
ZH	Zero Hidrográfico	[m]

α	direção de propagação das ondas ao largo e no local	[°]
α_0	os ângulos entre as ortogonais à batimetria	[°]
β	Ângulo de incidência da onda	[°]
γt	Rugosidade/permeabilidade do manto	[-]
ξ	Número <i>de Iribarren</i>	[-]
θ	Ângulo de inclinação do talude	[°]

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

O tema desta dissertação incide na programação da estimativa de frequências de galgamentos e custos associados. Neste capítulo expõem-se o enquadramento e quais os objetivos pretendidos face a esta temática, bem como a estrutura adotada para apresentar o documento.

1.1. Enquadramento

Ao longo do século XXI, com a subida do nível médio da superfície da água do mar projeta-se que a frequência de inundações duplique na maioria das zonas costeiras espalhadas por todo o mundo, afetando potencialmente milhões de pessoas que vivem em zonas costeiras baixas, a menos que estratégias eficazes de mitigação de inundações sejam implementadas nos próximos anos. Um aumento da ocorrência de inundações em zonas costeiras vulneráveis pode forçar uma migração populacional significativa e socioeconómica (Almar *et al.*, 2021). Desta forma, compreender as mudanças futuras do risco de inundação de ondas que galgam paredões ou outro tipo de estruturas, torna-se um requisito fundamental para a eficácia da gestão das defesas costeiras, como refere Allsop (2007).

A tendência regressiva que se observa no litoral português combinada com a prevista subida do nível médio da água do mar e a eventual alteração da frequência e intensidade de tempestades, causadas pelas alterações climáticas, coloca em risco pessoas e bens, obrigando a uma gestão fundamentada das zonas costeiras com o objetivo de proteger o património económico, social e ambiental (Ferreira *et al.*, 2021). De facto, em Portugal continental, a crescente ocupação do litoral é, em muitos casos, incompatível com esta dinâmica natural, resultando em numerosas, e cada vez mais frequentes, situações de conflito. Mas, se por vezes, existe a perspetiva de que o conflito entre dinâmica natural e ocupação do território costeiro é inevitável, e se aceita que o Homem está condenado a uma “guerra contra o mar”, também é verdade que, na maior parte dos casos, a correta compreensão da dinâmica costeira pode fundamentar modelos de ordenamento mais sustentados. Assim, compreender a dinâmica do litoral português é fundamental para sustentar qualquer política de intervenção e de gestão do espaço e do risco na zona costeira (Santos *et al.*, 2014).

Deste modo, e como já era referido no Plano de Ação de Proteção e Valorização do Litoral (PAPVL 2012), a preocupação e a vontade de resolução dos problemas do litoral tornam-se

pertinentes para uma utilização coerente, assentes em padrões de qualidade ambiental e paisagística, tendo por base a compreensão e prevenção na ocorrência de situações de risco da orla costeira nacional, nomeadamente na questão dos galgamentos e inundações que tantos prejuízos têm causado.

1.2. Objetivos

Com a elaboração desta dissertação, pretende-se definir e programar uma sequência de cálculo para estimativa da frequência de galgamentos costeiros e os custos que lhes estão associados, por efeito dos impactos das inundações costeiras e das obras adotadas para reduzir essas inundações.

Esta abordagem sustenta-se, inicialmente, na revisão bibliográfica de métodos já existentes de estimativa do espraiamento das ondas, do galgamento e das inundações. Desta forma, pretende-se definir os inputs (dados de entrada) para caracterizar estes fenómenos, bem como os respetivos outputs (resultados) em termos de frequência e dimensão das ocorrências. Posteriormente, tendo por base a avaliação de funções de estimativa de custos em função de volumes de inundação, é desenvolvida uma análise de custo *vs* benefício das obras longitudinais aderentes utilizadas na proteção costeira.

Em conclusão, este trabalho pretende uniformizar e auxiliar a correta projeção de galgamentos costeiros e antecipar os custos previsíveis de fenómenos de galgamento e inundação futuros, tendo em conta diferentes cenários de defesa costeira, bem como fazer uma análise dos custos de obras de engenharia que visam diminuir os impactos devido a galgamentos.

1.3. Estrutura do documento

O presente documento encontra-se organizado em seis capítulos. Neste primeiro capítulo, além de ser efetuado um breve enquadramento (secção 1.1) que contextualiza a importância e preocupação em compreender o fenómeno de galgamentos costeiros, é também apresentada uma caracterização dos objetivos pretendidos com o desenvolvimento deste estudo (secção 1.2).

No segundo capítulo são apresentados os conceitos de espraiamento, galgamentos e inundações costeiras e é efetuada uma caracterização quer a nível da ação que gera a inundação costeira, quer a nível das estruturas marítimas utilizadas para evitar ou mitigar os galgamentos (secção 2.1). Na tentativa de compreender melhor os complexos fenómenos de espraiamento, galgamento e consequente inundação, é feito um estudo face às metodologias de cálculo

existentes para proceder à respetiva quantificação (secção 2.2) com recurso a formulações empíricas e através de formulações numéricas. Ainda neste capítulo, e com base no estudo realizado previamente, expõe-se a metodologia a adotar nesta dissertação, para dar continuidade ao estudo de galgamentos costeiros, quer a nível quantitativo da estimativa do caudal galgado, quer da análise dos custos associados à ocorrência de inundações costeiras provenientes da ocorrência deste fenómeno. Por fim, recorrendo à revisão da literatura, e tendo por base a análise de risco e de dano (secção 2.3), são expostos os modelos utilizados para a estimativa de custo de inundações costeiras (secção 2.4).

É a partir destas abordagens que se pretende otimizar e programar uma folha de cálculo através do software Excel, para que seja possível quantificar o custo de inundações de forma automática, avaliando o número de galgamentos, o volume de água galgado e os consequentes danos por inundação, bem como os custos de manutenção das estruturas de defesa costeira. Assim, no terceiro capítulo é apresentado o Manual de Funcionamento do Software Excel, descrevendo todos os procedimentos necessários para o utilizador usufruir de todas as funcionalidades para o qual foi projetado.

No quarto capítulo, e de forma a testar a aplicabilidade da folha de cálculo, é realizado um estudo de sensibilidade através da implementação de um cenário de referência (secção 4.1) e de diferentes cenários de comparação, quer a nível da ação (secção 4.2), da estrutura da obra longitudinal aderente (secção 4.3) e a nível económico (secção 4.4). Nos cenários definidos, na ação é avaliada a influência do nível do mar considerado e da variação do nível médio do mar ao longo do tempo, bem como da cota de fundo, com influência nos fenómenos de propagação da onda. Já relativamente aos cenários da geometria da estrutura é analisado o impacto da inclinação do talude, da cota de coroamento, da largura de coroamento da estrutura e o bordo livre do manto permeável da estrutura. Quanto aos cenários económicos, fazem-se variar a taxa de desconto, os custos do galgamento, os custos de intervenção e os custos de manutenção da estrutura, para se avaliar a influência nos custos globais associados ao fenómeno em estudo.

No quinto capítulo é exposta uma análise detalhada dos resultados obtidos para cada um dos cenários considerados. Desta forma, é possível ter perceção do impacto que cada um dos parâmetros avaliados nos cenários estudados possui relativamente à verificação da ocorrência de galgamentos, quantificação do caudal galgado e dos custos associados. Por fim, no sexto capítulo, são expostas as considerações finais do documento, compostas pela síntese da dissertação e principais conclusões (secção 6.1) e desenvolvimentos futuros (secção 6.2).

Capítulo 2

ESTADO DE ARTE

2. ESTADO DE ARTE

Neste capítulo é apresentada a revisão bibliográfica relativa aos principais tópicos que condicionam os galgamentos costeiros, referindo-se os principais aspetos de cálculo necessários para o desenvolvimento desta dissertação.

2.1. Espraçamento e galgamento

Nesta secção expõe-se um enquadramento teórico dos fenómenos de espraçamento, galgamento e inundação, identificando-se os principais parâmetros considerados na quantificação destes fenómenos.

2.1.1. Conceitos

De acordo com JICZM (2021), o fenómeno de espraçamento consiste na movimentação ascendente da água da onda incidente, após a rebentação, através da face da praia ou do talude da obra de defesa quando a zona costeira está artificializada. É através do espraço que a água atinge níveis superiores à da superfície de equilíbrio (nível médio da superfície da água nesse momento), como ilustra a figura 2.1. Com esta movimentação, a energia remanescente da onda é convertida de cinética em potencial.

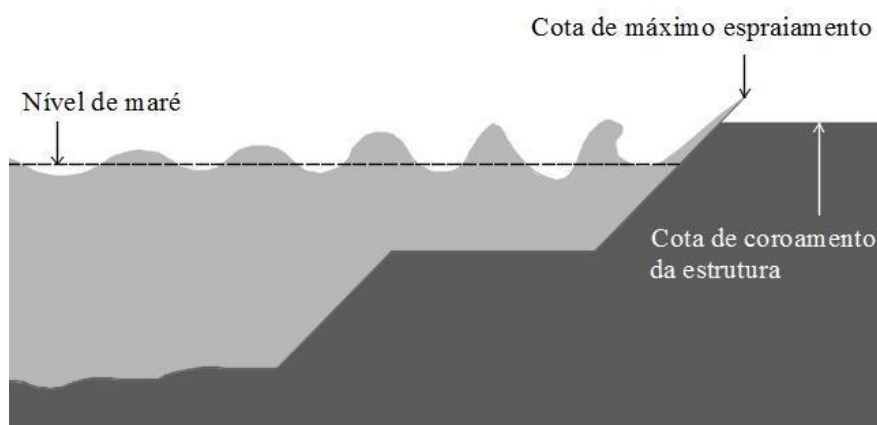


Figura 2.1- Representação esquemática dos fenómenos de espraçamento e de galgamento sobre uma obra longitudinal aderente (Pombo, 2016).

Quanto ao fenómeno de galgamento, este é definido como a quantidade de água que excede a crista das estruturas costeiras. A energia da onda que atinge uma estrutura é dissipada por quebra, fricção, infiltração, ou é refletida, já o resto da energia cinética é transformada em

energia potencial. Quando o declive não é muito longo ou a crista da estrutura não é alta o suficiente a conversão da energia não é total e a borda livre é excedida. Conseqüentemente, nessas situações, uma certa quantidade de água passa sobre a crista da estrutura (Pullen 2007). Em função do modo de passagem das águas sobre a estrutura, podem verificar-se três tipos de galgamentos (Silva *et al.*, 2011), visível na figura 2.2:

i) *Green water* - quando o espraiamento é muito grande e se cria uma lâmina contínua de água que passa sobre a estrutura;

ii) *Splash* - quando a onda rebenta sobre a parede exterior da obra e origina um grande volume de salpicos que passam sobre a estrutura;

iii) “*Spray*” ou “*white water*”- apenas por ação do vento, podem ocorrer galgamentos sobre a forma de borrifos.



a)



b)



c)

a) Galgamento *green water*, Santander Espanha (El Tomavistas, 2014).

b) Galgamento por *splash*; Calheta (Madeira), Portugal (Fénix do Atlântico, 2013).

c) Galgamento por *spray*; Dorset, Inglaterra (Daily Mail, 2014).

Figura 2.2- Ilustração dos diferentes tipos de galgamentos costeiros (Pombo, 2016).

Desta forma, compreender as mudanças futuras no risco de inundação costeira, por efeito das ondas que galgam obras longitudinais aderentes ou outras estruturas de proteção é um requisito fundamental para a gestão eficaz das defesas costeiras.

2.1.2. Ação da onda

De forma a compreender cada um dos fenómenos, apresentam-se os parâmetros que possuem uma influência direta na sua caracterização.

O espraiamento resulta da movimentação ascendente de uma massa de água proveniente da rebentação de uma onda e do impacto que esta sofre aquando da intercessão com as estruturas marítima existentes. Assim, este fenómeno difere de situação para situação, pois depende das características da onda incidente, nomeadamente, do seu período e da sua altura, bem como das características geométricas da estrutura. De notar que, as características geométricas da estrutura são aprofundadas com maior detalhe na subsecção 2.1.3.

Por outro lado, o sentido de propagação do espraio é fortemente influenciado pelas direções da onda e do vento (JICZM, 2021).

O galgamento é, habitualmente, descrito como um caudal médio por metro linear de desenvolvimento do coroamento da estrutura de proteção marginal, q ($m^3/s/m$). As ocorrências de galgamentos são muito irregulares, quer em termos temporais, quer em termos de volume. Ondas mais altas farão galgar um maior volume de água sobre o coroamento num curto período de tempo, enquanto ondas mais pequenas não provocarão sequer galgamentos (Silva *et al*, 2011). Já em termos temporais, ressalva-se o impacto que as alterações climáticas possuem, quer a nível da variação da agitação marítima na propagação em direção à costa, quer no nível da superfície livre da água e, conseqüentemente, no aumento de galgamentos costeiros.

Segundo Neves *et al* (2012), a agitação marítima incidente numa estrutura marítima é definida, essencialmente, pela altura de onda significativa espectral na base da estrutura (H_{m0}), pelo período médio de onda espectral na base da estrutura ($T_{m-1,0}$), e pela direção de ataque da onda (β). Já a variação do nível da superfície da água depende da influência da maré astronómica, mas também se pode referir o efeito das tempestades e das sobreelevações meteorológicas (resultantes de ventos fortes e persistentes, variações na pressão atmosférica e agitação intensa) que podem contribuir para a subida da cota da superfície da água. (Pombo, 2016).

Almar (2021) afirma que, a aceleração da subida do nível do mar é exponencial e será claramente perceptível a partir de 2050, qualquer que seja o cenário climático. Até o final do século, a intensidade da aceleração dependerá das trajetórias futuras de emissões de gases de efeito estufa e, portanto, do aumento do nível do mar. Segundo o mesmo autor, no caso de um cenário de altas emissões, o número de horas de galgamentos costeiros poderia ser multiplicado por 50, em comparação com os registos atuais.

As inundações costeiras têm gênese no aumento do nível das águas em relação ao nível normal, devido à conjugação de forçamentos oceanográficos e atmosféricos. Em zonas de transição, como os estuários, podem crescer ainda os forçamentos de origem fluvial. As inundações costeiras são influenciadas por três fatores principais: o nível de preia-mar, a sobrelevação de origem meteorológica e a ação das ondas (ANEPC, 2016).

As inundações podem ser potencialmente perigosas, dependendo da magnitude atingida (altura da água e caudais), da velocidade com que progridem e da frequência com que ocorrem (Ramos, 2013).

Assim, diferentes perigos podem ser associados às inundações incluindo a altura da água, a velocidade do escoamento, objetos transportados pelo escoamento e a presença de organismos patogénicos em concentrações significativas (Almeida *et al.*, 2013).

2.1.3. Caracterização da estrutura

O carácter de galgamentos, e os perigos que eles causam, também dependem da geometria da estrutura e do interior imediato por trás da crista da estrutura costeira, e a forma de galgamento. Por exemplo, a elevação do terreno atrás da obra longitudinal aderente pode permitir visibilidade das ondas que se aproximam e diminuirá os caudais galgados. Por outro lado, uma defesa que é significativamente elevada, pode obscurecer a visibilidade das ondas que se aproximam, e os caudais pós-galgamento podem aumentar em velocidade ao invés de reduzir. Perigos causados por galgamento, portanto, dependem tanto da topografia e estruturas locais, como nas características diretas do galgamento (Pullen, 2007).

É na definição da geometria da estrutura marítima que reside a possibilidade de controlar e reduzir a ocorrência de galgamento. Assim sendo, é importante perceber quais os parâmetros a considerar para descrever a forma da geometria da estrutura (Neves *et al.*, 2012): profundidade da água em

frente à estrutura (h), a profundidade da água no pé do talude da estrutura (h_t), a largura do pé do talude (B_t), a rugosidade/permeabilidade do manto (γ_f), o declive da estrutura abaixo da berma ($\cot \alpha_d$), o declive da estrutura acima da berma ($\cot \alpha_u$), a largura da berma (B), a profundidade da água na berma (h_b), o declive da berma ($\tan \alpha_b$), o bordo livre da parte impermeável do coroamento da estrutura (R_c), o bordo livre do manto permeável da estrutura (A_c) e a largura do coroamento da estrutura (G_c).

Na Figura 2.3, representam-se os parâmetros agora referidos.

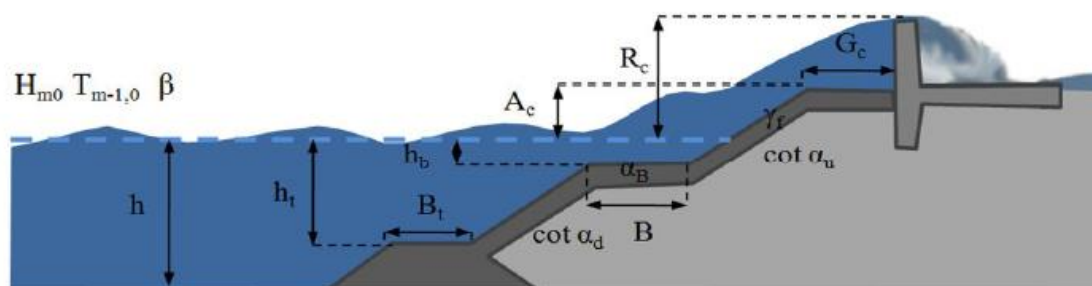


Figura 2.3- Parâmetros que caracterizam as estruturas de proteção de galgamentos (Rodrigues, 2011).

Cada vez mais, dá-se uma maior importância ao mecanismo de dissipação da energia das ondas com a implementação de menores inclinações nos taludes e a aplicação de material mais rugoso e poroso no manto de proteção (Hedges e Reis, 2004). Relativamente à rugosidade, esta é uma característica que varia em função do material que constitui o manto de proteção exterior da estrutura do modo de colocação dos blocos. Embora não exista um critério específico para a aplicação de cada tipo ou forma de material, destaca-se a utilização comum dos blocos de betão (que podem adotar diversas formas) e dos blocos de enrocamento em pedra (Pombo, 2016).

A inclinação do talude (θ) é também um parâmetro, relacionado com a geometria da estrutura, que influencia fortemente o galgamento. A influência deste fator é representada pelo número de *Iribarren* (ξ) que combina a geometria do talude com a geometria da onda. Mais concretamente, o número de *Iribarren* relaciona a altura da onda na rebentação (H_b), o ângulo formado pela estrutura com a horizontal (θ) e o comprimento da onda L_0 , como ilustra a equação 2.1.

$$\xi = \frac{\tan \theta}{\sqrt{\frac{H_b}{L_0}}} \quad (2.1)$$

É a partir deste parâmetro que se consegue estimar diferentes tipos de rebentação face aos diferentes declives da estrutura. Declives ligeiros são propícios à rebentação progressiva ($\xi < 0,5$), enquanto declives acentuados favorecem a rebentação mergulhante ($0,5 < \xi < 3,3$). Assim, a declividade da onda intervém no sentido de que fortes declividades favorecem a rebentação progressiva, enquanto ondas de fraca declividade propiciam a rebentação em mergulho (Castanho, 1966). Na Figura 2.4, apresentam-se ilustradas a ação da rebentação da onda para os diferentes declives da estrutura de proteção.

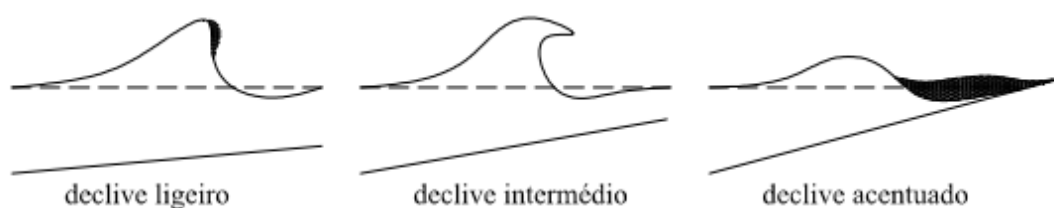


Figura 2.4- Relação entre os tipos de rebentação e o declive da estrutura de proteção (Coelho, 2017).

O efeito da existência de uma berma de coroamento traduz-se na redução do galgamento. Assim, quanto maior for a sua largura, G_c , (Figura 2.3) e quanto mais acima do nível de repouso da superfície livre da água estiver, maior é a energia dissipada e, conseqüentemente, menor o galgamento (Pombo, 2016). Desta forma, a cota do coroamento da estrutura acima do nível médio de água é um dos parâmetros que possui mais impacto na avaliação da ocorrência galgamentos costeiros.

2.2. Quantificação do galgamento

Nesta secção, apresentam-se diferentes abordagens utilizadas para a quantificação de galgamentos costeiros, bem como a influência que cada parâmetro possui no processo de cálculo do caudal galgado.

A quantificação do galgamento está diretamente dependente do espraio, pois só quando o espraio ultrapassa a cota de coroamento da estrutura é que se dá o fenómeno de galgamento. Assim sendo, com base nas fórmulas de espraio deve-se, inicialmente, avaliar se o espraio ultrapassa o coroamento da estrutura. Nos casos em que se verifica este fenómeno, é necessário quantificar os volumes de água galgado, através das fórmulas de galgamentos. Por fim, havendo

galgamentos e, conseqüentemente, inundações costeiras, tem de se quantificar os danos que estas provocam, bem como estimar os custos que lhes estão associados.

A avaliação do limite de espraçamento das ondas é bastante complexa, devido a todos os fatores e processos envolvidos. O cálculo expedito do espraçamento em praias é efetuado utilizando essencialmente formulações empíricas, baseadas em medições de campo ou em ensaios em modelo físico reduzido bidimensional de taludes (praias) constantes, lisos e impermeáveis (USACE, 2003).

Como mencionado anteriormente, encontra-se ilustrado na Figura 2.5, A altura máxima de espraçamento ($R_{m\acute{a}x}$) é obtida pela diferença da medida na vertical entre o nível da água em repouso e o nível mais alto atingido pela onda incidente na face da praia/estrutura.

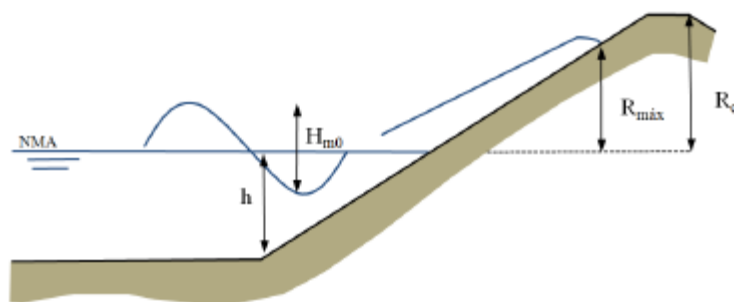


Figura 2.5- Definição de $R_{m\acute{a}x}$ e R_c numa estrutura de proteção marítima (Bravo, 2012).

Tendo por base o trabalho de Teixeira (2014), onde foram analisadas cerca de 60 formulações para o cálculo do espraçamento das ondas, quer para ambientes naturais, quer para artificializados, o nível de espraçamento máximo pode ser obtido pela equação 2.2.

$$R_{m\acute{a}x} = 0,41 H_s \xi \quad (2.2)$$

É a partir deste parâmetro e da relação apresentada na equação 2.3 que se consegue verificar a ocorrência de galgamentos costeiros numa estrutura.

$$R_{m\acute{a}x} - R_c > 0 \quad (2.3)$$

Uma vez verificada a ocorrência de galgamentos, pretende-se a determinação do caudal galgado. Para isso, é necessário recorrer a formulações, podendo estas ser empíricas ou ter por base modelos numéricos.

Fatores como a declividade, comprimento de onda e o período de onda são os parâmetros de entrada para proceder à quantificação do volume de água galgada.

A declividade é definida para a altura de onda local, junto à estrutura e, normalmente, o valor utilizado é o da altura de onda significativa calculada com o momento de ordem zero do espetro, H_{m0} (Jesus, 2021). A declividade e o comprimento de onda ao largo são representados pelas equações 2.4.e 2.5, respetivamente.

$$s = \frac{H}{L} \quad (2.4)$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (2.5)$$

Conhecido o valor do período de onda significativo (T_{HS}), é possível estimar os períodos de onda de pico (T_{op}) e médio (T_{om}), com base nas equações 2.6 e 2.7.

$$T_{op} \sim 1,05 T_{HS} \quad (2.6)$$

$$T_{om} = \frac{T_{op}}{1,2} \quad (2.7)$$

Dado o conhecimento dos fenómenos de propagação da onda, é possível obter as características da onda incidente na estrutura de defesa costeira. Na propagação a onda interage com as fronteiras sólidas naturais: fundos, praias, estruturas portuárias e de defesa costeira, sofrendo diversos fenómenos de alteração e deformação, tais como: empolamento, refração, difração, reflexão, rebentação e espriamento que pode resultar em galgamento.

No presente estudo, e tendo por base as características da onda *offshore*, analisou-se os seguintes fenómenos presentes na propagação das ondas: refração, empolamento e rebentação.

O fenómeno da refração consiste na alteração da altura e direção da onda em função da batimetria. Assim, à medida que as ondas se aproximam da costa, são influenciadas pela configuração batimétrica do fundo marinho. Neste trabalho assume-se que a refração obedece à lei de Snell, assumindo assim que toda a onda se propaga com celeridade constante sobre uma

batimetria regular e paralela. O coeficiente de refração, k_r , é dado pela equação 2.8, onde α_0 e α representam os ângulos entre as ortogonais à batimetria e a direção de propagação das ondas, ao largo e no local, respetivamente.

$$k_r = \sqrt{\frac{\cos(\alpha_0)}{\cos(\alpha)}} \quad (2.8)$$

A diminuição da velocidade da onda e o decréscimo no comprimento de onda devido à diminuição da profundidade, provoca um aumento da altura da onda, caracterizando assim o fenómeno de empolamento. Assumindo que não existe dissipação de energia nem reflexão da onda, e que esta se propaga com direção constante, então o fluxo de energia entre duas ortogonais é constante. Assim sendo, torna-se válida a teoria linear de *Airy*, onde o coeficiente de empolamento, k_s , é estimado pela equação 2.9, onde k representa o número de onda e h a profundidade de fundo.

$$k_s = \frac{\cos(kh)}{\sqrt{kh + \sin(kh) + \cos(kh)}} \quad (2.9)$$

Já o fenómeno da rebentação está associado à propagação das ondas sobre fundos de profundidade decrescente. Quando as ondas começam a rebentar, uma parte da energia destas é transformada em turbulência e calor, sendo que a altura diminui em direção à costa. O primeiro critério de rebentação foi proposto por *McCowan* em 1894. Este determinou que a onda rebentaria quando a sua altura se tornasse igual ou superior a uma fração da profundidade nesse local, como expõe a equação 2.10.

$$H_{m\acute{a}x} = 0.78 d \quad (2.10)$$

2.2.1. Formulações empíricas

Os modelos empíricos, geralmente chamados de fórmulas de previsão de galgamento, são aplicados com mais frequência para o projeto de estruturas. Esses modelos usam equações analíticas relativamente simples para calcular as taxas médias de galgamento de ondas como uma função de parâmetros de onda e estrutura predefinidos (EuroTop, 2018).

A forma da equação é baseada na percepção física dos parâmetros governantes, mas são necessárias constantes empíricas adicionais, que foram determinadas pelo ajuste a dados experimentais de testes de modelo físico. Esta abordagem semi-empírica fornece uma ferramenta de cálculo rápida, mas limita a aplicação aos intervalos testados de valores de parâmetros de entrada para um número bastante limitado de configurações de estrutura simplificadas (EuroTop, 2018).

Devido ao baixo custo e rapidez associada à aplicação destas formulações, estas são as mais utilizadas para estimar o caudal de galgamento das ondas. No entanto, estas são limitadas para um pequeno número de geometrias, sendo que a sua aplicação em outras geometrias podem causar resultados diferentes, devido à extrapolação (Soliman *et al* 2003). Para além de estar dependente das diferentes geometrias da estrutura, o clima das ondas é outro fator fortemente condicionante, face às formulações existentes para estimativa de galgamentos costeiros.

Com base no estudo feito por Soliman *et al* (2003), o caudal de galgamento por unidade de largura de estrutura, q , pode ser calculado através da seguinte função:

$$q = F(H_s; T_m; \beta; R_c; h; g)$$

Onde,

H_s – Altura de onda significativa;

T_m – Período médio da onda;

β – Ângulo de incidência da onda;

R_c – Distância entre a cota de coroamento da estrutura e o nível de repouso;

h – Profundidade da água na frente da estrutura;

g – Aceleração da gravidade.

Algumas fórmulas consideram a redução do galgamento da onda causado pela rugosidade do talude, r , berma, b , profundidade da água, h , e ângulo de ataque da onda, α , afetando o bordo livre, R , pelo respetivo coeficiente de redução: g_r , g_b , g_h , g_α .

Em geral o caudal médio de galgamento é expresso por duas formas típicas, apresentadas nas equações 2.11 e 2.12, onde “A” e “B” são coeficientes tabelados que mudam de acordo com a

geometria da estrutura. “Q” e “R” são parâmetros adimensionais que representam a descarga associada ao galgamento e ao bordo livre, respetivamente.

$$Q=A \exp(-BR) \quad (2.11)$$

$$Q=AR-b \quad (2.12)$$

Na Tabela 2.1, apresentam-se algumas fórmulas empíricas para diferentes geometrias da secção transversal da estrutura.

Tabela 2.1- Formulações empíricas de galgamentos (adaptado de Brito, 2007).

Autor	Estrutura	Modelo	Q	R
Owen (1980) e Owen (1982)	Encostas impermeáveis lisas, ásperas, retas e com bermas	$Q = A \exp(-BR)$	$\frac{q}{gH_s T_m} = \left(\frac{q\sqrt{S_m/2\pi}}{\sqrt{gH_s^3}} \right)$	$\frac{R_c}{H_s} = \sqrt{\frac{S_m}{2\pi} \frac{1}{\gamma_r}}$
Bradbury e Allsop (1988)	Encostas impermeáveis blindadas com rocha e parede da coroa	$Q = AR^{-b}$	$\frac{q}{gH_s T_m}$	$\left(\frac{R_c}{H_s}\right)^2 = \sqrt{\frac{S_m}{2\pi}}$
Aminti e Franco (1988)	Rocha, cubo e armadura de camada dupla de tetrápode em encostas impermeáveis com paredes de coroa	$Q = AR^{-b}$	$\frac{q}{gH_s T_m}$	$\left(\frac{R_c}{H_s}\right)^2 = \sqrt{\frac{S_m}{2\pi}}$
Ahrens e Heimbaugh (1988)	7 designs diferentes de paredão / revestimento	$Q = A \exp(-BR)$	$\frac{q}{\sqrt{gH_s^3}}$	$\frac{R_c}{(HS^2 L_{po})^{1/3}}$
Pedersen e Burchartch (1992)	Encostas blindadas de rocha impermeáveis com paredes de coroa	$Q = AR$	$\frac{qT_m}{L_m^2}$	$\frac{H_s}{R_c}$
Franco <i>et al.</i> (1994)	Quebra-mar de parede vertical com e sem frente perfurada $0,9 \leq \frac{R_c}{H_s} \leq 2,2$	$Q = A \exp(-BR)$	$\frac{q}{\sqrt{gH_s^3}}$	$\frac{R_c}{H_s \gamma_r}$
Van der Meer e Janssen (1995)	Encostas impermeáveis lisas ásperas retas e com bermas	$Q = A \exp(-BR)$	$\frac{q}{\sqrt{gH_s^3}} \sqrt{\frac{S_r}{\tan \alpha}} ; \xi_p < 2$ $\frac{q}{\sqrt{gH_s^3}} ; \xi_p \geq 2$	$\frac{R_c \sqrt{S_r}}{H_s \tan \alpha \gamma} ; \xi_p < 2$ $\frac{R_c}{H_s \gamma_r} ; \xi_p \geq 2$
Pedersen (1996)	Encostas permeáveis com blindagem de rocha e paredes de coroa	$Q = R$	$\frac{qT_m}{L_m^2}$	$3,2 \times 10^{-5} \frac{H_s^5 \tan \alpha}{R_c^3 A_c B}$
Hedges e Reis (1998)	Encostas impermeáveis lisas ásperas retas e com bermas	$Q = A(1 - R)^b$ para $0 \leq R < 1$ $Q = 0$ para $R \geq 1$	$\frac{q}{\sqrt{gRu_{max}^3}}$	$\frac{R_c}{Ru_{max}}$
Hobsgaard <i>et al.</i> (1998)	Estrutura do monte de rublos com e sem superestrutura, camada de armadura de pedras arredondadas, rochas de pedra e dolos	$Q = A \exp(-BR)$	$\frac{q}{\ln(Sp)\sqrt{gH_s^3}}$	$\frac{R_c}{H_s \gamma}$
Schttrumpf <i>et al.</i> (2001)	Declives suaves impermeáveis 1: 6 ($R_c = 0$ e $R_c > R_{max}$)	$Q = A \exp(-BR)$	$\frac{q}{\sqrt{2gH_s^3}}$	$\frac{R_c}{\xi_m H_s}$

2.2.2. Modelos numéricos

Os modelos numéricos simulam o galgamento de ondas, como parte da interação das ondas com a estrutura, resolvendo equações complexas. Estes modelos, uma vez validados, são menos restritivos nas configurações de estrutura e fornecem informações muito mais detalhadas sobre o volume de água galgada (tanto parâmetros instantâneos, como velocidades, pressões e configuração de superfície livre, como parâmetros integrados, como forças ou volumes individuais e médios de galgamento), mas resultam num esforço e custo computacional muito mais elevados. Durante a última década, o progresso registado nas capacidades dos modelos numéricos, tornou-os mais adequados para propósitos de projetos de estruturas mais detalhados (EuroTop, 2018).

Uma simulação numérica precisa de galgamento de onda sobre a crista da estrutura e requer o tratamento numérico adequado de todos os processos físicos relevantes:

- a geração de ondas a partir da fronteira *offshore*, exigindo métodos numéricos estáveis para gerar e absorver ondas, a fim de reproduzir estados do mar estatisticamente significativos;
- a transformação da onda de *offshore* para *nearshore*, considerando os fenómenos de empolamento, refração, difração e reflexão, para ondas irregulares de crista curta;
- rebentação da onda e espraio da onda na estrutura ou sobre ela, resultando em configurações de superfície livre muito complexas, como possível refluxo de ondas ou camadas finas de água fluindo sobre a crista;
- rebentação violenta da onda, com entrada de ar ou rebentação de onda impulsiva na estrutura, resultando em escoamento turbulento 3D e exigindo compressibilidade do caudal galgado e capacidade de continuar a simulação além deste ponto;
- escoamento poroso em partes permeáveis da estrutura, como no material granular grosseiro ou na camada resistente, governando a infiltração e vazamento de água para dentro e para fora da estrutura permeável e a configuração freática no núcleo;

- resposta dinâmica das estruturas de defesa, incluindo o movimento da estrutura e o descalçamento das fundações.

Todos esses processos podem afetar as características do galgamento e, portanto, precisam ser modelados.

2.2.3. Metodologia

A modelação numérica da interação entre ondas e estruturas costeiras é muito complexa devido aos diversos fenómenos que ocorrem: propagação e transformação da onda, rebentação da onda, reflexão na estrutura, interação entre onda incidente e refletida e, por fim, galgamento da estrutura. O galgamento é assim o último fenómeno do processo de interação onda-estrutura, o que implica que é apenas possível obter resultados precisos do caudal médio galgado se todos os outros fenómenos forem corretamente modelados (Didier e Neves, 2010). Neste trabalho optou-se pelo recurso a formulações empíricas.

Após analisados os diferentes métodos empíricos de quantificação de galgamentos costeiros, conclui-se que existem vantagens na adoção da fórmula de *Perdersen* (1996) para efetuar os cálculos do caudal galgado em estruturas de talude simples ou com berma. Esta formulação está dependente dos parâmetros α , R_c , A_c e G_c correspondem à inclinação do talude, ao bordo livre da parte impermeável do coroamento da estrutura, ao bordo livre do manto permeável da estrutura e à largura do coroamento da estrutura, respetivamente e encontram-se esquematizados na Figura 2.6.

Na Tabela 2.2, apresenta-se a equação adotada para este estudo onde Q representa o caudal médio adimensionalizado por metro, R é o bordo livre da estrutura adimensionalizado.

Tabela 2.2- Formulações adotadas para o cálculo do caudal galgado.

Autor	Fórmula	Caudal médio adimensional, Q	Bordo livre adimensional, R
Perdersen (1996)	$Q=R$	$\frac{qT_{om}}{L_{om}^2}$	$3,2 \times 10^{-5} \times \frac{H_s^5 \tan \alpha}{R_c^3 A_c G_c}$

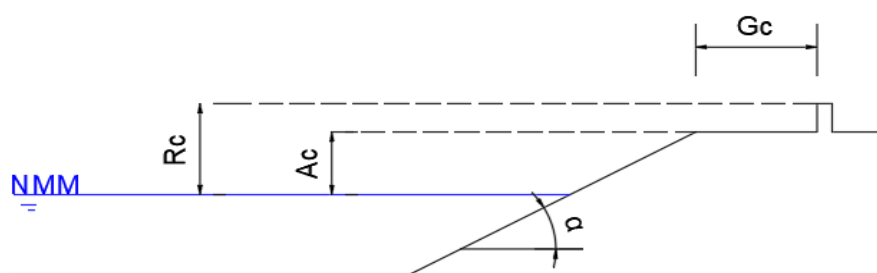


Figura 2.6- Geometria da estrutura de obra longitudinal aderente de defesa costeira.

2.3. Avaliação do risco de inundações

Na costa portuguesa, são frequentes as situações de emergência provocadas pelo estado do mar, nas quais é posta em causa a segurança de pessoas e bens e que têm consequências graves para a economia e ambiente. Dessas situações merecem destaque as que envolvem o galgamento de estruturas marítimas e portuárias, pelo risco associado à destruição dessas mesmas estruturas ou à inundação das zonas por elas protegidas (Fortes *et al.*, 2013).

No sentido de avaliar os riscos associados aos efeitos da agitação marítima nas atividades costeiras e portuárias, tem vindo a ser desenvolvida no LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) uma metodologia de avaliação do risco associado à ocorrência de galgamentos de estruturas portuárias ou defesas frontais.

O objetivo desta metodologia é a avaliação do risco de inundação e galgamento de zonas costeiras e portuárias. Esta avaliação é baseada na combinação entre os valores de probabilidade de ocorrência de valores críticos de inundação/galgamento e os valores de consequências dessa ocorrência perigosa. Para simplificar a determinação do grau de risco, considera-se uma escala de grau de probabilidade, associada à probabilidade de uma ocorrência de galgamento/inundação acima de um certo limiar pré-estabelecido, e uma escala de grau de consequências associada aos prejuízos desse acontecimento, conforme a equação 2.13 (Fortes *et al.*, 2013).

$$\text{Grau de Risco} = \text{Grau de probabilidade} \times \text{Grau de consequências} \quad (2.13)$$

Para a avaliação do risco de inundação ou galgamento numa dada zona costeira ou portuária, o procedimento seguido é: a) avaliar a natureza das atividades desenvolvidas na zona abrigada pela estrutura e qual o impacto da inundação/galgamento na segurança de pessoas e

infraestruturas; b) estabelecer os caudais críticos de galgamento admissíveis a cada estrutura e tipo de atividade; c) avaliar o grau de probabilidade de ocorrência desses caudais; d) avaliar o grau de consequências; e) avaliar o grau de risco (Fortes *et al.*, 2013).

É com base na análise de risco que se consegue estimar os danos associados aos efeitos da agitação marítima nas zonas costeiras.

Segundo Pullen (2007), os danos provenientes do fenómeno de galgamentos, subdividem-se em quatro categorias gerais:

- a) Risco direto de lesão ou morte para pessoas imediatamente atrás da defesa;
- b) Danos à propriedade, operação e / ou infraestrutura na área defendida, incluindo perda de recursos económicos, ambientais ou outros, ou interrupção de uma atividade ou processo económico;
- c) Danos à (s) estrutura (s) de defesa, de curto ou longo prazo, com a possibilidade de rotura e inundação;
- d) Inundação de baixa profundidade (inconveniente, mas não perigoso).

Conjugando a análise de risco com a análise do dano, estão encontradas as condições para estimar os custos que se fazem associar a possíveis inundações costeiras.

2.4.Custos associados a inundações

O principal objetivo desta secção passa pela análise dos custos que se fazem associar às inundações resultantes de galgamentos costeiros.

Numa primeira instância, deve-se realizar uma avaliação, uma quantificação e um mapeamento da exposição de elementos costeiros sujeitos a eventos extremos, neste caso, galgamentos. Normalmente, a mitigação da exposição resulta na construção de obras de engenharia pesadas para proteção costeira e salvaguarda de infraestruturas sociais e económicas (Silva, 2019). Estas intervenções podem passar pelo reforço de estruturas já existentes, pela sua manutenção, reabilitação ou até mesmo por uma nova construção. Qualquer que seja a solução a adotar, há custos associados, e os mesmos diferem em função do tipo e extensão da ação necessária.

Por vezes, e dado que os fenómenos de galgamentos costeiros podem ocorrer de forma pontual e espaçadas no tempo, pode não ser imperativo ou vantajoso fazer uma intervenção física de

grande escala. São situações como estas que devem ser avaliadas tendo por base uma análise custo vs benefício para os diferentes cenários. Esta metodologia baseia-se nos seguintes fatores:

- Escolha da melhor solução de intervenção;
- Importância do objetivo da intervenção: físico, económico ou ambos;
- Necessidade de definir o horizonte temporal de análise;
- Conjunção dos fatores físicos, sociais, culturais e ambientais.

Para ajudar a compreender melhor este conceito, apresenta-se na Tabela 2.2, de uma forma esquemática, uma análise de custo e benefício.

Tabela 2.3- Custos e benefícios de diferentes estratégias de mitigação do risco de inundação costeira.

CUSTOS		BENEFÍCIOS	
	- Primeiro investimento - Frequência e custo de manutenção		
Impactos Negativos:	<u>Custos ao longo do tempo</u> - Efeitos diretos - Efeitos secundários	Impactos Positivos:	<u>Benefícios ao longo do tempo</u> - Efeitos diretos - Efeitos secundários

Desta forma, é essencial definir os custos e os benefícios de uma intervenção, quer seja a curto ou a longo prazo. Para isso, é necessário avaliar possíveis efeitos, podendo estes serem diretos ou secundários.

Assim sendo, os custos diretos de primeiro investimento preveem possíveis aumentos na dimensão da obra, como a subida da cota de coroamento, a extensão da obra para o mar com um talude mais suave ou a implementação de um patamar intermédio. Estas intervenções implicam a necessidade de manutenção a longo prazo.

Já os impactos económicos que advém da aplicação das soluções adotadas, denominam-se custos indiretos. Estes podem resultar, por exemplo, da redução da vista para praia, caso a cota seja alteada ou até mesmo a área da praia, caso a estrutura de intervenção implementada “cresça para o mar”. Estes tipos de consequências podem contribuir para um decréscimo do número de visitantes no futuro, o que traduz custos indiretos ao longo do tempo.

Já em termos de análise de benefícios, estes estão diretamente relacionados com a redução da frequência de galgamentos e de inundações, após possíveis intervenções construtivas, minimizando assim as despesas com danos ou com as necessidades de reabilitação.

Quando se limita demasiado o orçamento para realização de intervenções costeiras, está-se a adotar uma solução que seja eficaz apenas a curto prazo, o que proporcionará, eventualmente, o aparecimento de possíveis problemas de inundações costeira no futuro. Consequentemente, fazem-se associar custos adicionais dada a necessidade de realizar uma nova intervenção.

Como se constata, os custos de inundações não resultam somente dos custos associados à implementação da estrutura de proteção de inundações. Custos de intervenção, assim como os custos provenientes dos danos resultantes da inundação costeira (reajuntamento de pessoas, necessidade de intervir na zona circundante, custos de paragem caso haja necessidade de restringir a circulação na zona de inundação, entre outros) tem influência no custo total de inundações.

Roebeling *et al.* (2015), referem que dados históricos de inundações, mapas de cobertura do solo e valores de cobertura do solo foram usados para avaliar os impactos e custos diretos do galgamento em áreas artificializadas.

Em primeiro lugar, os cenários de cheias para uma área de estudo de caso foram estabelecidos com base em inventários históricos de eventos de galgamento no Centro de Portugal (Pereira e Coelho, 2010), permitindo a determinação da frequência e severidade das inundações (altura / intrusão) (Flourentzou *et al.*,2000).

Em segundo lugar, foi estabelecida a exposição das classes de cobertura do solo (i) a inundações para esses cenários de inundação, usando mapas de cobertura do solo e área construída (Google Earth), permitindo a determinação das áreas de classe de cobertura do solo inundadas (F_i ; em ha).

Terceiro, os valores da classe de cobertura do solo artificial (v_i) são determinados para estrutura e conteúdo, e os custos de danos potenciais são avaliados usando funções de dano de profundidade (DDFs) para estrutura e conteúdo (com base em Davis e Skaggs, 1992). Os DDFs são estimados de acordo com a equação 2.16.

$$D_i = \alpha H_i - \beta H_i^2 \quad (2.16)$$

onde D_i é a taxa de danos à estrutura ou conteúdo (em % do seu respetivo valor v_i) e H_i é a altura da inundação (em m). Por fim, os custos de estrutura e conteúdo de um evento de inundação (C_{flood} ; em m €) são calculados da seguinte forma (Oliveri e Santoro, 2000):

$$C_{flood} = \sum_i v_i D_i F_i \quad (2.17)$$

Capítulo 3

MANUAL DE FUNCIONAMENTO DO SOFTWARE EXCEL

3. MANUAL DE FUNCIONAMENTO DO SOFTWARE EXCEL

Neste capítulo é exposto um manual de funcionamento do *software Excel* desenvolvido com base na metodologia apresentada anteriormente. O objetivo deste programa consiste em avaliar e determinar os parâmetros que englobam os conceitos de espraio, galgamentos e inundação costeiras e os custos que lhes estão associados.

Para a aplicação da ferramenta há necessidade do utilizador ter em conta o preenchimento das células, de modo a permitir a realização dos cálculos que se processam de forma automática. Na Tabela 3.1. apresenta-se indicada a cor referida às células a preencher pelo utilizador, bem como aquelas que se encontram programadas automaticamente.

Tabela 3.1- Formatação do manual de funcionamento.

Dados a inserir pelo utilizador	
Resultados obtidos de forma automática	

O utilizador deve começar por aceder à pasta “Galgamentos Costeiros” que é composta por duas folhas de *Excel* intituladas por “Folha_Inicial” e “Folha_Final”. Tal como a sua nomenclatura sugere, está implícito um seguimento de utilização por parte do usuário, tendo este que recorrer, numa primeira instância, à Folha_Inicial onde se dá início ao processo de cálculo para a verificação da ocorrência de galgamentos costeiros. Uma vez verificada as situações de galgamento, e com o auxílio da “Folha_Final”, o utilizador tem todas as condições para proceder à quantificação do caudal galgado, bem como dos custos que lhe estão associados.

Nas seções seguintes apresentam-se todos os passos que o utilizador deve seguir, de forma clara e especificada.

3.1. Registo de dados

Nesta fase inicial, o utilizador deve proceder ao preenchimento das células referentes aos dados que caracterizam o espraio, galgamento e custos. Na Figura 3.1, encontra-se representado o painel a que o utilizador terá acesso após a abertura do documento.

Dados a inserir pelo utilizador		Escrever_index Deve inserir 0 registos de ondas			
Resultados obtidos de forma automática		INDEX	Rumo (°)	H0 (m)	T (s)
Espraiamento					
Número de registos de ondas por dia					
Número de anos em análise					
Registos de dados a analisar por ano					
Registos de dados ao longo do horizonte temporal					
Onda a considerar					
Tem subida do nível do mar?					
Variação do nível médio do mar (cm/ano)					
Orientação da Estrutura com o Norte (°)					
Cota do nível do mar início (m)					
Cota de fundo (m)					
Cota de coroamento (m)					
Profundidade (m)					
Galgamento					
Tipo de estrutura de proteção marítima	Talude Simples				
α (°) - Inclinação do talude					
Gc (m) - Largura de coroamento da estrutura					
Ac (m) - Bordo livre do manto permeável da estrutura					
Fc (m) - Bordo livre da parte impermeável do coroamento da estrutura					
Custos					
Primeiro investimento (€/m ²)					
Percentagem do preço da obra para manutenção (%)					
Frequência de manutenção (ano/ano)					
Taxa de desconto (%)					
Custo de galgamento (€/m ² /m)					
Comprimento da obra (m)					

Figura 3.1- Painel de abertura da folha inicial de cálculo.

3.1.1. Fenómeno de Espraiamento

- 1) Definir o número de registos de ondas por dia;
- 2) Definir o número de anos de análise;
- 3) Escolher o tipo de onda a considerar: *offshore*, propagada ou rebentada;
- 4) Indicar se existe variação do nível médio da superfície de água do mar ao longo do tempo, por efeito das alterações climáticas e da subida do nível do mar. Caso haja, o utilizador deve selecionar “Sim” de forma a aparecer uma nova célula onde deve ser inserido o valor da taxa de subida do nível do mar (m/ano). Caso contrário, o utilizador deve selecionar a opção “Não”;
- 5) Indicar a orientação que a estrutura de intervenção costeira faz com o Norte, em graus (°). Ressalva-se que este ângulo está delimitado entre 0°- 90°;
- 6) Indicar a cota do nível médio da água do mar, nas condições iniciais, correspondente ao ano zero (m);
- 7) Indicar a cota de coroamento da estrutura (m).

3.1.2. Galgamento

O tipo de estrutura de proteção marítima a considerar passa por uma estrutura em talude simples. Assim sendo surgem as seguintes propriedades que o utilizador deve preencher: inclinação do talude ($^{\circ}$), largura de coroamento da estrutura (m), bordo livre do manto permeável da estrutura (m) e bordo livre da parte impermeável do coroamento da estrutura (m).

3.1.3. Custos

- 1) Indicar qual o valor do primeiro investimento (€), correspondente à construção da obra;
- 2) Inserir o valor percentual do preço da obra para a realização de obras de manutenção (%);
- 3) Inserir a frequência de manutenção, isto é, de quanto em quanto tempo é que o utilizador pretende que a manutenção da estrutura seja efetuada (anos);
- 4) Indicar a taxa de desconto a considerar (%);
- 5) Indicar o custo associado à ocorrência de galgamento, representado pelo valor dos danos que resultam do volume de água galgado ($\text{€}/\text{m}^3$);

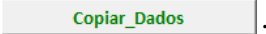
Após o preenchimento dos parâmetros de entrada, o utilizador deve selecionar o botão “Escrever_Index”, de forma que seja registada o número de ondas em análise. Para cada registo devem ser indicadas as características das ondas ao largo: rumo, altura da onda e período, como a Figura 3.2 sugere.

1. Selecionar **Escrever_index**;
2. Preencher as células referentes ao rumo, altura de ondas (H_o) e período (T).

INDEX	Rumo (*)	H0 (m)	T (s)
1	133,19	6,59	11,74
2	137,47	6,04	11,67
3	135,37	5,52	11,41
4	131,91	5,03	11,27
5	127,83	4,59	11,20
6	123,13	4,21	11,11
7	118,10	3,81	10,87
8	124,64	3,46	10,52
9	119,82	3,27	10,52
10	103,60	3,50	10,02
11	81,05	4,30	10,41
12	57,09	5,06	13,06
13	56,44	4,98	12,25
14	52,41	4,72	12,10
15	49,03	4,53	12,03
16	46,72	4,36	11,95
17	45,07	4,14	11,77
18	47,05	3,89	11,28
19	45,61	3,57	10,98
20	44,35	3,24	10,78

Figura 3.2- Representação do processo de registo de ondas e suas propriedades iniciais.

De seguida, o utilizador deve seleccionar a Folha “Passo 1”, onde se vai dar início ao processo de cálculo, para verificar a eventual existência da ocorrência de galgamentos costeiros. Para isso, recorreu-se às formulações apresentadas na subsecção 2.2.

3. Seleccionar .
4. Duplo clique no canto inferior direito das células referentes ao ano, profundidade (d), α_0 , L_0 e L.

Número de ondas	Rumo	H ₀ (m)	T (s)	Ano	d	α_0 (°)	L ₀ (m)	L (m)
1	133,19	6,5918	11,741	1	1	13,2	215,2	36,6
2	137,47	6,038	11,673					
3	135,37	5,5235	11,407					
4	131,91	5,0288	11,269					
5	127,83	4,5943	11,195					
6	123,13	4,2089	11,105					
7	118,1	3,8061	10,868					
8	124,64	3,459	10,521					
9	119,82	3,2677	10,521					
10	103,6	3,5028	10,017					
11	81,05	4,2958	10,413					
12	57,09	5,0585	13,063					
13	56,44	4,9781	12,25					
14	52,41	4,7177	12,095					
15	49,03	4,5287	12,033					
16	46,72	4,3609	11,951					
17	45,07	4,1437	11,772					
18	47,05	3,8874	11,276					
19	45,61	3,5679	10,979					
20	44,35	3,244	10,78					

Figura 3.3- Identificação do procedimento inicial do cálculo das características de ondas.

5. Selecionar Obter_L de forma a determinar o comprimento de onda de cada uma das ondas incidente, através de um processo iterativo. A coluna 11 intitulada por “Obter L” deve possuir o valor zero ao longo da mesma.
6. Duplo clique no canto inferior direito das células que se seguem.
7. Selecionar Copiar Dados_Folha Final.

Obter L	α (°)	Rumo b	kr	ks	H _{affluente} (m³)	H _{propagada} (m)	H _{rebatada} (m³)	R _{max} (m)	Galgamento	R _{max} (m)	Galgamento	R _{max} (m)	Galgamento
0,00	2,22	57,78	0,99	1,72	6,53	11,21	0,78	8,316	Sim	4,79	Não	1,26	Não
0,00	2,34	57,06	0,98	1,72	6,04	10,14	0,78	8,48	Sim	4,55	Não	1,26	Não
-0,01	2,66	57,34	0,98	1,70	5,52	9,22	0,78	7,93	Não	4,29	Não	1,25	Não
0,00	2,09	57,91	0,99	1,69	5,03	8,41	0,78	7,47	Não	4,07	Não	1,24	Não
0,00	1,39	58,61	1,00	1,68	4,59	7,70	0,78	7,10	Não	3,88	Não	1,23	Não
0,00	0,56	59,44	1,00	1,68	4,21	7,05	0,78	6,74	Não	3,70	Não	1,23	Não
0,00	0,35	59,65	1,00	1,66	3,81	6,32	0,78	6,27	Não	3,46	Não	1,22	Não
0,00	0,88	59,12	1,00	1,63	3,46	5,64	0,78	5,79	Não	3,22	Não	1,20	Não
0,00	0,03	59,97	1,00	1,63	3,27	5,34	0,78	5,63	Não	3,13	Não	1,20	Não
0,00	3,22	56,78	0,98	1,60	3,50	5,48	0,78	5,55	Não	3,09	Não	1,17	Não
0,00	3,94	56,06	0,97	1,63	4,30	6,76	0,78	6,38	Não	3,50	Não	1,19	Não
0,00	0,44	59,56	1,00	1,82	5,06	9,18	0,78	8,69	Sim	4,58	Não	1,33	Não
0,00	0,58	59,42	1,00	1,76	4,98	8,75	0,78	8,08	Sim	4,33	Não	1,29	Não
0,00	1,25	58,75	1,00	1,75	4,72	8,21	0,78	7,77	Não	4,17	Não	1,28	Não
0,00	1,81	58,19	0,99	1,74	4,53	7,83	0,78	7,57	Não	4,06	Não	1,28	Não
0,00	2,20	57,80	0,99	1,74	4,36	7,48	0,78	7,38	Não	3,95	Não	1,28	Não
0,00	2,50	57,50	0,98	1,73	4,14	7,03	0,78	7,09	Não	3,80	Não	1,27	Não
0,00	2,27	57,73	0,99	1,69	3,89	6,49	0,78	6,58	Não	3,57	Não	1,24	Não
0,00	2,59	57,41	0,98	1,67	3,57	5,86	0,78	6,13	Não	3,35	Não	1,22	Não
0,00	2,86	57,14	0,98	1,65	3,24	5,27	0,78	5,74	Não	3,15	Não	1,21	Não
0,00	1,75	58,25	0,99	1,62	3,23	5,20	0,78	5,50	Não	3,06	Não	1,19	Não

Figura 3.4- Identificação do procedimento de verificação de ocorrência de galgamentos costeiros.

Nota: Ao selecionar a opção Dados_Folha_Inicial, está a ser ativada uma macro que copia todos os parâmetros necessários para estimar o volume de água galgada perante as situações de ocorrência de galgamentos costeiros.

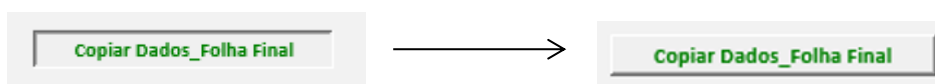


Figura 3.5- Processo do sistema de utilização da macro “Copiar Dados_Folha Final”.

Após o término deste procedimento, o utilizador deve fechar a “Folha_Inicial” e aceder à “Folha_Final”. É nesta nova folha que se dará continuidade ao processo de cálculo, nomeadamente, a avaliação quantitativa dos caudais galgados e dos custos a eles associados.

3.2. Cálculo dos custos

Na Figura 3.6, apresenta-se o painel de abertura desta folha de cálculo. Ressalva-se que é com base nos resultados copiados que se consegue estimar o volume de água galgada e, consequentemente os custos associados à ocorrência de galgamento.

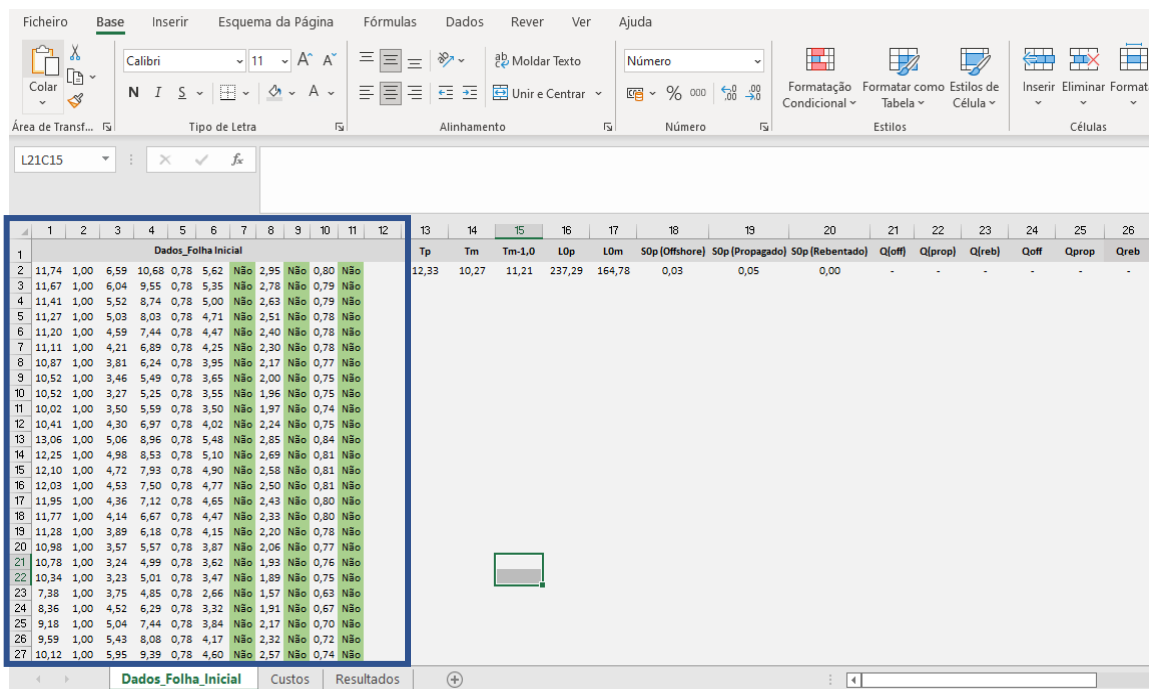



Figura 3.6- Painel de abertura da folha final de cálculo.

Nesta etapa é feita uma análise do custo associado aos galgamentos e dos custos de manutenção da intervenção de defesa costeira, tendo como base as características da estrutura e dos parâmetros relativos à secção do custo, anteriormente definidos pelo utilizador (secção 3.1). Ressalva-se que, ao longo de todo o processo é feita uma análise temporal em função de cada ano, pelo que o processo de quantificação dos custos segue o mesmo critério. Assim sendo, o utilizador deve começar por iniciar o registo de anos de análise, efetuando depois o preenchimento das restantes células sinalizadas na Figura 3.7.



1. Selecionar  ;
2. Duplo clique no canto inferior de cada uma das restantes células referentes aos três tipos de propagação de ondas.

Anos	Custo (I)	Atualizada (I)	Atualizada acumulada (I)	Custo (II)	Atualizada (II)	Atualizada acumulada (II)
1,00	1061886,43	1030957,76	1030957,76	0,00	0,00	0,00
2,00						
3,00						
4,00						
5,00						
6,00						
7,00						
8,00						
9,00						
10,00						
11,00						
12,00						
13,00						
14,00						
15,00						
16,00						
17,00						
18,00						
19,00						
20,00						

Figura 3.7- Representação do processo de quantificação do custo de galgamento e de manutenção.

3.3. Resultados

1. Duplo clique no canto inferior direito de cada uma das células presentes na Folha “Dados_Folha_Inicial”, da coluna 13 até à coluna 26.
2. O utilizador deve selecionar a Folha “Resultados”.

Nesta página encontram-se disponíveis três quadros resumo e as respetivas representações gráficas relativas ao processo quantitativo de galgamentos costeiros. Deste modo, apresentam-se as seguintes tabelas:

Tabela 1- Apresenta de forma clara e específica o número de ondas previstas (*offshore*, propagada e rebentada) por intervalo de alturas de ondas;

Tabela 2- Apresenta o número de ocorrência de galgamentos costeiros em cada ano de análise;

Tabela 3- Apresenta o caudal galgado em cada ano de análise;

Tabela 4- Apresenta o custo de galgamento e manutenção em cada ano de análise.

Relativamente aos resultados da estimativa do custo de galgamento e manutenção, estes encontram-se folha intitulada “Custo”, onde previamente foi realizado todo o processo de cálculo (Figura 3.7).

Capítulo 4

CENÁRIOS

4. CENÁRIOS

Uma vez realizada a folha de cálculo, adotaram-se diferentes cenários, com o objetivo de explorar as várias vertentes que a folha de cálculo desenvolvida possui, de forma a verificar se esta cumpre o seu propósito: fornecer ao utilizador uma noção das soluções que pode explorar, face ao cenário de análise.

Com este propósito em mente, optou-se por analisar individualmente cada uma das características que definem os fenómenos de espraiamento e galgamentos costeiros, bem como os fatores inerentes aos custos de galgamento, de intervenção e manutenção das estruturas de prevenção costeira. Para tal, foi definido um cenário de referência (Cr). Com base nos parâmetros que compõe o Cr, foram criados cenários de comparação. Nestes cenários, sempre que uma variável foi analisada, esta pode tomar diferentes intervalos de valores mantendo as restantes características do cenário base (Cr). Esta análise comparativa permite ao utilizador discutir a incerteza relacionada com a ação futura, a forma de intervir a nível da geometria da obra longitudinal aderente e os fatores económicos.

Relativamente à propagação da agitação marítima, procurou-se compreender a influência dos fenómenos de refração, empolamento, rebentação e espraio das ondas até atingirem a obra longitudinal aderente. Assim, defiram-se cenários de agitação que representam diferentes formas de conjugação das marés e dos fenómenos de propagação das ondas: ondas *offshore*, propagadas e rebentadas.

De seguida e nas próximas secções, apresentam-se especificados todos os parâmetros analisados e cenários adotados relativamente ao:

- Espraiamento: cota do nível médio do mar, variação do nível do mar, cota de coroamento da estrutura e cota do fundo em frente à obra, condicionando a profundidade e conseqüentemente os fenómenos de propagação da onda.
- Galgamentos: inclinação do talude, largura de coroamento da estrutura e bordo livre do manto permeável da estrutura.
- Custos: Primeiro investimento, percentagem do preço de manutenção da obra e taxa de desconto.

4.1. Cenário de referência

O cenário de referência foi definido com base no clima de agitação ao largo, através dos rumo, alturas e períodos de ondas passadas ao longo de 20 anos de projeção na zona litoral, Furadouro, do concelho de Ovar, entre os anos de 1986 e 2005. Para auxiliar a caracterização de um passado recente do clima de agitação da zona de estudo, pode-se recolher aos pontos em modelos numéricos ou a boias ondógrafo. Uma vez que não haviam disponíveis à data séries de registos da boia ondógrafo de Leixões e essa série podia eventualmente apresentar lacunas (comuns em processos de aquisição de dados reais, principalmente associados a eventos de temporal), optou-se por registos do modelo numérico no ponto que se considera mais próximo da zona em causa (cerca de 50 km a norte). Nas Figuras 4.1, 4.2 e 4.3 apresentam-se as características que definem o clima de agitação do cenário de referência ao longo do tempo de análise de 20 anos.

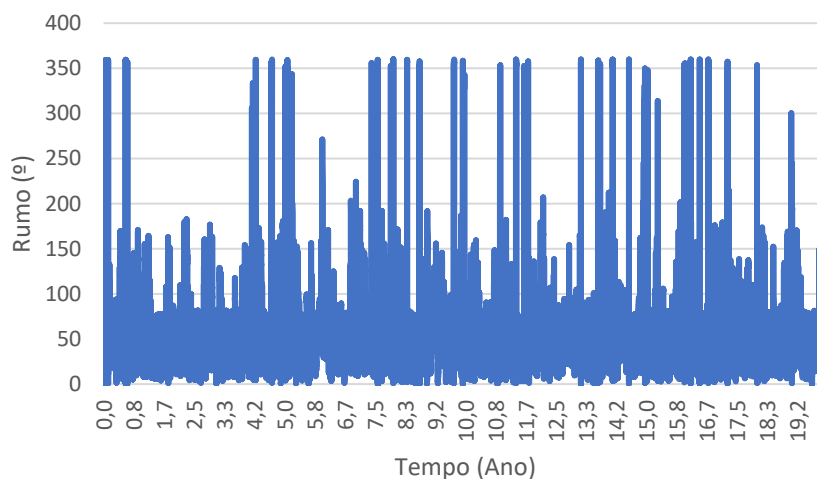


Figura 4.1- Distribuição temporal dos rumos de ondulação.

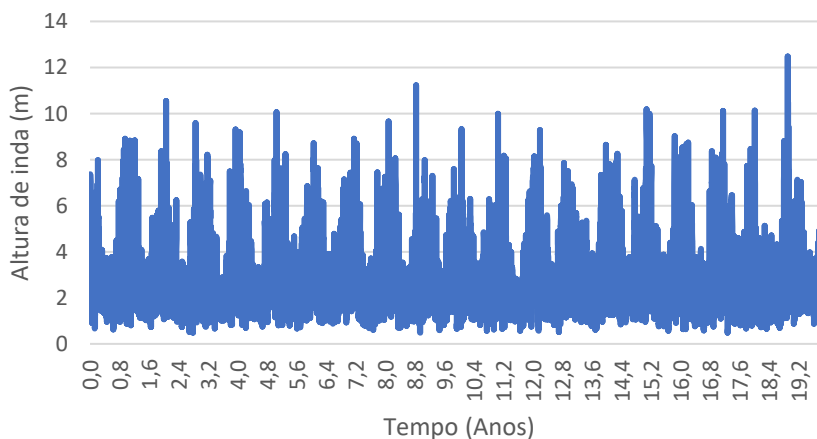


Figura 4.2- Distribuição temporal das alturas de ondas.

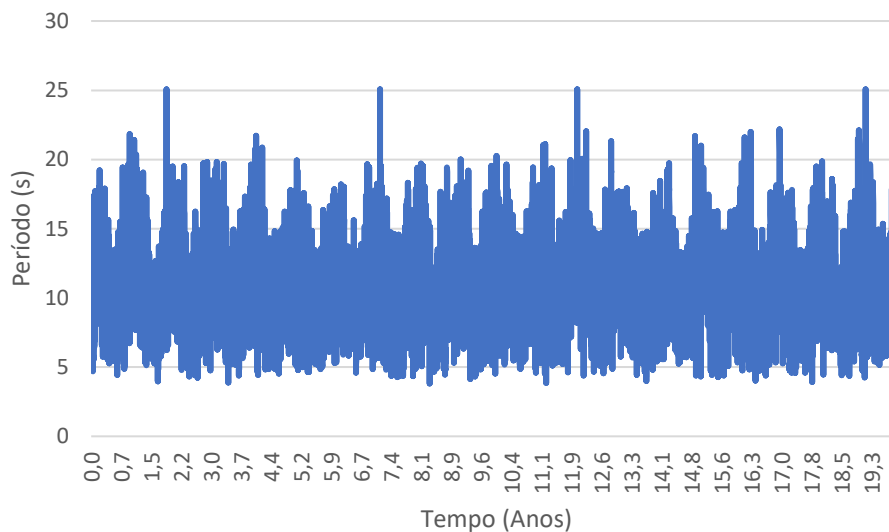


Figura 4.3- Distribuição temporal dos períodos das ondas.

As características geométricas da secção transversal da obra aderente adotadas no cenário de referência, com cotas altimétricas referidas ao Zero Hidrográfico (ZH), apresentam-se nas Tabelas 4.1 e 4.2. Relativamente aos fatores económicos adotados no cenário de referência, estes encontram-se especificados na Tabela 4.3.

Tabela 4.1- Características adotadas no cenário de referência do fenómeno de espraçamento

Variação do nível do mar (cm/ano)	0.00
Orientação da estrutura com o Norte (°)	15.00
Cota do nível do mar inicial (m)	2.00
Cota de fundo (m)	1.00
Cota de coroamento (m)	10.00

Tabela 4.2- Características adotadas no cenário de referência do fenómeno de galgamento.

α (°) -Inclinação do talude	30.00
Gc (m) - Largura de coroamento da estrutura	7.00
Ac (m) - Bordo livre do manto permeável da estrutura	4.70
Rc (m) - Bordo livre da parte impermeável do coroamento da estrutura	6.80

Tabela 4.3- Parâmetros do cenário de referência relativos à quantificação do custo.

Primeiro investimento (€/m ³)	100.00
Percentagem do preço da obra para manutenção (%)	10.00
Frequência de manutenção (intervalo de tempo, em anos)	5.00
Taxa de desconto (%)	3.00
Custo de galgamento (€/m ³)	0.01
Comprimento da obra (m)	300.00

4.2. Características do fenómeno de espraçamento

Definiram-se 20 cenários de avaliação de espraçamento, cujas características analisadas foram o nível médio inicial da superfície do mar, a variação do nível da superfície do mar, a cota de coroamento e a cota de fundo. Todas as variantes de análise encontram-se especificadas na Tabela 4.4.

Quanto ao nível da superfície livre da água (NMM), analisaram-se 4 cenários que diferem 0.5m entre cada um deles. No cenário de referência (Cr) adotou-se NMM de +2.0m ZH. Assim, consideraram-se 3 situações intermédias (+1.5m ZH, +2.5m ZH e +3.0m ZH) e 1 situação da máxima de praia mar de águas-vivas (+3.5m ZH).

Relativamente à variação do nível médio do mar, além do cenário de referência, onde não se fez variar o nível do mar ao longo do período de análise, considerou-se uma variação crescente ao longo do tempo, nos 4 cenários definidos por Cv1, Cv2, Cv3 e Cv4, com variações de 0.5cm/ano, 1.0 cm/ano, 1.5 cm/ano e 2.0 cm/ano, respetivamente.

Já em relação à cota de coroamento, e tendo por base o valor considerado no cenário de referência (Cr=10m), analisaram-se 4 cenários, cujo valores adotados diferem 0.5m entre si, com o cenário de máxima cota a corresponder aos +12m (ZH).

Por fim, para análise da cota de fundo, a profundidade aumenta. Assim sendo, dos 4 cenários analisados, considerou-se 1 cuja cota de fundo diferia +0.5m do cenário de referência (Cr=+1.0m ZH) e os restantes -0.5m (ZH), -1.0m (ZH), -1.5m (ZH).

Tabela 4.4- Identificação dos cenários considerados na caracterização do espraiamento.

Cenários	Nível médio da superfície do mar	Variação do nível da superfície do mar	Cota de coroamento	Cota de fundo	Fenómeno considerado
Cenário de referência (Cr)	NMM = 2m	$\Delta = 0$ cm/ano	10 m	+1m (ZH)	H _o H _{prop} H _{reb}
Nível médio da superfície do mar	C _{m1} = NMM -0.5 m C _{m2} = NMM +0.5 m C _{m3} = NMM +1.0 m C _{m4} = NMM +1.5 m	Cr	Cr	Cr	Cr
Variação do nível da superfície do mar	Cr	Cv1= 0.5 cm/ano Cv2= 1.0 cm/ano Cv3= 1.5 cm/ano Cv4= 2.0 cm/ano	Cr	Cr	Cr
Cota de coroamento	Cr	Cr	C _{cc1} = 10.5 m C _{cc2} = 11.0 m C _{cc3} = 11.5m C _{cc4} = 12.0 m	Cr	Cr
Cota de fundo	Cr	Cr	Cr	C _{cf1} = +1.5m (ZH) C _{cf2} = -0.5m (ZH) C _{cf3} = -1.0m (ZH) C _{cf4} = -1.5m (ZH)	Cr

4.3. Características do fenômeno de galgamentos

Definiram-se 4 cenários para a inclinação do talude, a largura de coroamento (G_c) da estrutura de defesa longitudinal aderente, para averiguar o impacto destes parâmetros face à ocorrência de galgamento. Assim, para cada uma destas características, adotou-se 1 cenário representativo e 4 cenários de comparação, como apresentado na Tabela 4.5.

A análise relativa à inclinação do talude teve por base a adoção de inclinações inferiores e superiores ao cenário de referência ($C_r=30^\circ$). Nos cenários de comparação C_{i1} , C_{i2} , C_{i3} e C_{i4} , foram adotadas inclinações de 20° , 25° , 35° , 40° , respetivamente.

Quanto à largura de coroamento da estrutura e ao bordo livre do manto permeável considerou-se uma variância de +1m, +2m, +3m + 4m face ao cenário de referência adotado. A largura de coroamento de referência considerada foi 7m.

Tabela 4.5- Identificação dos cenários considerados na caracterização do fenômeno de galgamento

Cenários	Inclinação do talude	G_c	Fenómeno considerado
Cenário de referência (C_r)	30.0°	7.0 m	H_o H_{prop} H_{reb}
Inclinação do talude	$C_{i1}= 20^\circ$ $C_{i2}= 25^\circ$ $C_{i3}= 35^\circ$ $C_{i4}= 40^\circ$	C_r	C_r
G_c	C_r	$C_{Gc1}= 8.0$ m $C_{Gc2}= 9.0$ m $C_{Gc3}= 10.0$ m $C_{Gc4}= 11.0$ m	C_r

4.4. Características do custo

Nesta análise fixaram-se os parâmetros do cenário de referência alterando-se apenas uma das propriedades apresentadas na Tabela 4.3, definindo-se assim diversas curvas correspondentes à variação do custo atualizado acumulado, em função do tempo. Este processo foi repetido para todos os cenários simulados. Na Tabela 4.8, encontram-se especificados todos os cenários testados. Para a contabilização do custo atualizado acumulado total, foram tidos em conta os

custos de 1ª intervenção, custos de galgamento e custos de manutenção. Na avaliação dos custos atualizados foi aplicado uma taxa de desconto. Estes conceitos são aprofundados nas subsecções seguintes.

Para complementar o estudo económico, foram analisados 3 parâmetros, que influenciam diretamente a área da secção transversal da estrutura de proteção adotada, e conseqüentemente o volume do material a utilizar para a sua implementação. Começou-se por alterar a cota de coroamento, seguindo-se a alteração da cota de fundo (conseqüentemente, a cota da fundação) e por fim, a variação da inclinação do talude. Para cada um destes parâmetros, adotou-se o cenário de referência (Cr) e 4 cenários de comparação. Os valores associados a cada um dos cenários foram iguais aos adotados no estudo da variação do caudal galgado. Em termos de agitação marítima analisou-se o comportamento económico face ao nível médio do mar e à variação do nível médio do mar ao longo do tempo.

De forma a clarificar o raciocínio adotado nesta análise, expõem-se na Tabela 4.6 os diferentes cenários testados.

Tabela 4.6- Cenários adotados na avaliação do custo.

	Análise 1	Análise 2	Análise 3	Análise 4	Análise 5
Cota de coroamento	C _{cc1} , C _{cc2} , C _{cc3} , C _{cc4}	Cr	Cr	Cr	Cr
Cota de fundo	Cr	C _{cf1} , C _{cf2} , C _{cf3} , C _{cf4}	Cr	Cr	Cr
Inclinação	Cr	Cr	C _{i1} , C _{i2} , C _{i3} , C _{i4}	Cr	Cr
Nível médio do mar	Cr	Cr	Cr	C _{m1} , C _{m2} , C _{m3} , C _{m4}	Cr
Variação do nível médio do mar	Cr	Cr	Cr	Cr	C _{v1} , C _{v2} , C _{v3} , C _{v4}

Relativamente aos cenários de intervenção: alteração da cota de coroamento, da cota de fundo e da inclinação do talude, optou-se por considerar cada cenário como uma situação isolada, ou seja, para cada um dos casos considerou-se a implementação/construção de uma nova estrutura de defesa costeira com as características que lhe estão associadas.

4.4.1. Custos de primeira intervenção

De um modo geral, o custo de construção de uma intervenção de defesa costeira engloba todos os custos inerentes à sua implantação. Para determinar o custo de 1ª intervenção é necessário conhecer a geometria da secção transversal, para estimar o volume de material necessário para a realização da sua construção.

Este tipo de custos é obtido através do produto entre o volume do material requerido (m^3) e o valor do custo unitário do material ($€/m^3$). Jesus (2021), com base no estudo do custo de obras o Furadouro realizada por Cruz (2005), considerou um valor de $50€/m^3$. No entanto, no presente estudo, para cenários de intervenção que requerem volume de material, adotou-se o valor $100€/m^3$ como custos de intervenção de referência (Cr).

Ressalva-se que nos cenários relativo à subida e variação do nível médio do mar, o cálculo do custo de 1º investimento foi obtido assumindo que a estrutura de proteção tem 5m de largura na base, 300m de desenvolvimento e 30º de inclinação do talude. Já para as cotas de fundo e coroamento, apresentavam-se a +1m e 10m, respetivamente. Ressalva-se que todos estes valores são referentes aos adotados no cenário de referência (Tabela 4.1 e Tabela 4.2).

4.4.2. Custos de manutenção

Os custos de manutenção são todos os custos que estão associados diretamente à estrutura de mitigação de galgamentos costeiros e a toda a sua vida útil, para que as funções para as quais foram projetadas sejam mantidas no tempo (Cordeiro, 2016; Lima, 2018). É de notar que todas as obras de proteção da zona costeira requerem manutenção, de modo que o correto funcionamento se prolongue no tempo (Cordeiro, 2016).

No que diz respeito às obras longitudinais aderentes, Lima (2018) considerou que é necessário realizar operações de manutenção da estrutura de 5 em 5 anos, com um custo de manutenção que vale 10% do custo de 1ª intervenção. Estes foram os valores definidos como de referência.

4.4.3. Custos de galgamento

A ocorrência de galgamentos costeiros acarreta custos. Estes são estimados através do volume do caudal galgado e do custo de galgamento unitário $€/m^3/m$. Para este estudo, optou-se por

adotar 0,01€/m³/m como custo de referência, sendo que este valor dependerá significativamente do uso de solo e infraestruturas que possam ser afetadas pela ocorrência de galgamento.

Conhecido o desenvolvimento da obra longitudinal aderente, estão encontradas todas as condições para quantificar o custo total de galgamento (Equação 4.1).

$$C_{galgamento} = V_{galgado} \times C_{unitário} \times desenvolvimento \quad (4.1)$$

4.4.4. Taxa de desconto

Segundo Cruz *et al* (2015), a análise custo-benefício pode ser realizada, transformando os valores monetários (V) em valores atualizados (VA) à data de referência, aplicando uma taxa de desconto (r) segundo a equação 4.2 (Zerbe e Dively, 1994). A taxa de desconto assume-se constante e toma um valor de 3%, no cenário de referência.

$$VA_t = \frac{V_t}{(1 + r)^t} \quad (4.2)$$

Sendo:

VA_t – Valor monetário atualizado à data de referência [€]

V_t – Valor monetário não atualizado [€]

r – Taxa de desconto [%]

A Tabela4.7 resume os cenários de custo que foram definidos.

Tabela 4.7- Identificação dos cenários considerados na caracterização do custo de galgamentos.

Cenário de teste	1ª Intervenção	Valor % da obra de manutenção	Frequência de manutenção	Taxa de desconto	Custo de galgamento	Fenômeno considerado
Cenário de referência (Cr)	100 €/m ³	10% 100 €/m ³	5 em 5 anos	3%	0.01	H _o H _{prop} H _{reb}
1ª Intervenção	C _{Pi1} = 50 €/m ³ C _{Pi2} = 75 €/m ³ C _{Pi3} = 125 €/m ³ C _{Pi4} = 150€/m ³	Cr	Cr	Cr	Cr	Cr
Valor % da obra de manutenção	Cr	C _{Vm1} = 2.5% 100 €/m ³ C _{Vm2} = 25% 100 €/m ³ C _{Vm3} = 50% 100 €/m ³ C _{Vm4} = 75% 100 €/m ³	Cr	Cr	Cr	Cr
Frequência de manutenção	Cr	Cr	C _{Fm1} = 2 em 2 anos C _{Fm2} = 4 em 4 anos C _{Fm3} = 7 em 7 anos C _{Fm4} = 9 em 9 anos	Cr	Cr	Cr
Taxa de desconto	Cr	Cr	Cr	C _{Td1} = 0% C _{Td2} = 1% C _{Td3} = 7% C _{Td4} = 12%	Cr	Cr
Custo de galgamento	Cr	Cr	Cr	Cr	C _{g1} = 0.005 C _{g2} = 0.008 C _{g3} =0.05 C _{g4} = 0.08	Cr

Capítulo 5

RESULTADOS

5. RESULTADOS

Neste capítulo são expostos os resultados da aplicação das metodologias introduzidas e abordadas na caracterização dos fenómenos de espraiamento, de galgamentos e dos custos associados. Face aos resultados obtidos, apresenta-se também uma análise crítica dos mesmos.

Primeiramente, são apresentados os resultados obtidos relativamente à quantificação do caudal galgado. Com base nesta análise é posteriormente apresentado o estudo económico. Note-se que a análise de custo foi feita somente para os cenários sujeitos à ocorrência de galgamentos costeiros.

5.1. Cenário de referência

Na Tabela 5.1, apresentam-se os registos da ocorrência de galgamentos, bem como o caudal galgado para cada ano analisado. Ressalva-se que estes valores foram obtidos através da folha de cálculo desenvolvida nesta dissertação, tendo por base parâmetros de entrada relativos ao cenário de referência (Tabelas 4.1 e 4.2).

Com base nos valores apresentados na Tabela 5.1 e com as características adotadas no cenário de referência (Cr) é possível verificar uma discrepância nos registos de ocorrência de galgamento e, conseqüentemente, no volume de água galgada face aos diferentes tipos de propagação analisadas. Para as ondas *offshore* verificou-se o maior registo fazendo-se corresponder um caudal galgado para todos os anos em análise. Relativamente às ondas propagadas apenas no ano 5 é que se verificou a ocorrência deste fenómeno, associando-se um volume de água galgada de $1650 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{m}$. Quanto às ondas rebentadas, não houve qualquer registo ao longo dos 20 anos analisados.

Tabela 5.1- Registo das ocorrências de galgamentos costeiros e respetivos caudais galgados.

Cenário de Referência (CR)						
Onda Ano	Nº de ocorrência de galgamento			Caudal galgado (x10 ³ m ³ /m)		
	Offshore	Propagada	Rebentada	Offshore	Propagada	Rebentada
1	349	0	0	969	0	0
2	396	0	0	816	0	0
3	383	0	0	1020	0	0
4	394	0	0	869	0	0
5	290	1	0	858	1650	0
6	302	0	0	674	0	0
7	280	0	0	764	0	0
8	351	0	0	928	0	0
9	307	0	0	646	0	0
10	311	0	0	476	0	0
11	245	0	0	514	0	0
12	277	0	0	1149	0	0
13	409	0	0	1204	0	0
14	244	0	0	309	0	0
15	328	0	0	619	0	0
16	357	0	0	1466	0	0
17	346	0	0	806	0	0
18	345	0	0	1090	0	0
19	268	0	0	1519	0	0
20	259	0	0	254	0	0

5.2. Caracterização da ação

5.2.1. Nível médio do mar

Considerando as características das ondas *offshore*, não se avaliam os fenómenos de propagação das ondas nem a respetiva dependência do nível do mar. No entanto, considerando que o nível médio do mar se encontra a uma cota superior, a distância ao coroamento da estrutura diminui

e passa a haver mais galgamento, como é visível na Figura 5.1. Já nas ondas propagadas, o nível do mar afeta diretamente os fenómenos de propagação das ondas e, portanto, as características das ondas vão ser diferentes, o que se traduz em diferentes volumes de águas galgadas, como é perceptível através da análise da Figura 5.2.

Fazendo uma análise geral, conclui-se que o nível médio do mar possui grande influência face ao registo de ocorrência de galgamentos e, conseqüentemente, face ao caudal galgado, ou seja, para cotas do nível médio do mar superiores, maior é o volume de água galgada, mostrando a relevância da situação de maré para a quantificação de caudais galgados.

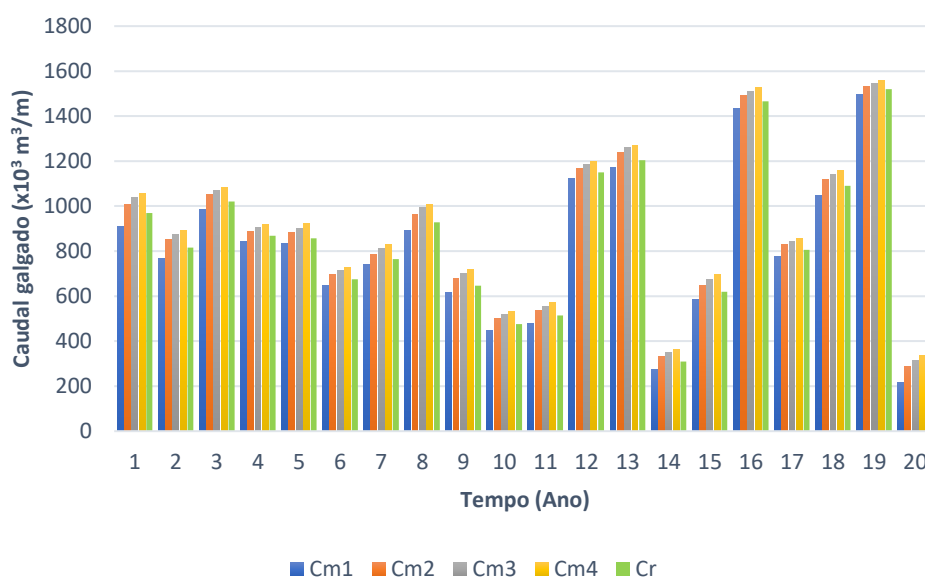


Figura 5.1- Galgamento em função do nível médio do mar, ao longo de 20 anos, considerando ondas ao largo.

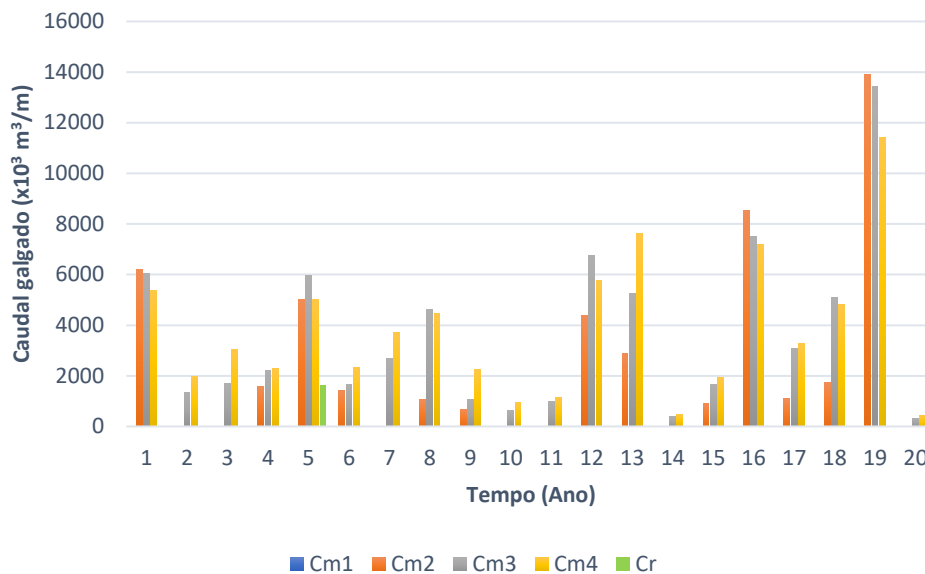


Figura 5.2- Galgamento em função do nível médio do mar, ao longo de 20 anos, considerando ondas propagadas.

Desta forma, o comportamento do custo acumulado ao longo do tempo, associado às ondas *offshore* (Figura 5.3), apresenta-se praticamente linear em todos os cenários, com o aumento do custo total ao longo do tempo.

Relativamente às ondas propagadas (Figura 5.4) apenas se apresenta o custo nos cenários onde se verificou a ocorrência de galgamentos (Cm2, Cm3, Cm4 e Cr). A curto prazo é possível verificar que o custo total nos cenários Cm2, Cm3 e Cm4 apresentam valores semelhantes e que a partir do 6 ano os cenários Cm3 e Cm4 destacam-se por se observar uma subida acentuada em comparação ao Cm2 devida aos menores registos de ocorrência de galgamentos costeiros. Já o custo total do Cr não segue o comportamento dos outros cenários, apenas se verificando um aumento no 5º ano que se encontra associado à ocorrência de galgamento como é possível verificar na Figura 5.2.

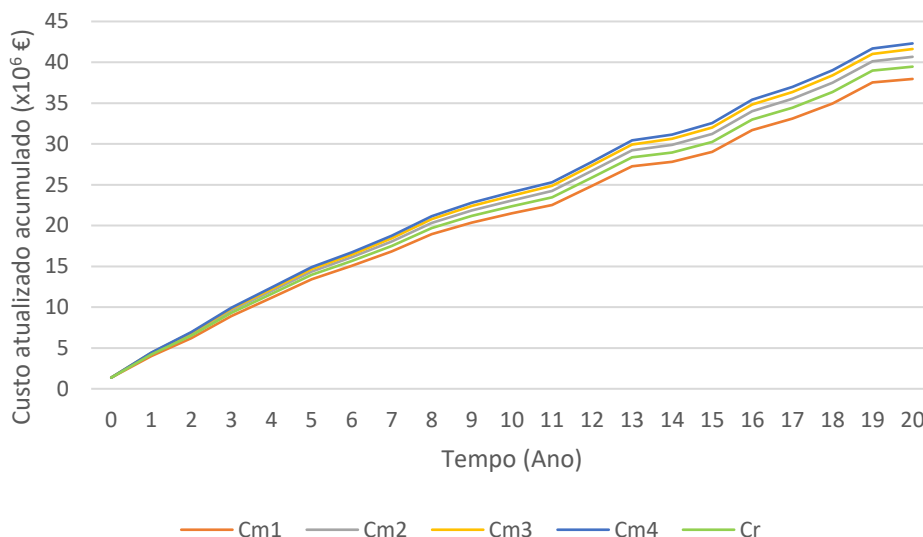


Figura 5.3- Custo de galgamentos, em função do nível médio do mar, considerando ondas ao largo.

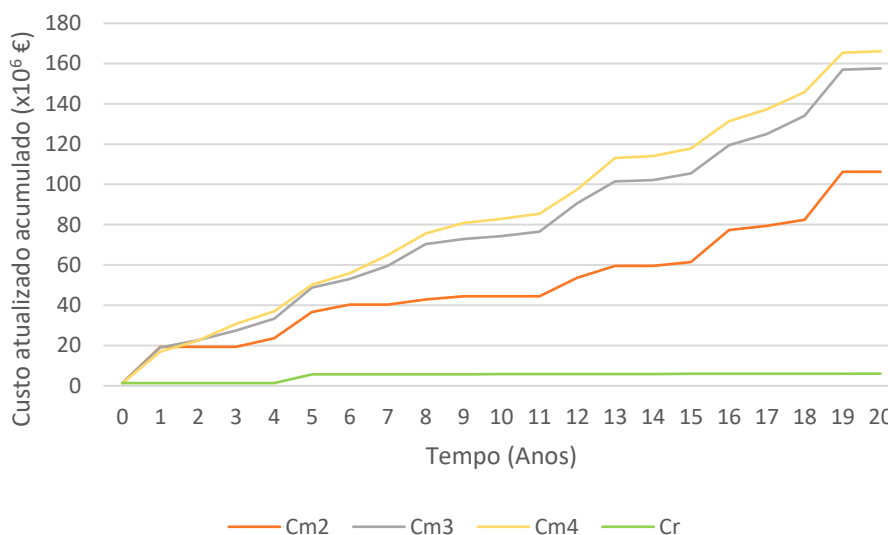


Figura 5.4- Custo de galgamentos, em função do nível médio do mar, considerando ondas propagadas.

5.2.2. Variação do nível médio do mar

Analisando a Figura 5.5, é perceptível que para diferentes taxas de subida do nível do mar consideradas (Cv1, Cv2, Cv3 e Cv4), o registo de volume galgado aumentou ligeiramente nos primeiros anos, ganhando mais impacto ao longo dos 20 anos de análise. Comparando estes cenários com o Cr, verifica-se naturalmente um aumento do volume galgado.

Relativamente às ondas propagadas, este fator possui uma influência direta, quer no cálculo de altura de ondas, quer na fase de verificação de galgamento. As ondas propagadas, sofrem

refração e empolamento diferentes com a variação do nível da água, o que conseqüentemente também vai afetar a altura das ondas.

Tal como sugerem as Figura 5.5 e Figura 5.6, quanto maior a taxa de variação do nível médio do mar, maior vai ser o caudal galgado. Tal pode ser comprovado pelo comportamento exponencial visível ao longo dos anos onde se verificou a ocorrência de galgamentos.

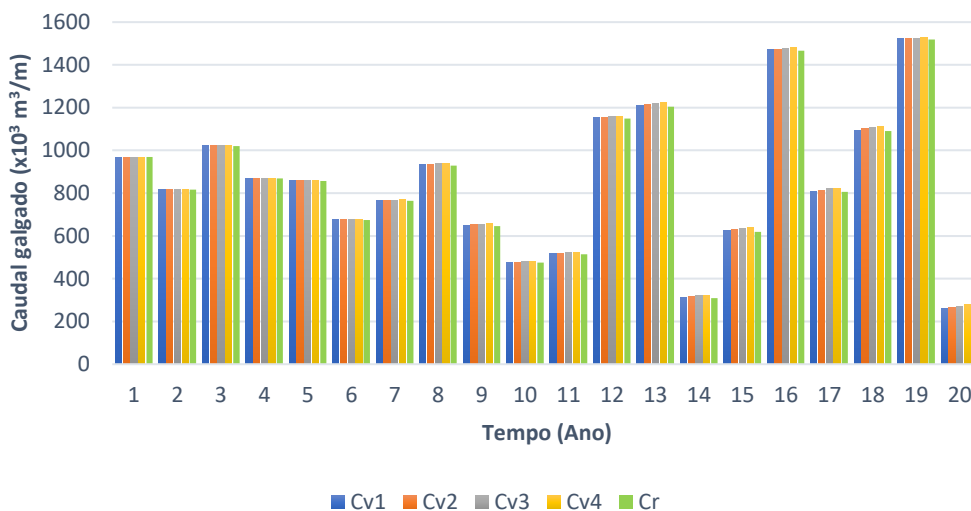


Figura 5.5- Galgamento em função da taxa de variação do nível médio do mar, ao longo de 20 anos, considerando ondas ao largo.

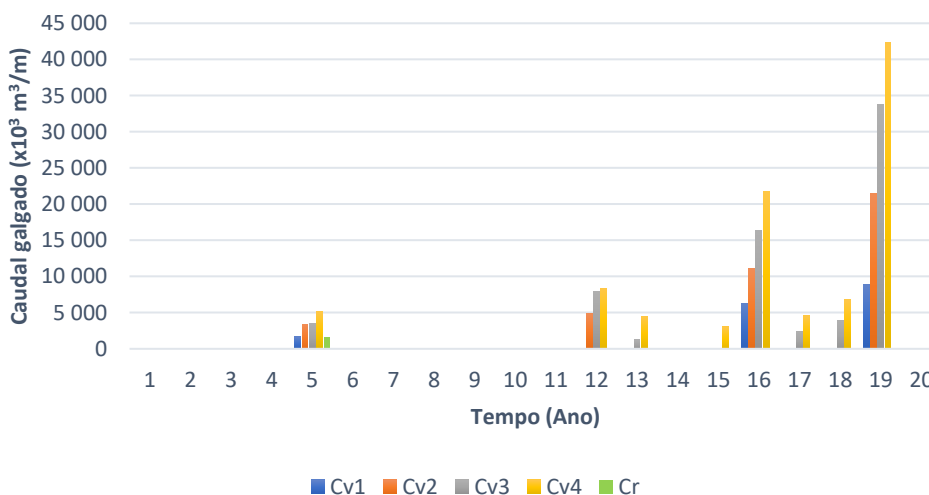


Figura 5.6- Galgamento em função da taxa de variação do nível médio do mar, ao longo de 20 anos, considerando ondas propagadas.

Ao analisar a Figura 5.7, percebe-se que os cenários de comparação (Cv1, Cv2, Cv3, Cv4) estão praticamente sobrepostos, pois os galgamentos pouco diferem em função das diferentes taxas

de subida do nível do mar adotadas, ao fim de 20 anos de análise. Os custos de 1º investimento e de manutenção tomam o mesmo valor para todos os cenários analisados. Ressalva-se que o custo de 1º investimento foi $1366 \times 10^3 \text{€}$, uma vez que se adotou a mesma metodologia face a análise da subida do nível médio do mar.

Comparando o cenário de referência (Cr) com os restantes, verifica-se que este apresenta um menor custo associado. Isto permite concluir que para maiores taxas de variação do nível médio do mar, prevê-se maiores custos associados.

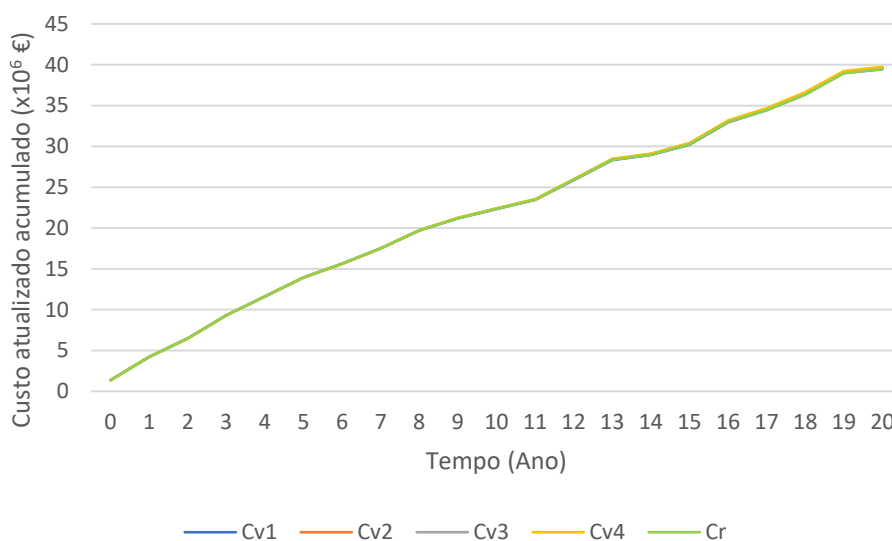


Figura 5.7- Custo de galgamentos, em função da taxa de variação do nível médio do mar, considerando ondas ao largo.

Já na análise do custo para as ondas propagadas (Figura 5.8), apesar de ter o mesmo comportamento evolutivo entre cenários, verifica-se uma diferença quantitativa significativa entre eles. O cenário que possui uma maior taxa de variação do nível médio do mar (Cv4) é o que apresenta maior custo ($180 \times 10^6 \text{€}$). Por outro lado, comparativamente ao Cr, o cenário com menor variação, apresenta menor custo ($38 \times 10^6 \text{€}$).

O Cr possui um custo extremamente baixo, por comparação com os restantes cenários, uma vez que não houve qualquer registo de galgamentos, e apenas foram considerados os custos de 1ª intervenção e de manutenção.

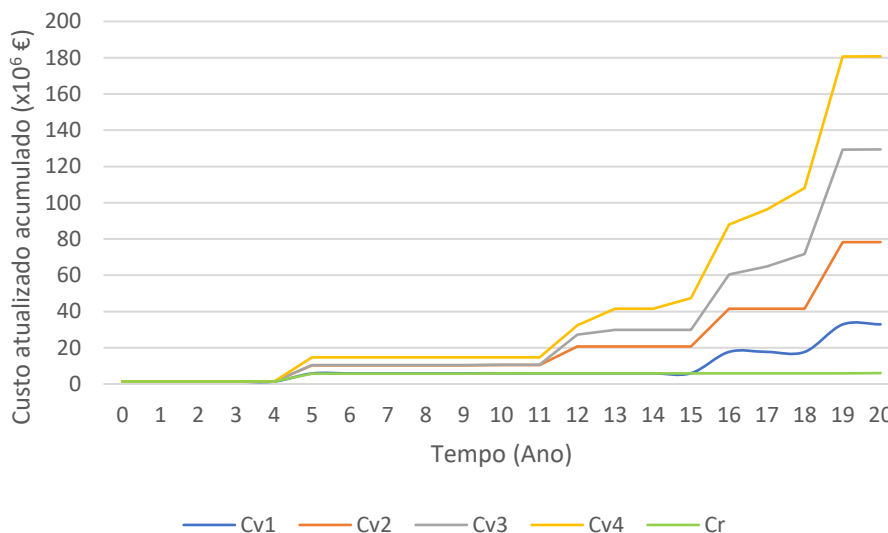


Figura 5.8- Custo de galgamentos, em função da taxa de variação do nível médio do mar, considerando ondas propagadas.

Fazendo uma análise geral de ambas as representações gráficas relativas ao custo, torna-se perceptível a importância do cenário de agitação a considerar, ao longo o localmente. Este fator possui maior influência nos registos de ocorrência nas ondas propagadas comparativamente às ondas *offshore*, traduzindo-se em maiores volumes de água galgada e, conseqüentemente maiores custos associados. Os valores máximos de custo ao considerar-se ondas *offshore* é de $40 \times 10^6 \text{€}$, já para as ondas propagadas atingiu-se um custo de $180 \times 10^6 \text{€}$.

5.3. Caracterização da estrutura

5.3.1. Cota de coroamento

As características das ondas incidentes (*offshore*, propagadas e rebentadas) não possuem qualquer alteração em função de mudanças na cota de coroamento da estrutura.

Dado que a análise dos diferentes cenários de cota de coroamento, sustenta na comparação com o cenário de referência, apenas se encontra representado na Figura 5.9 a análise das ondas *offshore*. Tal deve-se ao facto de não haver registo de ocorrência de galgamentos para as ondas propagadas e rebentadas.

Tendo por base o que anteriormente foi mencionado e os resultados apresentados na Figura 5.9, é possível concluir que o volume de água das ondas galgadas diminui com o aumento da cota

de coroamento. Tal seria de esperar, uma vez que o aumento da cota de coroamento traduz numa maior proteção costeira.

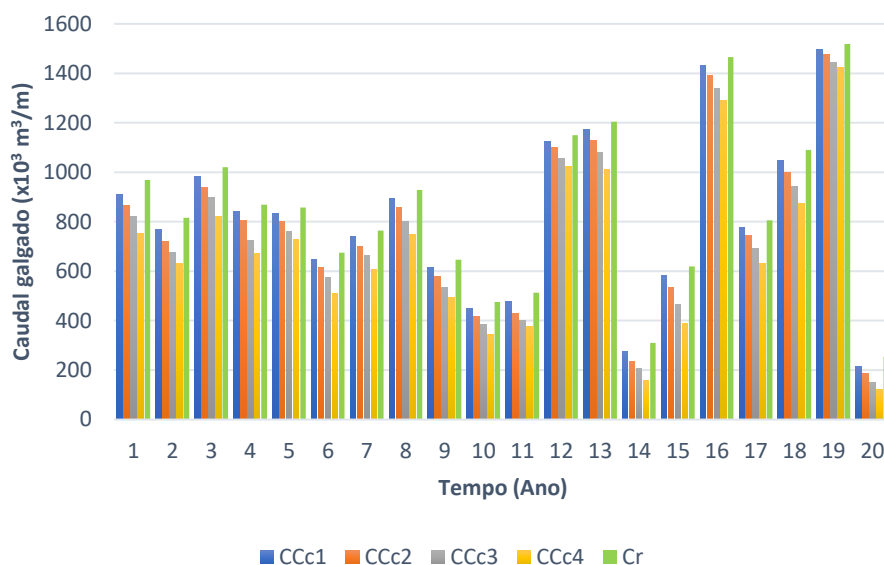


Figura 5.9- Galgamento em função da cota de coroamento, ao longo de 20 anos, considerando ondas ao largo.

Analisando a Figura 5.10, é visível que se está perante um crescimento dos custos praticamente linear em todos os cenários.

A análise de custo conjugada com a análise acima realizada, onde foi apresentada a variação do caudal galgado face à alteração da cota de coroamento, permite concluir que ao adotar-se uma cota de coroamento superior (CCc4), e apesar de lhe fazer associar um custo de 1ª intervenção superior, ao longo do tempo, é uma solução mais eficaz a nível de prevenção dos galgamentos e de custo associados.

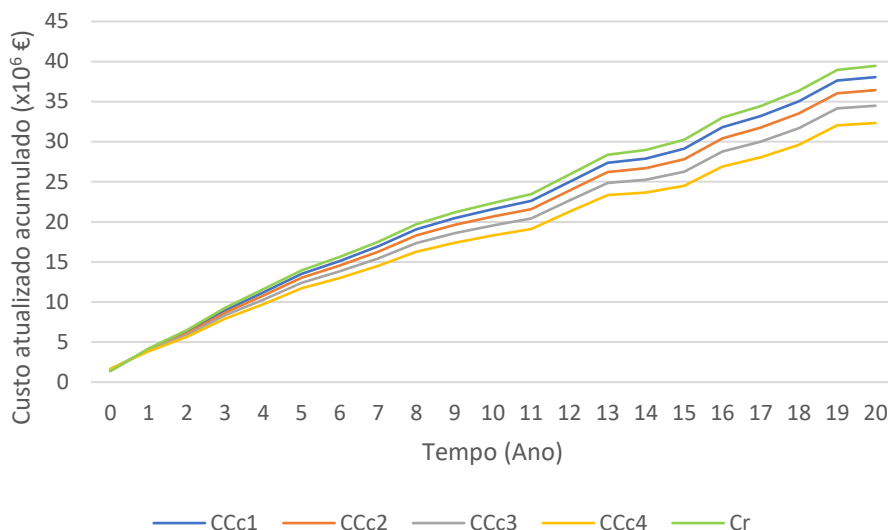


Figura 5.10- Custos de galgamentos, em função da cota de coroamento, considerando ondas ao largo.

5.3.2. Cota de fundo

Analisando de uma forma geral as Figuras 5.11 e 5.12, é perceptível que para maiores profundidades, isto é, com cotas de fundo mais baixas, dá-se um aumento da ocorrência de galgamentos. Esta análise é mais notória nas ondas propagadas, podendo ser comprovada através da comparação entre o cenário de referência (Cr) com o cenário 4 (CC_f4). No Cr apenas se verificou o registo de caudal galgado no ano 5, enquanto no CC_f4 apenas não houve qualquer registo em 3 dos 20 anos de análise. Para além disso, e comparando o CC_f4 com os restantes cenários (CC_f1, CC_f2 e CC_f3), quantificou-se um maior volume de água galgada.

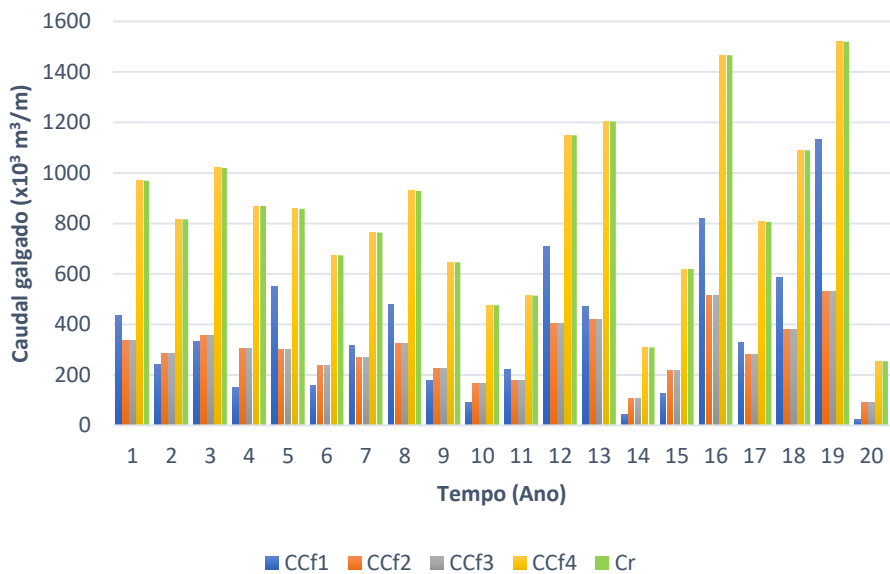


Figura 5.11- Galgamento em função da cota de fundo, ao longo de 20 anos, considerando ondas ao largo.

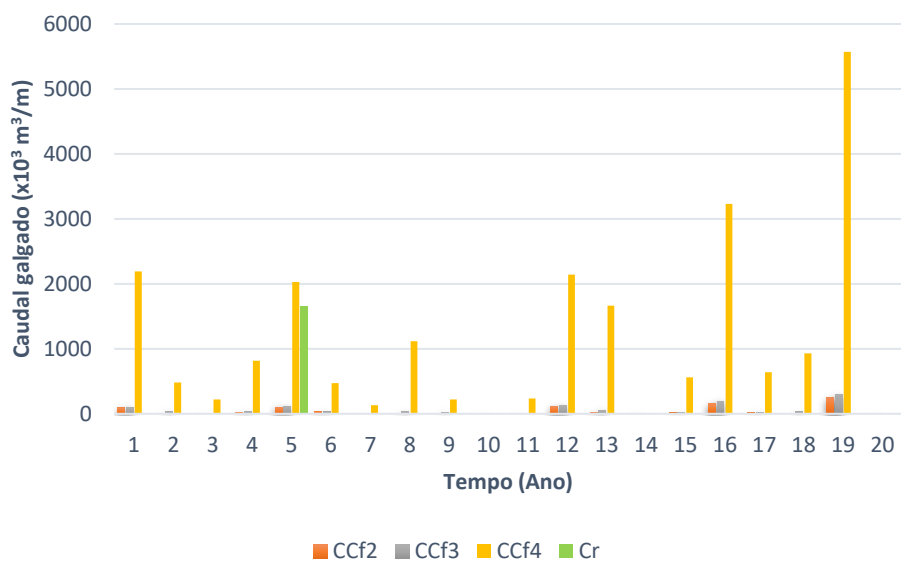


Figura 5.12- Galgamento em função da cota de fundo, ao longo de 20 anos, considerando ondas propagadas.

Para maiores números de ocorrências de galgamentos, verificam-se maiores volumes de água galgada, e conseqüentemente, maiores custos associados.

Na Figura 5.13, relativamente às ondas *offshore*, verificou-se que custo tende a aumentar progressivamente ao longo dos anos em todos os cenários, sendo que estes diferem bastante em termos quantitativos. Os cenários Cr e C_{Cf4} apresentam o dobro do valor de custo comparando

com os restantes cenários. Já os cenários C_{Cf1} , C_{Cf2} e C_{Cf3} apresentam um comportamento relativamente similar a nível do custo. É de notar, e com base na Tabela 5.2, que apesar do C_{Cf1} apresentar um custo de 1ª intervenção mais baixo, ao fim dos 20 anos acaba por ter um custo total superior. Já o C_{Cf1} , até ao ano 5 apresenta menor custo, no entanto, ao fim dos 20 anos este possui maior custo que os cenários C_{Cf2} e C_{Cf3} .

Tabela 5.2- Valor de 1º investimento face aos cenários analisados.

	Cenários				
	C_{Cf1}	Cr	C_{Cf2}	C_{Cf3}	C_{Cf4}
Cota de fundo (m)	+1.5	1	-0.5	-1	-1.5
1º Investimento (x10³€)	1290	1366	1594	1670	1746

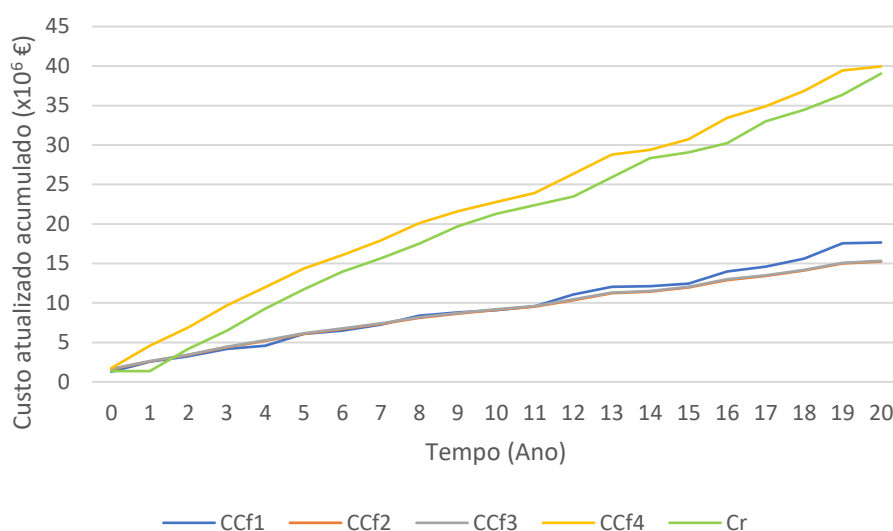


Figura 5.13- Custos de galgamentos, em função da cota de fundo, considerando ondas ao largo.

Relativamente às ondas propagadas, pode-se dizer que o comportamento evolutivo do custo difere conforme o cenário em análise, assim como o valor do custo obtido, como é visível na Figura 5.14. Este comportamento é essencialmente evidenciado no cenário C_{Cf4} quando comparado com os restantes, sendo que este possui um custo cerca de 10 vezes superior ao do Cr. Face à representação gráfica, o cenário C_{Cf4} apresenta um crescimento aproximadamente linear enquanto os cenários C_{Cf1} , C_{Cf2} e C_{Cf3} apresentam um custo praticamente constante ao longo dos 20 anos. Isto indica que, no C_{Cf4} foram contabilizados os 3 tipos de custos, já nos restantes cenários testados o custo de galgamento não teve impacto, prevalecendo então os custos de 1º intervenção e de manutenção. O peso destes dois tipos de custo é comprovado nos cenários C_{Cf1} e C_{Cf2} que apresentam valores relativamente baixos em comparação com os

restantes cenários. Esta análise ressalva o impacto acrescido que os custos de galgamentos possuem em comparação com o de 1ª intervenção e de manutenção.

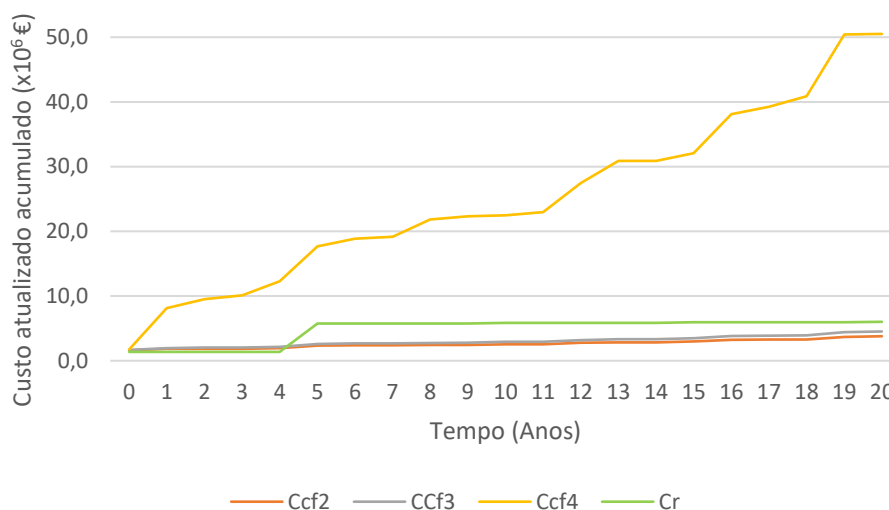


Figura 5.14- Custos de galgamentos, em função da cota de fundo, considerando ondas propagadas.

5.3.3. Inclinação do talude

Com base nos gráficos apresentados nas Figura 5.15 e 5.16 é possível constatar que a inclinação do talude é uma das propriedades da caracterização da estrutura que possui grande impacto no fenómeno de galgamentos. Para inclinações superiores à adotada no cenário de referência (Ci3 e Ci4) verificou-se um aumento do volume de água galgado. Já para inclinações inferiores (cenários Ci1 e Ci2) verificou-se um decréscimo acentuado do caudal galgado.

Esta análise gráfica permite concluir que a implementação de taludes com inclinações suaves contribui para a diminuição do registo de galgamentos costeiros. Tal é justificado, dada a proporcionalidade direta que este parâmetro possui face à altura máxima de espraiamento ($R_{m\acute{a}x}$) e ao número de *Iribarren* (ξ). Por sua vez, a diminuição do fator ξ indica que se está perante declives menos acentuados, contribuindo assim para um tipo de rebentação progressiva.

Em termos conclusivos, inclinações ligeiras são mais propícias para a prevenção de galgamentos costeiro dado que se consegue ter um maior controle face ao tipo de rebentação.

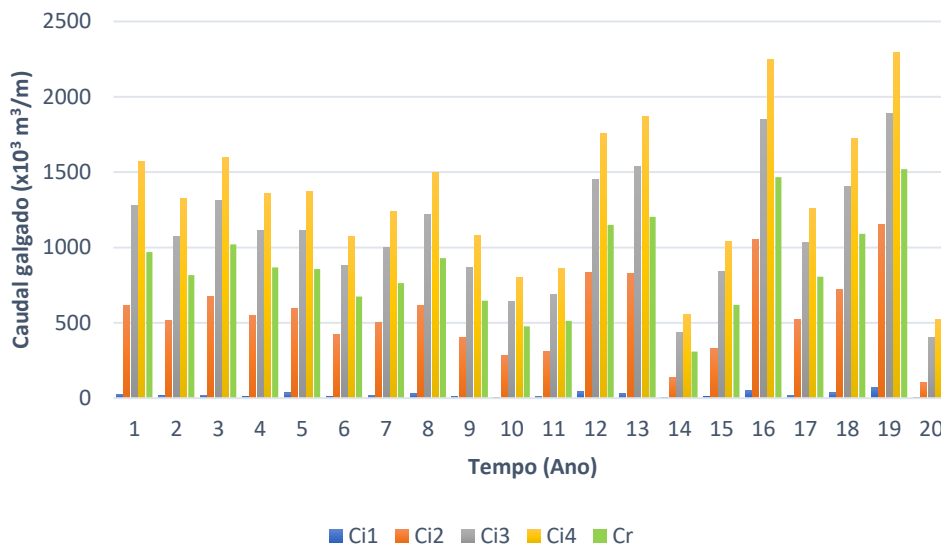


Figura 5.15- Galgamento em função da inclinação do talude, ao longo de 20 anos, considerando ondas ao largo.

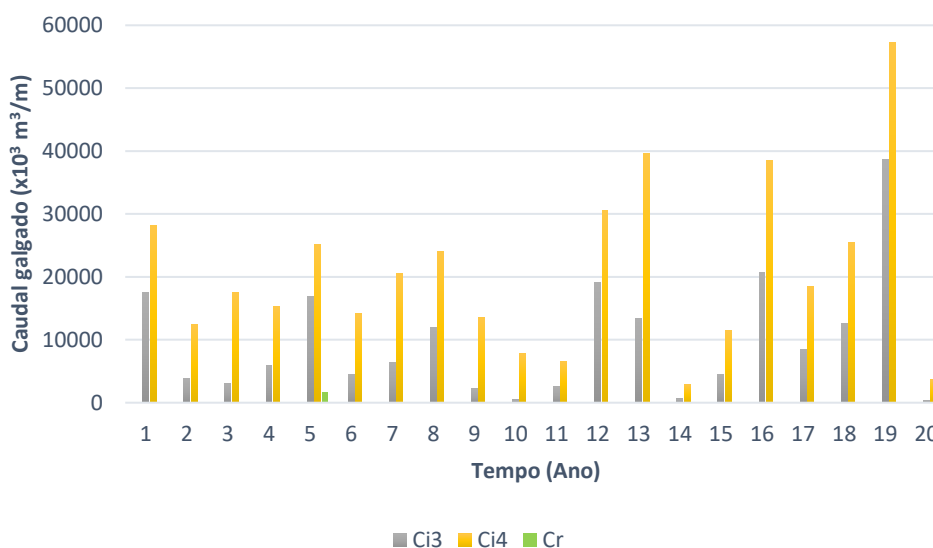


Figura 5.16- Galgamento em função da inclinação do talude, ao longo de 20 anos, considerando ondas propagadas.

Relativamente ao desenvolvimento progressivo do custo total face a alteração da inclinação do talude, considerando ondas ao largo (Figura 5.17) e ondas propagadas (Figura 5.18), este dá-se de forma linear.

Com base na Figura 5.17, é perceptível que o cenário que apresenta um maior benefício em termos de custos é o Ci1, cuja inclinação testada foi de 20°. Por outro lado, para inclinações superiores à adotada no cenário de referência ($Cr=30^\circ$), maiores custos se associam. Tendo

como referência o cenário Cr, o custo total atualizado acumulado varia cerca de $40 \times 10^6 \text{€}$ face ao cenário mais favorável ($C_i1=20^\circ$) e $30 \times 10^6 \text{€}$ relativamente ao mais desfavorável ($C_i4=40^\circ$).

Ressalva-se também que o custo de 1º investimento, apesar de ter impacto a curto prazo, em nada interfere a longo prazo. Tal é sustentado pelo comportamento do C_i2 que, apesar de ser o cenário com maior custo de 1ª intervenção, não é o que apresenta maior custo ao fim dos 20 anos.

Comparando as Figuras 5.19 e 5.20, verificou-se que a inclinação do talude possui maior impacto para as ondas propagadas, cujo custo total máximo atingido ronda ao $900 \times 10^6 \text{€}$, enquanto nas ondas *offshore* ronda os $63 \times 10^6 \text{€}$.

Com base no que anteriormente foi concluído, destaca-se a importância em averiguar cada tipo de solução, de forma a escolher-se sempre a mais benéfica, primeiramente a nível de prevenção e, conseqüentemente, a nível económico.

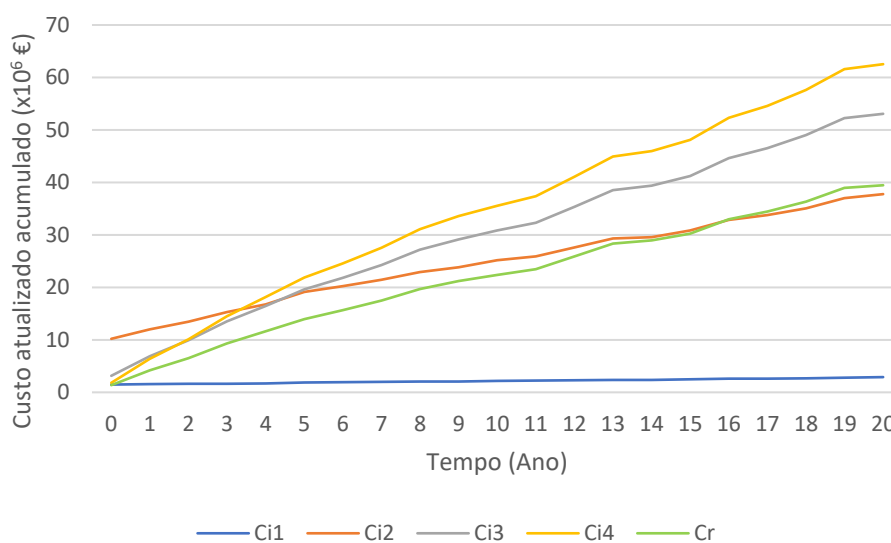


Figura 5.17- Custos de galgamentos, em função da inclinação do talude, considerando ondas ao largo.

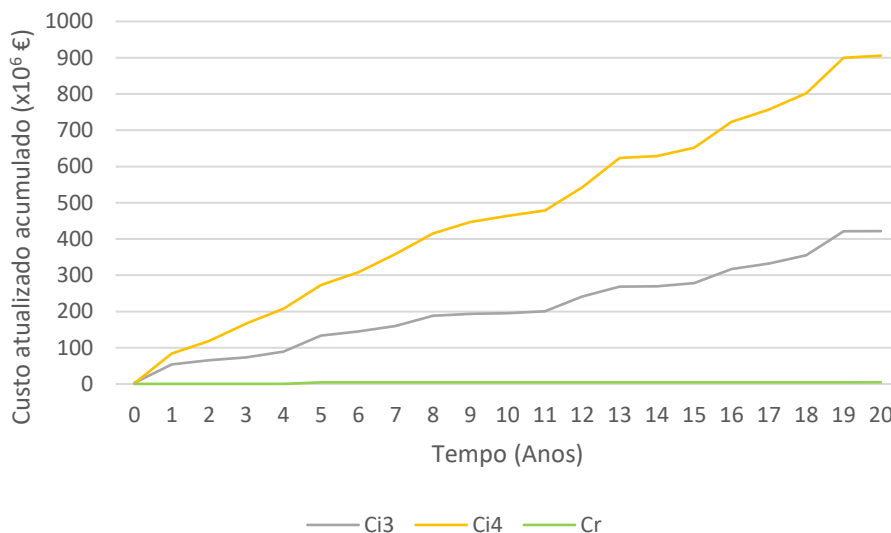


Figura 5.18- Custos de galgamentos, em função da inclinação do talude, considerando ondas propagadas.

5.3.4. Largura de coroamento da estrutura

A largura de coroamento da estrutura de defesa não possui impacto na fase de verificação de galgamento, ou seja, o registo de ocorrência de galgamentos manteve-se constante perante os diferentes cenários e igual ao adotado no cenário de referência. Assim sendo, não influencia diretamente no registo da ocorrência de galgamentos, mas sim na quantidade de água que ultrapassa a estrutura, como visível nas Figuras 5.19 e 5.20.

No processo de quantificação do volume galgado (Tabela 2.2), este parâmetro é inversamente proporcional ao volume de água galgada, ou seja, o aumento de G_c resulta na diminuição do volume galgado.

Comprando os cenários C_{Gc1} , C_{Gc2} , C_{Gc3} , C_{Gc4} , e tendo em consideração o aumento sequencial da largura de coroamento da estrutura, é notório que este aumento resulta numa diminuição do caudal galgado, proveniente da redução do registo de ocorrências.

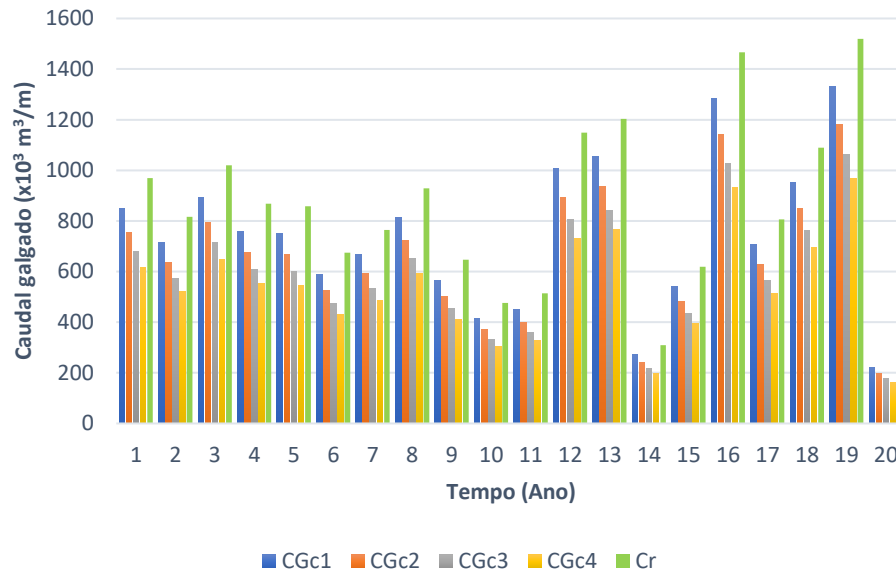


Figura 5.19- Galgamento em função da largura de coroamento, ao longo de 20 anos, considerando ondas ao largo.

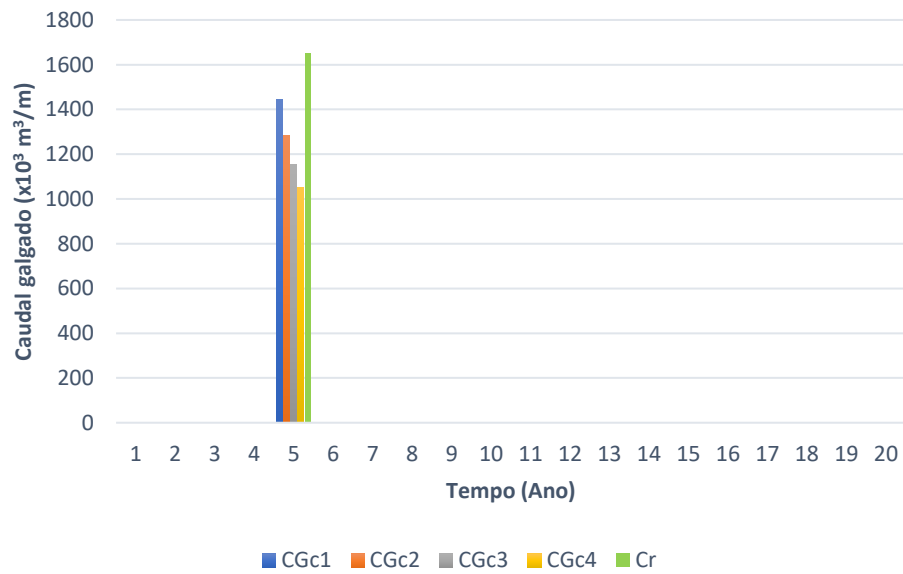


Figura 5.20- Galgamento em função da largura de coroamento, ao longo de 20 anos, considerando ondas propagadas.

5.4. Caracterização do custo

5.4.1. Custo de 1ª Intervenção

Analisando a Figura 5.21 e Figura 5.22, é possível concluir que o custo de 1º investimento influencia diretamente o custo, dada aos diferentes custos que se associam a cada cenário analisado. No entanto, o custo tem impacto apenas no ano 0, uma vez que se trata do custo inicial requerido para o ano de 1ª intervenção. Por outro lado, e dado que se considerou que o custo de manutenção é 10% do custo de 1ª intervenção, é de esperar que para diferentes custos de 1º investimento, associam-se diferentes custos de manutenção. Os valores obtidos face a alteração do valor de 1º Investimento (custos de intervenção e de manutenção), encontram-se especificados na Tabela 5.3.

A longo prazo, e dado que se fez uma análise do custo total acumulado (CTA), verificou-se que o CTA aumentou em todos os cenários analisados, atingindo valores máximos entre 37×10^6 e 42×10^6 euros.

Tabela 5.3- Resultados obtidos face a alteração dos custos de 1ª intervenção.

Cenários	C _{pi1}	C _{pi2}	Cr	C _{pi3}	C _{pi4}
1º Investimento (€/m ³)	25	50	100	125	150
Custo 1ª Intervenção (x10 ³ €)	683	1025	1366	1708	2050
Custo Manutenção (x10 ³ €)	68	102	137	171	205

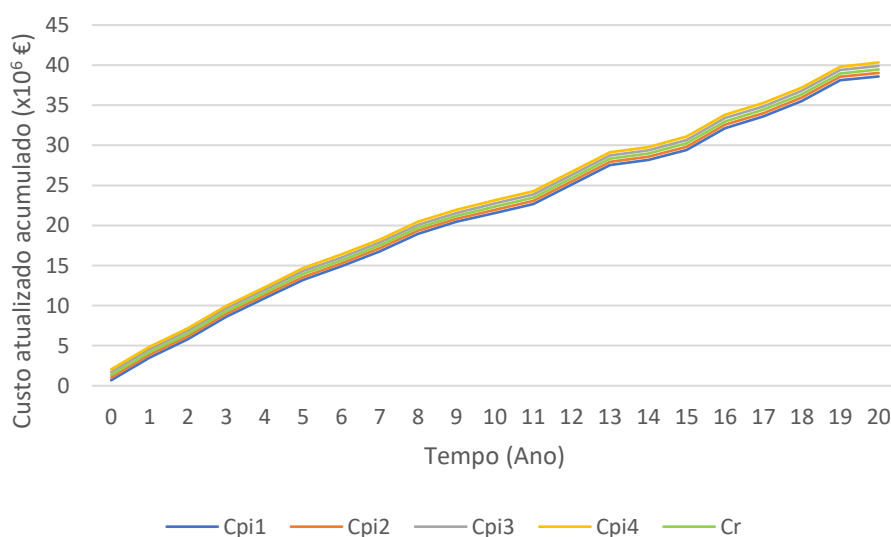


Figura 5.21- Custos de galgamentos, em função do primeiro investimento, considerando ondas ao largo.

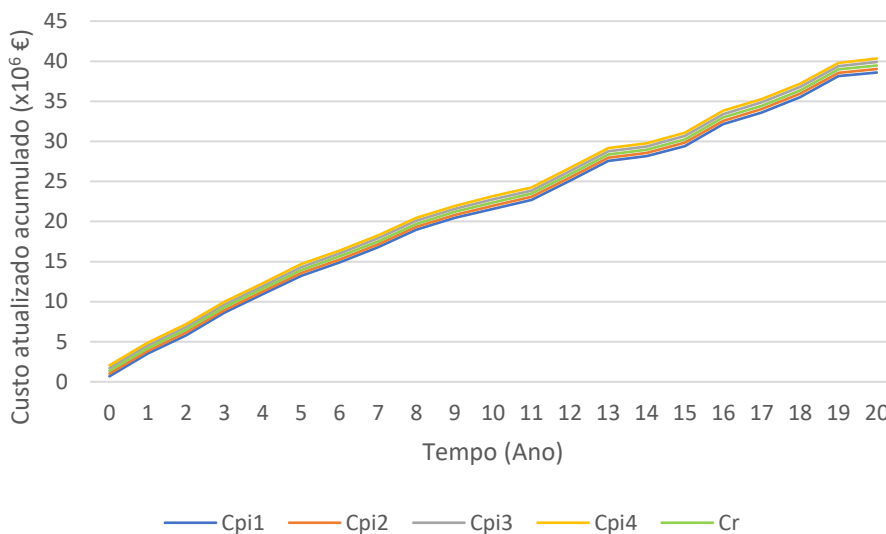


Figura 5.22- Custos de galgamentos, em função do primeiro investimento, considerando ondas propagadas.

5.4.2. Percentagem do valor de obra de manutenção

Como referido anteriormente, o custo da manutenção de uma obra depende do custo de 1º investimento. No entanto, a percentagem de custo de manutenção pode ser discutida. Na Tabela 5.4, apresentam-se os custos de manutenção obtidos para cada um dos cenários em análise.

Analisando a Figura 5.23 e Figura 5.24, onde é apresentada a evolução do CTA, verificou-se que o custo varia linearmente até ao ano de 1ª intervenção de manutenção (ano 5), uma vez que apenas foram considerados os custos de galgamento. A partir do 5º ano já foram contabilizados os custos de 1º investimento e de manutenção, permitindo assim evidenciar o diferente comportamento a nível do custo total acumulado entre cada um dos cenários analisados.

Tabela 5.4- Registo do custo de manutenção face os diferentes cenários.

Ano	Custo de manutenção (x10 ³ €)				
	C _{vm1}	Cr	C _{vm2}	C _{vm3}	C _{vm4}
	2.5 %	10%	25.0%	50.0%	75.0%
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	59	118	177	236	295
6	59	118	177	236	295
7	59	118	177	236	295
8	59	118	177	236	295
9	59	118	177	236	295
10	110	220	329	439	549
11	110	220	329	439	549
12	110	220	329	439	549
13	110	220	329	439	549
14	110	220	329	439	549
15	154	307	461	614	768
16	154	307	461	614	768
17	154	307	461	614	768
18	154	307	461	614	768
19	154	307	461	614	768
20	191	383	574	766	957

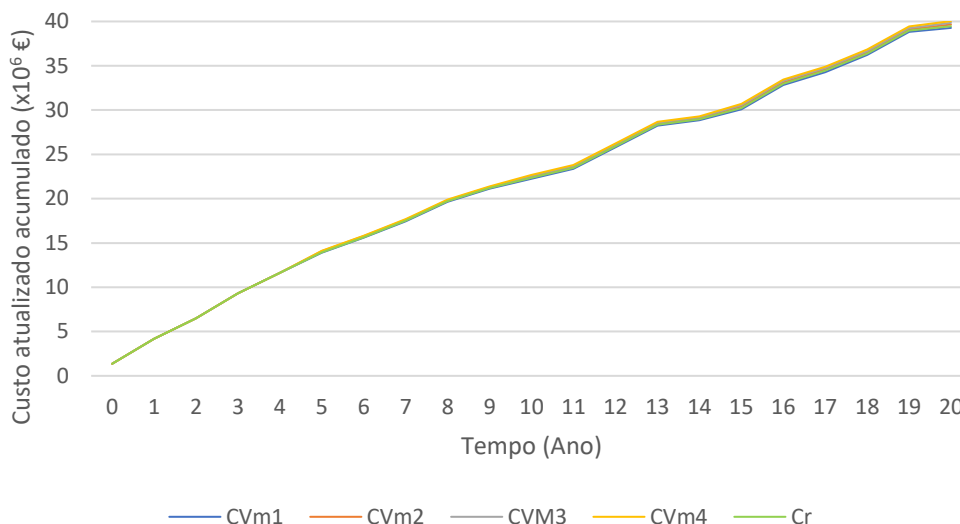


Figura 5.23- Custos de galgamentos, em função do valor percentual dotado para a manutenção, considerando ondas ao largo.

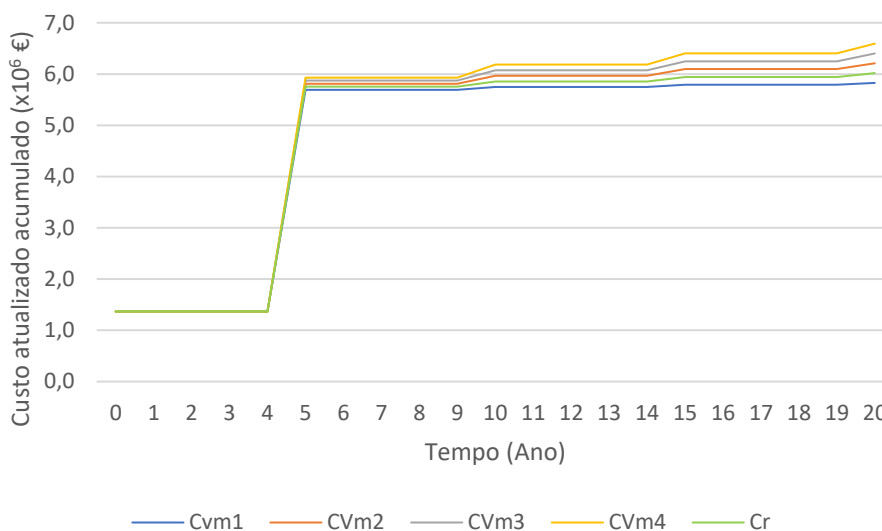


Figura 5.24- Custos de galgamentos, em função do valor percentual dotado para a manutenção, considerando ondas propagadas.

5.4.3. Frequência de manutenção

A frequência de manutenção afeta diretamente o custo total de operações de manutenção. É de esperar que, para um maior número de intervenções de manutenção de uma obra de defesa costeira, custos mais elevados se associam a curto prazo. Comparando os cenários Cf1 e Cf4, cujas manutenções foram realizadas de 2 em 2 e 9 em 9 anos, respetivamente, verificou-se que o cenário Cf1 era o que apresentava um custo de manutenção mais elevado, diferindo 7250€ face ao Cf4, como exposto na Tabela 5.5. No entanto, ao realizar-se intervenções de

manutenção de uma forma periódica, está-se a manter as características da estrutura de defesa costeira para qual foi dimensionada. Desta forma, está-se a contribuir para melhores condições de prevenção a longo prazo.

Note-se que, ao considera-se apenas a alteração da frequência de manutenção, os custos de galgamento e de 1º investimento são constantes para todos os cenários, sendo apenas os custos de manutenção a fazer variar diretamente o custo total atualizado. Assim sendo, e como é de esperar, aos cenários que se associam maiores frequências de manutenção são aqueles que vão apresentar um maior custo total associado.

Tabela 5.5- Custos de manutenção.

Ano	Custo de Manutenção (x10 ³ €)				
	Cf1 2 em 2 anos	Cf2 4 em 4anos	Cf3 7 em 7 anos	Cf4 9 em 9 anos	Cr 5 em 5 anos
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
2	129	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	250	121	0	0	0
5	250	121	0	0	118
6	365	121	0	0	118
7	365	121	111	0	118
8	472	229	111	0	118
9	472	229	111	105	118
10	574	229	111	105	220
11	574	229	111	105	220
12	670	325	111	105	220
13	670	325	111	105	220
14	760	325	201	105	220
15	760	325	201	105	307
16	845	410	201	105	307
17	845	410	201	105	307
18	926	410	201	185	307
19	926	410	201	185	307
20	1001	486	201	185	383
Somatório	10856	4830	2188	1497	3606

5.4.4. Taxa de desconto

Com base nas Figura 5.25 e Figura 5.26, verifica-se que o cenário menos benéfico é o C_{Td1} com uma taxa de desconto é 12%, enquanto o cenário mais benéfico é o C_{Td4} , cuja taxa de desconto é de 0%. Este comportamento foi verificado quer para as ondas *offshore*, quer para as ondas propagadas, diferindo em termos do custo total atualizado. Nas ondas *offshore*, o cenário C_{Td1} atingiu um custo de $52 \times 10^6 \text{€}$, enquanto o cenário C_{Td4} não ultrapassou os $21 \times 10^6 \text{€}$. Considerando as ondas propagadas, nos cenários C_{Td1} e C_{Td4} obteve-se um custo de $4 \times 10^6 \text{€}$ e 6×10^6 , respetivamente.

Esta análise permite concluir que ao adotar-se taxas de desconto com valor elevado, menor será o custo no tempo. Os menores valores de taxa de desconto sugerem maiores declive na representação gráfica, pelo que o impacto da taxa de desconto é mais significativo para os períodos a longo prazo.

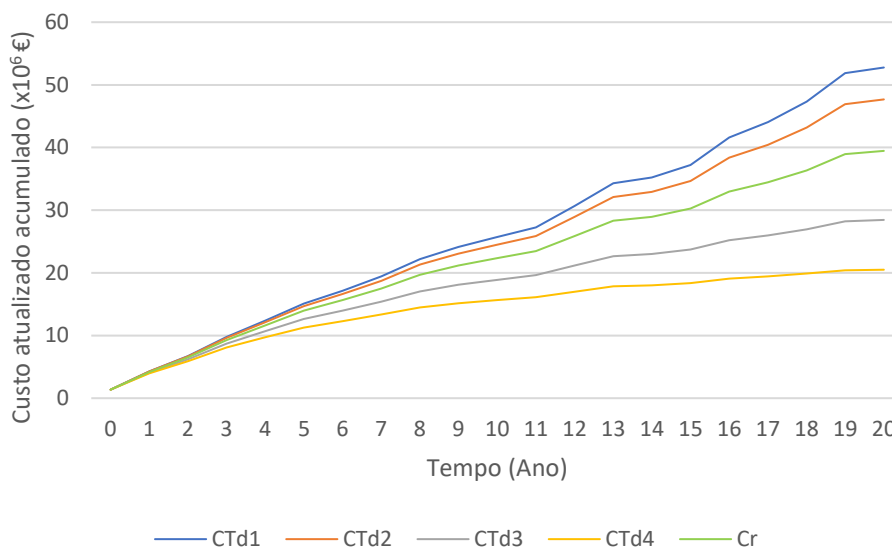


Figura 5.25- Custos de galgamentos, em função taxa de desconto, considerando ondas ao largo.

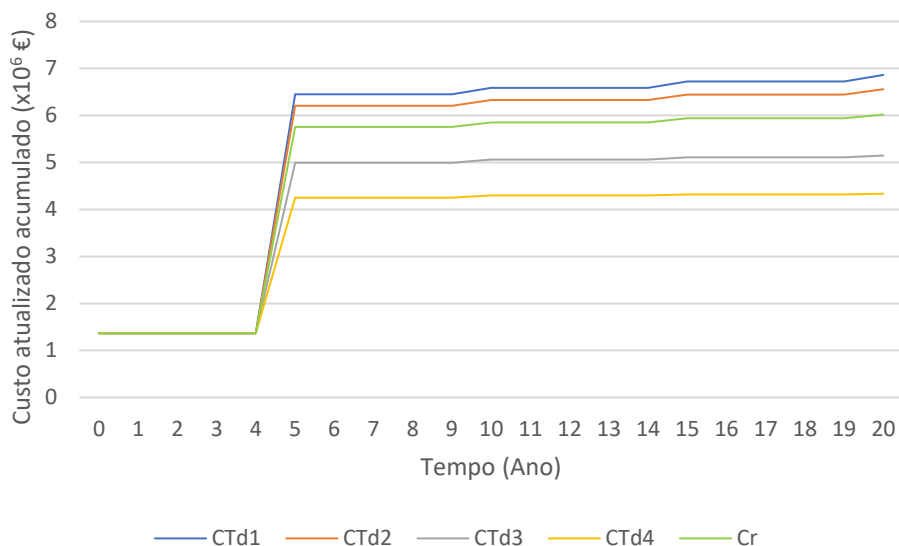


Figura 5.26- Custos de galgamentos, em função taxa de desconto, considerando ondas propagadas.

5.4.5. Custo de galgamento

Analisando as Figura 5.27 e 5.28 observa-se a evolução do custo acumulado associado a cada cenário considerando ondas *offshore* e propagadas, respetivamente. Relativamente às ondas ao largo, o custo varia de forma linear, diferindo apenas no declive da curva associada aos vários cenários analisados. Os cenários C_{Cg4} e C_{Cg3} apresentam declives mais acentuados do que os aos cenários C_{Cg1} , C_{Cg2} e Cr. Já nas ondas propagadas, verifica-se um comportamento constante ao longo do tempo, apenas apresentando uma subida abrupta no 5º ano proveniente do único registo de galgamento. No entanto, e apesar de não apresentarem um comportamento semelhante, verifica-se uma semelhança em termos da variação do custo total acumulado entre cenários ao fim dos 20 anos analisados.

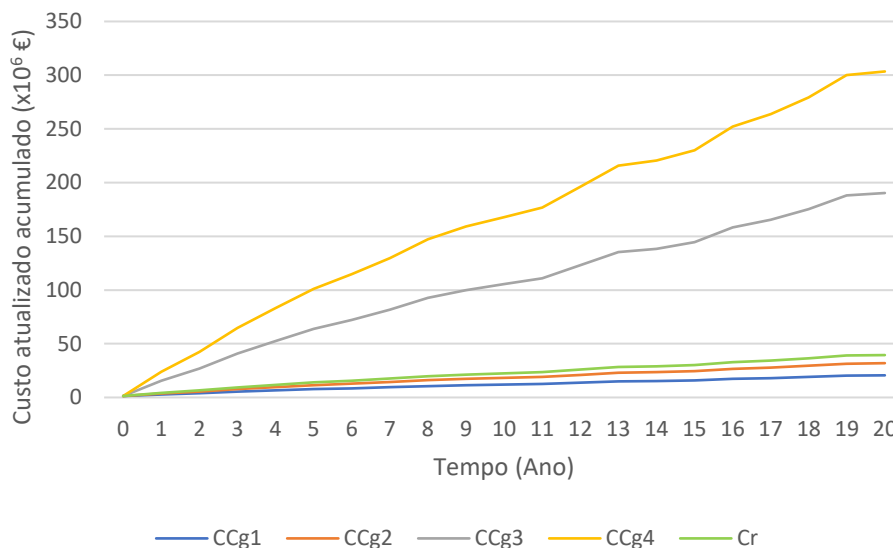


Figura 5.27- Custos de galgamentos, em função do custo unitário de galgamento, considerando ondas ao largo.

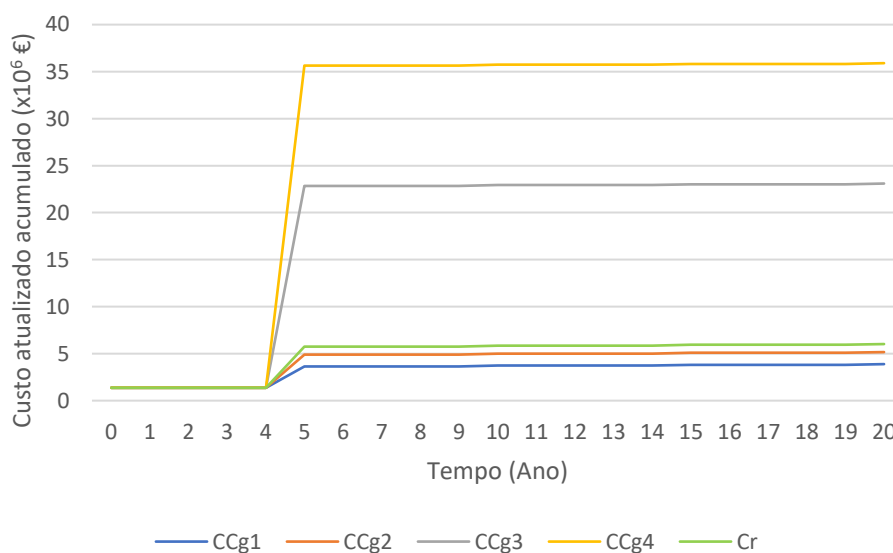


Figura 5.28- Custos de galgamentos, em função do custo unitário de galgamento, considerando ondas.

Capítulo 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Face ao agravamento de episódios de galgamentos costeiras sentidos nos últimos anos, é cada vez mais importante compreender o comportamento destes fenómenos e dos que deles advém, neste caso, as inundações costeiras. De forma a obter respostas face esta temática, procurou-se discutir diferentes estratégias de prevenção e mitigação a nível de defesa costeira, e a nível económico.

Nesta dissertação, pretendeu-se programar uma sequência de cálculos que permitisse quantificar o caudal galgado com base nos registos de ocorrência de galgamentos costeiros, bem como estimar os custos que se associam. De forma a avaliar a folha de cálculo desenvolvida e complementar a análise destes fenómenos, foram testadas tendências de comportamento dos diferentes parâmetros envolvidos, quer a nível da agitação marítima, quer a nível de intervenção estrutural para diferentes fenómenos de propagação das ondas. Relativamente à estimativa de custos, e dada à elevada incerteza que se associa a este tipo de análise, optou-se por efetuar análises de sensibilidade aos vários valores económicos, nomeadamente: custos de primeiro investimento, custos e frequência de manutenção, custos de galgamentos e taxa de desconto.

Este capítulo pretende sintetizar todo o trabalho desenvolvido ao longo desta dissertação, realçando as principais conclusões e projetar desenvolvimentos futuros.

6.1. Síntese e conclusões

A preocupação em minimizar a ocorrência de eventos de galgamentos e inundações costeiras e de salvaguardar as comunidades inseridas nas localidades costeiras têm ganho maior destaque. A implementação de medidas de mitigação que tragam benefícios a longo prazo face a possíveis ameaças futuras, é um problema cada vez mais recorrente e que tem vindo a ganhar maiores proporções. Deste modo, pretende-se realçar a adoção de medidas que permitam salvaguardar os interesses dos territórios e da orla costeira bem como evitar danos locais a curto prazo, tendo por base uma análise de custo *vs* benefício. Para isso, importa compreender os fenómenos de galgamentos e inundações costeiras, todos os conceitos e formulações interligados a estas temáticas. Com este propósito em mente, recorreu-se à revisão da bibliografia existente.

Dada à vasta literatura analisada relativamente à caracterização da ação da onda, quantificação do galgamento, desde logo se identificaram incertezas nos pressupostos de cálculo. Por outro lado, e desta vez devido à escassez de informação e especificidade de cada local, também se associam incertezas relativas à análise dos custos associados à ocorrência de inundações costeiras.

As incertezas em torno da caracterização da ação da onda, mais concretamente na propagação da onda incidente sobre as estruturas de defesa costeira, foram confirmadas de imediato. Ao adotar-se teorias simplificadas, como a teoria linear de *Airy* e a lei de *Snell* para caracterizar os fenómenos de refração e de empolamento, está a assumir-se uma série de suposições de cálculo que podem não traduzir com precisão o verdadeiro comportamento das ondas.

Relativamente ao processo de quantificação do galgamento, deparou-se com a existência de numerosas formulações que permitem avaliar o limite de espraio das ondas. O mesmo se verificou para a estimativa do caudal galgado. Desta forma, conclui-se que a avaliação destes fenómenos não corresponde a um procedimento matemático padrão. Assim sendo, e tendo por base o estudo realizado por Teixeira (2014) que consistiu na análise de cerca de 60 formulações para a estimativa do espraio das ondas, optou-se por adotar uma formulação empírica simplificada adequada a estruturas costeiras com mantos resistentes inclinados. Já no que diz respeito à determinação do caudal galgado, adotou-se a fórmula de Perderson (1996), uma vez que este método empírico é específico para estruturas de talude simples ou com berma.

Estabelecidas todas as formulações, programou-se uma folha de cálculo de Excel cujo objetivo consistiu em avaliar e determinar os parâmetros que englobam os conceitos de espraio, galgamentos e inundação costeiras e os custos que lhes estão associados. Uma vez realizada a sequência de cálculos, adotaram-se múltiplos cenários, de forma a explorar as várias funcionalidades para o qual o software Excel foi desenvolvido. Assim, antes de se proceder à simulação de qualquer cenário relativo aos agentes forçadores, à caracterização da estrutura da obra longitudinal aderente e aos fatores económicos, caracterizou-se uma situação de referência (Cr).

Relativamente à ação da onda, averiguou-se a influência do nível do mar (C_m) e da taxa de variação do nível médio do mar (C_v). Em relação à intervenção estrutural analisou-se a inclinação do talude (C_i), a cota de fundo (C_{cf}), a cota de coroamento (CC_c), a largura de coroamento (C_{Gc}). Face aos fatores económicos, estudou-se os efeitos provenientes da alteração

dos custos de primeira intervenção (C_{Pi}), dos custos de manutenção (C_{Vm}), da frequência de manutenção (C_{Fm}), da taxa de desconto (C_{Td}) e, por fim, dos custos de galgamento (C_g).

Fazendo uma análise geral dos agentes que caracterizam a ação da onda, conclui-se que quer o nível médio do mar quer a taxa de variação do mar contribuem em grande escala para a ocorrência de galgamentos costeiros. Atendendo às crescentes tendências climáticas que se projetam, e ao caráter irregular da agitação marítima que se tem vindo a sentir, projeta-se uma elevada taxa de aceleração da subida no nível médio do mar. Consequentemente, estas ações são vistas como um impulsionador da análise dos fenómenos de galgamentos costeiros, que representam um problema a nível ambiental, social e económico.

Contrariamente aos agentes forçadores, a caracterização da estrutura possibilita um maior controle na mitigação e prevenção de galgamentos costeiros. O parâmetro mais significativo na geometria da estrutura de uma obra de defesa costeira é a distância entre o nível médio do mar em repouso e a cota de coroamento. Assim, a adoção de estruturas com alturas de coroamento elevadas, é uma das soluções mais vantajosas para a minimização de danos causados pela ocorrência de galgamentos e inundações costeiras. Estas alternativas, no entanto, exigem mais recursos e mão-de-obra, traduzindo-se em maiores custos. Os projetos de construção em grande escala ocorrem por vezes em locais ambientalmente e visualmente sensíveis, o que certamente induz a perdas económicas devido, por exemplo, à uma diminuição na atratividade turística.

O aumento do valor dos parâmetros R_c e G_c incita a diminuição do caudal galgado. Pelo contrário, o aumento da inclinação do talude promove a maiores registos de ocorrência de galgamentos e, consequentemente maiores volumes de água galgadas e custos associados. Relativamente à intervenção estrutural, verificou-se que quanto menos inclinado for o talude, menor será a frequência de galgamentos. Em termos de custo e, apesar do custo de primeira intervenção no início do período analisado ser menor para estruturas de declive ligeiro, a longo prazo acarretam maiores custos.

Relativamente à cota de coroamento (R_c) e à largura da berma de coroamento (G_c), o aumento corresponde aumento destes parâmetros traduz-se em menores valores de caudal galgado e de custos associados. Quanto à análise económica realizada, verificou-se que a redução de qualquer parâmetro analisado no estudo de sensibilidade contribuía significativamente para a redução do custo total acumulado.

A eficácia do software depende fortemente da qualidade dos dados de entrada bem como de uma análise minuciosa face ao tipo de fenómenos de propagação considerado. Desta forma, o utilizador deve ser criterioso face aos resultados obtidos pelo uso da folha de cálculo, pois este pode ter de fazer ajustes na sua análise face ao comportamento real da propagação da onda.

A inexistência de uma programação abrangente da caracterização estrutural da obra longitudinal aderente, limita o uso da ferramenta realizada na sua totalidade, sendo designada somente para estruturas em talude simples. No entanto, no caso de se adotar uma geometria diferente, a ferramenta de cálculo apesar de impossibilitar o processo de quantificação de galgamento, permite estimar os custos, caso o utilizador tenha o registo dos caudais galgados.

Em termos de conclusão, é um desafio analisar e simular a interação onda-estrutura, dada há envolvimento de fenómenos variados e não lineares. No entanto, com este trabalho pretendeu-se facilitar o processo de análise de galgamentos costeiros perante as complexidades de todos os fatores que influenciam e contribuem para a ocorrência deste fenómeno.

6.2. Desenvolvimentos futuros

A fim de compreender e prever os fenómenos de galgamentos costeiros, torna-se cada vez mais importante aprofundar a investigação de medidas de mitigação da ocorrência deste fenómeno. Para isso, procurou-se discutir a viabilidade das propriedades que caracterizam a ação da onda, a ação estrutural das obras longitudinais aderentes e os custos. No entanto, neste trabalho não foram simuladas combinações de duas ou mais tipos de estratégias dentro de um único cenário; em vez disso, simplesmente foram testados cenários individuais dentro de cada tipo de estratégia. Assim, acredita-se que há uma margem significativa a explorar neste campo de estudo devido à variedade de cenários de intervenção que podem ser simulados nas zonas costeiras, enquanto no trabalho atual apenas foram simuladas as características de uma forma individual, quer a nível físico, quer a nível económico.

Relativamente ao processo de estimativa de custo, este foi feito com base noutras bibliografias e casos de estudo, associando-se logo à partida grandes incertezas. Para reduzir estas incertezas, deve-se procurar trabalhar com as organizações responsáveis pela gestão costeira para encontrar valores específicos e representativos dos custos de galgamento, de manutenção e de 1º

investimento. Dependendo dos tipos de abordagens, essa incerteza deve ser reduzida por meio do orçamento direto para produzir números mais precisos e realistas.

Em conclusão, este trabalho pretende contribuir para o estudo dos impactos de obras longitudinais aderentes e para a discussão sobre a eficácia destas estruturas como uma possível solução no combate aos galgamentos costeiros, apesar de elevada incerteza associada à complexidade de caracterização da agitação marítima e dos fenómenos hidrodinâmicos envolvidos na proteção das zonas costeiras. A redução do risco de galgamento é, portanto, um requisito fundamental para o projeto, gestão e adaptação de estruturas costeiras, particularmente porque a infraestrutura costeira existente é avaliada para as condições futuras.

Capítulo 7

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahrens, J.P., Bender, T. (1991). “Evaluating the performance of seawalls”. Proc. ICE Conference, Coastal Structures And Breakwaters, November 6-8, 1991, London, Thomas Telford Ltd, London, 1992, pp. 13-24.

Akram S. M. Soliman, B.Eng (Hons), M. S. (2003). “Numerical Study of Irregular Wave Overtopping and Overflow”. In numerical study of irregular wave overtopping and overflow (Vol. 1, Issue November). <https://doi.org/10.1061/9780872624382.023>. Thesis submitted to the University of Nottingham for the degree of Doctor of Philosophy.

Allsop, N. W. H., Bruce, T., Pearson, J., Franco, L., Burgon, J., ecob, C. (2004). Safety Under Wave Overtopping – How Overtopping Processes and Hazard are Viewed by the Public, Proc. 29º Int. Conf. Coastal Engng., 4263-4274, ASCE, Lisboa.

Almar, R. (2021). “Aceleração Do Risco de Galgamentos Costeiros à Escala Global: Revelando o Papel Das Ondas | Site Web IRD.” Retrieved January 12, 2022 (<https://pt.ird.fr/acceleracao-do-risco-de-galgamentos-costeiros-escala-global-revelando-o-papel-das-ondas>).

ANEPC. (2016). "Gestão Do Risco De Inundação". Documento De Apoio a Boas Práticas Plataforma Nacional.

Bravo, A. A. (2012). “Comparação de Duas Ferramentas de Cálculo Do Galgamento Baseadas Na Análise de Redes Neurais”. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

Brito, S. (2007). “Estudo Do Galgamento Em Estruturas Marítimas.” Dissertação de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa.

Cruz, T., Pereira, C., Coelho, C. e Roebeling, P. (2015). “Desempenho de Obras Longitudinais Aderentes No Concelho de Ovar, Portugal.” VIII Congresso Sobre Planeamento e Gestão Das Zonas Costeiras Dos Países de Expressão Portuguesa 1–15.

Didier, E. e Neves, M. (2010). “Modelação Numerica Do Galgamento De Uma Estrutura Costeira Impermeavel Usando Um Modelo Lagrangiano.” 10º Congresso Da Água.

EuroTop. (2018). Manual on Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures. An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application”. Van der Meer, J.W., Allsop, N.W.H., Bruce, T., De Rouck, J., Kortenhaus, A., Pullen, T., Schüttrumpf, H., Troch, P. e Zanuttigh, B.

Ferreira, M., Fernández-fernández,S., Coelho, C. e Silva,P. (2021). “Caracterização de tempestades e da deriva litoral no litoral de aveiro, em cenários de alterações climáticas.” 5:1–4.

Flourentzou, F., Brandt,E. e Wetzel.C. (2000). “MEDIC - a Method for Predicting Residual Service Life and Refurbishment Investment Budgets.” *Energy and Buildings* 31(2):167–70. doi: 10.1016/S0378-7788(99)00031-6.

Fortes, C.J., Reis, M., Poseiro,P., Capitão.R., Sabino, A., Rodrigues,M., Raposeiro,P., Ferreira, J., Silva,C. e Simões, A. (2013). “O Projeto HIDRALERTA-Sistema de Previsão e Alerta de Inundações Em Zonas Costeiras e Portuárias.” *Proceedings of the 8as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária (In Portuguese)* pp.1–75.

JICZM. (2021). *Journal of Integrated Coastal Zone Management*. Consultado em dezembro de 2021

Jesus, A. (2021). “Espriamento, Galgamento e Inundação Costeira: Passado e Futuro No Concelho de Ovar.” *Dissertação de Mestrado,Unversidade de Aveiro, Aveiro.*

Lima, M. (2018). “Ferramenta Numérica de Análise Do Impacto de Intervenções de Defesa Costeira Na Evolução Da Linha de Costa: Custos e Benefícios.” *Dissertação de Mestrado, Unversidade de Aveiro, Aveiro.*

Neves, D.R., Santos, J., Reis,M., Fortes,C., Simões, A., Azevedo,E. e Rodrigues, M. (2012). “Metodologia de Avaliação Do Risco Associado Ao Galgamento de Estruturas Marítimas. Aplicação Ao Porto e à Baía Da Praia Da Vitória, Açores, Portugal.” *Revista de Gestão Costeira Integrada* 12(3):291–312. doi: 10.5894/rgci322.

PAPVL. (2012). “Plano de Ação de Proteção e Valorização do Litoral 2012-2015”;Recursos hídricos, APA (Agência Portuguesa do Ambiente) e MAMAOT (Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território), p.98.

Perdiz, L.P. (2020). “Galgamentos costeiros na costa ocidental portuguesa análise do risco em três casos de estudo.” Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra.

Pombo, R. (2016). “Inundações Costeiras: Caudais de Galgamento e Consequências Associadas.” Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro.

Pullen, T., Allsop, N., Bruce, T., Kortenhuis, A., Schüttrumpf, H., Van der Meer, J. (2007). EurOtop Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual; Expertise Netwerk Waterkeren, Netherlands, p.93.

Ramos, C. (2013). “Perigos naturais devidos a causas meteorológicas: o caso das cheias e inundações”, e-LP Engineering and Technology Journal, vol. 4.6 p

Rodrigues, E.J. (2011). “Galgamento de Estruturas Marítimas.” Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Setúbal.

Roebelin, P., Rocha, J., Coelho.C, Alves, F. e Vizinho, A. (2015). “Cost-Benefit Analysis of Coastal Erosion Adaptation Pathways along the Barra-Vagueira Coastal Stretch.” 308337(308337): pp. 1–19.

Silva, E., Santos,J.A. e Reis, M.T. (2011). “Porto Da Praia Da Vitória. Estimaiva Dos Galgamentos Da Proteção Marginal Da Baía.” 7as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária pp.1–20.

Silva, P. (2019). “Cálculo de Galgamento Em Estruturas Marginais. O Caso de Cova Gala.”, Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa.

Soliman Akram S. M. e B.Eng (Hons), M.Sc. (2003). “Numerical Study of Irregular Wave Overtopping and Overflow.”

Teixeira, N. (2014). “Estudo Do Limite de Espraimento Das Ondas.”, Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro.

USACE. (2003). Coastal Engineering Manual. Coastal and Hydraulics Laboratory, U.S. Army Corps of Engineers Research and Development Center, Vicksburg, Mississippi (USA).

Van der Meer, J., Janssen, W. (1995). “Wave Run-Up and Wave Overtopping at Dikes”; Wave Forces on Inclined and Vertical Wall Structures; Kobayashi e Demirbilek (Eds.), American Society of Civil Engineers, pp. 1-27 (citado por Burcharth e Hughes, 2011).

Zerbe, R.O. e Dively, D.D. (1994). Benefit-Cost Analysis in Theory and Practice. Harper Collins College Publishers, New York, USA. ISBN: 9780673180667 (citado em Cruz, 2015, Coelho *et al.*, 2016 e Lima, 2018).