



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO E VIABILIDADE DE UM QUEBRA-MAR DESTACADO MULTIFUNCIONAL EM FRENTE À PRAIA DA VAGUEIRA

**(T4) Análise custo-benefício da melhor solução técnica
e conjunto de soluções alternativas – Relatório 11**

RELATÓRIO CONJUNTO 345/2021 – DHA/NEC

Trabalho realizado com:



universidade de aveiro



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO E VIABILIDADE DE UM QUEBRA-MAR DESTACADO MULTIFUNCIONAL EM FRENTE À PRAIA DA VAGUEIRA

**(T4) Análise custo-benefício da melhor solução técnica
e conjunto de soluções alternativas – Relatório 11**

Agência Portuguesa do Ambiente, I.P.

Lisboa • outubro 2021

I&D HIDRÁULICA E AMBIENTE

RELATÓRIO CONJUNTO 345/2021 – DHA/NEC

Cofinanciado por:



Trabalho realizado por:



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



universidade de aveiro



TÉCNICO
LISBOA

Título

ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO E VIABILIDADE DE UM QUEBRA-MAR DESTACADO MULTIFUNCIONAL EM FRENTE À PRAIA DA VAGUEIRA

(T4) Análise custo-benefício da melhor solução técnica e conjunto de soluções alternativas – Relatório 11

Autoria

UAVEIRO – UNIVERSIDADE DE AVEIRO

Rita Novo Pombo

Estudante de Doutoramento, Departamento de Engenharia Civil

Peter Cornelis Roebeling

Professor Auxiliar, Departamento de Ambiente e Ordenamento

Carlos Daniel Borges Coelho

Professor Auxiliar com Agregação, Departamento de Engenharia Civil

LNEC – DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE

Francisco Sancho

Investigador Auxiliar, Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras

Copyright © LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, I. P.

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA

e-mail: lnec@lnec.pt

www.lnec.pt

Relatório 345/2021

Proc. 0604/1201/21221

ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO E VIABILIDADE DE UM QUEBRA-MAR DESTACADO MULTIFUNCIONAL EM FRENTE À PRAIA DA VAGUEIRA

(T4) Análise custo-benefício da melhor solução técnica e conjunto de soluções alternativas – Relatório 11

Resumo

No âmbito do contrato de prestação de serviços para o “Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à praia da Vagueira”, determina-se a viabilidade económica de 4 alternativas para a construção de um quebra-mar destacado (QMD) na praia da Vagueira. As opções selecionadas variam no comprimento da estrutura (c) e na distância à linha de costa (d), numa combinação de 4 cenários designados c200d200, c300d400, c350d400 e c350d580. Os resultados mostram que a construção do QMD poderá vir a constituir um impacto positivo na zona urbana da praia da Vagueira, com relevantes benefícios económicos. Demonstra-se também que, para todas as configurações estudadas, os maiores benefícios concentram-se na praia da Vagueira, como desejável, enquanto as áreas vizinhas ressentem o défice sedimentar. Conclui-se que o cenário c200d200 apresenta uma solução viável relativamente pouco dispendiosa, mas também com benefícios relativamente baixos. O cenário c300d400 apresenta uma solução alternativa potencialmente viável, com maiores custos, mas também com benefícios mais acentuados.

Palavras-chave: Proteção costeira / Uso do solo / Valor do território / Viabilidade económica

CHARACTERIZATION AND FEASIBILITY STUDY OF A MULTIFUNCTIONAL DETACHED BREAKWATER IN FRONT OF VAGUEIRA BEACH

(T4) Cost-benefit analysis of the best technical and alternative solutions – Report 11

Abstract

Within the scope of the “Study of the characterization and feasibility of a detached multi-functional breakwater in front of Vagueira beach”, the economic viability of 4 alternatives for the construction of a detached breakwater in Vagueira beach is determined. The selected options vary in terms of the breakwater length (c) and distance to the coastline (d), in a combination of 4 scenarios designated by c200d200, c300d400, c350d400 e c350d580. Results show that the breakwater may have a positive impact on the urban area of Vagueira beach, with relevant economic benefits. For all configurations the largest benefits occur in Vagueira beach, as desired, while the neighbouring areas experience the effects of sediment deficit. It is concluded that scenario c200d200 represents a viable and relatively cheap solution, albeit with relatively low benefits. Scenario c300d400 is a possibly viable solution, with higher costs but, also, larger benefits.

Keywords: Coastal protection / Land use / Territory value / Economic viability

Índice

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Introdução | 1 |
| | 1.1 Objeto do estudo e do relatório..... | 1 |
| | 1.2 Organização do relatório..... | 2 |
| 2 | Metodologia..... | 3 |
| 3 | Descrição do caso de estudo..... | 5 |
| 4 | Mapeamento do uso do solo..... | 9 |
| | 4.1 Risco de erosão costeira | 9 |
| | 4.2 Risco de inundação costeira..... | 17 |
| 5 | Valoração das classes de uso e ocupação do solo | 25 |
| 6 | Determinação dos benefícios económicos do QMD | 29 |
| | 6.1 Mitigação do risco de erosão costeira | 29 |
| | 6.2 Mitigação do risco de inundação costeira..... | 33 |
| | 6.3 Benefícios totais..... | 40 |
| 7 | Determinação dos custos do QMD | 43 |
| 8 | Estudo de viabilidade económica..... | 48 |
| | 8.1 Análise custo-benefício..... | 48 |
| | 8.2 Análise de sensibilidade às variáveis económicas | 50 |
| 9 | Conclusões..... | 53 |
| | Referências bibliográficas | 60 |
| | Anexos..... | 63 |
| | ANEXO I Nomenclatura da Carta de uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental (COS2018)... | 65 |
| | ANEXO II Impacto do QMD ao longo do tempo..... | 69 |
| | ANEXO III Valor atual líquido para cada opção de QMD..... | 73 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 3.1 – Domínio principal de estudo (6 x 12 km ²) e identificação dos aglomerados urbanos costeiros (imagem <i>Google Satellite</i>)..... | 5 |
| Figura 3.2 – Modelo de uso e ocupação do solo (domínio 6 x 12 km ² ; sistema de georreferência ETRS89/PT-TM06; classificação COS2018)..... | 6 |
| Figura 3.3 – Subcategorização da carta COS2018, na zona urbana da praia da Vagueira (ver legenda da Figura 3.2)..... | 7 |
| Figura 3.4 – Local de implantação do QMD de configuração c300d400 e topo-batimetria adjacente (m ZH) de julho/2018 (Oliveira <i>et al.</i> , 2020)..... | 8 |
| Figura 4.1 – Impacto do QMD ao longo do tempo: áreas de solo não perdidas para cada cenário (áreas obtidas pela diferença dos resultados com QMD e o de referência) para simulações LTC no domínio 6 x 12 km ² | 10 |
| Figura 4.2 – Domínio reduzido de estudo (6 x 5.6 km ² ; imagem <i>Google Satellite</i> e sobreposição da carta COS2018)..... | 11 |
| Figura 4.3 – Impacto do QMD ao longo do tempo: áreas de solo não perdidas para cada cenário (áreas obtidas pela diferença dos resultados com QMD e o de referência) para simulações LITMOD (a) e LTC (b) no domínio 6 x 5.6 km ² | 13 |
| Figura 4.4 – Comparação das simulações dos modelos de evolução da linha de costa para o ano 20 do cenário c300d400, na proximidade da praia da Vagueira..... | 14 |
| Figura 4.5 – Delimitação da zona balnear da praia da Vagueira..... | 14 |
| Figura 4.6 – Impacto do QMD ao longo do tempo: evolução da área balnear da praia da Vagueira para cada cenário (áreas obtidas pela diferença dos resultados com QMD e o de referência) para simulações LITMOD (a) e LTC (b)..... | 16 |
| Figura 4.7 – Registo fotográfico de eventos de galgamento na praia da Vagueira (fonte: Câmara Municipal de Vagos)..... | 18 |
| Figura 4.8 – Ilustração da faixa de inundação para o ano 20 do cenário de referência (sem QMD), na praia da Vagueira (classificação COS2018)..... | 19 |
| Figura 4.9 – Impacto do QMD ao longo do tempo: áreas de solo não inundadas para cada cenário (áreas obtidas pela diferença dos resultados com QMD e o de referência) para simulações LTC no domínio 6 x 12 km ² | 21 |
| Figura 4.10 – Impacto do QMD ao longo do tempo: áreas de solo não inundadas para cada cenário (áreas obtidas pela diferença dos resultados com QMD e o de referência) para simulações LITMOD (a) e LTC (b) no domínio 6 x 5.6 km ² | 24 |
| Figura 5.1 – Distribuição geográfica das classes de uso e ocupação do solo expostas aos fenómenos de erosão e inundação costeira (domínio 6 x 5.6 km ² ; classificação COS2018)..... | 26 |
| Figura 5.2 – Área principal da praia da Vagueira para efeitos de recreação balnear..... | 27 |
| Figura 6.1 – Evolução anual do valor das classes de uso e ocupação do solo expostas ao fenómeno de erosão para cada cenário (simulações LITMOD)..... | 32 |
| Figura 6.2 – Evolução anual do valor das classes de uso e ocupação do solo expostas ao fenómeno de erosão para cada cenário (simulações LTC)..... | 33 |
| Figura 6.3 – Local de ocorrências de galgamento costeiro na praia da Vagueira (APA, 2019)..... | 34 |
| Figura 6.4 – Evolução anual dos custos relacionados com os eventos de inundação previstos para cada cenário..... | 39 |
| Figura 6.5 – Evolução anual dos benefícios parciais para cada cenário (simulações LITMOD)..... | 41 |
| Figura 6.6 – Evolução anual dos benefícios parciais para cada cenário (simulações LTC)..... | 42 |
| Figura 7.1 – Exemplo de quebra-mares destacados construídos em Portugal (imagem <i>Google Satellite</i>)..... | 43 |
| Figura 7.2 – Configuração da estrutura, local de implantação e batimetria para os 4 cenários de QMD (Oliveira <i>et al.</i> , 2020)..... | 45 |
| Figura 8.1 – Evolução dos custos e benefícios acumulados ao longo dos 20 anos de simulação, para cada cenário..... | 49 |

| | |
|---|----|
| Figura 8.2 – Valor atual líquido (VAL) de cada cenário | 50 |
| Figura 8.3 – Impacto da variação dos custos e benefícios estimados nos valores atuais líquidos (VAL) de cada cenário, para 4 modelos de análise | 52 |

Índice de quadros

| | |
|--|----|
| Quadro 3.1 – Área ocupada pelas classes de uso e ocupação do solo identificadas no domínio 6 x 12 km ² (classificação COS2018) | 8 |
| Quadro 4.1 – Caracterização do cenário de referência: evolução de áreas erodíveis ao longo do tempo (simulações LTC no domínio 6 x 12 km ²)..... | 9 |
| Quadro 4.2 – Caracterização do cenário de referência e cenários com QMD: evolução de áreas erodíveis ao longo do tempo (simulações LITMOD e LTC no domínio 6 x 5.6 km ²) | 11 |
| Quadro 4.3 – Percentagens de erosão e acreção que se verificam no domínio da zona balnear, face às áreas no domínio de 6 x 5.6 km ²) | 17 |
| Quadro 4.4 – Caracterização do cenário de referência: evolução de áreas inundáveis ao longo do tempo (simulações LTC no domínio 6 x 12 km ²)..... | 20 |
| Quadro 4.5 – Caracterização do cenário de referência e cenários com QMD: evolução de áreas inundáveis ao longo do tempo (simulações LITMOD no domínio 6 x 5.6 km ²)..... | 23 |
| Quadro 4.6 – Caracterização do cenário de referência e cenários com QMD: evolução de áreas inundáveis ao longo do tempo (simulações LTC no domínio 6 x 5.6 km ²)..... | 23 |
| Quadro 5.1 – Valor definido para as classes de uso e ocupação do solo expostas aos fenómenos de erosão e inundação costeira | 25 |
| Quadro 5.2 – Valor económico recreativo e total estimado para a praia da Vagueira (simulações LITMOD e LTC) | 28 |
| Quadro 6.1 – Determinação dos benefícios de cada cenário devido à mitigação da erosão de praias, pastagens e florestas (simulações LITMOD)..... | 30 |
| Quadro 6.2 – Determinação dos benefícios de cada cenário devido à mitigação da erosão de praias e florestas (simulações LTC) | 31 |
| Quadro 6.3 – Parâmetros de determinação do índice de dano devido a eventos de inundação costeira (David e Skaggs, 1992) | 34 |
| Quadro 6.4 – Custo de inundação associado às classes de solo potencialmente inundáveis..... | 35 |
| Quadro 6.5 – Determinação do período de retorno de eventos de galgamento com caudal médio superior a 1 l/s/m, para cada cenário | 36 |
| Quadro 6.6 – Determinação do custo anual de inundação para as diferentes classes de solo afetadas (simulações LITMOD) | 37 |
| Quadro 6.7 – Determinação dos benefícios de cada cenário devido à mitigação da inundação costeira nas classes de solo afetadas (simulações LITMOD) | 37 |
| Quadro 6.8 – Determinação do custo anual de inundação para as diferentes classes de solo afetadas (simulações LTC)..... | 38 |
| Quadro 6.9 – Determinação dos benefícios de cada cenário devido à mitigação da inundação costeira nas classes de solo afetadas (simulações LTC) | 38 |
| Quadro 6.10 – Determinação dos benefícios parciais (devido à mitigação da erosão e inundação costeira) e totais de cada cenário (simulações LITMOD)..... | 40 |
| Quadro 6.11 – Determinação dos benefícios parciais (devido à mitigação da erosão e inundação costeira) e totais de cada cenário (simulações LTC) | 40 |
| Quadro 7.1 – Determinação dos benefícios parciais (devido à mitigação da erosão e inundação costeira) e totais de cada cenário (simulações LTC) | 44 |
| Quadro 7.2 – Determinação do custo de investimento inicial (Ci) para cada cenário com base no método 1 | 44 |
| Quadro 7.3 – Determinação do custo de investimento inicial (Ci) para cada cenário com base no método 2 | 46 |
| Quadro 7.4 – Custo médio de investimento inicial estimado para cada cenário | 46 |
| Quadro 8.1 – Determinação do valor atual líquido (VAL) em função dos custos (CT) e benefícios (BT) acumulados aos anos 5, 10, 15 e 20 de simulação, para cada cenário | 49 |

1 | Introdução

1.1 Objeto do estudo e do relatório

A Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. (APA) contratou o Consórcio LNEC, UAVEIRO e IST para a prestação de serviços correspondente à realização do “Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à Praia da Vagueira” (freguesia da Gafanha da Boa Hora, concelho de Vagos, distrito de Aveiro), cujos trabalhos se encontram descritos nas Cláusulas Técnicas do Caderno de Encargos e respetiva proposta do Consórcio.

Este estudo tem por finalidade a concretização de trabalho de investigação com particular incidência na proximidade da Vagueira, concelho de Vagos, distrito de Aveiro, para avaliação da viabilidade económica de 4 soluções (melhor solução técnica e conjunto de três soluções alternativas) de construção de um quebra-mar destacado submerso e multifuncional em frente à praia da Vagueira.

A eficácia de um conjunto vasto de configurações estruturais e de localização do quebra-mar destacado submerso (doravante designado QMD) já foi avaliada, em concordância com as funcionalidades priorizadas: i) redução do risco de galgamento costeiro no aglomerado urbano da praia da Vagueira e ii) promoção do acréscimo do areal de praia emersa com o conseqüente reforço da defesa natural contra a erosão e inundação, fomentando o usufruto por parte da população (ver Oliveira *et al.*, 2020). Para tal, avaliou-se o desempenho de cada configuração de QMD comparativamente com a situação de não intervir no local, com recurso a modelação matemática, nomeadamente: no que se refere ao galgamento, especificamente, o valor máximo do caudal médio galgado e o número de eventos de galgamento com caudais superiores a determinados limiares; à dinâmica sedimentar e à evolução morfológica adjacente ao QMD a curto-médio prazo e sob ação de condições médias de hidrodinâmica; e à evolução da linha costa, para um período de 20 anos. Da integração das conclusões de cada uma das análises, concluiu-se que um QMD de configuração linear com comprimento (c) igual a 300 m e distância do seu eixo longitudinal à linha de costa (d) igual a 400 m (configuração c300d400), constitui a solução técnica que melhor cumpre os objetivos de forma priorizada. A configuração c350d400 foi considerada a segunda melhor opção, pelo que também será considerada no presente estudo como alternativa viável. Além destas 2 configurações, decidiu-se analisar a viabilidade das configurações extremas: c350d580, com maior comprimento e afastamento à linha de costa, e c200d200, com menor comprimento e afastamento à linha de costa. Em todas as configurações, o eixo transversal do QMD dista 460 m para norte do esporão da praia da Vagueira.

A metodologia aplicada inclui a identificação e mapeamento das classes de uso e ocupação do território sob risco de erosão e inundação, a determinação dos valores económicos de cada classe, a determinação dos benefícios associados à mitigação dos fenómenos de erosão e inundação, decorrentes das funções i) e ii) do QMD, e a determinação dos custos associados à construção da estrutura costeira. Por fim, os resultados obtidos foram integrados na análise custo-benefício que

conclui sobre a efetiva viabilidade de cada cenário, em função dos pressupostos assumidos e do âmbito considerado. Complementarmente, foi efetuada uma análise de sensibilidade às variáveis económicas para determinar a sua preponderância no resultado final da análise custo-benefício. Esta metodologia tem sempre por base a avaliação do impacto da obra por comparação com o cenário de referência (sem QMD), que determina a situação de não intervir.

Neste documento, dá-se continuidade ao referido estudo, com o objetivo último de avaliar a viabilidade económica das 4 soluções de QMD enunciadas. O trabalho integra assim a Tarefa 4 (Análise custo-benefício da melhor solução técnica e/ou conjunto de soluções alternativas) do projeto, subdividindo-se nas seguintes tarefas:

- T4.a) Quantificação dos custos associados à erosão e inundação costeira evitadas, para cenários selecionados de tamanho e localização do quebra-mar;
- T4.b) Compilação de custos de investimento e de manutenção para cenários selecionados de tamanho e localização do quebra-mar;
- T4.c) Cálculo de custos e benefícios e realização da análise custo-benefício para os cenários selecionados de tamanho e localização do quebra-mar;
- T4.d) Quantificação dos benefícios esperados com a atividade do surf, para cenários selecionados de tamanho e localização do quebra-mar¹.

1.2 Organização do relatório

O relatório está organizado em 9 capítulos, sendo o primeiro respeitante à introdução e descrição dos objetivos. No segundo capítulo é feita uma síntese da metodologia do trabalho e no terceiro capítulo é brevemente descrito o caso de estudo. O quarto capítulo contém os resultados do mapeamento das classes de uso e ocupação do território sob riscos de erosão costeira e inundação devido a eventos de galgamento. No quinto capítulo são apresentadas as estimativas do valor das classes de uso e ocupação do solo expostas aos fenómenos de erosão e inundação na área de interesse. No capítulo sexto determinam-se os benefícios dos vários cenários de QMD no que se refere à mitigação dos fenómenos de erosão e de inundação costeiras. O capítulo sétimo contém os resultados dos custos de construção e manutenção associados às 4 configurações alternativas de QMD estudadas. O penúltimo capítulo expõe a análise custo-benefício, onde os custos e benefícios são comparados, ao longo dos 20 anos de projeção. Por fim, tecem-se as conclusões no capítulo nono.

¹ Os resultados desta sub-tarefa serão apresentados no relatório final.

2 | Metodologia

Pretende-se determinar a viabilidade económica da construção de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à praia da Vagueira. Para tal, discutir-se-ão individualmente 4 opções de configuração do QMD previamente selecionadas (c200d200, c300d400, c350d400 e c350d580), com base em projeções a 20 anos. A abordagem considerada segue a metodologia definida no projeto BASE (Bottom-Up Climate Adaptation Strategies for a Sustainable Europe), descrita em Roebeling *et al.* (2015), e é constituída pelas seguintes etapas:

- Contextualização do caso de estudo e identificação e classificação de elementos em risco, conjugando-os em classes uniformes de uso e ocupação do solo (Capítulo 3);
- Determinação da exposição de cada classe aos fenómenos de erosão e inundação costeira, através de dados históricos e projeções em modelo matemático, com recurso a ferramentas de processamento de informação geográfica (Capítulo 4);
- Determinação do valor das classes de uso e ocupação do solo expostas aos fenómenos de erosão e inundação costeira na área de interesse, considerando valores locais sempre que existem dados disponíveis e através da estratégia de transferência de valor nas restantes situações (Capítulo 5);
- Avaliação do retorno económico associado à mitigação dos fenómenos de erosão e inundação por efeito da construção do QMD, essencialmente resultante em áreas ganhas ou não perdidas e não inundadas (Capítulo 6);
- Determinação dos custos associados à construção do QMD, onde se incluem os custos do investimento inicial e os custos recorrentes de manutenção, através de estimativa orçamental com base na comparação com obras semelhantes e no custo unitário dos materiais (Capítulo 7);
- Análise custo-benefício e análise de sensibilidade às variáveis económicas (Capítulo 8).

A categorização de bens (sistemas naturais e construídos) em classes uniformes de uso e ocupação do território tem por base a Carta de uso e Ocupação do Solo (COS2018, 2020), produzida pela Direção-Geral do Território (DGT) e concluída no final do ano 2019. A nomenclatura utilizada pela carta COS2018 é hierárquica e diferencia-se em 4 níveis de pormenor em que o último inclui 83 classes (ver Anexo I). Para a análise e tratamento de dados georreferenciados foi considerado o software QGIS (versão 3.10.7-A Coruña), disponibilizado sob a licença GNU General Public License, com armazenamento de dados no formato de ponto, linha ou polígono, e de código-fonte aberto permitindo a integração de plugins desenvolvidos em C# ou Python.

A determinação das áreas erodíveis ou inundáveis por efeito dos fenómenos de erosão e inundação costeira é feita por análise da evolução da posição da linha de costa, com base em projeções em modelos matemáticos, previamente calibrados com dados históricos. Para tal, compara-se a posição

da linha de costa inicial (no ano zero da simulação) com a posição das linhas de costa ao longo dos 20 anos da simulação. Os modelos de evolução da posição da linha de costa considerados são o *Long-Term Configuration* (LTC; desenvolvido na Universidade de Aveiro - UA) e o *Litoral Model* (LITMOD; desenvolvido no Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC), cujos pressupostos, metodologia e resultados foram descritos em Oliveira *et al.* (2020) e em Pombo e Coelho (2020). Os resultados são apresentados para cada configuração de QMD, em função do impacto que provocam por comparação com o cenário de referência (cenário de não intervenção, onde se assume a continuidade futura das condições atuais de defesa costeira).

Refere-se também que o estudo se desenvolve em duas escalas: 1) o domínio principal de estudo que integra o trecho Barra-Gafanha da Boa Hora, compreendendo uma área total de 6 x 12 km² (inicialmente definido para calibração e validação dos modelos de evolução da linha de costa, com o objetivo de conseguir uma caracterização completa da região costeira em análise); 2) o domínio reduzido, considerado para comparação das simulações dos modelos LITMOD e LTC, no sentido de avaliar comportamentos locais na zona de maior impacto do QMD, representando uma área de 6 x 5.6 km² na proximidade da Vagueira. A partir do Capítulo 5 todos os resultados são referentes ao domínio reduzido. Em alguns pontos do trabalho analisa-se um terceiro domínio, ainda mais restrito, delimitado à zona balnear da praia da Vagueira, para o estudo específico do valor recreativo da praia.

Todas as análises foram efetuadas em termos anuais, para os 20 anos da simulação, sendo que para efeitos de simplificação resumem-se por vezes na forma de tabela os resultados para os anos 5, 10, 15 e 20 e, quando relevante, complementa-se de forma gráfica a representatividade anual dos diversos resultados.

3 | Descrição do caso de estudo

Neste ponto reúne-se a informação recolhida sobre a zona de implantação do QMD (frente costeira da Vagueira) e a área adjacente relevante para o estudo de viabilidade de construção da estrutura de proteção costeira. No total, o trecho em análise estende-se desde o quebra-mar sul do porto de Aveiro (a norte da praia da Barra) até à praia da Gafanha da Boa Hora (a sul do esporão do Labrego), distanciada cerca de 10 km para sul, conforme Figura 3.1.

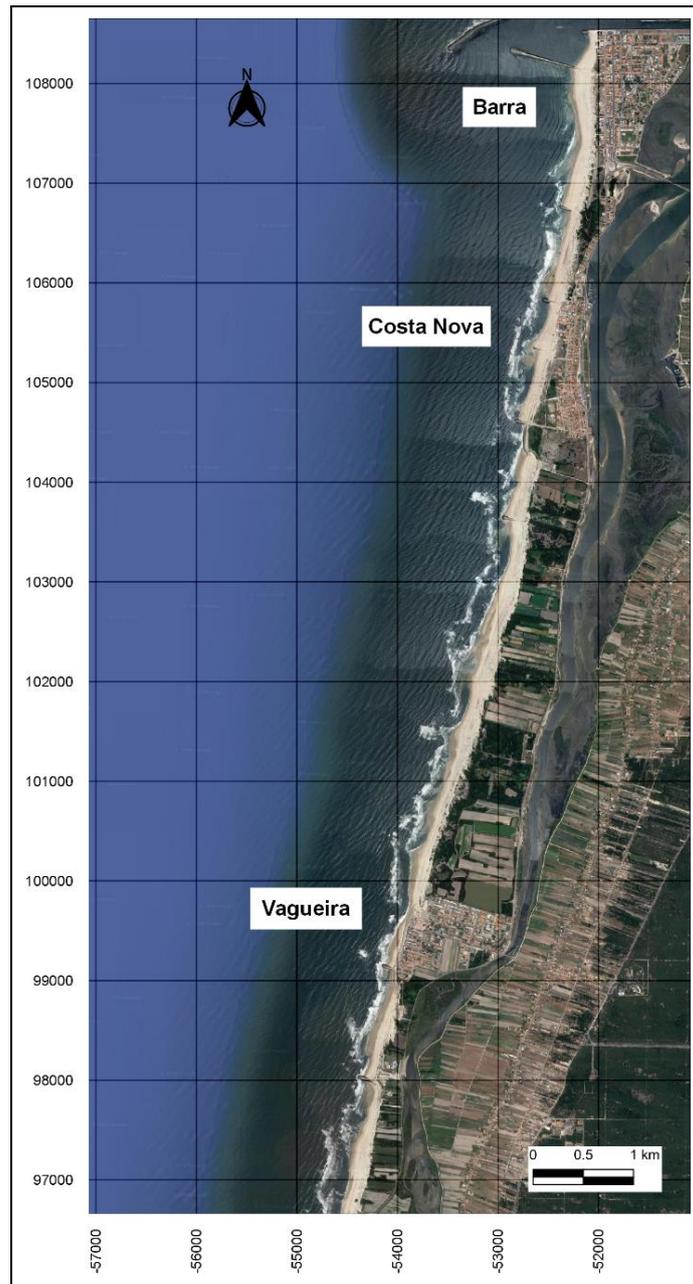


Figura 3.1 – Domínio principal de estudo (6 x 12 km²) e identificação dos aglomerados urbanos costeiros (imagem Google Satellite)

A Figura 3.2 representa a classificação COS2018 de uso e ocupação do solo no domínio de estudo com legenda referente ao segundo nível da classificação, que integra as categorias precedentes identificadas na tabela auxiliar da figura. No total, existe uma área de cobertura de 7 200 ha (35 % solo e 65 % oceano). Nesta extensão, a linha de costa tem uma direção média de 17.5 ° com o norte, no sentido horário. No modelo COS2018, a posição da linha de costa foi ajustada para coincidir com a linha dos modelos numéricos (ver pressupostos de definição da linha de costa inicial dos modelos LTC e LITMOD em Oliveira *et al.*, 2020). Nesta figura observa-se a linha de costa inicial referente ao modelo LTC.

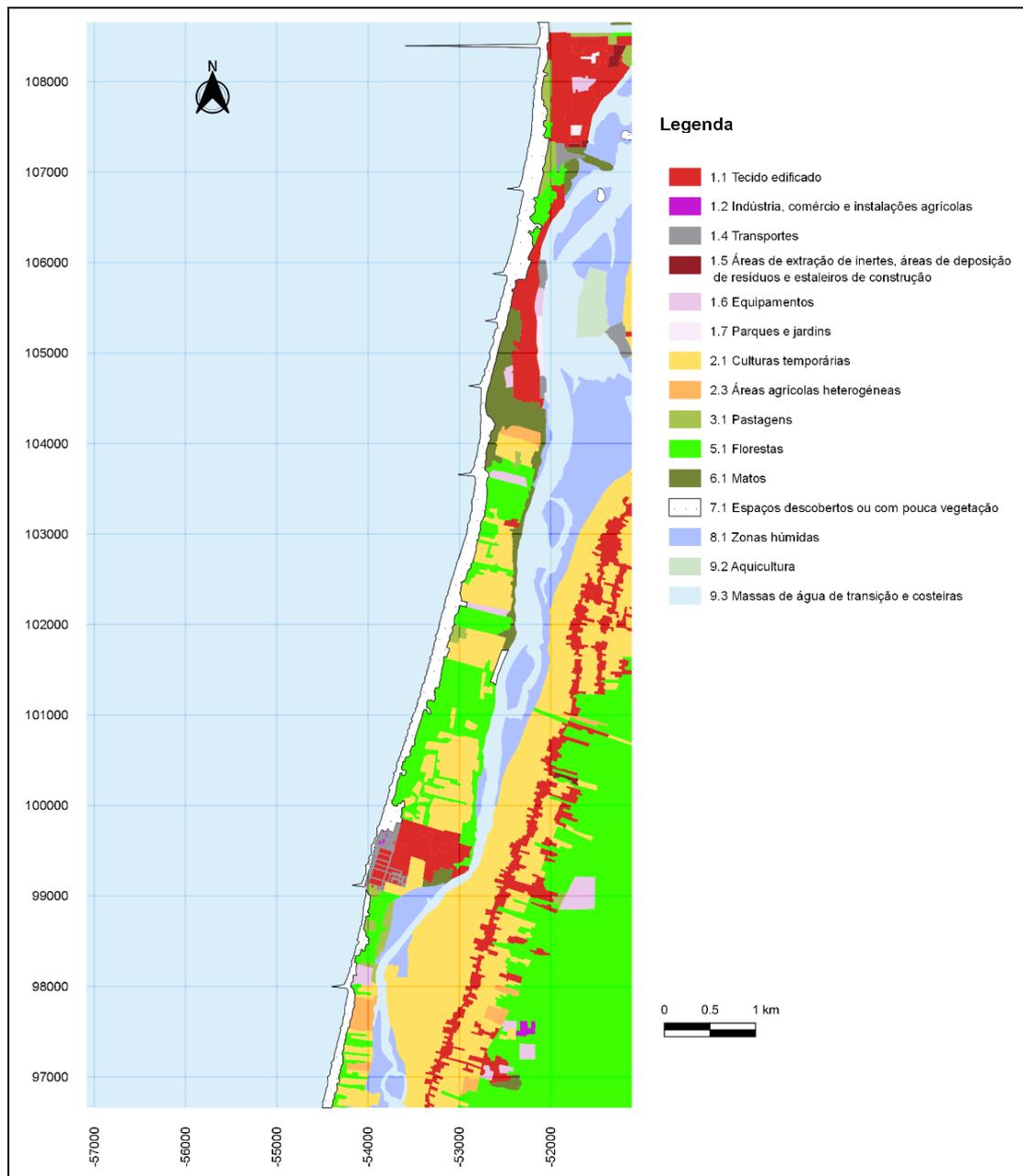


Figura 3.2 – Modelo de uso e ocupação do solo (domínio 6 x 12 km²; sistema de georreferência ETRS89/PT-TM06; classificação COS2018)

A classificação na zona da Vagueira foi subcategorizada no que se refere à área edificada junto à praia (localizada a norte do esporão da Vagueira) e zona circundante, para efeitos de refinamento do modelo de cálculo das classes de uso e ocupação do território sob risco de erosão e inundação no local mais afetado pelo impacto do QMD. Para tal, foi levantado um maior nível de pormenor com recurso ao *Google Earth*, conforme Figura 3.3, respeitando a normalização definida pela COS2018.

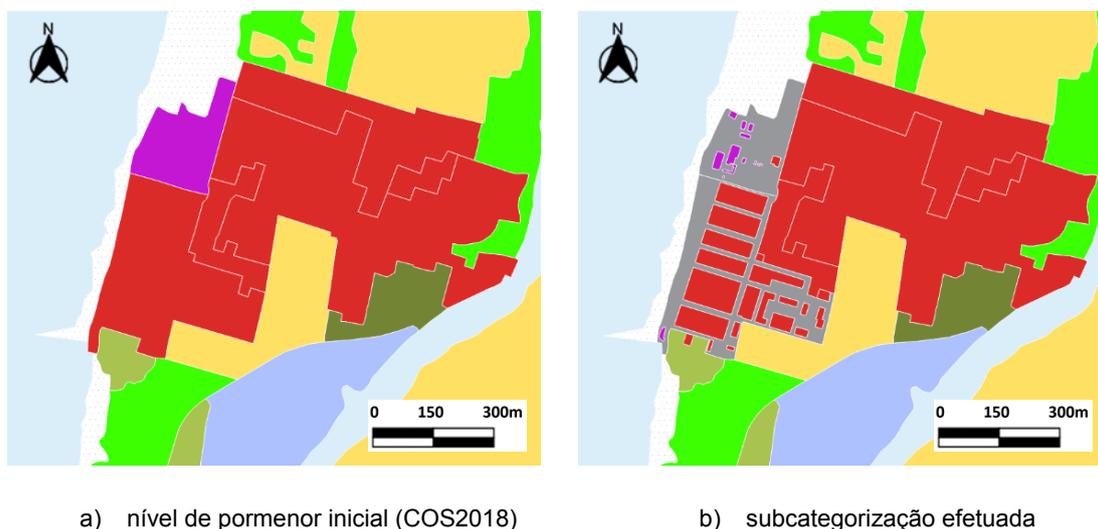


Figura 3.3 – Subcategorização da carta COS2018, na zona urbana da praia da Vagueira (ver legenda da Figura 3.2)

No Quadro 3.1 resumem-se as áreas correspondentes às classes de uso e ocupação do solo identificadas na zona de estudo. A distribuição das classes de uso e ocupação do solo no domínio total de estudo evidencia uma cobertura terrestre predominantemente ocupada por florestas (653 ha, maioritariamente de pinheiro bravo), seguidas pela agricultura (630 ha, maioritariamente culturas temporárias); os territórios artificializados representam 369 ha (maioritariamente tecido edificado), as zonas húmidas estendem-se por 279 ha, e, especificamente, a classe correspondente às praias, dunas e areais costeiros (classe 7.1.1.2) representa 151 ha. As classes de matos e pastagens são as menos representativas com 72 e 30 ha, respetivamente.

Em relação aos cenários de QMD a testar foram consideradas, como referido anteriormente, 4 opções de configuração e localização: a melhor solução técnica - c300d400, a segunda melhor opção técnica - c350d400, e complementarmente as opções extremas quanto ao comprimento e afastamento à linha de costa - c200d200 e c350d580 (potencialmente, com o menor e maior custo de construção, respetivamente). Ilustram-se na Figura 3.4 as coordenadas de implantação do QMD designado por c300d400.

Quadro 3.1 – Área ocupada pelas classes de uso e ocupação do solo identificadas no domínio 6 x 12 km² (classificação COS2018)

| Nível 1 | Nível 4 | Área (m ²) |
|---|--|------------------------|
| 1.Territórios artificializados | 1.1.1.1 Tecido edificado contínuo predominantemente vertical | 517 656 |
| | 1.1.1.2 Tecido edificado contínuo predominantemente horizontal | 619 371 |
| | 1.1.2.1 Tecido edificado descontínuo | 1 382 107 |
| | 1.1.2.2 Tecido edificado descontínuo esparso | 374 059 |
| | 1.1.3.2 Espaços vazios sem construção | 42 375 |
| | 1.2.2.1 Comércio | 4 123 |
| | 1.2.3.1 Instalações agrícolas | 25 806 |
| | 1.4.1.1 Rede viária e espaços associados | 144 275 |
| | 1.4.2.3 Marinas e docas pesca | 100 883 |
| | 1.5.3.1 Áreas em construção | 51 254 |
| | 1.6.1.2 Instalações desportivas | 87 760 |
| | 1.6.2.1 Parques de campismo | 213 318 |
| | 1.6.2.2 Equipamentos de lazer | 40 534 |
| | 1.6.3.1 Equipamentos culturais | 11 187 |
| | 1.6.5.1 Outros equipamentos e instalações turísticas | 14 727 |
| 1.7.1.1 Parques e jardins | 62 847 | |
| 2.Agricultura | 2.1.1.1 Culturas temporárias de sequeiro e regadio | 6 038 669 |
| | 2.3.2.1 Mosaicos culturais e parcelares complexos | 71 449 |
| | 2.3.3.1 Agricultura com espaços naturais e seminaturais | 189 683 |
| 3.Pastagens | 3.1.2.1 Pastagens espontâneas | 300 463 |
| 5.Florestas | 5.1.1.5 Florestas de eucalipto | 10 144 |
| | 5.1.1.6 Florestas de espécies invasoras | 1 817 082 |
| | 5.1.1.7 Florestas de outras folhosas | 96 696 |
| | 5.1.2.1 Florestas de pinheiro bravo | 4 610 759 |
| 6.Matos | 6.1.1.1 Matos | 723 670 |
| 7. Espaços descobertos ou com pouca vegetação | 7.1.1.2 Praias, dunas e areais costeiros | 1 511 413 |
| | 7.1.3.1 Vegetação esparsa | 22 764 |
| 8.Zonas húmidas | 8.1.2.1 Sapais | 1 410 937 |
| | 8.1.2.2 Zonas entremarés | 1 375 966 |
| 9.Massas de água superficiais | 9.2.1.1 Aquicultura | 214 905 |
| | 9.3.2.1 Lagoas costeiras | 3 113 972 |
| | 9.3.4.1 Oceano | 46 794 685 |
| Total | | 72 000 000 |

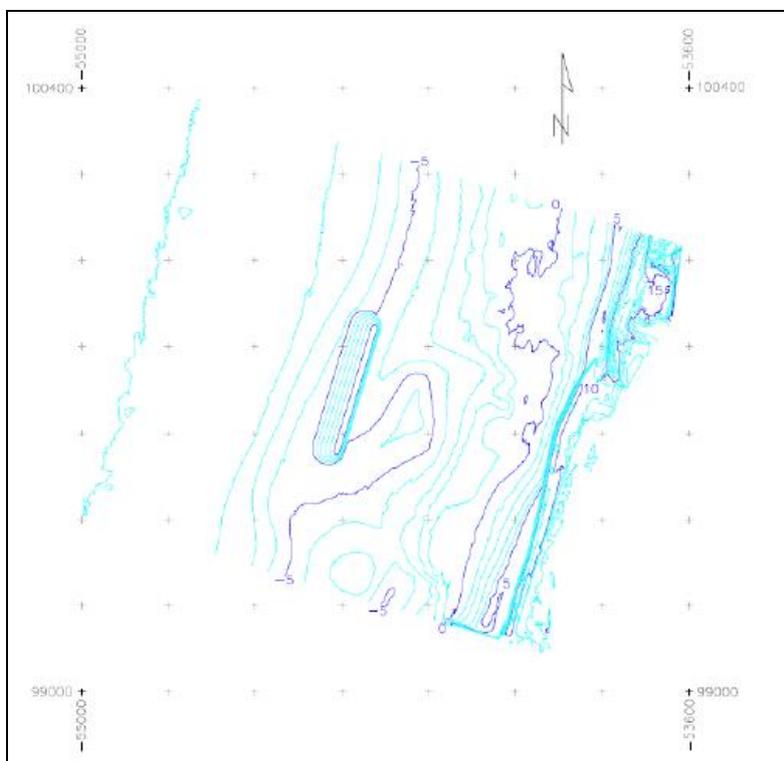


Figura 3.4 – Local de implantação do QMD de configuração c300d400 e topo-batimetria adjacente (m ZH) de julho/2018 (Oliveira et al., 2020)

4 | Mapeamento do uso do solo

4.1 Risco de erosão costeira

O mapeamento das classes de uso e ocupação do território sob risco de erosão costeira é efetuado para o cenário de referência (que considera a natural evolução da frente costeira de acordo com as condições existentes) e para os cenários com QMD, com base nas projeções resultantes dos modelos numéricos de evolução da linha de costa (LTC e LITMOD), calibrados e validados em função de registos históricos e valores de referência. Como tal, representam-se na Quadro 4.1 as previsões de área erodível pelo natural recuo da linha de costa num horizonte temporal de 20 anos, ou seja, se não forem realizadas quaisquer novas intervenções costeiras no período em análise. Verifica se, para o cenário de referência, perda de território florestal (espécies invasoras) nos anos 11-13 e 15-18 da simulação na zona em que o areal de praia tem uma largura mais estreita entre os esporões da Vagueira e do Labrego, significando uma perda máxima de 41 m² no ano 17. Em relação à classe que engloba as praias, dunas e areais costeiros, verifica-se no primeiro ano um recuo médio ao longo do trecho de 0.97 m, equivalente à perda de 11 635 m², e no final do período de simulação um recuo médio anual de 0.83 m, equivalente à perda de 198 115 m² ao longo de toda a extensão do litoral em análise. Estes resultados referem-se ao domínio total de 6 x 12 km² que representa o trecho Barra-Gafanha da Boa Hora (ver Figura 3.1).

Quadro 4.1 – Caracterização do cenário de referência: evolução de áreas erodíveis ao longo do tempo (simulações LTC no domínio 6 x 12 km²)

| Ano | Área erodível (m ²) | |
|-----|---|--|
| | Florestas de espécies invasoras (classe 5.1.1.6) | Praias, dunas e areais costeiros (classe 7.1.1.2) |
| 1 | 0 | 11 635 |
| 2 | 0 | 49 884 |
| 3 | 0 | 83 679 |
| 4 | 0 | 104 000 |
| 5 | 0 | 110 320 |
| 6 | 0 | 129 962 |
| 7 | 0 | 134 992 |
| 8 | 0 | 152 553 |
| 9 | 0 | 160 745 |
| 10 | 0 | 160 348 |
| 11 | 1 | 171 497 |
| 12 | 8 | 176 757 |
| 13 | 6 | 181 825 |
| 14 | 0 | 178 905 |
| 15 | 35 | 177 114 |
| 16 | 23 | 189 653 |
| 17 | 41 | 204 003 |
| 18 | 6 | 193 673 |
| 19 | 0 | 191 600 |
| 20 | 0 | 198 115 |

Na Figura 4.1 ilustram-se as áreas que não seriam perdidas por efeito da construção do QMD, de acordo com cada opção de configuração estrutural e de localização da obra. Neste caso, as áreas não perdidas representam o impacto do QMD, que se faz sentir principalmente na proximidade da zona urbana da Vagueira, e que promove o acréscimo do areal de praia a norte do esporão da Vagueira pela acumulação de sedimentos na zona de sombra, mitigando localmente o fenómeno de erosão.

Em relação à área florestal verifica-se que o QMD tem, salvo raras exceções anuais, um impacto residual que pode ser considerado desprezável. No que se refere à zona de praias, dunas e areais costeiros, todos os cenários com QMD representam um impacto positivo para todos os anos de simulação. É também evidente que o QMD de menor comprimento e menor afastamento à linha de costa provoca um impacto menor, representando entre 1 329 m²/ano e 3 388 m²/ano de areal não perdido, e o QMD de maior comprimento e maior afastamento à linha de costa provoca um impacto maior, representando entre 2 675 m²/ano - 10 306 m²/ano de areal não perdido. Nos cenários com um afastamento à costa igual ou superior a 400 m, verifica-se o maior benefício a partir do 3º ano, como ilustra o acentuado declive positivo no início das curvas representadas na Figura 4.1.

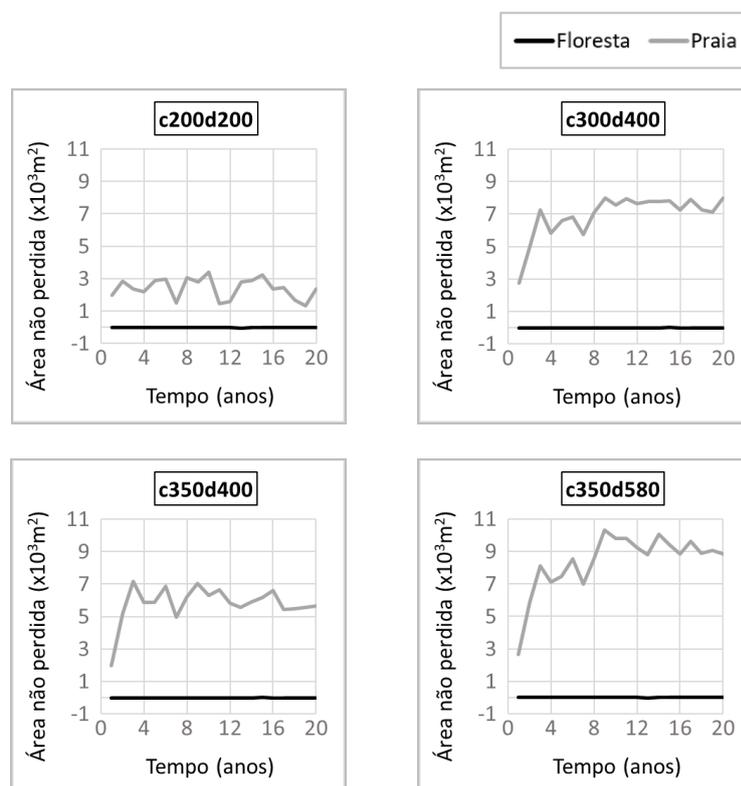


Figura 4.1 – Impacto do QMD ao longo do tempo: áreas de solo não perdidas para cada cenário (áreas obtidas pela diferença dos resultados com QMD e o de referência) para simulações LTC no domínio 6 x 12 km²

Foram ainda comparados os resultados das simulações do LTC com os resultados do LITMOD, para a zona próxima à Vagueira no domínio de estudo reduzido de 6 x 5.6 km² (ver Figura 4.2). É nesta zona que se fazem sentir os efeitos secundários mais relevantes associados à construção do QMD

que promove o acréscimo do areal de praia na zona de sombra da estrutura (em frente à praia da Vagueira), propagando o fenómeno de erosão para sotamar.

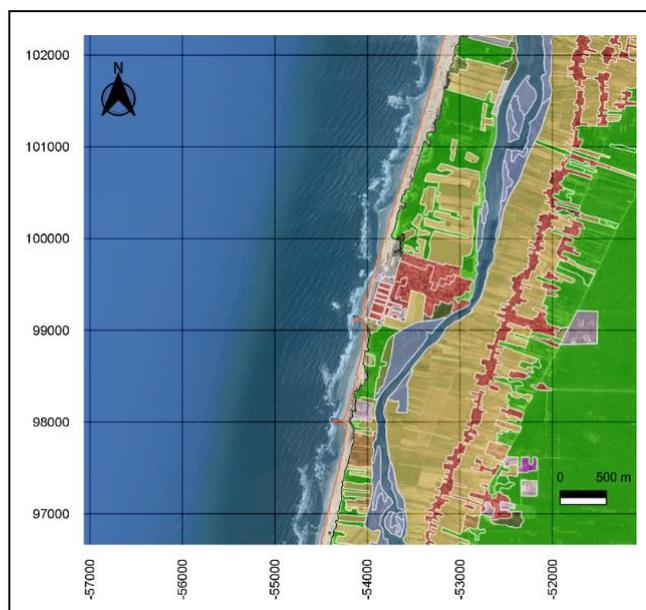


Figura 4.2 – Domínio reduzido de estudo (6 x 5.6 km²; imagem *Google Satellite* e sobreposição da carta COS2018)

Quadro 4.2 – Caracterização do cenário de referência e cenários com QMD: evolução de áreas erodíveis ao longo do tempo (simulações LITMOD e LTC no domínio 6 x 5.6 km²)

| Cenário | Ano | Área erodível (m ²) | | | | |
|----------|-----|---------------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
| | | LITMOD | | | LTC | |
| | | Pastagem (3.1.2.1) | Floresta (5.1.1.6) | Praia (7.1.1.2) | Floresta (5.1.1.6) | Praia (7.1.1.2) |
| sem QMD | 5 | 0 | 68 | 20 423 | 0 | 66 280 |
| | 10 | 0 | 0 | 32 522 | 0 | 91 529 |
| | 15 | 0 | 0 | 37 173 | 35 | 100 467 |
| | 20 | 0 | 0 | 37 109 | 0 | 109 977 |
| c200d200 | 5 | 0 | 78 | 19 958 | 0 | 63 401 |
| | 10 | 0 | 977 | 30 143 | 0 | 88 133 |
| | 15 | 1 316 | 1 546 | 54 709 | 34 | 97 251 |
| | 20 | 194 | 1 285 | 43 447 | 0 | 107 731 |
| c300d400 | 5 | 0 | 0 | 17 741 | 0 | 59 659 |
| | 10 | 0 | 822 | 29 362 | 0 | 83 896 |
| | 15 | 1 068 | 1 109 | 53 016 | 32 | 92 563 |
| | 20 | 67 | 818 | 42 114 | 0 | 102 305 |
| c350d400 | 5 | 0 | 3 | 17 225 | 0 | 60 412 |
| | 10 | 50 | 1 218 | 27 279 | 0 | 85 200 |
| | 15 | 1 118 | 1 098 | 50 600 | 32 | 94 287 |
| | 20 | 208 | 1 129 | 38 427 | 0 | 104 501 |
| c350d580 | 5 | 0 | 0 | 15 367 | 0 | 58 778 |
| | 10 | 0 | 449 | 27 057 | 0 | 81 889 |
| | 15 | 375 | 554 | 51 116 | 38 | 91 183 |
| | 20 | 0 | 166 | 42 920 | 0 | 101 149 |

No Quadro 4.2 representam-se os resultados de ambos os modelos de evolução da linha de costa no que respeita às áreas erodíveis em cada classe de uso e ocupação do solo, para cada cenário (cenário de referência e 4 opções de QMD). É evidente para o LITMOD a previsão de maior perda de

área florestal e de pastagens por comparação com o próprio cenário de referência e também por comparação com os respetivos cenários de QMD simulados com o LTC. Por outro lado, a área total anual erodível é, no LITMOD, inferior em cerca de 2/3 para todas as opções em relação às simulações LTC.

Na Figura 4.3 representa-se o impacto anual do QMD para as 4 opções estudadas (resultados numéricos no Anexo II). Os valores anuais foram interpolados linearmente através dos resultados obtidos para os anos 5, 10, 15 e 20.

Como havia já sido evidenciado em Oliveira *et al.* (2020), os 2 modelos numéricos apresentam resultados discordantes em algumas situações, apesar da semelhança nos pressupostos de simulação e dados de entrada. No LTC, o balanço anual da área de praia ganha (pela acreção a barlamar do eixo de simetria da estrutura) e perdida (pela erosão a sotamar do mesmo eixo), é sempre positivo quando se compara com o cenário de referência; ou seja, globalmente, perde-se menos área com a consideração de qualquer cenário de QMD. No LITMOD, no que também se refere às praias, dunas e areais costeiros, o impacto QMD é positivo apenas até ao ano 10 nas configurações c200 e c300 e ano 11 na configuração c350. Conclui-se também que a linha que representa o impacto anual do QMD nas simulações LTC evolui a declive positivo e acentuado nos primeiros 5 anos, estabilizando no restante período de simulação, terminando em ligeiro decréscimo. No LITMOD evoluiu gradualmente a declive positivo durante a primeira década, invertendo o comportamento até ao ano 15, quando retoma o declive positivo, estabilizando no ano 20 da simulação no quadrante negativo com valores entre $-1\ 318\ m^2$ e $-6\ 338\ m^2$.

Na Figura 4.4 ilustra-se a previsão dos 2 modelos numéricos para a melhor solução técnica - configuração c300d400, no ano 20 da simulação, onde as áreas ganhas (de areal de praia) são representadas a cor verde e as áreas perdidas (de praia, floresta e pastagem) a cor vermelha. Na figura é também possível verificar o local de implantação e a extensão da obra bem como a interseção do seu eixo transversal de simetria com a linha de costa.

Conforme se verifica na Figura 4.4, ambos os modelos preveem a formação de um saliente (área a cor verde) a norte do eixo de simetria da obra devido à acumulação de sedimentos na zona de sombra. Para avaliar a representatividade do impacto específico do QMD nas imediações do seu local de implantação, definiu-se um terceiro domínio de cálculo que engloba apenas a zona balnear da praia da Vagueira, que é o local onde se pretende prioritariamente mitigar os fenómenos de erosão e inundação costeira. De acordo com o observado no local no verão do ano 2020, definiu-se a zona geralmente ocupada para fins balneares, delimitada pelo retângulo azul na Figura 4.5, com uma extensão de 1.2 km na direção da linha de costa, estendendo-se cerca de 150 m para norte e para sul dos respetivos acessos à praia.

Ilustram-se também na Figura 4.5 as linhas de costa (LC) no ano 20 dos vários cenários, bem como as linhas de costa iniciais e as respetivas áreas iniciais de praia, correspondentes a 6 ha no modelo LITMOD e 9 ha no modelo LTC.

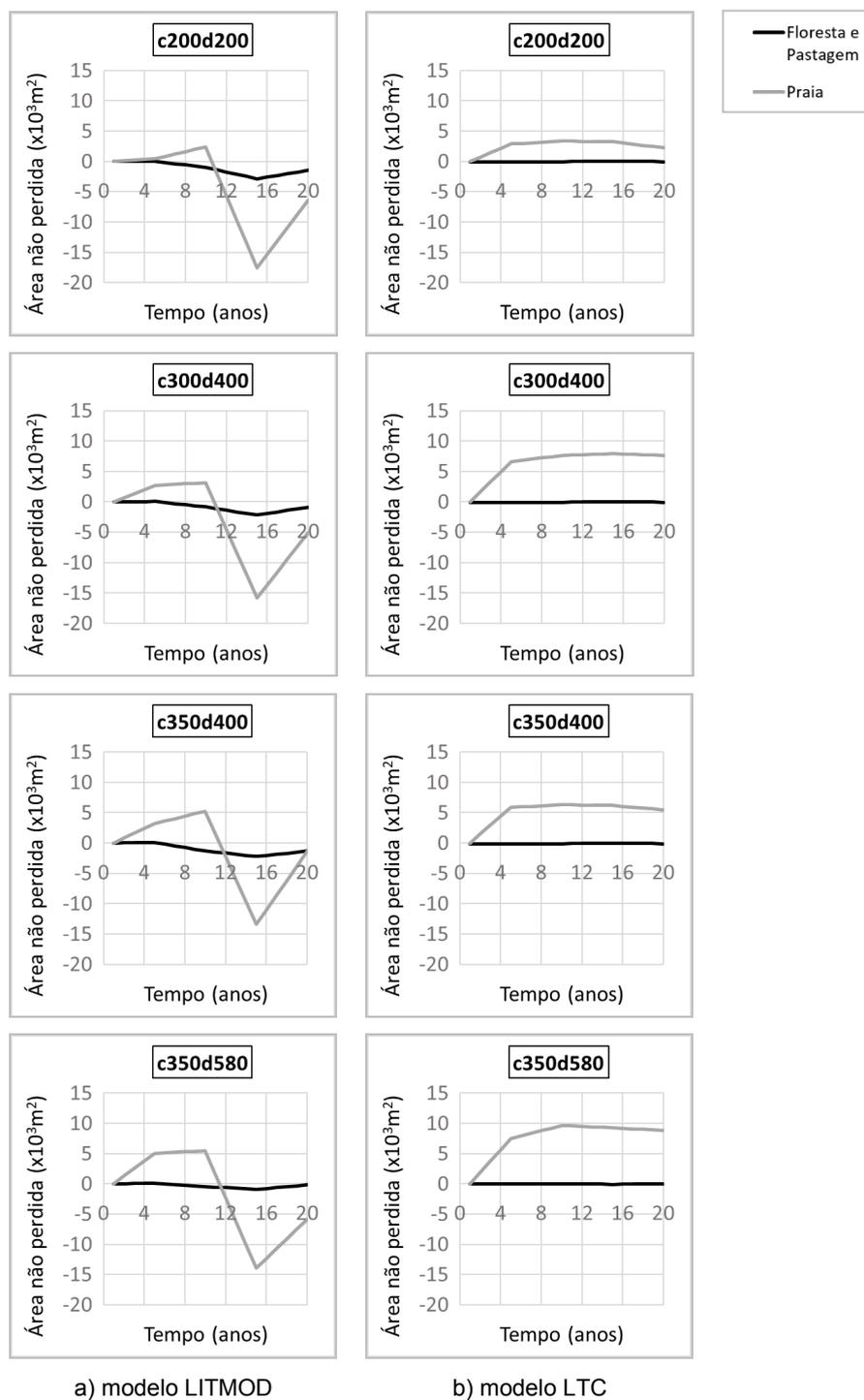


Figura 4.3 – Impacto do QMD ao longo do tempo: áreas de solo não perdidas para cada cenário (áreas obtidas pela diferença dos resultados com QMD e o de referência) para simulações LITMOD (a) e LTC (b) no domínio 6 x 5.6 km²

Na Figura 4.6 esquematiza-se a evolução prevista para esta zona em específico, ao longo dos 4 quinquénios do horizonte de projeção. Confirma-se que o LTC estima, para este local, uma área de erosão superior ao modelo LITMOD e concomitantemente uma área de acreção menor, representando balanços (linha tracejada preta) negativos, ou seja, de erosão, em todos os cenários de QMD. O LITMOD, pelo contrário, apresenta balanços sempre positivos para todos os cenários com obra. Conclui-se, portanto, ao avaliar o impacto localizado do QMD na zona balnear, que só o LITMOD estima balanços positivos (mais acreção do que erosão); pelo contrário, ao avaliar o impacto na zona envolvente próxima à Vagueira total (domínio de 6 x 5.6 km²; ver Figura 4.3) é o LTC quem prevê o maior benefício. Isto deve-se ao facto de no modelo LTC as áreas de acreção e erosão provocadas pelo impacto do QMD ficarem mais concentradas ainda a barlar do esporão da Vagueira, enquanto no LITMOD a erosão criada é mais distribuída para a zona a sul do esporão da Vagueira. Por este motivo, verifica-se a sobreposição das linhas de costa de todos os cenários LTC nas zonas mais afastadas da área de intervenção (ou seja, a norte e a sul do limite da zona balnear).

Por fim, fez-se também uma comparação do impacto do QMD na zona balnear da Vagueira, que totaliza 6 ha de praia no modelo LITMOD e 9 ha no modelo LTC, com o impacto do QMD no domínio mais abrangente de 6 x 5.6 km², que totaliza 41 ha de praia no modelo LITMOD e 57 ha no modelo LTC (em função da posição da linha de costa inicial definida por cada modelo). Desta forma, indicam-se no Quadro 3.1 as percentagens de erosão e acreção que se verificam no domínio da zona balnear, face às áreas medidas no domínio de 6 x 5.6 km². Como expectável, a acreção promovida por todas as variantes do QMD concentra-se maioritariamente na praia da Vagueira - média de 81 % no LITMOD e 69 % no LTC, enquanto no cenário de referência (de não intervenção) a acreção natural representava apenas cerca de 30 % nesta zona. Por outro lado, e reafirmando as conclusões anteriores, a erosão provocada pela retenção de sedimentos no saliente dá-se, no LTC, imediatamente a sul do eixo de simetria da obra (ver Figura 4.4) e, portanto, manifesta uma percentagem maior ainda na zona da praia da Vagueira (9-16 %); no LITMOD, a erosão provocada pelo QMD dispersa-se pelas praias a sul e é menos sentida na praia da Vagueira (2-12 %).

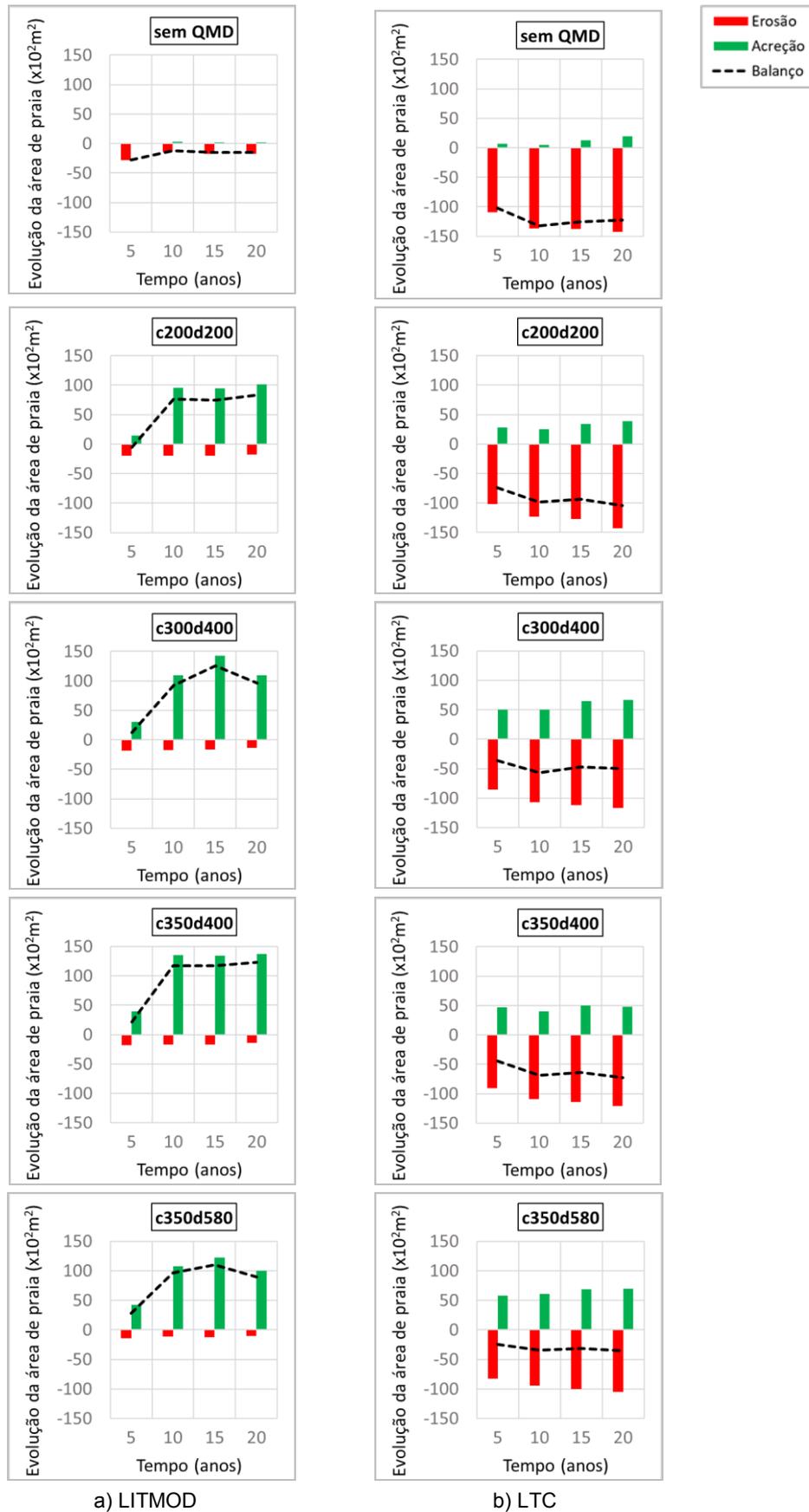


Figura 4.6 – Impacto do QMD ao longo do tempo: evolução da área balnear da praia da Vagueira para cada cenário (áreas obtidas pela diferença dos resultados com QMD e o de referência) para simulações LITMOD (a) e LTC (b)

Quadro 4.3 – Percentagens de erosão e acreção que se verificam no domínio da zona balnear, face às áreas no domínio de 6 x 5.6 km²)

| Cenário | Ano | LITMOD | | LTC | |
|----------|-----|--------|---------|--------|---------|
| | | Erosão | Acreção | Erosão | Acreção |
| sem QMD | 5 | 12 % | 2 % | 16 % | 41 % |
| | 10 | 4 % | 41 % | 15 % | 20 % |
| | 15 | 5 % | 35 % | 13 % | 32 % |
| | 20 | 5 % | 34 % | 12 % | 38 % |
| c200d200 | 5 | 9 % | 79 % | 15 % | 74 % |
| | 10 | 5 % | 74 % | 13 % | 56 % |
| | 15 | 3 % | 99 % | 12 % | 56 % |
| | 20 | 3 % | 72 % | 12 % | 55 % |
| c300d400 | 5 | 9 % | 86 % | 13 % | 83 % |
| | 10 | 4 % | 73 % | 12 % | 71 % |
| | 15 | 2 % | 99 % | 11 % | 71 % |
| | 20 | 2 % | 71 % | 10 % | 68 % |
| c350d400 | 5 | 9 % | 94 % | 14 % | 82 % |
| | 10 | 4 % | 67 % | 12 % | 67 % |
| | 15 | 3 % | 92 % | 11 % | 65 % |
| | 20 | 2 % | 62 % | 11 % | 61 % |
| c350d580 | 5 | 7 % | 86 % | 13 % | 85 % |
| | 10 | 3 % | 72 % | 11 % | 75 % |
| | 15 | 2 % | 96 % | 10 % | 72 % |
| | 20 | 2 % | 76 % | 9 % | 69 % |

4.2 Risco de inundação costeira

O mapeamento das classes de uso e ocupação do território sob risco de inundação devido aos eventos de galgamento que possam ocorrer na região é efetuado com base nas projeções resultantes dos modelos numéricos de evolução da linha de costa (LTC e LITMOD), à semelhança da metodologia seguida para avaliação de áreas potencialmente perdidas por efeito da erosão. Complementarmente, foram considerados para avaliação os dados históricos de eventos de galgamento ocorridos na praia da Vagueira, como se relata de seguida.

As ocorrências de galgamento registadas na Vagueira localizam-se essencialmente nos limites norte e sul da área urbana costeira, nas zonas onde a largura de praia é inferior e a linha de costa está mais próxima da obra longitudinal aderente (ver Figura 4.7). Os eventos relatados ocorreram já após a intervenção realizada no ano 2015 para elevação da cota de coroamento da defesa aderente da praia, quando se conjugaram níveis de maré elevados e condições de agitação especialmente energéticas (consultar Freire *et al.*, 2020 para mais pormenores).



Figura 4.7 – Registo fotográfico de eventos de galgamento na praia da Vagueira (fonte: Câmara Municipal de Vagos)

Em função do modo como a massa de água oceânica transpõe a estrutura de defesa, distinguem-se os 3 tipos de galgamento ocorridos na praia da Vagueira: *spray* ou *white water* - que sucede quando a ação do vento na crista das ondas é significativa e possui capacidade para transportar borrifos (embora esta situação possa conceber perigos diversos como por exemplo a redução repentina de visibilidade nas estradas costeiras, tem pouca expressão em termos quantitativos); *splash* - quando as ondas rebentam sobre a face exposta da obra costeira e originam um volume considerável de salpicos que passam sobre a estrutura (quer sob o efeito da própria dinâmica, quer sob o efeito da ação do vento, ou mesmo na conjugação dos dois); e *green water* - quando a massa líquida passa continuamente sobre o coroamento da estrutura, sendo considerado o tipo de galgamento mais relevante no tratamento das questões costeiras (Pombo, 2016). Especificamente para a situação ilustrada na Figura 4.7c, ocorreram danos nos equipamentos localizados sob o coroamento da estrutura de defesa (serviço de restauração).

No presente estudo, o critério considerado para definição de área inundável tem por base os registos históricos locais. De acordo com o observado na Figura 4.7a e Figura 4.7b, a área de inundação

estende-se pela via rodoviária e parque de estacionamento existentes no tardo da obra longitudinal aderente, representado uma distância de aproximadamente 50 m no plano horizontal, desde a linha de costa. Este critério é também válido para a área de inundação observada na Figura 4.7c, que se estende pelo coroamento da obra aderente atingindo o equipamento visível na figura (junto ao candeeiro público), e atingindo também o equipamento de restauração localizado na intersecção da obra aderente com o esporão (observável parte da estrutura danificada no plano mais próximo da fotografia). Assim sendo, foi definida como área de inundação a faixa com início na linha de costa que se estende paralelamente no sentido *onshore* numa largura de 50 m, conforme se ilustra na Figura 4.8.

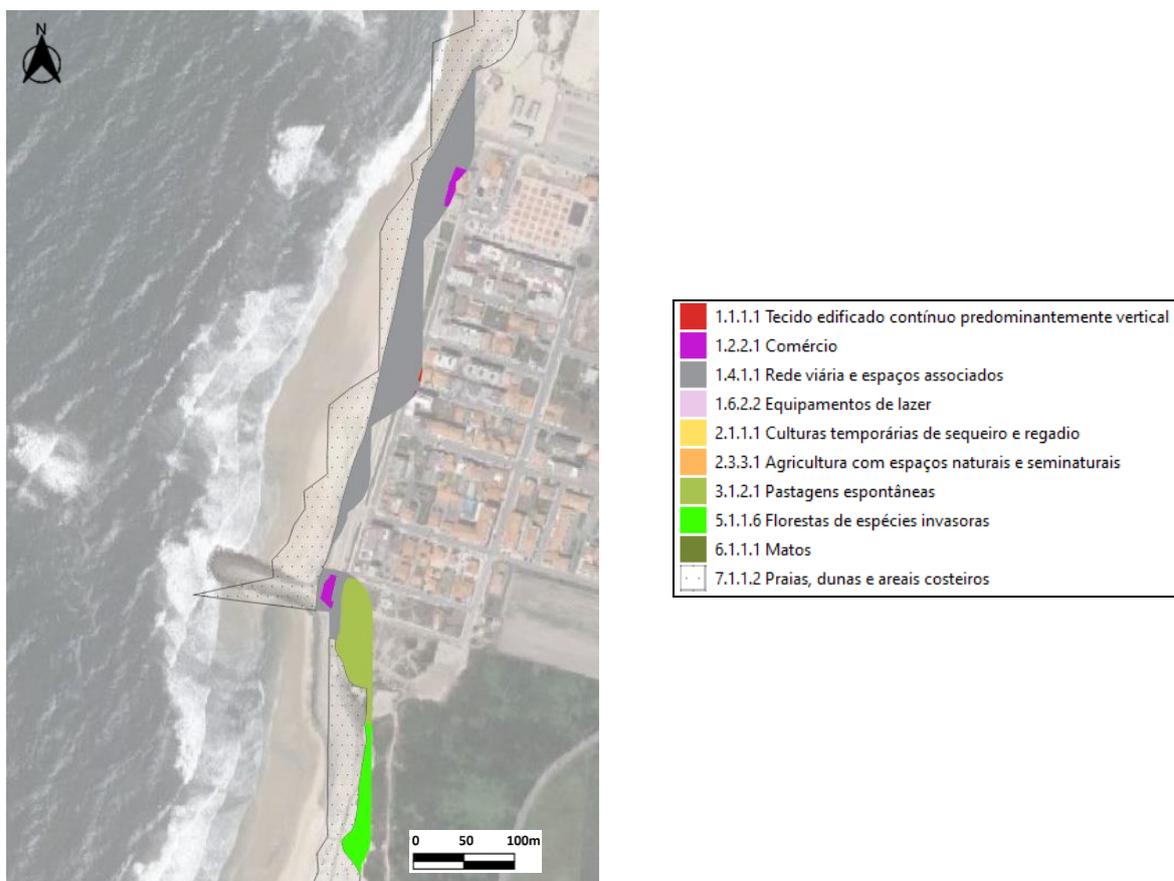


Figura 4.8 – Ilustração da faixa de inundação para o ano 20 do cenário de referência (sem QMD), na praia da Vagueira (classificação COS2018)

O mapeamento das classes de uso e ocupação do território sob risco de inundação é então efetuado de acordo com o conceito de área inundável definido para o caso de estudo e com as previsões de evolução da linha de costa resultantes dos modelos numéricos. Representam-se no Quadro 4.4 as áreas potencialmente inundáveis no cenário de referência, num horizonte temporal de 20 anos, com base na evolução da linha de costa prevista para o mesmo cenário (ver Quadro 4.1). Verifica-se, se não forem realizadas quaisquer intervenções costeiras no período em análise, a existência de diversas classes de uso e ocupação do solo sob risco de inundação.

Quadro 4.4 – Caracterização do cenário de referência: evolução de áreas inundáveis ao longo do tempo (simulações LTC no domínio 6 x 12 km²)

| Ano | Área inundável (m ²) | | | | | | | | | |
|-----|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | Classe ⁽¹⁾ | | | | | | | | | |
| | 1.1.1.1 | 1.2.2.1 | 1.4.1.1 | 1.6.2.2 | 2.1.1.1 | 2.3.3.1 | 3.1.2.1 | 5.1.1.6 | 6.1.1.1 | 7.1.1.2 |
| 1 | 0 | 616 | 16 085 | 61 | 0 | 0 | 5 910 | 5 055 | 3 | 666 349 |
| 2 | 0 | 1 142 | 16 548 | 63 | 0 | 0 | 6 362 | 8 183 | 7 | 662 861 |
| 3 | 0 | 1 144 | 17 421 | 82 | 0 | 0 | 6 891 | 10 588 | 6 | 662 848 |
| 4 | 0 | 1 146 | 17 542 | 130 | 0 | 0 | 7 174 | 11 242 | 11 | 659 984 |
| 5 | 0 | 1 149 | 16 705 | 140 | 0 | 0 | 7 151 | 11 659 | 17 | 659 680 |
| 6 | 0 | 1 163 | 16 958 | 142 | 0 | 0 | 7 509 | 13 250 | 22 | 656 115 |
| 7 | 0 | 1 149 | 16 310 | 145 | 0 | 0 | 7 702 | 12 760 | 24 | 657 911 |
| 8 | 32 | 1 155 | 17 428 | 240 | 0 | 0 | 8 170 | 14 770 | 34 | 656 276 |
| 9 | 34 | 1 179 | 17 827 | 171 | 0 | 0 | 8 265 | 16 132 | 35 | 659 695 |
| 10 | 32 | 1 170 | 17 484 | 196 | 0 | 0 | 8 332 | 15 339 | 33 | 656 261 |
| 11 | 36 | 1 152 | 17 501 | 276 | 0 | 0 | 8 507 | 16 452 | 37 | 656 325 |
| 12 | 32 | 1 166 | 17 733 | 332 | 0 | 0 | 8 128 | 16 896 | 45 | 657 793 |
| 13 | 37 | 1 166 | 17 591 | 344 | 0 | 0 | 8 443 | 17 482 | 40 | 656 384 |
| 14 | 33 | 1 155 | 17 559 | 268 | 0 | 0 | 8 462 | 17 355 | 39 | 655 408 |
| 15 | 33 | 1 172 | 17 635 | 216 | 0 | 0 | 8 519 | 17 600 | 40 | 660 179 |
| 16 | 32 | 1 169 | 17 599 | 297 | 0 | 0 | 8 947 | 18 565 | 42 | 658 383 |
| 17 | 33 | 1 192 | 17 800 | 324 | 2 | 2 | 9 012 | 18 985 | 40 | 653 971 |
| 18 | 0 | 1 147 | 16 314 | 308 | 0 | 0 | 9 096 | 18 942 | 31 | 656 878 |
| 19 | 32 | 752 | 16 460 | 281 | 55 | 0 | 8 879 | 18 997 | 36 | 660 047 |
| 20 | 37 | 794 | 16 486 | 341 | 45 | 22 | 9 139 | 20 041 | 44 | 666 001 |

⁽¹⁾1.1.1.1 Tecido edificado contínuo predominantemente vertical

1.2.2.1 Comércio

1.4.1.1 Rede viária e espaços associados

1.6.2.2 Equipamentos de lazer

2.1.1.1 Culturas temporárias de sequeiro e regadio

2.3.3.1 Agricultura com espaços naturais e seminaturais

3.1.2.1 Pastagens espontâneas

5.1.1.6 Florestas de espécies invasoras

6.1.1.1 Matos

7.1.1.2 Praias, dunas e areais costeiros

De acordo com as simulações, prevê-se que as classes de agricultura (nível 2) sejam afetadas apenas no final do horizonte de simulação e a sul do esporão do Labrego. No que se refere ao território artificializado (nível 1), a rede viária (1.4.1.1) localizada no tardoz da obra aderente da praia da Vagueira será a classe de ocupação do solo mais afetada (local onde existem registos históricos de galgamento). Prevê-se também que os galgamentos possam atingir uma área reduzida do tecido edificado (1.1.1.1) na praia da Vagueira. Em relação ao comércio (1.2.2.1), as previsões também corroboram os registos observados: as instalações da Figura 4.7c serão sempre as mais afetadas (prevê-se que a área de inundação alcance as instalações em todo o seu perímetro); os estabelecimentos de restauração localizados na extremidade norte da defesa aderente (Figura 4.7a,b) serão afetados de forma genericamente semelhante com o decorrer do tempo. Quanto a equipamentos de lazer (1.6.2.2), verifica-se o progressivo recuo da linha de costa e o consequente aumento da área inundável no parque aquático Vaga Splash que se estende até às dunas. As pastagens espontâneas, as florestas de espécies invasoras e os matos mais próximos aos sistemas dunares localizam-se a norte da Vagueira e entre a Vagueira e o Labrego antecipando-se, respetivamente, áreas máximas de inundação de 9 139 m², 20 041 m² e 45 m². Finalmente, e como

seria de esperar, prevê-se que os galgamentos oceânicos atinjam maioritariamente as áreas classificadas como praias, dunas e areais costeiros.

Na Figura 4.9 ilustram-se as áreas que não seriam inundadas por efeito da construção do QMD, para cada opção de configuração estrutural e de localização da obra. À semelhança da análise para as áreas não perdidas, o impacto do QMD faz-se sentir principalmente na zona de sombra da estrutura onde ocorre acreção de sedimentos (ver Figura 4.4).

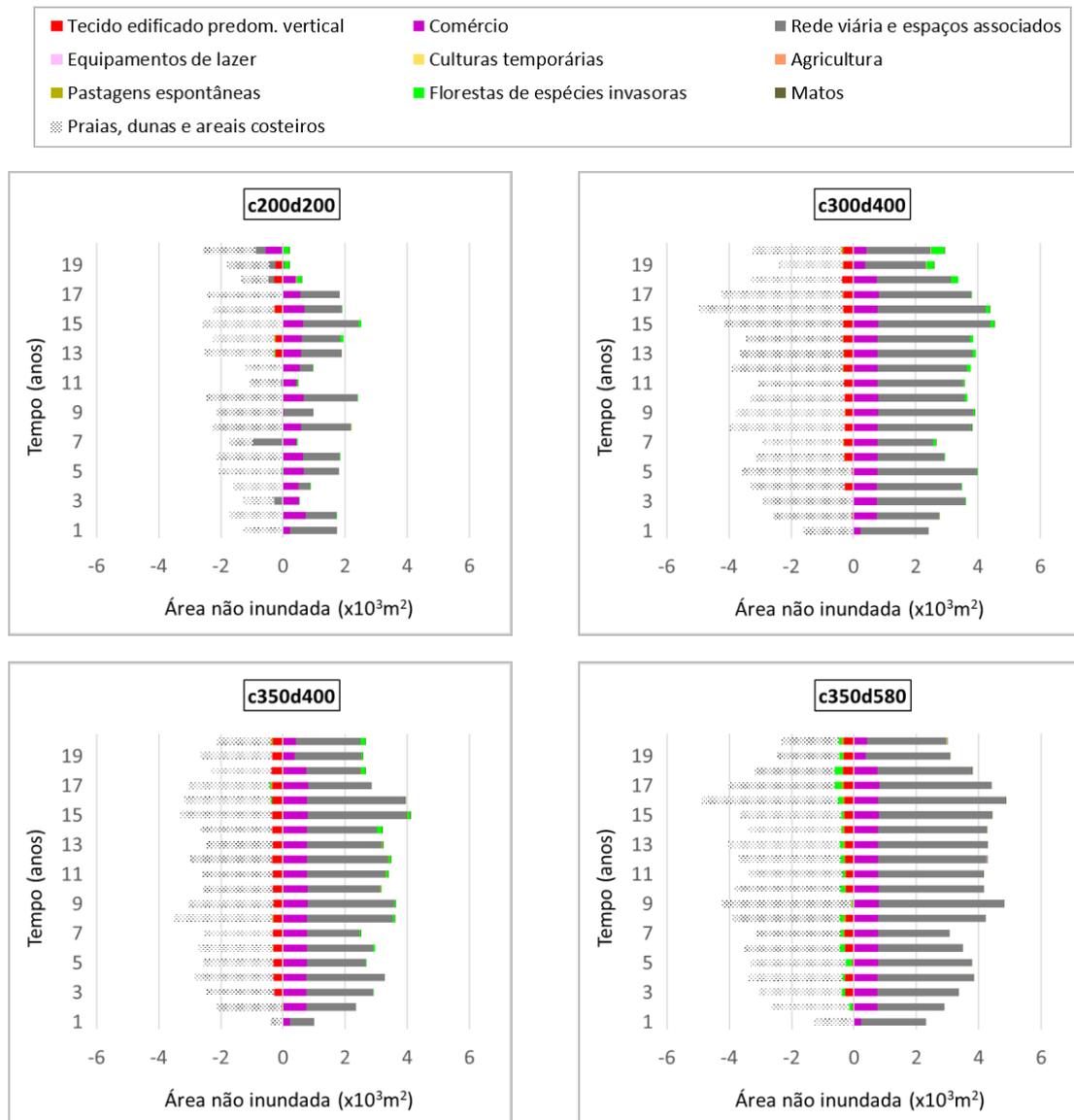


Figura 4.9 – Impacto do QMD ao longo do tempo: áreas de solo não inundadas para cada cenário (áreas obtidas pela diferença dos resultados com QMD e o de referência) para simulações LTC no domínio 6 x 12 km²

Verifica-se o impacto positivo do QMD para a maioria das classes de uso e ocupação do solo. Os maiores benefícios da implantação do QMD são para os estabelecimentos de comércio (a roxo) e rede viária (a cinzento escuro) localizados na proximidade da zona de acreção de sedimentos. Por outro lado, como já foi explicado, o QMD irá promover erosão a sotamar do eixo transversal de simetria, afetando os edifícios na proximidade da zona de maior recuo da linha de costa. Verifica-se o

maior benefício do QMD para os cenários c300d400 e c350d580, com o conseqüente prejuízo das áreas edificadas (a vermelho). Analogamente, o cenário c200d200 é o que tem impacto menor, traduzido pelo menor benefício das áreas comerciais e estradas (menor área de acreção) e menor prejuízo das áreas edificadas (menor área de erosão).

Foram ainda comparados os resultados das simulações do LTC com os resultados do LITMOD, para a zona próxima à Vagueira no domínio de estudo reduzido (resultados no Quadro 4.5 e Quadro 4.6). Ambos os modelos estimam benefícios positivos para as classes de comércio e rede viária, em todos os cenários e em quase todos os anos da simulação (no LITMOD os benefícios máximos são de 11 130 m² de área não inundada e no LTC são de 3 633 m²). Para as restantes classes os benefícios são genericamente negativos, verificando-se um aumento das áreas inundáveis de agricultura e florestas no LITMOD, até ao máximo de 7 797 m² e 9 252 m², respetivamente.

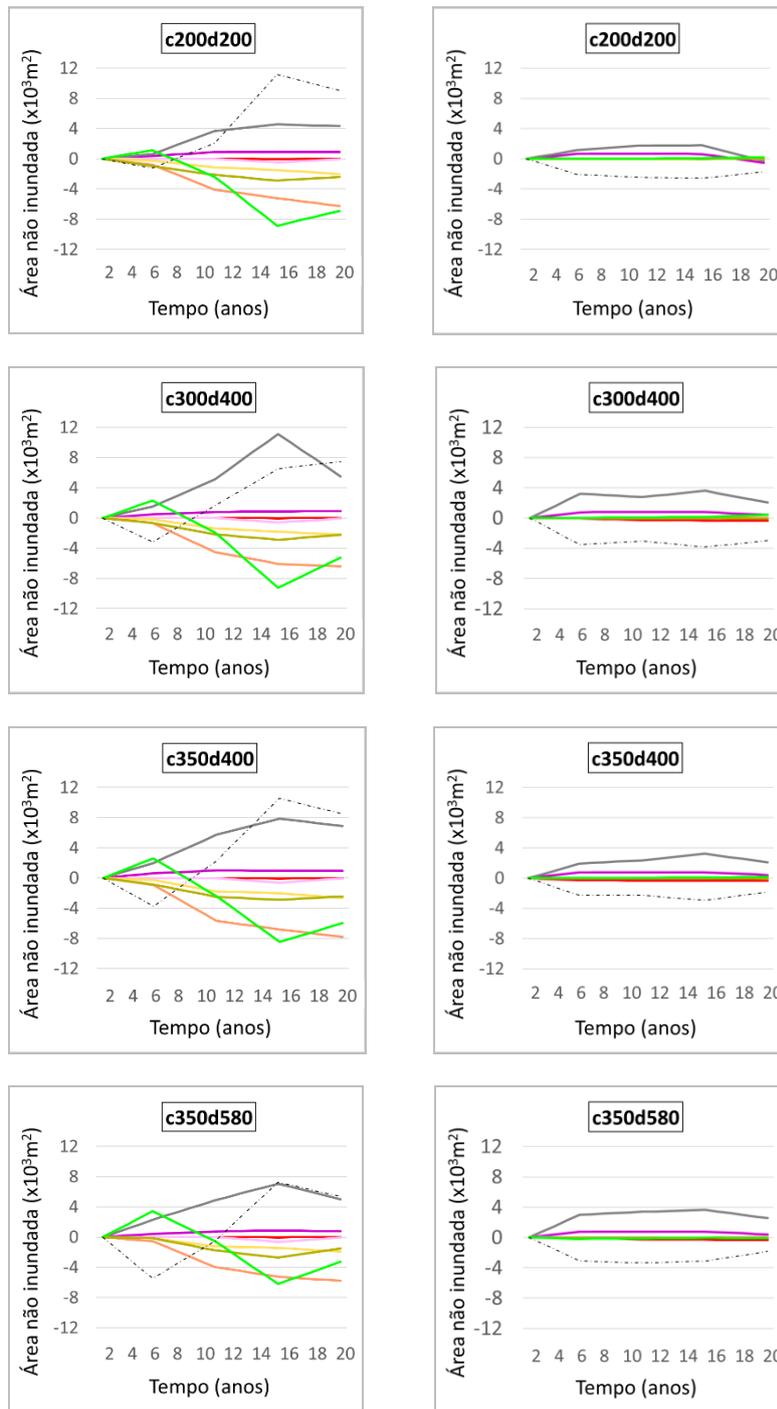
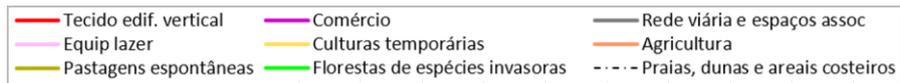
Finalmente, pode visualizar-se na Figura 4.10 a representação gráfica do impacto das 4 opções de QMD sobre as diversas classes de uso e ocupação do solo em risco de inundação (os resultados numéricos podem ser consultados no Anexo II). Os valores anuais foram interpolados linearmente através dos resultados para os anos 5, 10, 15 e 20.

Quadro 4.5 – Caracterização do cenário de referência e cenários com QMD: evolução de áreas inundáveis ao longo do tempo (simulações LITMOD no domínio 6 x 5.6 km²)

| Cenário | Ano | Área inundável (m ²) | | | | | | | | |
|----------|-----|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | Classe ⁽¹⁾ | | | | | | | | |
| | | 1.1.1.1 | 1.2.2.1 | 1.4.1.1 | 1.6.2.2 | 2.1.1.1 | 2.3.3.1 | 3.1.2.1 | 5.1.1.6 | 7.1.1.2 |
| sem QMD | 5 | 22 | 1 564 | 25 393 | 0 | 160 | 198 | 4 205 | 25 069 | 237 728 |
| | 10 | 2 | 1 564 | 25 062 | 0 | 1 498 | 4 905 | 3 738 | 23 884 | 234 349 |
| | 15 | 2 | 1 564 | 25 171 | 0 | 1 752 | 5 816 | 4 122 | 24 447 | 231 874 |
| | 20 | 2 | 1 564 | 25 177 | 0 | 1 747 | 5 809 | 4 123 | 24 411 | 231 906 |
| c200d200 | 5 | 28 | 1 177 | 24 757 | 0 | 379 | 963 | 5 156 | 23 904 | 238 935 |
| | 10 | 2 | 654 | 21 406 | 0 | 2 612 | 8 985 | 5 857 | 26 269 | 232 277 |
| | 15 | 28 | 666 | 20 621 | 471 | 3 227 | 11 013 | 7 002 | 33 316 | 220 702 |
| | 20 | 0 | 627 | 20 841 | 41 | 3 771 | 12 079 | 6 529 | 31 286 | 222 841 |
| c300d400 | 5 | 32 | 1 093 | 23 865 | 0 | 355 | 868 | 4 841 | 22 758 | 240 878 |
| | 10 | 1 | 762 | 19 918 | 0 | 2 874 | 9 431 | 5 896 | 25 827 | 232 670 |
| | 15 | 32 | 692 | 14 040 | 620 | 3 574 | 11 881 | 7 009 | 33 699 | 225 359 |
| | 20 | 1 | 657 | 19 658 | 43 | 3 910 | 12 221 | 6 334 | 29 647 | 224 438 |
| c350d400 | 5 | 29 | 930 | 23 385 | 0 | 417 | 1 099 | 5 053 | 22 457 | 241 477 |
| | 10 | 11 | 567 | 19 335 | 0 | 3 251 | 10 582 | 6 243 | 26 286 | 232 065 |
| | 15 | 32 | 603 | 17 297 | 612 | 3 792 | 12 609 | 7 012 | 32 895 | 221 299 |
| | 20 | 1 | 599 | 18 303 | 62 | 4 376 | 13 606 | 6 552 | 30 392 | 223 426 |
| c350d580 | 5 | 25 | 1 127 | 23 108 | 0 | 331 | 742 | 4 342 | 21 640 | 243 191 |
| | 10 | 1 | 812 | 20 179 | 0 | 2 707 | 8 867 | 5 477 | 24 441 | 234 850 |
| | 15 | 32 | 692 | 18 104 | 630 | 3 179 | 11 052 | 6 847 | 30 648 | 224 602 |
| | 20 | 1 | 807 | 20 152 | 36 | 3 677 | 11 604 | 5 609 | 27 686 | 226 530 |

Quadro 4.6 – Caracterização do cenário de referência e cenários com QMD: evolução de áreas inundáveis ao longo do tempo (simulações LTC no domínio 6 x 5.6 km²)

| Cenário | Ano | Área inundável (m ²) | | | | | | | | |
|----------|-----|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | Classe ⁽¹⁾ | | | | | | | | |
| | | 1.1.1.1 | 1.2.2.1 | 1.4.1.1 | 1.6.2.2 | 2.1.1.1 | 2.3.3.1 | 3.1.2.1 | 5.1.1.6 | 7.1.1.2 |
| sem QMD | 5 | 0 | 1 149 | 16 705 | 140 | 0 | 0 | 7 151 | 11 659 | 271 696 |
| | 10 | 32 | 1 170 | 17 484 | 196 | 0 | 0 | 8 319 | 15 339 | 266 360 |
| | 15 | 33 | 1 172 | 17 635 | 216 | 0 | 0 | 8 404 | 17 600 | 266 384 |
| | 20 | 37 | 794 | 16 486 | 341 | 45 | 22 | 8 863 | 20 041 | 268 660 |
| c200d200 | 5 | 39 | 487 | 15 560 | 140 | 0 | 0 | 7 152 | 11 665 | 273 758 |
| | 10 | 46 | 508 | 15 743 | 196 | 0 | 0 | 8 323 | 15 317 | 268 793 |
| | 15 | 48 | 534 | 15 841 | 218 | 0 | 0 | 8 411 | 17 522 | 268 955 |
| | 20 | 54 | 1 335 | 16 800 | 344 | 34 | 24 | 8 870 | 19 855 | 270 392 |
| c300d400 | 5 | 46 | 389 | 13 500 | 140 | 0 | 0 | 7 154 | 11 640 | 275 224 |
| | 10 | 320 | 389 | 14 695 | 196 | 0 | 0 | 8 322 | 15 254 | 269 394 |
| | 15 | 358 | 389 | 14 030 | 216 | 0 | 0 | 8 410 | 17 463 | 270 216 |
| | 20 | 372 | 389 | 14 417 | 334 | 28 | 19 | 8 920 | 19 629 | 271 649 |
| c350d400 | 5 | 296 | 389 | 14 793 | 140 | 0 | 0 | 7 155 | 11 636 | 273 960 |
| | 10 | 348 | 389 | 15 126 | 196 | 0 | 0 | 8 312 | 15 306 | 268 613 |
| | 15 | 372 | 389 | 14 418 | 214 | 0 | 0 | 8 395 | 17 511 | 269 316 |
| | 20 | 368 | 389 | 14 391 | 342 | 47 | 22 | 8 931 | 19 888 | 270 484 |
| c350d580 | 5 | 45 | 389 | 13 703 | 140 | 0 | 0 | 7 175 | 11 849 | 274 778 |
| | 10 | 300 | 389 | 14 097 | 192 | 0 | 0 | 8 355 | 15 466 | 269 708 |
| | 15 | 334 | 389 | 14 002 | 227 | 0 | 0 | 8 450 | 17 654 | 269 504 |
| | 20 | 355 | 389 | 13 928 | 338 | 28 | 20 | 8 972 | 20 114 | 270 489 |



a) modelo LITMOD

b) modelo LTC

Figura 4.10 – Impacto do QMD ao longo do tempo: áreas de solo não inundadas para cada cenário (áreas obtidas pela diferença dos resultados com QMD e o de referência) para simulações LITMOD (a) e LTC (b) no domínio 6 x 5.6 km²

5 | Valoração das classes de uso e ocupação do solo

A determinação do valor das classes de uso e ocupação do solo expostas aos fenómenos de erosão e inundação na área de interesse combina o conhecimento de valores locais (sempre que existem dados disponíveis) com a adoção de estratégias de transferência de valor (na inexistência de dados locais). No segundo caso, a valoração é feita por ajuste de valores previamente estimados em casos de estudo de características semelhantes. Para esta análise, e em diante, será considerado apenas o domínio de análise reduzido de 6 x 5.6 km².

Para a Vagueira, já foi realizado um estudo específico que apresenta uma estimativa do valor da praia (classe 7.1.1.2) e que será discriminado de seguida. Para as restantes classes, tem-se por base a análise bibliográfica para recolha de valores para locais semelhantes. Estes valores são, por fim, ajustados (“transferidos”) para a Vagueira por correspondência de classificação das classes de solo e ainda por atualização para o respetivo valor em euros no ano 2020 (2020€), com base nas taxas de variação do Índice de Preços no Consumidor (INE, 2020).

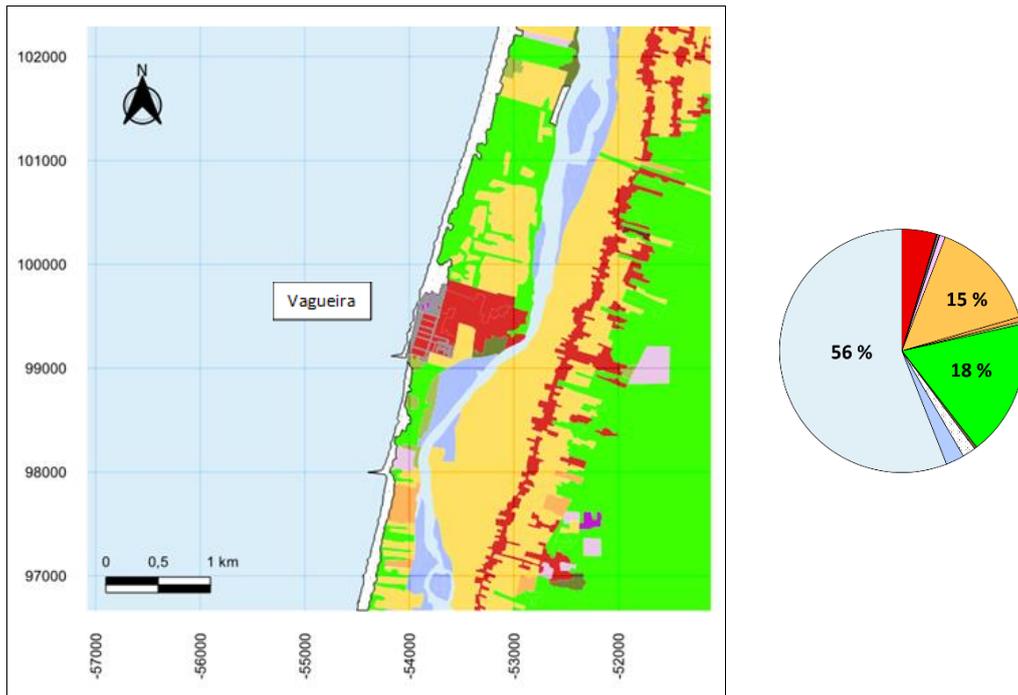
Na Quadro 5.1 resumem-se os resultados obtidos por aplicação da estratégia referida: na primeira coluna listam-se as designações originais (em inglês) de locais de interesse semelhantes já valorados de acordo com a bibliografia, nas duas colunas seguintes listam-se as designações correspondentes na classificação COS2018 (modelo de classificação do território considerado no presente estudo), e na última coluna indica-se o valor de cada classe já ajustado para a Vagueira.

Quadro 5.1 – Valor definido para as classes de uso e ocupação do solo expostas aos fenómenos de erosão e inundação costeira

| Classes de uso e ocupação do solo | | | Valor (2020€/ha/ano) ⁽³⁾ |
|--|---|---|--|
| Designação inicial | Correspondência COS2018 | | |
| <i>Artificial surfaces</i> ⁽¹⁾ | 1.Territórios artificializados | 1.1.1.1 Tecido edificado contínuo predominantemente vertical | 633 691 |
| <i>Industry, commercial and transport</i> ⁽²⁾ | | 1.2.2.1 Comércio 1.4.1.1 Rede viária e espaços associados 1.6.2.2 Equipamentos de lazer | 329 004 |
| <i>Scrub and/or herbaceous vegetation</i> ⁽²⁾ | 3.Pastagens | 3.1.2.1 Pastagens espontâneas | 1 117 |
| <i>Forests</i> ⁽¹⁾ | 5. Florestas | 5.1.1.6 Florestas de espécies invasoras | 2 207 |
| <i>Beaches, dunes and sands</i> ⁽¹⁾ | 7. Espaços descobertos ou com pouca vegetação | 7.1.1.2 Praias, dunas e areais costeiros | 20 343 |

Fonte: ⁽¹⁾ Roebeling *et al.*, (2018); ⁽²⁾ Roebeling *et al.*, (2015); ⁽³⁾ Fator de atualização (2010€ → 2020€): 1.11

Na Figura 5.1 esquematiza-se a distribuição espacial das classes de uso e ocupação do solo no 2º nível da classificação COS2018 e representa-se de forma gráfica a distribuição proporcional das 7 classes expostas aos fenómenos da dinâmica litoral, no 4º nível da classificação.



Legenda

| | |
|--|--|
| ■ 1.1 Tecido edificado | ■ 2.3 Áreas agrícolas heterogêneas |
| ■ 1.2 Indústria, comércio e instalações agrícolas | ■ 3.1 Pastagens |
| ■ 1.4 Transportes | ■ 5.1 Florestas |
| ■ 1.5 Áreas de extração de inertes, áreas de deposição de resíduos e estaleiros de construção | ■ 6.1 Matos |
| ■ 1.6 Equipamentos | □ 7.1 Espaços descobertos ou com pouca vegetação |
| ■ 1.7 Parques e jardins | ■ 8.1 Zonas húmidas |
| ■ 2.1 Culturas temporárias | ■ 9.2 Aquicultura |
| | ■ 9.3 Massas de água de transição e costeiras |

Figura 5.1 – Distribuição geográfica das classes de uso e ocupação do solo expostas aos fenómenos de erosão e inundação costeira (domínio 6 x 5.6 km²; classificação COS2018)

Como referido já existe um estudo, efetuado por Noordegraaf (2020), sobre a estimativa do valor da praia da Vagueira, particularmente focado na componente recreativa. Neste trabalho foi estimado o benefício que o incremento do areal de praia emersa, por efeito da acreção de sedimentos na zona de sombra do QMD, poderá representar no usufruto pela população banhar da Vagueira e, conseqüentemente, no valor atribuído a esta área do território. Nesta metodologia de valoração proposta por Noordegraaf (2020), a praia da Vagueira apresenta um valor de 344 €/turista banhar/ano, estimando-se para aquela praia um fluxo médio anual de 24 517 turistas (CMV, 2010). O estudo foi apoiado pela realização de inquéritos presenciais e *on-line* no verão do ano 2020, que apresentaram dados concretos sobre o projeto e alguns resultados da análise

preliminar de forma que os inquiridos - frequentadores daquela praia - determinassem o *Willingness to Pay*² em função do incremento da área balnear.

Estima-se que a componente de valor recreativo de um ecossistema costeiro com proximidade a ambientes estuarinos (como é o caso da Vagueira, com localização relativamente próxima ao estuário da ria de Aveiro) corresponda a cerca de 2 % do valor total da classe - que inclui, além do valor recreativo, o valor cultural, de habitats, de matéria-prima, etc. (Costanza *et al.*, 1997). Desta forma, o valor determinado para a classe de praias pode ser decomposto no valor recreativo (2 %) e não recreativo (98 %), sendo que especificamente para a área balnear da praia da Vagueira (ver Figura 16) foi adotado o valor recreativo determinado por Noordegraaf (2020). Para as restantes áreas de praia, o valor adotado mantém-se o determinado pela estratégia de transferência de valor (conforme Tabela 8), a que corresponde um valor recreativo de 339 €/ha/ano (ou seja, cerca de 2 % de 20 343€). O valor não recreativo é, para todas as praias, 20 004 € (ou seja, cerca de 98 % de 20 343€).

Na Figura 5.2 esquematiza-se por fim a zona de praia da Vagueira usualmente ocupada para fins balneares, delimitada pelo retângulo azul, conforme já definido no Capítulo 4. Identificam-se também as linhas de costa iniciais dos modelos numéricos LITMOD (a verde) e LTC (a laranja) e as respetivas áreas iniciais de praia na Vagueira correspondentes a 6 ha e 9 ha, na situação atual - ano zero das simulações. Em ambos os modelos matemáticos, a Vagueira representa cerca de 15 % da área total coberta pela classe 7.1.1.2 (ver tabela auxiliar da Figura 5.2).

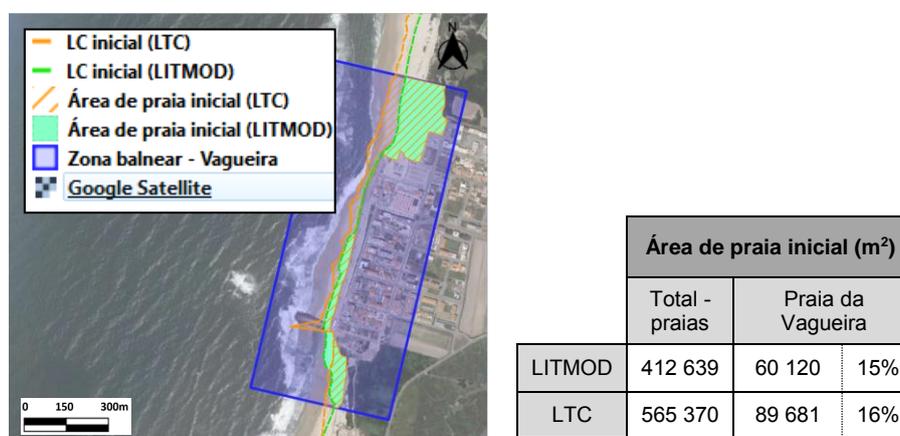


Figura 5.2 – Área principal da praia da Vagueira para efeitos de recreação balnear

Tendo em conta as áreas balneares da Vagueira determinadas para os 2 modelos numéricos, estima-se um número médio de 4 078 turistas/ha/ano para o LITMOD e 2 734 turistas/ha/ano para o LTC, resultando nos valores recreativos apresentados no Quadro 5.2. Os valores totais, apresentados na mesma tabela, correspondem à soma dos valores recreativos (ou seja, 344 €/turista balnear/ano;

² Disposição de uma pessoa para pagar (geralmente, por um produto ou serviço) no sentido de evitar uma perda ou melhorar determinada circunstância. Neste caso, evitar a perda e aumentar a área balnear da Vagueira.

valor determinado especificamente para a Vagueira) e não recreativos (correspondentes a 98 % de 20 343 €/ano, o valor genérico de referência para a classe de praias).

Quadro 5.2 – Valor económico recreativo e total estimado para a praia da Vagueira (simulações LITMOD e LTC)

| | Valor recreativo (€/ha/ano) | Valor total (€/ha/ano) |
|--------|--|-----------------------------------|
| LITMOD | 1 402 837 | 1 422 841 |
| LTC | 940 432 | 960 436 |

6 | Determinação dos benefícios económicos do QMD

6.1 Mitigação do risco de erosão costeira

Neste capítulo determinam-se os benefícios dos vários cenários de QMD no que se refere à mitigação do fenómeno de erosão costeira, entendendo-se como benefícios positivos aqueles que resultam em áreas ganhas ou não perdidas e benefícios negativos aqueles que resultam em áreas erodidas, podendo ser traduzidos para a unidade monetária através da valoração das classes de solo que afetam.

Relembra-se que as áreas do território mais suscetíveis ao fenómeno de erosão são as áreas naturais que, nas simulações LTC, são as classes de praias (7.1.1.2) e florestas (5.1.1.6) e, nas simulações LITMOD, são as classes de praias, florestas e ainda de pastagens (3.1.2.1).

O valor da classe de praias foi ajustado com base no conhecimento local e, portanto, é específico para a praia da Vagueira (ver Quadro 5.2), conforme discutido no capítulo anterior. O valor atribuído às restantes praias e às classes de pastagens e florestas foi definido em função de valores pré-determinados em casos de estudo semelhantes (ver Quadro 5.1). A evolução das áreas de cada classe ao longo dos 20 anos de simulação já foi discutida nos capítulos anteriores para o cenário de referência e para os 4 cenários de QMD, sendo que aqui resumem-se os valores mais relevantes para a interpretação dos resultados.

Apresenta-se no Quadro 6.1 e Quadro 6.2 a evolução anual das áreas de praia, pastagens e florestas, respetivamente, com base nos modelos numéricos LITMOD e LTC, onde balanços negativos representam preponderância de erosão e balanços positivos representam preponderância de acreção, nesse ano. As áreas finais são calculadas em função deste balanço por referência às áreas iniciais (no ano zero da simulação), também indicadas na parte superior das tabelas. Seguidamente, indica se o valor monetário da área final de praia em cada situação (multiplicando a área final pelo respetivo valor em “€/ha/ano”, determinado anteriormente no Capítulo 5). Por fim, o benefício representa a diferença do valor daquela classe no cenário de QMD subtraído do valor da mesma classe no mesmo ano do cenário de referência (sem QMD): benefícios positivos são coloridos a verde (representando ganhos económicos); benefícios negativos são coloridos a vermelho (representando perdas económicas).

De acordo com a análise do Capítulo 4, tinha-se já concluído que tanto as projeções do modelo LITMOD como as do modelo LTC preveem, após instalação do QMD, a formação de um saliente em frente à zona urbana da Vagueira, resolvendo o problema de erosão neste local, com a consequente propagação do défice sedimentar para sotamar. Como tal, o benefício decorrente da construção do QMD é sempre maior para a praia da Vagueira do que aquele verificado nas restantes praias.

Quadro 6.1 – Determinação dos benefícios de cada cenário devido à mitigação da erosão de praias, pastagens e florestas (simulações LITMOD)

| Cenário | Ano | Praia da Vagueira (Área inicial = 6.0 ha) | | | | Restantes praias (Área inicial = 35.3 ha) | | | | Total | |
|----------|-----|--|--------------------|------------------|----------------------|--|--------------------|------------------|----------------------|----------------------|--|
| | | Balanço (m ²) | Área final (ha) | Valor (€/ano) | Benefício (€/ano) | Balanço (m ²) | Área final (ha) | Valor (€/ano) | Benefício (€/ano) | Benefício (€/ano) | |
| sem QMD | 5 | -2 741 | 5.7 | 8 164 039 | | -17 681 | 33.5 | 681 161 | | | |
| | 10 | -1 175 | 5.9 | 8 386 942 | | -31 347 | 32.1 | 653 361 | | | |
| | 15 | -1 518 | 5.9 | 8 338 153 | | -35 655 | 31.7 | 644 596 | | | |
| | 20 | -1 529 | 5.9 | 8 336 531 | | -35 580 | 31.7 | 644 750 | | | |
| c200d200 | 5 | -561 | 6.0 | 8 474 291 | 310 252 | -19 397 | 33.3 | 677 670 | -3 491 | 306 761 | |
| | 10 | +7 611 | 6.8 | 9 636 977 | 1 250 035 | -37 754 | 31.5 | 640 327 | -13 034 | 1 237 001 | |
| | 15 | +7 439 | 6.8 | 9 612 604 | 1 274 450 | -62 149 | 29.0 | 590 701 | -53 895 | 1 220 555 | |
| | 20 | +8 377 | 6.8 | 9 746 083 | 1 409 552 | -51 824 | 30.1 | 611 704 | -33 046 | 1 376 506 | |
| c300d400 | 5 | +1 198 | 6.1 | 8 724 598 | 560 559 | -18 940 | 33.4 | 678 601 | -2 560 | 557 999 | |
| | 10 | +9 255 | 6.9 | 9 870 905 | 1 483 963 | -38 617 | 31.4 | 638 571 | -14 790 | 1 469 173 | |
| | 15 | +12 576 | 7.3 | 10 343 533 | 2 005 379 | -65 592 | 28.7 | 583 696 | -60 901 | 1 944 479 | |
| | 20 | +9 592 | 7.0 | 9 918 952 | 1 582 421 | -51 707 | 30.1 | 611 943 | -32 807 | 1 549 614 | |
| c350d400 | 5 | +2 165 | 6.2 | 8 862 224 | 698 185 | -19 390 | 33.3 | 677 685 | -3 476 | 694 709 | |
| | 10 | +11 735 | 7.2 | 10 223 850 | 1 836 907 | -39 014 | 31.4 | 637 763 | -15 598 | 1 821 309 | |
| | 15 | +11 701 | 7.2 | 10 218 914 | 1 880 760 | -62 300 | 29.0 | 590 393 | -54 203 | 1 826 557 | |
| | 20 | +12 337 | 7.2 | 10 309 437 | 1 972 906 | -50 764 | 30.2 | 613 861 | -30 890 | 1 942 017 | |
| c350d580 | 5 | +2 785 | 6.3 | 8 950 426 | 786 387 | -18 152 | 33.4 | 680 203 | -958 | 785 430 | |
| | 10 | +9 630 | 7.0 | 9 924 261 | 1 537 319 | -36 687 | 31.6 | 642 498 | -10 863 | 1 526 455 | |
| | 15 | +11 012 | 7.1 | 10 120 907 | 1 782 753 | -62 128 | 29.0 | 590 743 | -53 853 | 1 728 900 | |
| | 20 | +8 945 | 6.9 | 9 826 877 | 1 490 346 | -51 866 | 30.1 | 611 620 | -33 131 | 1 457 216 | |

| Pastagens (Área inicial = 13.1 ha) | | | | Florestas (Área inicial = 135.0 ha) | | | | Total | | Total (Praias + Pastagens + Florestas) | |
|---------------------------------------|--------------------|------------------|----------------------|--|--------------------|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---|--|
| Balanço (m ²) | Área final (ha) | Valor (€/ano) | Benefício (€/ano) | Balanço (m ²) | Área final (ha) | Valor (€/ano) | Benefício (€/ano) | Benefício (€/ano) | Benefício (€/ano) | | |
| 0 | 13.1 | 14 603 | | -68 | 135.0 | 298 016 | | | | | |
| 0 | 13.1 | 14 603 | | 0 | 135.0 | 298 031 | | | | | |
| 0 | 13.1 | 14 603 | | 0 | 135.0 | 298 031 | | | | | |
| 0 | 13.1 | 14 603 | | 0 | 135.0 | 298 031 | | | | | |
| 0 | 13.1 | 14 603 | 0 | -78 | 135.0 | 298 014 | -2 | -2 | 306 759 | | |
| 0 | 13.1 | 14 603 | 0 | -977 | 134.9 | 297 816 | -216 | -216 | 1 236 785 | | |
| -1 316 | 12.9 | 14 456 | -147 | -1 546 | 134.9 | 297 690 | -341 | -488 | 1 220 067 | | |
| -194 | 13.1 | 14 581 | -22 | -1 285 | 134.9 | 297 748 | -284 | -305 | 1 376 201 | | |
| 0 | 13.1 | 14 603 | 0 | 0 | 135.0 | 298 031 | 15 | 15 | 558 014 | | |
| 0 | 13.1 | 14 603 | 0 | -822 | 135.0 | 297 850 | -181 | -181 | 1 468 992 | | |
| -1 068 | 13.0 | 14 483 | -119 | -1 109 | 134.9 | 297 787 | -245 | -364 | 1 944 115 | | |
| -67 | 13.1 | 14 595 | -8 | -818 | 135.0 | 297 851 | -181 | -188 | 1 549 426 | | |
| 0 | 13.1 | 14 603 | 0 | -3 | 135.0 | 298 031 | 14 | 14 | 694 723 | | |
| -50 | 13.1 | 14 597 | -6 | -1 218 | 134.9 | 297 762 | -269 | -274 | 1 821 035 | | |
| -1 118 | 13.0 | 14 478 | -125 | -1 098 | 134.9 | 297 789 | -242 | -367 | 1 826 190 | | |
| -208 | 13.1 | 14 580 | -23 | -1 129 | 134.9 | 297 782 | -249 | -272 | 1 941 744 | | |
| 0 | 13.1 | 14 603 | 0 | 0 | 135.0 | 298 031 | 15 | 15 | 785 445 | | |
| 0 | 13.1 | 14 603 | 0 | -449 | 135.0 | 297 932 | -99 | -99 | 1 526 356 | | |
| -375 | 13.0 | 14 561 | -42 | -554 | 135.0 | 297 909 | -122 | -164 | 1 728 736 | | |
| 0 | 13.1 | 14 603 | 0 | -166 | 135.0 | 297 995 | -37 | -37 | 1 457 179 | | |

Quadro 6.2 – Determinação dos benefícios de cada cenário devido à mitigação da erosão de praias e florestas (simulações LTC)

| Cenário | Ano | Praia da Vagueira (Área inicial = 9.0 ha) | | | | Restantes praias (Área inicial = 47.6 ha) | | | | Total |
|----------|-----|--|--------------------|------------------|----------------------|--|--------------------|------------------|----------------------|----------------------|
| | | Balanço (m ²) | Área final (ha) | Valor (€/ano) | Benefício (€/ano) | Balanço (m ²) | Área final (ha) | Valor (€/ano) | Benefício (€/ano) | Benefício (€/ano) |
| sem QMD | 5 | -10 226 | 7.9 | 7 631 131 | | -56 055 | 42.0 | 853 664 | | |
| | 10 | -13 189 | 7.6 | 7 346 482 | | -78 340 | 39.7 | 808 329 | | |
| | 15 | -12 529 | 7.7 | 7 409 893 | | -87 938 | 38.8 | 788 804 | | |
| | 20 | -12 277 | 7.7 | 7 434 137 | | -97 700 | 37.8 | 768 945 | | |
| c200d200 | 5 | -7 342 | 8.2 | 7 908 126 | 276 994 | -56 059 | 42.0 | 853 654 | -10 | 276 985 |
| | 10 | -9 842 | 8.0 | 7 667 981 | 321 499 | -78 291 | 39.7 | 808 429 | 100 | 321 599 |
| | 15 | -9 358 | 8.0 | 7 714 470 | 304 577 | -87 893 | 38.8 | 788 896 | 92 | 304 670 |
| | 20 | -10 397 | 7.9 | 7 614 718 | 180 581 | -97 335 | 37.8 | 769 688 | 743 | 181 324 |
| c300d400 | 5 | -3 623 | 8.6 | 8 265 230 | 634 099 | -56 036 | 42.0 | 853 702 | 39 | 634 137 |
| | 10 | -5 707 | 8.4 | 8 065 137 | 718 655 | -78 189 | 39.8 | 808 636 | 307 | 718 962 |
| | 15 | -4 668 | 8.5 | 8 164 944 | 755 051 | -87 895 | 38.8 | 788 891 | 87 | 755 138 |
| | 20 | -5 016 | 8.5 | 8 131 501 | 697 364 | -97 289 | 37.8 | 769 780 | 836 | 698 200 |
| c350d400 | 5 | -4 402 | 8.5 | 8 190 425 | 559 294 | -56 009 | 42.0 | 853 756 | 92 | 559 386 |
| | 10 | -6 899 | 8.3 | 7 950 659 | 604 177 | -78 302 | 39.7 | 808 407 | 78 | 604 255 |
| | 15 | -6 415 | 8.3 | 7 997 126 | 587 233 | -87 872 | 38.8 | 788 939 | 135 | 587 368 |
| | 20 | -7 264 | 8.2 | 7 915 576 | 481 439 | -97 237 | 37.8 | 769 886 | 941 | 482 380 |
| c350d580 | 5 | -2 458 | 8.7 | 8 377 134 | 746 003 | -56 320 | 41.9 | 853 124 | -540 | 745 463 |
| | 10 | -3 424 | 8.6 | 8 284 352 | 937 870 | -78 465 | 39.7 | 808 075 | -254 | 937 616 |
| | 15 | -3 148 | 8.7 | 8 310 865 | 900 972 | -88 034 | 38.8 | 788 608 | -196 | 900 776 |
| | 20 | -3 546 | 8.6 | 8 272 646 | 838 510 | -97 603 | 37.8 | 769 143 | 198 | 838 708 |

| Florestas (Área inicial = 135.0 ha) | | | | Total (Praias + Florestas) |
|--|--------------------|------------------|----------------------|-------------------------------|
| Balanço (m ²) | Área final (ha) | Valor (€/ano) | Benefício (€/ano) | Benefício (€/ano) |
| 0 | 135.0 | 298 031 | | |
| 0 | 135.0 | 298 031 | | |
| -35 | 135.0 | 298 024 | | |
| 0 | 135.0 | 298 031 | | |
| 0 | 135.0 | 298 031 | 0 | 276 985 |
| 0 | 135.0 | 298 031 | 0 | 321 599 |
| -34 | 135.0 | 298 024 | 0 | 304 670 |
| 0 | 135.0 | 298 031 | 0 | 181 324 |
| 0 | 135.0 | 298 031 | 0 | 634 137 |
| 0 | 135.0 | 298 031 | 0 | 718 962 |
| -32 | 135.0 | 298 024 | 1 | 755 139 |
| 0 | 135.0 | 298 031 | 0 | 698 200 |
| 0 | 135.0 | 298 031 | 0 | 559 386 |
| 0 | 135.0 | 298 031 | 0 | 604 255 |
| -32 | 135.0 | 298 024 | 1 | 587 369 |
| 0 | 135.0 | 298 031 | 0 | 482 380 |
| 0 | 135.0 | 298 031 | 0 | 745 463 |
| 0 | 135.0 | 298 031 | 0 | 937 616 |
| -38 | 135.0 | 298 023 | -1 | 900 776 |
| 0 | 135.0 | 298 031 | 0 | 838 708 |

Na Figura 6.1 esquematiza-se, para as simulações LITMOD, a evolução anual do valor da classe de praias (classe 7.1.1.2 - que engloba a praia da Vagueira e as restantes praias inseridas domínio de análise) e do valor conjunto das classes de pastagens (3.1.2.1) e florestas (5.1.1.6). Verifica-se que se forem mantidas as condições atuais (linha tracejada a vermelho), o valor das praias tende a desvalorizar até ao ano 5, estabilizando no valor anual de cerca de 9 000 000 € na última década do período de projeção. As pastagens e florestas tendem a representar um valor constante de cerca de 312 600 €/ano ao longo dos 20 anos porque no cenário de referência não há perda de área de pastagens em nenhum ano e a perda de floresta representa um valor máximo de 68 m² no ano 5, sendo que a partir do ano 10 não se prevêem mais perdas. Para os cenários de QMD o impacto nestas 2 classes é negativo, embora reduzido, pois genericamente não há perdas de território desta tipologia nos primeiros anos e as perdas máximas, que acontecem no ano 15 do QMD c200d200 (-1 316 m² de pastagens e -1 546 m² de floresta), representam um valor residual de -488 €/ano. Pelo contrário, os benefícios do QMD no que se refere às áreas de praia são bastante positivos, evoluindo de forma crescente e acentuada até cerca do décimo ano, atingindo o pico do benefício económico no ano 15 para os cenários c300d400 e c350d580 e no ano 20 para os restantes 2 cenários. Estes benefícios representam cerca de 150 000 € logo no segundo ano e variam entre cerca de 1 375 000 € e 1 940 000 € no ano 20.

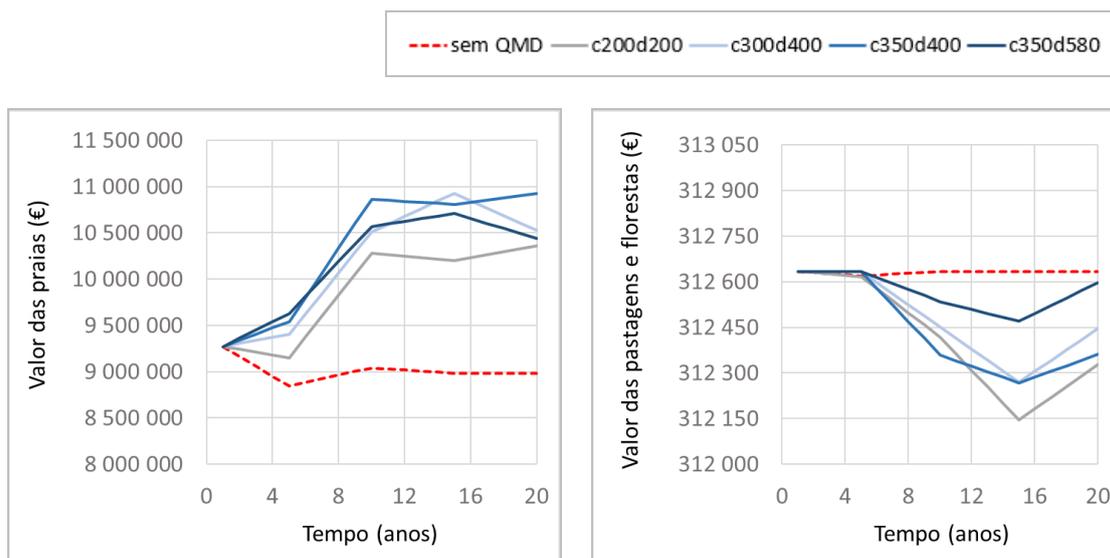


Figura 6.1 – Evolução anual do valor das classes de uso e ocupação do solo expostas ao fenómeno de erosão para cada cenário (simulações LITMOD)

De acordo com as simulações LTC, como já referido, não serão afetadas as pastagens durante o horizonte de estudo definido, e quanto às florestas prevê-se uma perda máxima de 38 m² nos cenários com QMD e 35 m² com a conservação das condições atuais, sendo que as perdas de área florestal ocorrem apenas a partir do ano 10 em todas as situações. Dada a similaridade de evolução dos 5 cenários estudados (evidenciada pela sobreposição das linhas no gráfico à direita na Figura 6.2), conclui-se que o QMD não tem relevante impacto sobre esta classe, representando benefícios máximos de -1 €/ano e +1 €/ano em alguns anos da simulação (face ao valor no cenário de referência que varia entre 298 024 € e 298 031 €). Quanto às praias, o valor inicial da classe (9 580 937 €) é da

mesma ordem de grandeza que nas simulações LITMOD (9 271 239 €) mas, neste caso, tende a desvalorizar ao longo dos anos. Nos cenários com QMD os benefícios totais (de todas as praias) são sempre positivos face à situação de não intervir, sendo que o cenário c350d580 representa o maior benefício (cerca de 895 000 €/ano durante os últimos 10 anos) e o cenário c200d200 representa o benefício mais baixo (cerca de 275 000 €/ano no mesmo período).

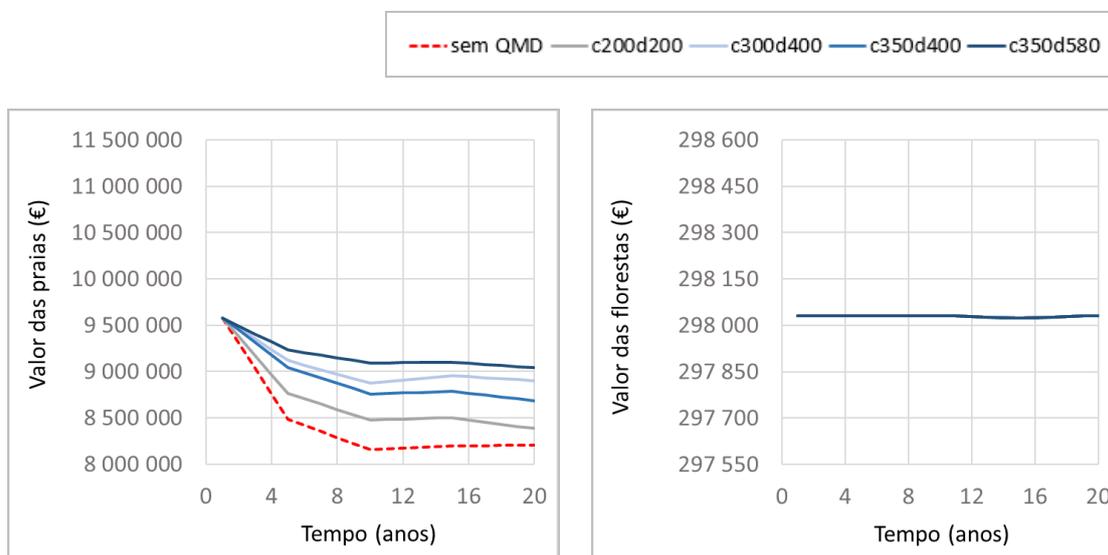


Figura 6.2 – Evolução anual do valor das classes de uso e ocupação do solo expostas ao fenómeno de erosão para cada cenário (simulações LTC)

6.2 Mitigação do risco de inundação costeira

À semelhança da análise efetuada na secção anterior, pretende-se determinar os benefícios dos vários cenários de QMD, desta vez no que se refere à mitigação do fenómeno de inundação costeira, entendendo-se como benefícios positivos aqueles que resultam em áreas não inundadas e como benefícios negativos aqueles que, pelo contrário, resultam em inundação. No entanto, enquanto o fenómeno de erosão acontece geralmente de forma gradual ao longo do tempo, o fenómeno de inundação costeira tem uma ocorrência mais pontual pelo que interessa determinar o impacto económico associado a cada evento, tendo em conta o período de retorno expectável.

As áreas do território mais relevantes para esta análise são as áreas artificializadas que, tanto nas simulações LITMOD como nas simulações LTC, incluem as classes de tecido edificado (1.1.1.1), comércio (1.2.2.1), rede viária (1.4.1.1) e equipamentos de lazer (1.6.2.2).

Para todas estas classes, a ocorrência de eventos de inundação poderá estar associada a danos ao nível das estruturas e infraestruturas; adicionalmente, poderão ocorrer danos ao nível do conteúdo (admitindo a entrada de água, no caso de edifícios e estabelecimentos comerciais). A percentagem de dano decorrente de um evento de inundação pode ser determinada através de funções DDF (*Depth Damage Functions*; David e Skaggs, 1992) que dependem da frequência de ocorrência e da

severidade (intrusão/altura de inundação) do evento. A altura de inundação (H) foi considerada, em termos médios, igual a 5 cm, tendo em conta os registos fotográficos da Câmara Municipal de Vagos (ver Figura 4.7) e os relatórios de registo de ocorrências da Agência Portuguesa do Ambiente (APA, 2019) que reportam 3 eventos na praia da Vagueira (ver Figura 6.3) com alcance das águas costeiras numa extensão entre 3 a 10 m. Em todos estes eventos relata-se a ocorrência de dano em infraestruturas e no evento do dia 17.04.2018 relata se dano em “ reas construídas de fruição/uso público”.



Figura 6.3 – Local de ocorrências de galgamento costeiro na praia da Vagueira (APA, 2019)

O  ndice de dano (D)   então dado pela Equa o 1:

$$D = \alpha H + \beta H^2 \quad (1)$$

e os valores dos parâmetros α e β são indicados na Tabela 12:

Quadro 6.3 – Parâmetros de determina o do  ndice de dano devido a eventos de inunda o costeira (David e Skaggs, 1992)

| | Estrutura | Conteúdo |
|----------|----------------|----------------|
| α | 38.7 | 51.4 |
| β | -8.7 | -10.8 |
| | ($R^2=0.90$) | ($R^2=0.96$) |

Por aplica o da Equa o 1 conclui-se que o  ndice de dano, para uma altura de inunda o média de 5 cm,   1.96 para a parte estrutural e 2.60 para o conteúdo.

O valor ou preço (A - €/m²) atribuído às diferentes classes, utilizado para calcular o custo de cada evento de inunda o,   derivado dos designados *Annual rental values* (v - €/ha/ano) já apresentados no Quadro 5.1, através da Equa o 2 (Brealey *et al.*, 2001):

$$v = 10\,000 \times A \left(\frac{r}{1 - (1 + r)^{-T}} \right) \quad (2)$$

em que T é o tempo de vida útil do elemento, que foi considerado 40 anos, e r é a taxa de juro, que foi considerada 4% (conforme o valor real do mercado). Por aplicação inversa da Equação 2, conclui-se que o valor ou preço A respeitante à parte estrutural é 1 254 €/m² para o tecido edificado³ (sabendo que $v = 633\,691$ €/ha/ano; ver Tabela 8) e 651 €/m² para o comércio, rede viária e equipamentos de lazer (sabendo que $v = 329\,004$ €/ha/ano; ver Quadro 5.1). O valor ou preço A respeitante ao conteúdo de edifícios e de estabelecimentos comerciais foi considerado igual a 1/4 do valor estrutural da respetiva classe (ou seja, 314 €/m² e 163 €/m²).

O custo de inundação, designado por $C_{inundação}$, é calculado pela Equação 3 tendo em conta o percentual de dano (D), potencialmente provocado pelo fenómeno de inundação nas estruturas ou infraestruturas e respetivo conteúdo, e o valor da classe afetada (traduzido pelo valor ou preço - A). Os valores resultantes são demonstrados no Quadro 6.4.

$$C_{inundação} = (A \times D)_{estrutura} + (A \times D)_{conteúdo}^* \quad (3)$$

[Nota: * aplicável apenas a edifícios e estabelecimentos comerciais]

Quadro 6.4 – Custo de inundação associado às classes de solo potencialmente inundáveis

| Classe de uso e ocupação do solo (i) | $C_{inundação}$ (€/ha) |
|--|------------------------|
| 1.1.1.1 Tecido edificado contínuo predominantemente vertical | 327 294 |
| 1.2.2.1 Comércio | 169 911 |
| 1.4.1.1 Rede viária e espaços associados | 127 596 |
| 1.6.2.2 Equipamentos de lazer | 127 596 |

O passo seguinte foi estimar o período de retorno dos eventos de inundação para que se possa determinar o custo anual associado a este fenómeno. Em Oliveira *et al.* (2020) tinha já sido apresentado trabalho sobre a avaliação do desempenho de diferentes soluções de QMD na redução dos galgamentos na Vagueira, nomeadamente na redução do caudal médio galgado e do número de eventos. No entanto, os cenários de teste considerados nessa análise não contemplaram 2 soluções de QMD (c350d400 e c350d580) que se demonstraram, entretanto, relevantes para a análise custo-benefício, assinaladas a azul na tabela seguinte. Como tal, foi determinado o período de retorno para os cenários possíveis (em função da análise prévia de Oliveira *et al.*, 2020) e foi efetuada interpolação para os cenários c350d400 e c350d580.

O número total de galgamentos indicado na primeira coluna do Quadro 6.5 (estimado em Oliveira *et al.*, 2020) contabiliza os eventos de 8 perfis de cálculo, com base nos resultados de simulações com o perfil de fundo de praia do ano 2018 que estima, pelo lado mais conservativo, um número de eventos superior ao perfil de fundo do ano 2019. Além disso, o número de galgamentos total

³ O valor estimado está de acordo com o valor médio do preço das casas à venda (indicado no site <https://www.idealista.pt/media/relatorios-preco-habitacao/venda/>) na freguesia da Gafanha da Boa Hora - município de Vagos, onde se localiza a Vagueira, que em dezembro de 2020 teve um registo de 1 121€/m².

apresentado corresponde à amostra refinada para aqueles eventos cujo caudal médio galgado é superior a 1 l/s/m pois, de acordo com a bibliografia (Pullen *et al.*, 2007 e Burcharth e Hughes, 2011), é sensivelmente a partir deste limiar que poderão ocorrer danos na rede viária e em edifícios e equipamentos localizados no tardo da estrutura galgada (que é o que se presente analisar).

O número de galgamentos médio (segunda coluna do Quadro 6.5) foi determinado a partir do número de galgamentos total, fazendo a média para os 8 perfis de cálculo, e o número de galgamentos por ano (terceira coluna do Quadro 6.5) foi determinado a partir do número de galgamentos médio sabendo que estes estudos têm por base os regimes de agitação marítima (no período 1979-2018 correspondentes a 58076 ondas registadas de 6 em 6 horas) num total de 39.8 anos.

Quadro 6.5 – Determinação do período de retorno de eventos de galgamento com caudal médio superior a 1 l/s/m, para cada cenário

| Cenário | N.º total galgamentos | N.º médio galgamentos | N.º galgamentos (/ano) | Período de retorno (anos) |
|----------|-----------------------|-----------------------|------------------------|---------------------------|
| sem QMD | 489 | 61 | 1.54 | 0.7 |
| c200d200 | 55 | 7 | 0.17 | 5.8 |
| c200d300 | 42 | 5 | 0.13 | 7.6 |
| c250d300 | 44 | 6 | 0.14 | 7.2 |
| c250d400 | 49 | 6 | 0.15 | 6.5 |
| c300d300 | 39 | 5 | 0.12 | 8.2 |
| c300d400 | 45 | 6 | 0.14 | 7.1 |
| c350d500 | 55 | 7 | 0.17 | 5.8 |
| c350d400 | - | - | - | 7.6 |
| c350d580 | - | - | - | 4.3 |

Estes resultados da modelação matemática vão também ao encontro dos dados reportados pela APA para os anos 2018 e 2019 que, embora tenham representatividade reduzida, referem-se a um período temporal recente. Assim, e apenas como comentário complementar, estima-se de acordo os dados da APA (2019) um período de retorno de 0.7 anos (3 eventos em 2 anos) para as condições atuais de proteção costeira na Vagueira, coincidente com o resultado estimado para o cenário sem QMD (também referente à situação atual) através de modelos numéricos (ver a primeira linha do Quadro 6.5). Acrescenta-se que, de acordo com trabalho anterior apresentado em Freire *et al.* (2020), entre 1994 e 2007 tinham sido registados 6 eventos de galgamento na Vagueira (um evento nos anos 1994, 1997, 1998 e 2001; dois eventos no ano 1999), ou seja, uma média de 6 eventos a cada 14 anos (~3/7) o que indica um período de retorno maior, mas estes registos são muito antigos e anteriores à obra de alteamento do coroamento da defesa aderente da Vagueira pelo que não são representativos das condições atuais de proteção e dinâmica costeiras.

Finalmente, o custo anual de inundação é determinado sabendo o custo de inundação para cada classe de solo (Quadro 6.4) e o período de retorno de cada cenário de teste (Quadro 6.5). Estes

resultados apresentam-se no Quadro 6.6 (simulações LITMOD) e no Quadro 6.8 (simulações LTC), de acordo com a evolução das áreas inundáveis ao longo dos 20 anos de simulação (ver Capítulo 4).

Quadro 6.6 – Determinação do custo anual de inundação para as diferentes classes de solo afetadas (simulações LITMOD)

| Cenário | Ano | Área inundável (m ²) | | | | Custo de inundação (€/ano) | | | | |
|----------|-----|----------------------------------|----------|-------------|-----------------------|----------------------------|----------|-------------|-----------------------|---------|
| | | Tecido edificado | Comércio | Rede viária | Equipamentos de lazer | Tecido edificado | Comércio | Rede viária | Equipamentos de lazer | Total |
| sem QMD | 5 | 22 | 1 564 | 25 393 | 0 | 1 037 | 37 965 | 462 868 | 0 | 501 871 |
| | 10 | 2 | 1 564 | 25 062 | 0 | 74 | 37 965 | 456 824 | 0 | 494 864 |
| | 15 | 2 | 1 564 | 25 171 | 0 | 74 | 37 965 | 458 810 | 0 | 496 849 |
| | 20 | 2 | 1 564 | 25 177 | 0 | 74 | 37 965 | 458 931 | 0 | 496 970 |
| c200d200 | 5 | 28 | 1 177 | 24 757 | 0 | 160 | 3 448 | 54 465 | 0 | 58 073 |
| | 10 | 2 | 654 | 21 406 | 0 | 11 | 1 916 | 47 092 | 0 | 49 020 |
| | 15 | 28 | 666 | 20 621 | 471 | 160 | 1 951 | 45 366 | 1 036 | 48 513 |
| | 20 | 0 | 627 | 20 841 | 41 | 0 | 1 837 | 45 849 | 89 | 47 775 |
| c300d400 | 5 | 32 | 1 093 | 23 865 | 0 | 148 | 2 616 | 42 888 | 0 | 45 652 |
| | 10 | 1 | 762 | 19 918 | 0 | 4 | 1 823 | 35 795 | 0 | 37 622 |
| | 15 | 32 | 692 | 14 040 | 620 | 148 | 1 657 | 25 232 | 1 115 | 28 152 |
| | 20 | 1 | 657 | 19 658 | 43 | 7 | 1 573 | 35 329 | 77 | 36 986 |
| c350d400 | 5 | 29 | 930 | 23 385 | 0 | 125 | 2 078 | 39 262 | 0 | 41 465 |
| | 10 | 11 | 567 | 19 335 | 0 | 46 | 1 267 | 32 462 | 0 | 33 775 |
| | 15 | 32 | 603 | 17 297 | 612 | 138 | 1 349 | 29 039 | 1 028 | 31 555 |
| | 20 | 1 | 599 | 18 303 | 62 | 5 | 1 340 | 30 728 | 104 | 32 177 |
| c350d580 | 5 | 25 | 1 127 | 23 108 | 0 | 187 | 4 454 | 68 571 | 0 | 73 211 |
| | 10 | 1 | 812 | 20 179 | 0 | 6 | 3 210 | 59 878 | 0 | 63 095 |
| | 15 | 32 | 692 | 18 104 | 630 | 244 | 2 736 | 53 722 | 1 871 | 58 573 |
| | 20 | 1 | 807 | 20 152 | 36 | 9 | 3 188 | 59 797 | 107 | 63 101 |

Quadro 6.7 – Determinação dos benefícios de cada cenário devido à mitigação da inundação costeira nas classes de solo afetadas (simulações LITMOD)

| Cenário | Ano | Benefício (€/ano) | | | | |
|----------|-----|-------------------|----------|-------------|-----------------------|---------|
| | | Tecido edificado | Comércio | Rede viária | Equipamentos de lazer | Total |
| c200d200 | 5 | 877 | 34 517 | 408 404 | 0 | 443 798 |
| | 10 | 63 | 36 049 | 409 732 | 0 | 445 844 |
| | 15 | -86 | 36 015 | 413 445 | -1 036 | 448 337 |
| | 20 | 74 | 36 128 | 413 082 | -89 | 449 195 |
| c300d400 | 5 | 889 | 35 349 | 419 980 | 0 | 456 219 |
| | 10 | 70 | 36 142 | 421 029 | 0 | 457 242 |
| | 15 | -74 | 36 308 | 433 578 | -1 115 | 468 698 |
| | 20 | 67 | 36 392 | 423 602 | -77 | 459 984 |
| c350d400 | 5 | 912 | 35 887 | 423 607 | 0 | 460 406 |
| | 10 | 28 | 36 698 | 424 362 | 0 | 461 089 |
| | 15 | -65 | 36 617 | 429 771 | -1 028 | 465 295 |
| | 20 | 69 | 36 625 | 428 203 | -104 | 464 793 |
| c350d580 | 5 | 851 | 33 512 | 394 297 | 0 | 428 659 |
| | 10 | 68 | 34 755 | 396 946 | 0 | 431 769 |
| | 15 | -170 | 35 229 | 405 088 | -1 871 | 438 277 |
| | 20 | 65 | 34 777 | 399 134 | -107 | 433 869 |

Quadro 6.8 – Determinação do custo anual de inundação para as diferentes classes de solo afetadas (simulações LTC)

| Cenário | Ano | Área inundável (m²) | | | | Custo de inundação (€/ano) | | | | |
|----------|-----|---------------------|----------|-------------|-----------------------|----------------------------|----------|-------------|-----------------------|---------|
| | | Tecido edificado | Comércio | Rede viária | Equipamentos de lazer | Tecido edificado | Comércio | Rede viária | Equipamentos de lazer | Total |
| sem QMD | 5 | 0 | 1 149 | 16 705 | 140 | 0 | 27 894 | 304 495 | 2 547 | 334 936 |
| | 10 | 32 | 1 170 | 17 484 | 196 | 1 492 | 28 397 | 318 695 | 3 573 | 352 157 |
| | 15 | 33 | 1 172 | 17 635 | 216 | 1 538 | 28 440 | 321 443 | 3 929 | 355 350 |
| | 20 | 37 | 794 | 16 486 | 341 | 1 731 | 19 270 | 300 512 | 6 224 | 327 737 |
| c200d200 | 5 | 39 | 487 | 15 560 | 140 | 219 | 1 426 | 34 231 | 307 | 36 184 |
| | 10 | 46 | 508 | 15 743 | 196 | 262 | 1 489 | 34 634 | 431 | 36 816 |
| | 15 | 48 | 534 | 15 841 | 218 | 273 | 1 565 | 34 850 | 479 | 37 167 |
| | 20 | 54 | 1 335 | 16 800 | 344 | 303 | 3 910 | 36 958 | 757 | 41 928 |
| c300d400 | 5 | 46 | 389 | 13 500 | 140 | 211 | 931 | 24 262 | 251 | 25 655 |
| | 10 | 320 | 389 | 14 695 | 196 | 1 475 | 931 | 26 410 | 352 | 29 168 |
| | 15 | 358 | 389 | 14 030 | 216 | 1 652 | 931 | 25 215 | 388 | 28 185 |
| | 20 | 372 | 389 | 14 417 | 334 | 1 714 | 931 | 25 910 | 601 | 29 156 |
| c350d400 | 5 | 296 | 389 | 14 793 | 140 | 1 276 | 870 | 24 836 | 235 | 27 217 |
| | 10 | 348 | 389 | 15 126 | 196 | 1 500 | 870 | 25 395 | 329 | 28 094 |
| | 15 | 372 | 389 | 14 418 | 214 | 1 601 | 870 | 24 206 | 359 | 27 036 |
| | 20 | 368 | 389 | 14 391 | 342 | 1 584 | 870 | 24 161 | 574 | 27 189 |
| c350d580 | 5 | 45 | 389 | 13 703 | 140 | 345 | 1 537 | 40 661 | 415 | 42 958 |
| | 10 | 300 | 389 | 14 097 | 192 | 2 283 | 1 537 | 41 831 | 569 | 46 220 |
| | 15 | 334 | 389 | 14 002 | 227 | 2 541 | 1 537 | 41 549 | 673 | 46 300 |
| | 20 | 355 | 389 | 13 928 | 338 | 2 706 | 1 537 | 41 328 | 1 002 | 46 574 |

Quadro 6.9 – Determinação dos benefícios de cada cenário devido à mitigação da inundação costeira nas classes de solo afetadas (simulações LTC)

| Cenário | Ano | Benefício (€/ano) | | | | |
|----------|-----|-------------------|----------|-------------|-----------------------|---------|
| | | Tecido edificado | Comércio | Rede viária | Equipamentos de lazer | Total |
| c200d200 | 5 | -219 | 26 468 | 270 264 | 2 239 | 298 752 |
| | 10 | 1 230 | 26 908 | 284 060 | 3 142 | 315 340 |
| | 15 | 1 265 | 26 875 | 286 593 | 3 451 | 318 183 |
| | 20 | 1 428 | 15 360 | 263 554 | 5 467 | 285 809 |
| c300d400 | 5 | -211 | 26 963 | 280 234 | 2 295 | 309 281 |
| | 10 | 17 | 27 466 | 292 285 | 3 221 | 322 989 |
| | 15 | -114 | 27 509 | 296 228 | 3 542 | 327 165 |
| | 20 | 17 | 18 339 | 274 602 | 5 623 | 298 581 |
| c350d400 | 5 | -1 276 | 27 024 | 279 659 | 2 312 | 307 719 |
| | 10 | -8 | 27 528 | 293 300 | 3 243 | 324 062 |
| | 15 | -63 | 27 570 | 297 237 | 3 571 | 328 314 |
| | 20 | 147 | 18 400 | 276 351 | 5 650 | 300 548 |
| c350d580 | 5 | -345 | 26 357 | 263 834 | 2 132 | 291 978 |
| | 10 | -791 | 26 860 | 276 864 | 3 004 | 305 937 |
| | 15 | -1 003 | 26 903 | 279 894 | 3 257 | 309 050 |
| | 20 | -975 | 17 733 | 259 184 | 5 222 | 281 163 |

Nos Quadros 6.7 e 6.9 determinam-se os benefícios para os 4 cenários de QMD, respetivamente para as simulações LITMOD e LTC, por comparação com o cenário de referência. Os resultados da evolução das áreas inundáveis seguem os resultados da evolução da linha de costa ao longo do tempo, devido ao conceito de faixa de inundação definido anteriormente.

Conclui-se que os benefícios do QMD alcançam os valores máximos de 468 698 € (ano 15 do cenário c300d400) no LITMOD e 328 314 € (ano 15 do cenário c350d400) no LTC pois são estes 2 cenários os que têm maior período de retorno, respetivamente, 7.1 e 7.6 anos (e, como tal, menor frequência expectável de ocorrências de galgamento).

Na Figura 6.4 esquematiza-se a evolução anual do custo total de inundação (que totaliza os custos expectáveis para as classes de tecido edificado, comércio, rede viária e equipamentos de lazer) tendo em conta os períodos de retorno estimados.

Verifica-se que os cenários de QMD permitem reduzir em cerca de 90% os custos de inundação previstos para o cenário de referência (situação atual sem QMD). No LITMOD os custos de inundação para o cenário sem QMD (linha tracejada a vermelho) evoluem até ao valor máximo de 501 871 € registado no ano 5 e mantêm-se se nesta ordem de grandeza até ao final do período de projeção. No LTC os custos de inundação também aumentam de forma acentuada até ao ano 5 mantendo-se num valor médio de 345 000 € pelos anos seguintes. Com o QMD, os custos de inundação previstos baixam para valores máximos de 73 211€ (ano 5 do cenário c350d580) no LITMOD e 46 574 € (ano 20 do mesmo cenário) no LTC.

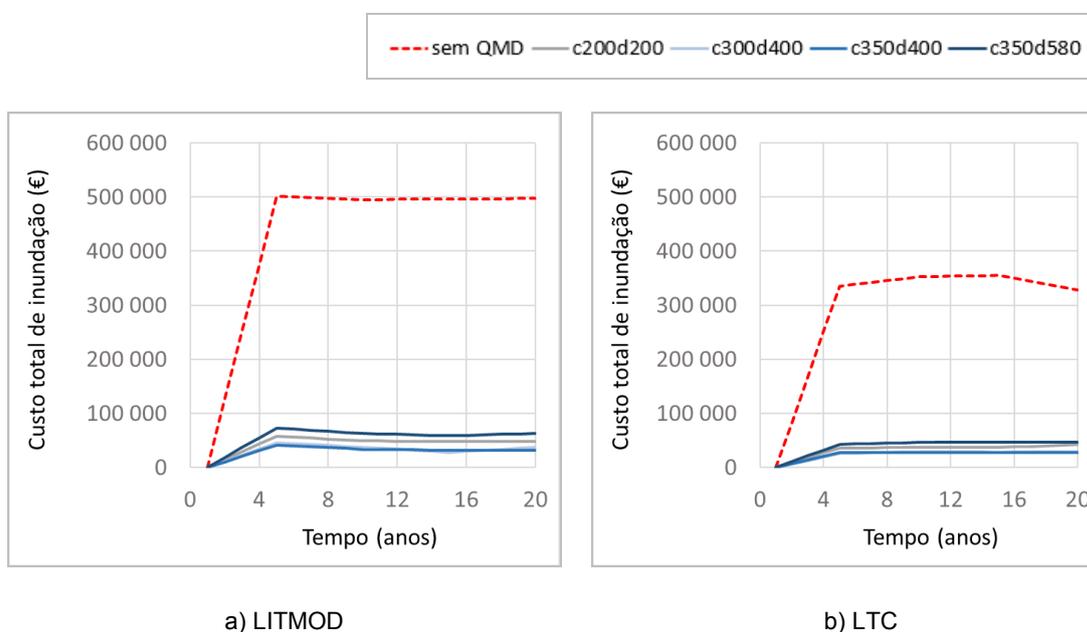


Figura 6.4 – Evolução anual dos custos relacionados com os eventos de inundação previstos para cada cenário

6.3 Benefícios totais

Conclui-se que todos os cenários de QMD têm benefícios económicos globais positivos em todos os anos do período de projeção, face à situação de não intervir (Quadro 6.10 e Quadro 6.11).

Quadro 6.10 – Determinação dos benefícios parciais (devido à mitigação da erosão e inundação costeira) e totais de cada cenário (simulações LITMOD)

| Cenário | Ano | Benefício (€/ano) | | |
|----------|-----|-------------------|-----------|-----------|
| | | Erosão | Inundação | Total |
| c200d200 | 5 | 306 759 | 443 798 | 750 557 |
| | 10 | 1 236 785 | 445 844 | 1 682 629 |
| | 15 | 1 220 067 | 448 337 | 1 668 404 |
| | 20 | 1 376 201 | 449 195 | 1 825 395 |
| c300d400 | 5 | 558 014 | 456 219 | 1 014 233 |
| | 10 | 1 468 992 | 457 242 | 1 926 233 |
| | 15 | 1 944 115 | 468 698 | 2 412 813 |
| | 20 | 1 549 426 | 459 984 | 2 009 410 |
| c350d400 | 5 | 694 723 | 460 406 | 1 155 129 |
| | 10 | 1 821 035 | 461 089 | 2 282 124 |
| | 15 | 1 826 190 | 465 295 | 2 291 485 |
| | 20 | 1 941 744 | 464 793 | 2 406 537 |
| c350d580 | 5 | 785 445 | 428 659 | 1 214 104 |
| | 10 | 1 526 356 | 431 769 | 1 958 125 |
| | 15 | 1 728 736 | 438 277 | 2 167 013 |
| | 20 | 1 457 179 | 433 869 | 1 891 048 |

Quadro 6.11 – Determinação dos benefícios parciais (devido à mitigação da erosão e inundação costeira) e totais de cada cenário (simulações LTC)

| Cenário | Ano | Benefício (€/ano) | | |
|----------|-----|-------------------|-----------|-----------|
| | | Erosão | Inundação | Total |
| c200d200 | 5 | 276 985 | 298 752 | 575 737 |
| | 10 | 321 599 | 315 340 | 636 940 |
| | 15 | 304 670 | 318 183 | 622 853 |
| | 20 | 181 324 | 285 809 | 467 133 |
| c300d400 | 5 | 634 137 | 309 281 | 943 418 |
| | 10 | 718 962 | 322 989 | 1 041 951 |
| | 15 | 755 139 | 327 165 | 1 082 304 |
| | 20 | 698 200 | 298 581 | 996 781 |
| c350d400 | 5 | 559 386 | 307 719 | 867 105 |
| | 10 | 604 255 | 324 062 | 928 318 |
| | 15 | 587 369 | 328 314 | 915 683 |
| | 20 | 482 380 | 300 548 | 782 928 |
| c350d580 | 5 | 745 463 | 291 978 | 1 037 441 |
| | 10 | 937 616 | 305 937 | 1 243 552 |
| | 15 | 900 776 | 309 050 | 1 209 826 |
| | 20 | 838 708 | 281 163 | 1 119 871 |

Quanto à mitigação da erosão costeira em áreas naturais de praias, florestas e pastagens, os resultados dos 2 modelos são relativamente díspares, variando entre 76 690 € e 1 944 115 € (valor máximo no ano 15 do cenário c300d400) no LITMOD e entre 69 246 € e 937 616 € (valor máximo no ano 10 do cenário c350d580) no LTC, ou seja, os benefícios máximos estimados com o LTC são cerca de metade do valor estimado com o modelo homólogo. Quanto à mitigação dos eventos de

inundação costeira, incidentes sobre as áreas artificializadas de tecido edificado, comércio, rede viária e equipamentos de lazer, os benefícios do LITMOD variam entre 107 165 € e 468 698 € (valor máximo no ano 15 do cenário c300d400); no LTC variam, de forma relativamente semelhante, entre 72 994 € e 328 314 € (valor máximo no ano 15 do cenário c350d400).

Nas Figura 6.5 e Figura 6.6 esquematizam-se a evolução anual dos benefícios acumulados relativos às duas funcionalidades do QMD. Os benefícios relacionados com a inundação (menor área inundada e maior período de retorno dos eventos de galgamento) evoluem de forma crescente até ao ano 5 para o qual estabilizam em cerca de 450 000 € para o LITMOD e 300 000 € para o LTC. Os benefícios relacionados com a erosão (menor área erodida e maior área ganha por efeito da acreção na zona de formação do saliente) são quase sempre superiores aos benefícios associados à inundação (exceto para o cenário c200d200). Os benefícios anuais totais máximos previstos para cada cenário são maiores para o modelo LITMOD, variando entre 1 825 395 € e 2 412 813 € (valor máximo no ano 15 do c300d400 – melhor solução técnica), e no LTC entre 636 940 € e 1 243 552 € (valor máximo no ano 10 do c350d580 – QMD de maior comprimento e afastamento à linha de costa e, genericamente, maior impacto).

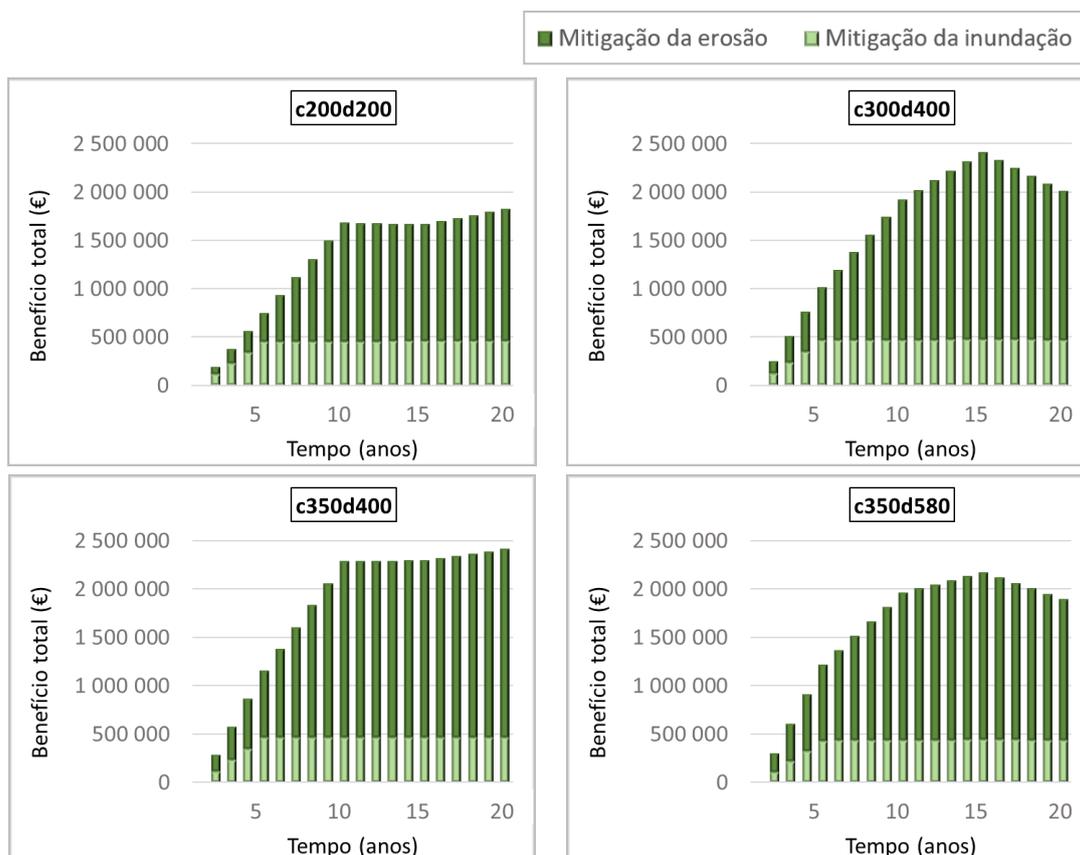


Figura 6.5 – Evolução anual dos benefícios parciais para cada cenário (simulações LITMOD)

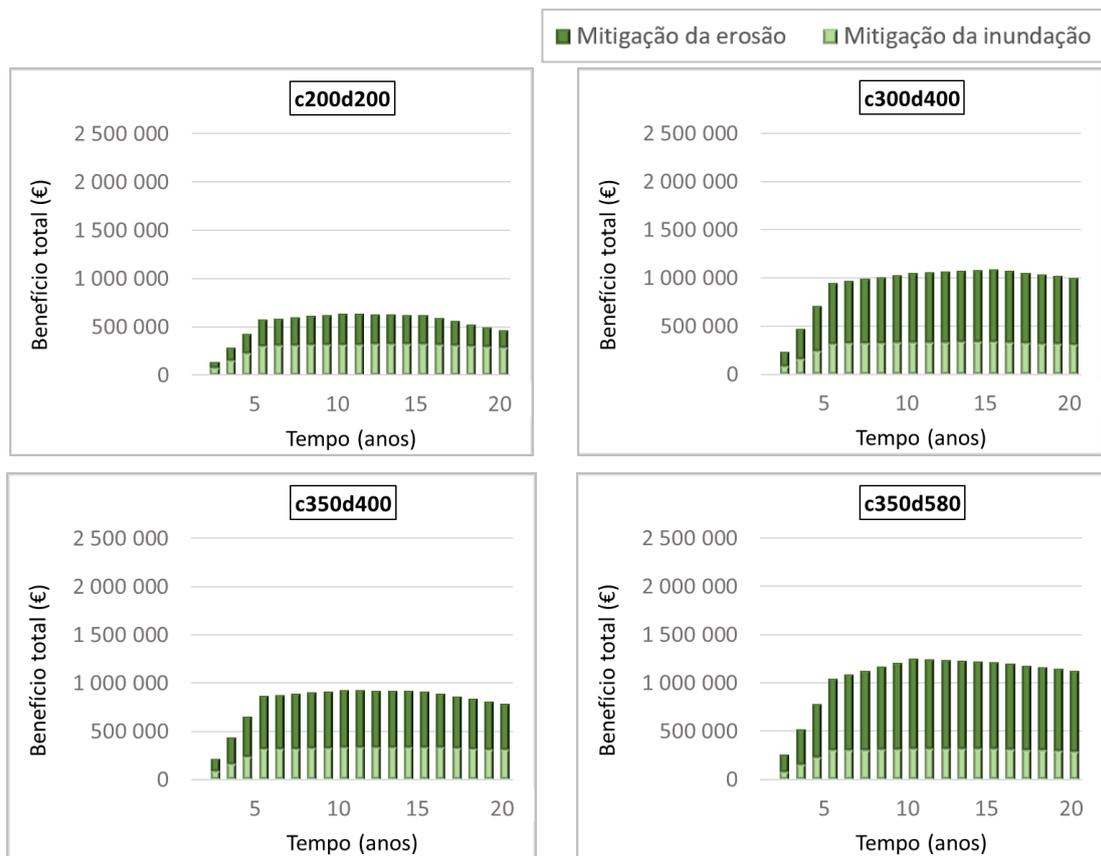


Figura 6.6 – Evolução anual dos benefícios parciais para cada cenário (simulações LTC)

7 | Determinação dos custos do QMD

A determinação dos custos de construção e manutenção associados às 4 configurações alternativas do QMD estudadas para a Vagueira seguiu 2 métodos distintos para diminuir a incerteza associada à fase de pré-dimensionamento da estrutura: 1) estimativa orçamental por comparação com obras semelhantes; 2) estimativa através do custo unitário dos materiais e dimensão da obra. ⁴

Pelo método 1, considerou-se relevante tomar como referência os quebra-mares destacados de Castelo do Neiva e da praia da Aguda (ver Figura 7.1), construídos no ano 2000 e 2002 respetivamente, já identificados em Sancho *et al.* (2019a). Estas obras foram executadas com o principal objetivo de proporcionar abrigo a embarcações de pesca e, portanto, foram projetadas para cumprir funções diferentes daquelas que se pretendem com o QMD na Vagueira (proteção contra galgamentos e erosão costeira). Além disso, desde o processo de execução acumularam sedimentos suficientes para a criação de um tómbolo que os mantém unidos a terra, não podendo ser considerados totalmente destacados e também não são submersos. No entanto, são tecnicamente semelhantes ao QMD da Vagueira por serem obras costeiras que se dispõem de forma aproximadamente paralela à linha de costa criando uma zona de abrigo da agitação incidente. No Quadro 7.1 indicam-se os parâmetros de caracterização das obras, incluindo o custo de investimento inicial (C_i) e o custo (C_c) por metro linear de comprimento (c), de acordo com Pereira e Coelho (2014).

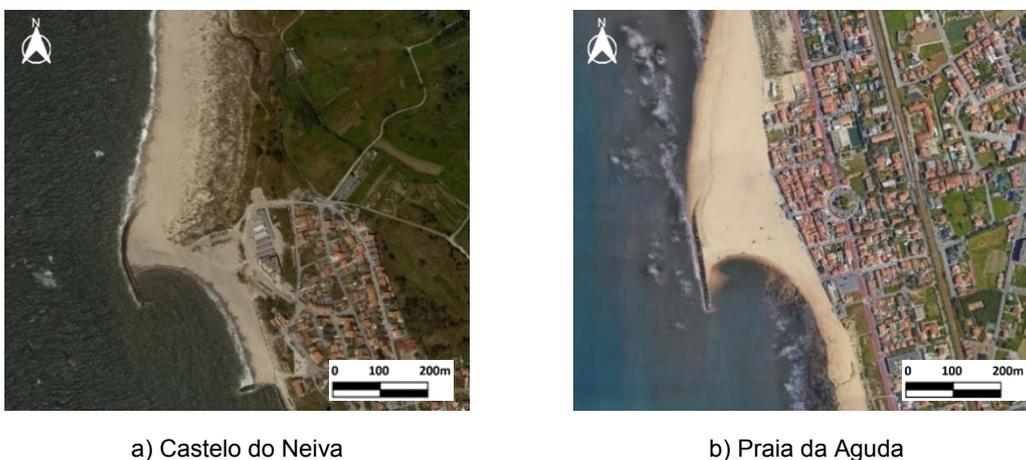


Figura 7.1 – Exemplo de quebra-mares destacados construídos em Portugal (imagem *Google Satellite*)

⁴ Posteriormente à determinação dos custos pelos 2 métodos expostos neste capítulo, conseguiu-se também apurar os valores dos custos iniciais do quebramar destacado da foz do rio Douro, com comprimento aproximadamente igual a 450 m e distância inicial à linha de costa de cerca de 350 m. O custo total de construção apurado (9 411 256€, atualizado para 2020) indica que o custo estimado pela equação 4 do presente relatório possa ser excessivo, confirmando que o método de custos 1 deverá estimar um limite superior do custo da obra. Esta análise suplementar de apuramento do custo do quebramar destacado da foz do rio Douro evidencia a incerteza na estimativa do custo do quebramar na ausência do projeto da obra, mas permite concluir não ser necessário alterar o método 1 adotado.

Quadro 7.1 – Determinação dos benefícios parciais (devido à mitigação da erosão e inundação costeira) e totais de cada cenário (simulações LTC)

| | Local | |
|-------------------------------|------------------|----------------|
| | Castelo do Neiva | Praia da Aguda |
| C_i (€) ⁽¹⁾ | 1 792 149 | 6 195 193 |
| c (m) | 250 | 330 |
| d (m) | 80 | 160 |
| C_c (€/m) | 7 169 | 18 773 |

⁽¹⁾ Valor atualizado para 2020€

Através destes dados e assumindo que uma obra sem dimensão teria custo nulo, foi possível determinar a função polinomial de 2º grau que representa a relação do custo da obra por metro linear de comprimento, em função da distância à linha de costa (d), designado $C_c(d)$, conforme a Equação 4.

$$C_c(d) = 0.3466d^2 + 61.88d \quad (4)$$

Deste modo, os custos de investimento inicial estimados para as configurações alternativas do QMD da Vagueira, de acordo com o cálculo com base nas variáveis c (comprimento) e d (distância à linha de costa), indicam-se no Quadro 7.2. Verifica-se para o cenário de menor comprimento e distância à linha de costa um custo de aproximadamente 5 M€ enquanto para o cenário de maior comprimento e maior afastamento à linha de costa o custo poderá ser cerca de 10 vezes superior, isto é, aproximadamente 53 M€.

Quadro 7.2 – Determinação do custo de investimento inicial (C_i) para cada cenário com base no método 1

| | variáveis | Cenário | | | |
|----------------------------------|-----------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | c200d200 | c300d400 | c350d400 | c350d580 |
| $C_c(d)$ (€/m) | d (m) | 200 | 400 | 400 | 580 |
| | | 26 240 | 80 209 | 80 209 | 152 488 |
| C_i (€) | c (m) | 200 | 300 | 350 | 350 |
| | | 5 248 080 | 24 062 640 | 28 073 080 | 53 370 730 |

Pelo método 2, considerou-se igualmente relevante estimar o custo da obra com base no volume (V) da estrutura e quantidade de material necessário à sua execução. Para este cálculo, foram assumidos os seguintes pressupostos, de acordo com o intervalo de valores indicado em Sancho *et al.* (2019b) para os parâmetros de pré-dimensionamento do QMD:

L_{qm} - Comprimento do quebra-mar (abreviado c , variável em função do cenário)

L_d - Distância à linha de costa (abreviado d , variável em função do cenário)

R_c - Nível de submersão (= -0.5 m para o nível de baixa-mar de águas vivas média)

h_c - Cota de coroamento (= +0.34 m (ZH), em função de R_c)

B - Largura do coroamento (= 10 m)

h_p - Cota de implantação (variável de acordo com a batimetria e o perfil transversal característico em cada cenário)

βb - Inclinação do talude de barlamar (= 1:15)

βs - Inclinação do talude interno, de sotamar (= 1:3)

A cota de implantação (h_p) foi obtida com base na batimetria ao eixo de simetria do QMD. A inclinação dos taludes de barlamar e de sotamar foi adotada com o objetivo de majorar o volume da estrutura, considerando a discussão na fase inicial do estudo. Por sua vez, o volume (V) foi calculado por simplificação da geometria, de acordo com a Figura 7.2, considerando: o volume de um trapézio para cálculo da parte central e o volume de 2 semi-cones para definir os extremos.

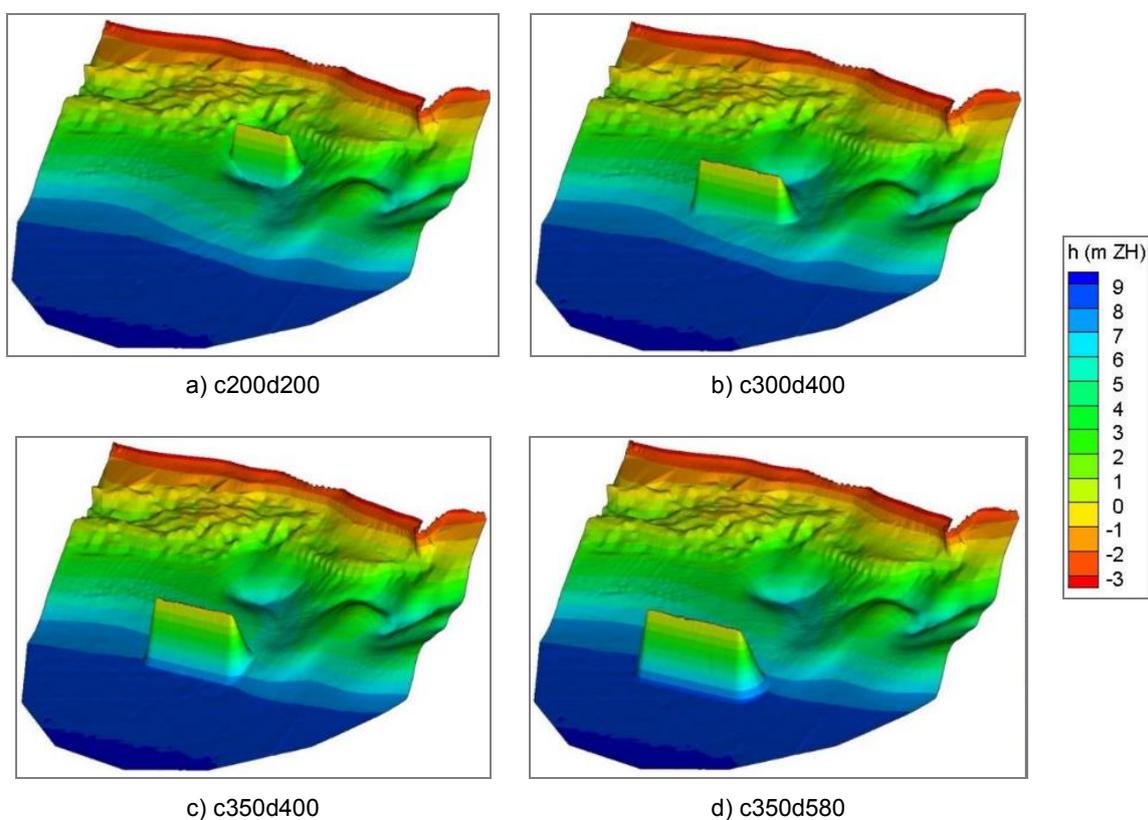


Figura 7.2 – Configuração da estrutura, local de implantação e batimetria para os 4 cenários de QMD (Oliveira *et al.*, 2020)

Para a estimativa do custo unitário foram considerados como referência os valores indicados em Lima *et al.* (2020) para esporões com comprimentos de 200 m, 300 m e 400 m. Embora se trate de uma estrutura de defesa costeira com características e funções diferentes, e geralmente construída a partir de terra e com alinhamento perpendicular à linha de costa, a constituição do perfil transversal dos esporões é considerada similar à do quebra mar destacado. Além disso, e apesar das configurações alternativas do QMD se localizarem a profundidades diferentes, por simplificação, assume-se a mesma onda de projeto e, conseqüentemente, o mesmo tipo de blocos, podendo ser considerado o custo unitário de 25 €/m³ conforme estimado em Lima *et al.* (2020). Assim, com base nos

pressupostos assumidos para a definição dos parâmetros estruturais (características geométricas da estrutura e características físicas dos materiais de construção) e dos parâmetros ambientais (condições de agitação marítima e batimetria), determinaram-se os custos indicados no Quadro 7.3 para os 4 cenários alternativos de QMD.

Quadro 7.3 – Determinação do custo de investimento inicial (Ci) para cada cenário com base no método 2

| | variáveis | Cenário | | | |
|---------------|---------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|
| | | c200d200 | c300d400 | c350d400 | c350d580 |
| | hp (m (ZH)) | -2.00 | -5.00 | -5.00 | -6.10 |
| | V (m ³) | 15 623 | 105 928 | 121 430 | 175 837 |
| Ci (€) | | 390 573 | 2 648 210 | 3 035 760 | 4 395 930 |

Conclui-se que as duas metodologias de estimativa do custo de investimento inicial representam valores muito díspares. Estima-se que os custos de construção do QMD da Vagueira pelo método 2 representem cerca de 7-11 % dos custos estimados pelo método 1. Como tal, optou-se por considerar o valor médio dos dois métodos, para cada cenário de QMD, conforme resumo no Quadro 7.4. Na análise de sensibilidade (ver Secção 8.2) foi definido o intervalo de variabilidade dos custos, considerando-se como extremos os resultados obtidos pelos 2 métodos de estimativa de custos, de modo que os custos máximos são os estimados pelo método 1 e os custos mínimos são os estimados pelo método 2.

Quadro 7.4 – Custo médio de investimento inicial estimado para cada cenário

| Cenário | Ano | Ci (€) | | |
|----------|-----|------------|-----------|-------------------|
| | | Método 1 | Método 2 | Valor médio |
| c200d200 | 0 | 5 248 080 | 390 573 | 2 819 327 |
| c300d400 | 0 | 24 062 640 | 2 648 210 | 13 355 425 |
| c350d400 | 0 | 28 073 080 | 3 035 760 | 15 554 420 |
| c350d580 | 0 | 53 370 730 | 4 395 930 | 28 883 330 |

Os custos totais (CT) incluem, além dos custos de investimento inicial (Ci), os custos periódicos de manutenção (Cm) expectáveis ao longo do horizonte temporal (t) de 20 anos, para cada cenário. Estes custos podem ser atualizados de acordo com a Equação 5 (Zerbe e Diveli, 1994) onde r é a taxa de desconto, considerada 2.5 % (segundo a metodologia descrita em Roebeling *et al.*, 2015).

$$CT = Ci_{t=0} + \sum_t \frac{Cm_t}{(1+r)^t} \quad (5)$$

Neste estudo considerou-se que os custos de manutenção correspondem a 10 % do valor do investimento inicial e terão uma frequência de 5 anos; ou seja, prevêem-se 4 operações de manutenção durante o horizonte de projeção, tendo-se optado por distribuir este valor uniformemente ao longo dos 20 anos para efeitos da análise custo-benefício. Este valor tem por base a análise dos investimentos na prevenção e redução dos riscos costeiros listados no Programa da Orla Costeira Caminha-Espinho (POC, 2018) mas deve ser encarado como um valor indicativo, já que os custos de manutenção e reabilitação das estruturas de defesa costeira estão sempre dependentes da

frequência de eventos extremos e podem assumir proporções distintas em função do nível de intervenção que se pretende (em alguns casos, surge a necessidade de incluir alterações à estrutura pré-existente). Além disso, as estimativas de investimento na manutenção e reabilitação de estruturas costeiras pressupõem a contínua monitorização das obras existentes, onde se avalia a necessidade de limitação de danos, nomeadamente face a possíveis alterações climáticas futuras.

8 | Estudo de viabilidade económica

8.1 Análise custo-benefício

A análise custo-benefício implementada segue a metodologia tradicional, onde os custos e benefícios são comparados, ao longo dos 20 anos de projeção, na mesma medida (unidade monetária, €). Além disso, os valores são previamente atualizados para o ano de referência, neste caso, considerado o ano inicial (t=0).

Os benefícios totais (BT) incluem os benefícios decorrentes da mitigação dos fenómenos de erosão ($B_{Erosão}$) e inundação ($B_{Inundação}$), previamente determinados no Capítulo 6, tendo sido descontados para o valor presente, de acordo com a Equação 6. Lembra-se que os benefícios distinguem-se em positivos (áreas de acreção e áreas não perdidas/não inundadas por efeito do QMD) e negativos (áreas de erosão/inundação potenciadas pelo impacto do próprio QMD). No entanto, o somatório do impacto nas diversas classes de uso e ocupação do solo afetadas resulta em benefícios positivos para todos os anos de todos os cenários das simulações LITMOD e LTC (ver Quadro 6.10 e Quadro 6.11, bem como Figura 6.5 e Figura 6.6).

$$BT = \sum_t \frac{B_{Erosão_t} + B_{Inundação_t}}{(1+r)^t} \quad (6)$$

Finalmente, a avaliação da viabilidade económica dos investimentos associados a cada cenário (i) tem por base a análise do parâmetro económico VAL - Valor Atual Líquido, correspondente à soma dos fluxos acumulados de custos atuais (Equação 5) e benefícios atuais (Equação 6), de acordo com a Equação 7:

$$VAL_i = BT_i - CT_i \quad (7)$$

O VAL pode ser interpretado de acordo com o seguinte:

- Se $VAL_i > 0$, o cenário é economicamente viável, permitindo recuperar os custos de investimento e manutenção no período de análise e ainda obter lucro;
- Se $VAL_i = 0$, o cenário é economicamente viável mas não representa lucro; por representar a situação limite, pode estar em risco de se tornar inviável;
- Se $VAL_i < 0$, o cenário não é economicamente viável pelo que não haverá retoma dos custos de investimento e manutenção no período de análise, significando prejuízo.

Na Figura 8.1 esquematiza-se a evolução dos custos e benefícios acumulados ao longo dos 20 anos de simulação e no Quadro 8.1 resumem-se os valores acumulados aos anos 5, 10, 15 e 20, bem como o respetivo VAL. Conclui-se que os custos são gradualmente mais elevados com o aumento da distância à linha de costa e, para a mesma distância ($d = 400$ m), são maiores para o QMD com maior comprimento ($c = 350$ m), como seria expectável. Além disso, os cenários de QMD afastados 400 m da linha de costa representam uma evolução anual intermédia em termos de custos, por comparação

com os cenários distanciados de 200 m e 580 m. Em relação aos benefícios, nas simulações LITMOD o melhor cenário é o c350d400 e nas simulações LTC é o c350d580, sendo que em ambas o cenário c200d200 é o que representa os menores benefícios anuais. Por outro lado, as simulações LITMOD indicam para todos os cenários benefícios maiores do que os melhores cenários do LTC, desde o décimo ano da projeção. No ano 20, os benefícios estimados para os 4 cenários representam, no LTC, entre 42 % (c200d200) a 65 % (c350d580) dos benefícios estimados pelo LITMOD, ou seja, cerca de metade.

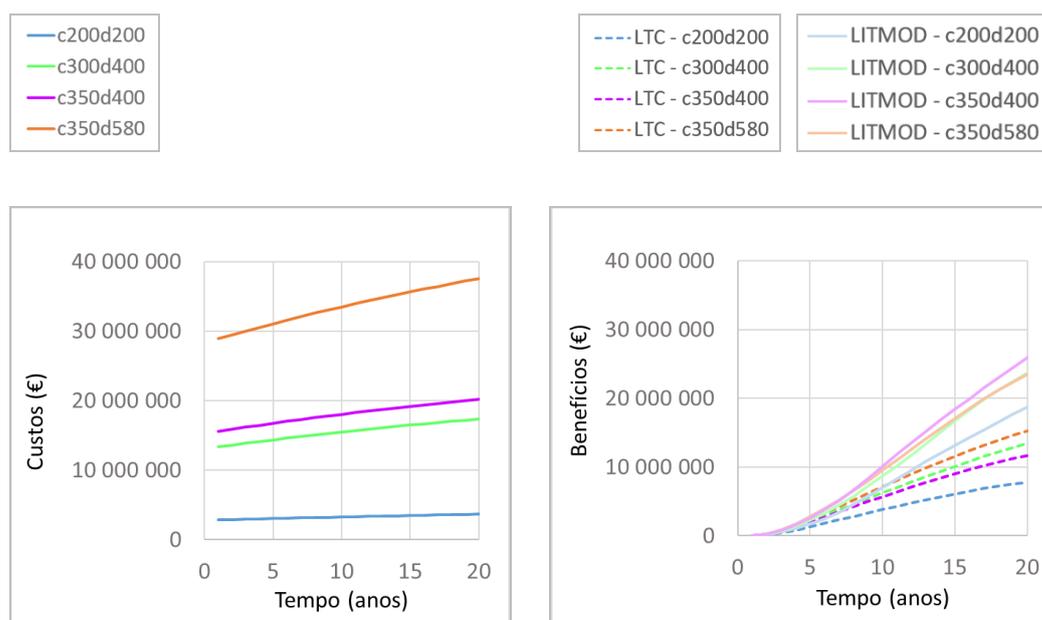


Figura 8.1 – Evolução dos custos e benefícios acumulados ao longo dos 20 anos de simulação, para cada cenário

Quadro 8.1 – Determinação do valor atual líquido (VAL) em função dos custos (CT) e benefícios (BT) acumulados aos anos 5, 10, 15 e 20 de simulação, para cada cenário

| Cenário | Ano | CT (€) | LITMOD | | LTC | |
|----------|-----|------------|------------|-------------|------------|-------------|
| | | | BT (€) | VAL (€) | BT (€) | VAL (€) |
| c200d200 | 5 | 3 081 288 | 1 700 440 | -1 380 849 | 1 304 372 | -1 776 917 |
| | 10 | 3 312 825 | 7 040 996 | 3 728 171 | 3 816 789 | 503 964 |
| | 15 | 3 517 469 | 13 117 318 | 9 599 848 | 6 098 272 | 2 580 803 |
| | 20 | 3 698 345 | 18 766 382 | 15 068 037 | 7 801 473 | 4 103 128 |
| c300d400 | 5 | 14 596 365 | 2 297 816 | -12 298 550 | 2 137 381 | -12 458 985 |
| | 10 | 15 693 176 | 8 672 449 | -7 020 727 | 6 250 043 | -9 443 133 |
| | 15 | 16 662 596 | 16 705 485 | 42 889 | 10 118 036 | -6 544 560 |
| | 20 | 17 519 423 | 23 681 629 | 6 162 206 | 13 427 939 | -4 091 484 |
| c350d400 | 5 | 16 999 684 | 2 617 027 | -14 382 656 | 1 964 488 | -15 035 196 |
| | 10 | 18 277 086 | 10 091 187 | -8 185 899 | 5 673 355 | -12 603 730 |
| | 15 | 19 406 123 | 18 393 779 | -1 012 344 | 9 015 451 | -10 390 672 |
| | 20 | 20 404 028 | 25 962 161 | 5 558 134 | 11 701 460 | -8 702 568 |
| c350d580 | 5 | 31 567 070 | 2 750 638 | -28 816 432 | 2 350 396 | -29 216 674 |
| | 10 | 33 939 105 | 9 538 943 | -24 400 162 | 7 109 821 | -26 829 284 |
| | 15 | 36 035 639 | 17 092 979 | -18 942 660 | 11 550 829 | -24 484 809 |
| | 20 | 37 888 669 | 23 521 889 | -14 366 779 | 15 261 406 | -22 627 262 |

Por fim, esquematiza-se na Figura 8.2 a evolução do VAL para os 4 cenários, de acordo com os 2 modelos numéricos, onde se indica o *break-even point*, ou seja, o ponto de equilíbrio em que os benefícios igualam os custos, não havendo lucro ou prejuízo nesse instante.

Verifica-se que apenas o cenário c200d200 atinge um VAL positivo nos 2 modelos, pois é o cenário que representa menores custos, conseguindo atingir o *break-even point* ao ano 9 no LTC e ao ano 7 no LITMOD e, portanto, ainda durante a primeira metade do período de projeção. Como os benefícios estimados para cada cenário são maiores no LITMOD, neste modelo também os cenários com d=400 m conseguem atingir um VAL positivo com o *break-even point* ao ano 15 para c=300 m e ao ano 16 para c=350 m. O cenário c350d580 apresenta sempre um VAL inferior sem nunca atingir o ponto de equilíbrio, terminando no ano 20 na escala negativa com VAL=14 366 779 € no LITMOD e VAL=-22 627 262 € no LTC, representando, portanto, prejuízo económico em todo o período de simulação.

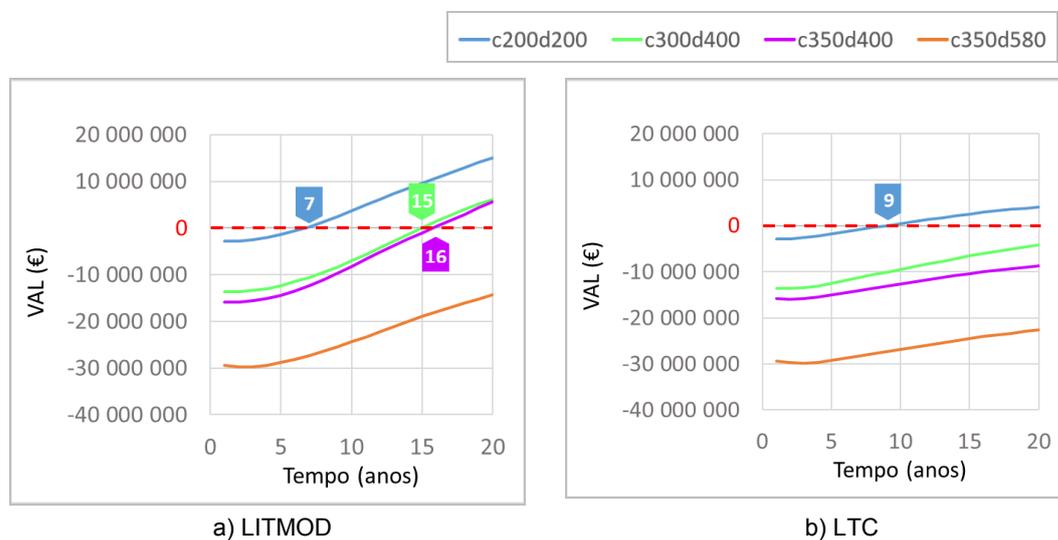


Figura 8.2 – Valor atual líquido (VAL) de cada cenário

Pelo LTC o cenário c200d200 atinge um VAL de 4 103 128 € no 20º ano; pelo LITMOD o mesmo cenário atinge um VAL de 15 068 037 €. Pelo LITMOD, também os cenários c300d400 e c350d400 são viáveis com um VAL de 6 162 206 € e 5 558 134 € no último ano da projeção.

8.2 Análise de sensibilidade às variáveis económicas

Devido à diversidade de parâmetros que condicionam os resultados finais obtidos, procedeu-se à análise de sensibilidade para compreender o impacto da estimativa dos custos e benefícios sobre a determinação de viabilidade económica do QMD. Para tal, definiu-se uma combinação de 4 modelos de análise de acordo com o seguinte:

- Modelo M1: Custos mínimos e Benefícios mínimos;
- Modelo M2: Custos máximos e Benefícios máximos;

- Modelo M3: Custos mínimos e Benefícios máximos;
- Modelo M4: Custos máximos e Benefícios mínimos.

Os resultados apresentam-se na Figura 8.3.

Para definir o intervalo de variabilidade dos custos, consideraram-se como extremos os resultados obtidos pelos 2 métodos de estimativa de custos analisados no Capítulo 7, de modo que os custos máximos são os estimados pelo método 1 e os custos mínimos são os estimados pelo método 2. Para os benefícios, considerou-se uma variação de +50 %, correspondente aos benefícios máximos, e -50 %, correspondente aos benefícios mínimos, em relação aos valores estimados.

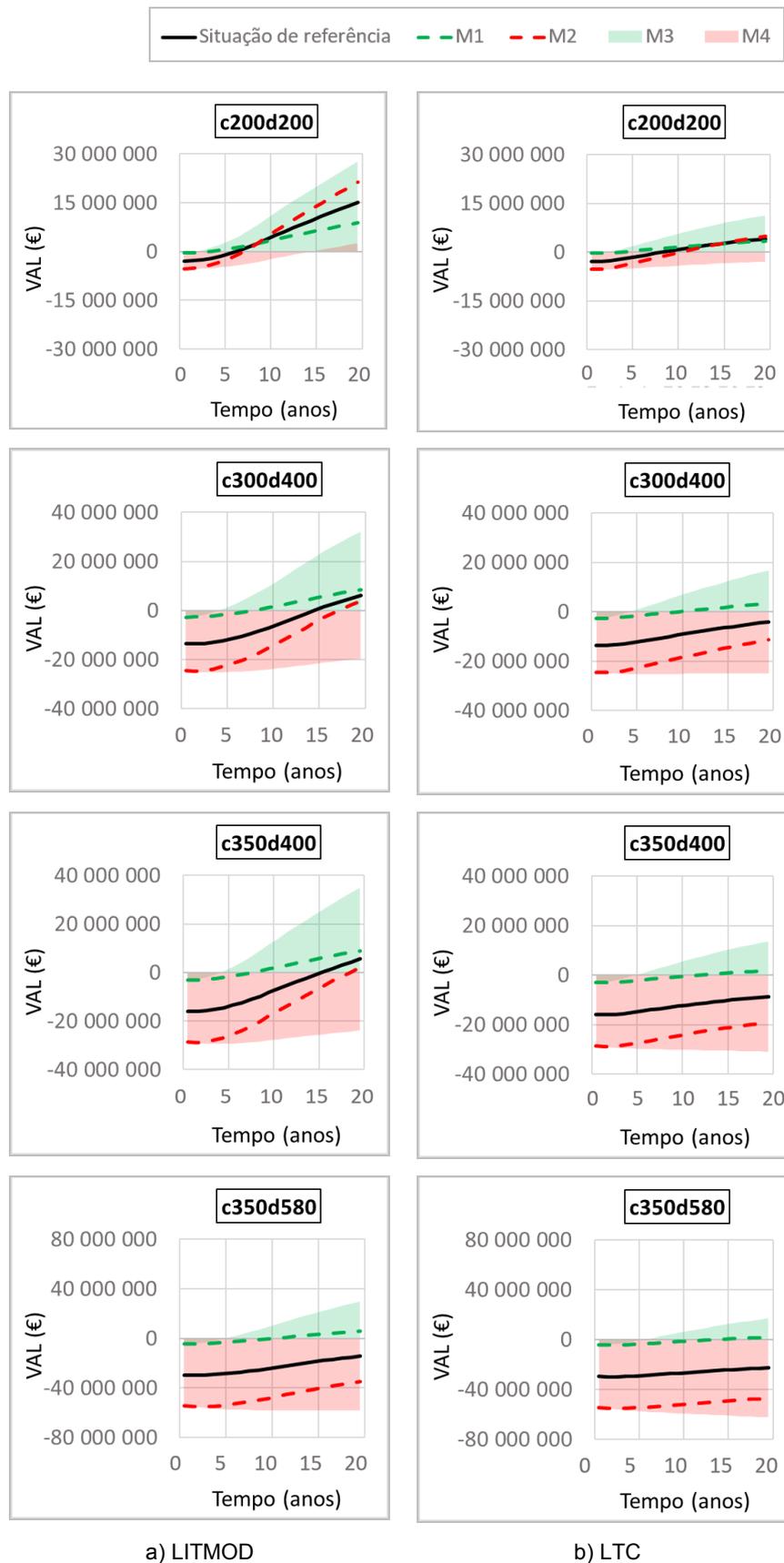
De acordo com a análise da Figura 8.3, verifica-se, como expectável que os modelos M3 e M4 criam uma envolvente que se traduz na situação mais viável e menos viável, respetivamente. Os modelos M1 e M2 representam a situação em que tanto os custos como os benefícios são estimados, simultaneamente, por excesso ou por defeito.

Se os custos fossem maiores e os benefícios menores (modelo M4), nenhum cenário seria viável com o LTC e apenas o cenário c200d200 seria viável a partir do ano 15 no LITMOD.

Se, pelo oposto, os custos fossem menores e os benefícios maiores (modelo M3), todos os cenários seriam viáveis de acordo com as simulações dos dois modelos numéricos: o cenário c200d200 seria viável a partir do 2º ano, o c300d400 a partir do 5º ano, e a partir do ano 6 seriam também viáveis os cenários c350d400 e c350d580; portanto, todos os cenários seriam viáveis logo desde o 6º ano. No LITMOD os cenários que resultariam no maior VAL seriam o c350d400 e o c300d400 enquanto no LTC seriam os cenários c350d580 e c300d400.

Para as situações intermédias, verifica-se a semelhança do modelo M2 (maiores custos, mas também maiores benefícios) com a situação de referência, onde os cenários viáveis se mantêm os mesmos (1 cenário no LTC e 3 cenários no LITMOD), onde o cenário c200d200 representa o maior VAL. Pelo modelo M1 (custos e benefícios menores) todos os 4 cenários passariam a atingir a viabilidade financeira dentro do período de simulação de 20 anos. No LITMOD os cenários que resultariam no maior VAL seriam o c350d400 e o c200d200, enquanto no LTC seriam os cenários c200d200 e c300d400.

Os resultados numéricos para cada modelo podem ser consultados no Anexo III.



a) LITMOD

b) LTC

Figura 8.3 – Impacto da variação dos custos e benefícios estimados nos valores atuais líquidos (VAL) de cada cenário, para 4 modelos de análise

9 | Conclusões

Como referido, este trabalho integra o “Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado (QMD) multifuncional em frente à praia da Vagueira”. Neste âmbito, foi discutida a viabilidade económica de 4 opções de configuração do QMD (melhor solução técnica e 3 soluções alternativas de configuração e localização), por comparação com o cenário de referência (onde se considera a natural evolução da linha de costa). Os resultados apresentados têm por base as simulações numéricas dos modelos LTC e LITMOD, a 20 anos, e a análise de registos históricos. Note-se que os benefícios esperados com a atividade do surf serão apresentados no relatório final. Apresenta-se de seguida uma síntese das principais conclusões.

Risco de erosão costeira

Verifica-se, para o cenário de referência e no domínio de 6x12 km² (simulações LTC), perda de território florestal (espécies invasoras) nos anos 11-13 e 15-18 da análise na zona em que o areal de praia tem uma largura mais estreita entre os esporões da Vagueira e do Labrego, significando uma perda máxima de 41 m² no ano 17. Em relação à classe que engloba as praias, dunas e areais costeiros, verifica-se no primeiro ano um recuo médio ao longo do trecho de 0.97 m, equivalente à perda de 11 635 m², e no final do período de simulação, um recuo médio anual de 0.83 m, equivalente à perda de 198 115 m² ao longo de toda a extensão do litoral em análise. Quando se consideram os cenários com QMD, salvo raras exceções anuais, o impacto sobre a área florestal é residual, podendo ser considerado desprezável. No que se refere à zona de praias, dunas e areais costeiros, todos os cenários com QMD representam um impacto positivo para todos os anos de simulação. É também evidente que o QMD de menor comprimento e menor afastamento à linha de costa provoca um impacto menor, representando entre 1 329 m²/ano e 3 388 m²/ano de areal não perdido, e o QMD de maior comprimento e maior afastamento à linha de costa provoca um impacto maior, representando entre 2 675 m²/ano e 10 306 m²/ano de areal não perdido. Nos cenários com um afastamento à costa igual ou superior a 400 m, verifica-se o maior benefício a partir do 3.º ano.

Foram ainda comparados os resultados das simulações do LTC com os resultados do LITMOD, para a zona próxima à Vagueira, no domínio de 6x5.6 km². É evidente para o LITMOD a previsão de maior perda de área florestal e de pastagens por comparação com o próprio cenário de referência e também por comparação com os respetivos cenários de QMD simulados com o LTC. Por outro lado, a área total anual erodível é, no LITMOD, inferior em cerca de 2/3 para todas as opções em relação às simulações LTC. Apesar da semelhança nos pressupostos de simulação e dados de entrada, os 2 modelos numéricos apresentam resultados discordantes em algumas situações. No LTC, o balanço anual da área de praia ganha (pela acreção a barlar do eixo de simetria da estrutura) e perdida (pela erosão a sotamar do mesmo eixo), é sempre positivo quando se compara com o cenário de referência; ou seja, globalmente, perde-se menos área com a consideração de qualquer cenário de QMD. No LITMOD, no que também se refere às praias, dunas e areais costeiros, o impacto do QMD

é positivo apenas até ao ano 10 nas configurações c200 e c300 e ano 11 na configuração c350. Conclui-se também que a linha que representa o impacto anual do QMD nas simulações LTC evolui a declive positivo e acentuado nos primeiros 5 anos, estabilizando no restante período de simulação, terminando em ligeiro decréscimo. No LITMOD evoluiu gradualmente a declive positivo durante a primeira década, invertendo o comportamento até ao ano 15, quando retoma o declive positivo, estabilizando no ano 20 da simulação no quadrante negativo com valores entre -1 318 m² e -6 338 m².

Complementarmente, foi efetuada uma terceira análise para avaliar a representatividade do impacto específico do QMD nas imediações do seu local de implantação, ou seja, na zona balnear da praia Vagueira, que se localiza em frente ao aglomerado urbano. Como expectável, conclui-se que a acreção promovida por todas as variantes do QMD beneficia maioritariamente a praia da Vagueira - média de 81% no LITMOD e 69% no LTC, enquanto no cenário de referência a acreção devido à evolução natural do sistema costeiro representava, nesta zona, apenas 30%. Por outro lado, a erosão provocada pela retenção de sedimentos no saliente dá-se, no LTC, imediatamente a sul do eixo de simetria da obra e, portanto, manifesta uma percentagem maior ainda na zona da praia da Vagueira (9-16 %); no LITMOD, a erosão provocada pelo QMD dispersa-se pelas praias a sul e é menos sentida na praia da Vagueira (apenas 2-12 %).

Risco de inundação costeira

Existe registo de eventos de galgamento na praia da Vagueira, com particular incidência na via rodoviária e no parque de estacionamento existentes no tardoz da obra longitudinal aderente. Foram já também registados, com as atuais condi es de prote a costeira, eventos de inunda o na zona de intersec o da obra aderente com o esporão, onde se localizam alguns equipamentos, nomeadamente um estabelecimento de restaura o.

De acordo com os resultados das proje es, confirma-se a existência de diversas classes de uso e ocupa o do solo sob risco de inunda o, se não forem realizadas quaisquer interven es costeiras no período em análise. De acordo com as simula es LTC no domínio de 6x12 km², prevê-se que as classes de agricultura sejam afetadas apenas no final do horizonte de simula o e a sul do esporão do Labrego. No que se refere ao território artificializado, a rede viária localizada no tardoz da obra aderente da praia da Vagueira será a classe de ocupa o do solo mais afetada (local onde existem registos históricos de galgamento). Prevê-se também que os galgamentos possam atingir uma área reduzida do tecido edificado na praia da Vagueira. Em rela o ao comércio, as previsões também corroboram os registos observados: as instala es localizadas na proximidade da intersec o da obra aderente com o esporão da Vagueira serão sempre as mais afetadas (prevê-se que a área de inunda o alcance as instala es em todo o seu perímetro); os estabelecimentos de restaura o localizados na extremidade norte da defesa aderente serão afetados de forma genericamente semelhante ao longo do horizonte de simula o. Quanto a equipamentos de lazer, verifica-se o progressivo recuo da linha de costa e conseqüente aumento da área inundável no parque aquático Vaga Splash, que se estende até às dunas. As pastagens espontâneas, as florestas de espécies invasoras e os matos mais próximos aos sistemas dunares localizam-se a norte da Vagueira e entre a

Vagueira e o Labrego antecipando-se, respetivamente, áreas máximas de inundação de 9 139 m², 20 041 m² e 45 m². Finalmente, e como seria de esperar, prevê-se que os galgamentos oceânicos atinjam maioritariamente áreas de praias, dunas e areais costeiros.

Para os cenários com QMD, verifica-se um impacto positivo para a maioria das classes de uso e ocupação do solo. Os maiores benefícios da implantação do QMD são para os estabelecimentos de comércio (restauração) e rede viária localizados na proximidade da zona de acreção de sedimentos. Por outro lado, como já foi explicado, o QMD irá promover erosão a sotamar do eixo transversal de simetria, afetando os edifícios na proximidade da zona de maior recuo da linha de costa. Assim, verifica-se o maior benefício do QMD para os cenários c300d400 e c350d580, com o consequente prejuízo das áreas edificadas. Analogamente, o cenário c200d200 é o que tem impacto menor, traduzido pelo menor benefício das áreas comerciais e estradas (menor área de acreção) e menor prejuízo das áreas edificadas (menor área de erosão).

Por fim, foram comparados os resultados das simulações do LTC com os resultados do LITMOD, para a zona próxima à Vagueira no domínio de 6x5.6 km². Ambos os modelos estimam benefícios positivos para as classes de comércio e rede viária, em todos os cenários e em quase todos os anos da simulação (no LITMOD os benefícios máximos são de 11 130 m² de área não inundada e no LTC são de 3 633 m²). Para as restantes classes os benefícios são genericamente negativos, verificando-se um aumento das áreas inundáveis de agricultura e florestas no LITMOD, até ao máximo de 7 797 m² e 9 252 m², respetivamente.

Benefício de mitigação da erosão costeira

Concluiu-se que tanto as projeções do modelo LITMOD como as do modelo LTC preveem, após instalação do QMD, a formação de um saliente em frente à zona urbana da Vagueira. Este saliente soluciona localmente os problemas de erosão e galgamento (pela retenção de uma parcela do transporte sedimentar longitudinal e consequente avanço da linha de costa) mas propaga o défice sedimentar, que já existia, para sotamar. Como tal, concluiu-se que o benefício decorrente da construção do QMD é sempre maior para a praia da Vagueira do que aquele verificado nas restantes praias (nomeadamente, nas localizadas a sul). No caso do LITMOD, os benefícios para as restantes praias são mesmo negativos, ou seja, prevê-se que o QMD promova mais erosão nessas praias do que aquela que aconteceria de forma natural se não fossem consideradas intervenções costeiras. No entanto, globalmente, o benefício económico para a classe de praias é positivo para todos os cenários simulados com os 2 modelos, traduzido no aumento do areal.

Verifica-se também, se forem mantidas as condições atuais de dinâmica/proteção costeira, a desvalorização económica das praias (devido à perda de área) até ao ano 5, no LITMOD, estabilizando no valor anual de cerca de 9 000 000 € na última década do período de projeção (~5% inferior ao valor atual – ano zero da simulação). As pastagens e florestas tendem a representar um valor constante de cerca de 312 600 €/ano ao longo dos 20 anos porque no cenário de referência não há perda de área de pastagens em nenhum ano e a perda de floresta representa um máximo de 68 m² no ano 5, sendo que a partir do ano 10 não se preveem mais perdas. Para os cenários de QMD

o impacto nestas 2 classes é negativo, embora reduzido pois genericamente não há perdas de território desta tipologia nos primeiros anos e as perdas máximas, que acontecem no ano 15 do QMD c200d200 (-1 316 m² de pastagens e -1 546 m² de floresta), representam um valor residual de -488 €/ano. Pelo contrário, os benefícios do QMD no que se refere às áreas de praia são bastante positivos, evoluindo de forma crescente e acentuada até cerca do 10.º ano, atingindo o pico do benefício económico no ano 15 para os cenários c300d400 e c350d580 e no ano 20 para os restantes 2 cenários. Estes benefícios representam cerca de 150 000 € logo no segundo ano e variam entre cerca de 1 375 000 € e 1 940 000 € no ano 20.

De acordo com as simulações LTC não serão afetadas as pastagens durante o horizonte de estudo definido, e quanto às florestas prevê-se uma perda máxima de 38 m² nos cenários com QMD e 35 m² com a manutenção das condições atuais, sendo que as perdas de área florestal ocorrem apenas a partir do ano 10 em todas as situações. À semelhança do LITMOD, conclui-se que o QMD não tem impacto relevante sobre esta classe, representando benefícios máximos de -1 €/ano e +1 €/ano em alguns anos da simulação (face ao valor no cenário de referência que varia entre 298 024 e 298 031 €). Quanto às praias, o valor inicial da classe (9 580 937 €) é da mesma ordem de grandeza que nas simulações LITMOD (9 271 239 €) mas neste caso tende a desvalorizar ao longo dos anos. Nos cenários com QMD os benefícios totais (de todas as praias) são também sempre positivos face à situação de não intervir, sendo que o cenário c350d580 representa o maior benefício (cerca de 895 000 €/ano durante os últimos 10 anos) e o cenário c200d200 representa o benefício mais baixo (cerca de 275 000€/ano no mesmo período).

Benefício de mitigação da inundação costeira

Os resultados da evolução das áreas inundáveis também seguem os resultados da evolução da linha de costa ao longo do tempo, devido ao conceito de faixa de inundação. No LITMOD estes custos evoluem até ao valor máximo de 501 871 € no ano 5 e mantêm-se se nesta ordem de grandeza até ao final do período de projeção. No LTC os custos de inundação também aumentam de forma acentuada até ao ano 5 mantendo-se num valor médio de 345 000 € pelos anos seguintes. Com o QMD, os custos de inundação podem ser reduzidos em cerca de 90 % em relação ao cenário de referência, baixando para valores máximos de 73 211€ (ano 5 do cenário c350d580) no LITMOD e 46 574 € (ano 20 do mesmo cenário) no LTC. Desta forma, os benefícios do QMD alcançam os valores máximos de 468 698 € (ano 15 do cenário c300d400) no LITMOD e 328 314 € (ano 15 do cenário c350d400) no LTC pois são estes 2 cenários os que têm maior período de retorno, respetivamente, 7.1 e 7.6 anos, e como tal menor frequência expectável de ocorrências de galgamento.

Benefícios totais

Conclui-se que todos os cenários de QMD têm benefícios económicos globais positivos em todos os anos do período de projeção, face à situação de não intervir. Os benefícios anuais totais máximos previstos para cada cenário são maiores para o modelo LITMOD, variando entre 1 825 395 € e 2 412 813 € (valor máximo no ano 15 do c300d400 – melhor solução técnica), e no LTC entre

636 940 € e 1 243 552 € (valor máximo no ano 10 do c350d580 – QMD de maior comprimento e afastamento à linha de costa e, genericamente, maior impacto).

Em relação aos benefícios totais acumulados, nas simulações LITMOD os melhores cenários são o c350d400 e o c350d580 e nas simulações LTC são o c350d580 e o c300d400, sendo que em ambas o cenário c200d200 é o que representa os menores benefícios anuais. Por outro lado, as simulações LITMOD indicam para todos os cenários benefícios maiores do que os melhores cenários do LTC, desde o décimo ano da projeção. No ano 20, os benefícios estimados para os 4 cenários são no LTC entre 42 % (c200d200) a 65 % (c350d580) dos benefícios estimados pelo LITMOD, ou seja, cerca de metade.

Custos totais

Os custos totais associados ao QMD incluem os custos de investimento inicial e os custos recorrentes de manutenção e reabilitação. Para a determinação dos custos iniciais foram considerados os valores médios determinados por 2 métodos distintos: estimativa orçamental por comparação com obras semelhantes e estimativa através do custo unitário dos materiais e dimensão da obra. Com esta abordagem é possível cobrir a incerteza de estimativa de custos de construção em fase de pré-dimensionamento, onde são inúmeras as variáveis ainda por definir (nomeadamente, materiais de construção, equipas de trabalho, máquinas e equipamentos, entre outros fatores que influenciam o próprio planeamento da obra).

Conclui-se que os custos totais são gradualmente mais elevados com o aumento da distância à linha de costa e, para a mesma distância (d=400 m), são maiores para o QMD com maior comprimento (c=350 m), como seria expectável. Além disso, os cenários de QMD afastados 400 m da linha de costa representam uma evolução anual intermédia em termos de custos, por comparação com os cenários distanciados de 200 m e 580 m. Desta forma, estima-se um custo de investimento inicial de cerca de 2.8 M€ para o cenário c200d200, 13.4 M€ para o c300d400, 15.6 M€ para o c350d400 e 28.9 M€ para o c350d580. Para os custos periódicos de manutenção, estimou-se que correspondam a 10 % dos custos iniciais, antecipando-se um intervalo de 5 anos entre operações de manutenção.

Viabilidade económica

Verifica-se que apenas o cenário c200d200 atinge um VAL positivo nos 2 modelos, pois é o cenário que representa menores custos, conseguindo atingir a *break-even point* (onde os benefícios igualam os custos) ao ano 9 no LTC e ao ano 7 no LITMOD, ou seja, ainda durante a primeira metade do período de projeção. Pelo LTC o cenário c200d200 atinge um VAL de 4 103 128 € no 20º ano; pelo LITMOD o mesmo cenário atinge um VAL de 15 068 037 € também no 20º ano.

Como os benefícios estimados para cada cenário são maiores no LITMOD, neste modelo também os cenários com d=400 m conseguem atingir um VAL positivo com o *break-even point* ao ano 15 para c=300m e ao ano 16 para c=350 m. Neste caso, os cenários c300d400 e c350d400 atingem um VAL de 6 162 206 € e 5 558 134 €, respetivamente, no último ano da projeção.

O cenário c350d580 nunca atinge o *break-even point*, terminando no ano 20 na escala negativa com $VAL = -14\,366\,779$ € no LITMOD e $VAL = -22\,627\,262$ € no LTC, representando, portanto, prejuízo económico em todo o período de simulação.

Análise de sensibilidade

Devido à diversidade de parâmetros que condicionam os resultados finais obtidos, procedeu-se à análise de sensibilidade para compreender o impacto da estimativa dos custos e benefícios sobre a determinação de viabilidade económica do QMD.

Conclui-se que se os custos fossem maiores e os benefícios menores (modelo M4), nenhum cenário seria viável com o LTC e apenas o cenário c200d200 seria viável a partir do ano 15 no LITMOD.

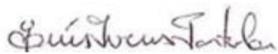
Se, pelo oposto, os custos fossem menores e os benefícios maiores (modelo M3), todos os cenários seriam viáveis de acordo com as simulações dos dois modelos numéricos: o cenário c200d200 seria viável a partir do 2º ano, o c300d400 a partir do 5º ano, e a partir do ano 6 seriam também viáveis os cenários c350d400 e c350d580; portanto, todos os cenários seriam viáveis logo desde o 6º ano. No LITMOD os cenários que resultariam no maior *VAL* seriam o c350d400 e o c300d400 enquanto no LTC seriam os cenários c350d580 e c300d400.

Para as situações intermédias, verifica-se a semelhança do modelo M2 (maiores custos, mas também maiores benefícios) com a situação de referência, onde os cenários viáveis se mantêm os mesmos (1 cenário no LTC e 3 cenários no LITMOD), onde o cenário c200d200 representa o maior *VAL*. Pelo modelo M1 (custos e benefícios menores) todos os 4 cenários passariam a atingir a viabilidade financeira dentro do período de simulação de 20 anos. No LITMOD os cenários que resultariam no maior *VAL* seriam o c350d400 e o c200d200, enquanto no LTC seriam os cenários c200d200 e c300d400.

Portanto, concluir-se-á que o cenário c200d200 apresenta uma solução viável relativamente barata, mas também com benefícios relativamente baixos. O cenário c300d400 apresenta uma solução alternativa potencialmente viável, com maiores custos, mas também com benefícios mais acentuados.

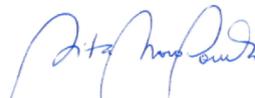
VISTOS

O Chefe do Núcleo de Estuários e Zonas
Costeiras



Luís Ivens Portela

AUTORIA



Rita Novo Pombo

Estudante de Doutoramento

Departamento de Engenharia Civil, UA



Peter Cornelis Roebeling

Professor Auxiliar

Departamento de Ambiente e Ordenamento, UA

A Diretora do Departamento de Hidráulica e
Ambiente



Helena Alegre



Carlos Daniel Borges Coelho

Professor Auxiliar com Agregação

Departamento de Engenharia Civil, UA



Francisco Sancho

Investigador Auxiliar, LNEC

Referências bibliográficas

- APA, 2019 – **Módulo de Reporte de Ocorrências no Litoral (Ocorrências nº 254, 452 e 742)**. Agência Portuguesa do Ambiente, 3 p.
- BREALEY, R. A.; MYERS, S. C.; MARCUS, A. J., 2001 – **Fundamentals of Corporate Finance**. Third edition, New York: McGraw-Hill.
- BURCHARTH, H.; HUGHES, S., 2011 – **Fundamentals of Design - Coastal Engineering Manual, Part VI, Chapter 5**. U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C.
- CMV, 2010 – **Plano Municipal de Defesa da Floresta contra Incêndios do Concelho de Vagos: Caderno I - Informação de Base**. Gabinete Técnico Florestal de Vagos, Câmara Municipal de Vagos (CMV), Vagos, Portugal, 57 p.
- COS2018, 2020 – **Carta de uso e Ocupação do Solo para 2018**. Direção-Geral do Território, acessível em: <https://www.dgterritorio.gov.pt/Carta-de-Uso-e-Ocupacao-do-Solo-para-2018> (último acesso 31.08.2020).
- COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R.V.; PARUELO, J.; RASKIN, R.G.; SUTTON, P.; VAN DEN BELT, M., 1997 – **The value of the world's ecosystem services and natural capital**. Nature, 387, 253-260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>.
- DAVIS, S.A.; SKAGGS, L.L., 1992 – **Catalog of Residential Depth-Damage Functions used by the Army Corps of Engineers in Flood Damage Estimation**. Institute for Water Resources, US Army Corps of Engineers, Fort Belvoir, USA. 140 p.
- FREIRE, P.; BAPTISTA, P.R.; CAPITÃO, R.; SANCHO, F.; FORTES, C.J; NEVES, M.G.; PINHEIRO, L., 2020 – **Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à praia da Vagueira. (T1) Caracterização da hidrodinâmica e da variabilidade morfo-sedimentar. Relatório 7**. LNEC - Proc. 0604/121/21221. Relatório conjunto 161/2020 DHA/NEC.
- INE, 2020 – **Atualização de Valores com Base no IPC**. Instituto Nacional de Estatística, acessível em: <https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ipc> (último acesso 04.02.2021).
- LIMA, M.; COELHO, C.; VELOSO-GOMES, F.; ROEBELING, P., 2020 – **An integrated physical and cost-benefit approach to assess groins as a coastal erosion mitigation strategy**. Coastal Engineering, 156, 103614. doi: 10.1016/j.coastaleng.2019.103614.
- NOORDEGRAAF, I., 2020 – **Economic valuation of increased beach width at Praia da Vagueira (central Portugal)**. Tese de Mestrado em Economia do Ambiente e dos Recursos Naturais, Universidade de Wageningen, Holanda.
- OLIVEIRA, F.; SANCHO, F.; NEVES, M.; PINHEIRO, L.; FORTES, C.; TEIXEIRA, S.; REIS, T.; COELHO, C.; POMBO, R., 2020 – **Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à praia da Vagueira. (T1) Estudos em modelo matemático: Alternativas de quebra-mar destacado para proteção contra galgamentos e**

- erosão costeira. Relatório 8.** LNEC - Proc. 0604/121/21221. Relatório conjunto 231/2020 DHA/NEC.
- PEREIRA, C.; COELHO, C., 2014 – **Cost analysis of coast intervention measures – Barra-Vagueira coastal stretch.** Report prepared within the context of the project BASE “Bottom-Up Climate Adaptation Strategies for a Sustainable Europe”, Department of Civil Engineering, University of Aveiro, Aveiro, Portugal. 44 pp.
- POC, 2018 – **Programa da Orla Costeira Caminha-Espinho. Programa de Execução e Plano de Financiamento.** Agência Portuguesa do Ambiente, 141 p.
- POMBO, R., 2016 – **Inundações costeiras: Caudais de galgamento e consequências associadas.** Tese de mestrado em Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, 156 p.
- POMBO, R.; COELHO, C., 2020 – **Relatório dos trabalhos desenvolvidos: Modelação numérica da evolução da posição da linha de costa para a situação atual e diversos cenários de construção de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à praia da Vagueira, com recurso ao LTC.** Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil, 44 p.
- PULLEN, T.; ALLSOP, N.; BRUCE, T.; KORTENHAUS, A.; SCHÜTTRUMPT, H.; VAN DER MEER, J., 2007 – **EurOtop Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual.** Expertise Netwerk Waterkeren, Netherlands, 193 p.
- ROEBELING, P.; ROCHA, J.; COELHO, C.; ALVES, F.; VIZINHO, A., 2015 – **Cost-benefit analysis of coastal erosion adaptation pathways along the Barra-Vagueira coastal stretch.** Report prepared within the context of the project BASE “Bottom-Up Climate Adaptation Strategies for a Sustainable Europe”, Department of Civil Engineering, University of Aveiro, Aveiro, Portugal. 19 p.
- ROEBELING, P.; D'ELIA, E.; COELHO, C.; ALVES, T., 2018 – **Efficiency in the design of coastal erosion adaptation strategies: an environmental-economic modelling approach.** Ocean Coast Manag. 160, 175–184. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.10.027>.
- SANCHO, F.; OLIVEIRA, F.; NEVES, M.G.; FORTES, C.J.; COELHO, C.; ROEBELING, P.; BICUDO, P., 2019a – **Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à praia da Vagueira. (T0) Revisão do estado de arte. Relatório 2.** LNEC - Proc. 0604/121/21221. Relatório conjunto 248/2019 DHA/NEC.
- SANCHO, F.; NEVES, M.G.; FORTES, C.J.; CAPITÃO, R., 2019b – **Estudo de caracterização e viabilidade de um quebra-mar destacado multifuncional em frente à praia da Vagueira. (T1) Estudos em modelo matemático: Memória descritiva. Relatório 4.** LNEC - Proc. 0604/121/21221. Relatório conjunto 408/2019 DHA/NEC.
- ZERBE, R. O.; E DIVELY, D. D., 1994 – **Benefit-Cost Analysis in Theory and Practice.** Harper Collins College Publishers, New York, USA, 557 p.

Anexos

ANEXO I
Nomenclatura da Carta de uso e Ocupação do Solo de Portugal
Continental (COS2018)

Nomenclatura da Carta de uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental (COS2018), utilizada para a classificação dos sistemas naturais e construídos:

| Nível 1 | Nível 2 | Nível 3 | Nível 4 | |
|---|---|---|--|--|
| 1.Territórios artificializados | 1.1 Tecido edificado | 1.1.1 Tecido edificado contínuo | 1.1.1.1 Tecido edificado contínuo predominantemente vertical 1.1.1.2 Tecido edificado contínuo predominantemente horizontal | |
| | | 1.1.2 Tecido edificado descontínuo | 1.1.2.1 Tecido edificado descontínuo 1.1.2.2 Tecido edificado descontínuo esperso | |
| | | 1.1.3 Espaços vazios em tecido edificado | 1.1.3.1 Áreas de estacionamento e logradouros 1.1.3.2 Espaços vazios sem construção | |
| | 1.2 Indústria, comércio e instalações agrícolas | 1.2.1 Indústria | 1.2.1.1 Indústria | |
| | | 1.2.2 Comércio | 1.2.2.1 Comércio | |
| | | 1.2.3 Instalações agrícolas | 1.2.3.1 Instalações agrícolas | |
| | 1.3 Infraestruturas | 1.3.1 Infraestruturas de produção de energia | 1.3.1.1 Infraestruturas de produção de energia renovável 1.3.1.2 Infraestruturas de produção de energia não renovável | |
| | | 1.3.2 Infraestruturas de águas e tratamento de resíduos | 1.3.2.1 Infraestruturas para captação, tratamento e abastecimento de águas para consumo 1.3.2.2 Infraestruturas de tratamento de resíduos e águas residuais | |
| | 1.4 Transportes | 1.4.1 Redes viárias e ferroviárias e espaços associados | 1.4.1.1 Rede viária e espaços associados 1.4.1.2 Rede ferroviária e espaços associados | |
| | | 1.4.2 Áreas portuárias | 1.4.2.1 Terminais portuários de mar e de rio 1.4.2.2 Estaleiros navais e docas secas 1.4.2.3 Marinhas e docas pesca | |
| | | 1.4.3 Aeroportos e aeródromos | 1.4.3.1 Aeroportos 1.4.3.2 Aeródromos | |
| | | 1.4.4 Infraestruturas de transportes | 1.4.4.1 Infraestruturas de transportes | |
| | 1.5 Áreas de extração de inertes, áreas de deposição de resíduos e estaleiros de construção | 1.5.1 Áreas de extração de inertes | 1.5.1.1 Minas a céu aberto 1.5.1.2 Pedreiras | |
| | | 1.5.2 Áreas de deposição de resíduos | 1.5.2.1 Aterros 1.5.2.2 Lixeiras e Sucatas | |
| | | 1.5.3 Áreas em construção | 1.5.3.1 Áreas em construção | |
| | 1.6 Equipamentos | 1.6.1 Equipamentos desportivos | 1.6.1.1 Campos de golfe 1.6.1.2 Instalações desportivas | |
| | | 1.6.2 Equipamentos de lazer e parques de campismo | 1.6.2.1 Parques de campismo 1.6.2.2 Equipamentos de lazer | |
| | | 1.6.3 Equipamentos culturais | 1.6.3.1 Equipamentos culturais | |
| | | 1.6.4 Cemitérios | 1.6.4.1 Cemitérios | |
| | | 1.6.5 Outros equipamentos e instalações turísticas | 1.6.5.1 Outros equipamentos e instalações turísticas | |
| | 1.7 Parques e jardins | 1.7.1 Parques e jardins | 1.7.1.1 Parques e jardins | |
| | 2.Agricultura | 2.1 Culturas temporárias | 2.1.1 Culturas temporárias de sequeiro e regadio e arrozais | 2.1.1.1 Culturas temporárias de sequeiro e regadio 2.1.1.2 Arrozais |
| | | 2.2 Culturas permanentes | 2.2.1 Vinhas | 2.2.1.1 Vinhas |
| | | | 2.2.2 Pomares | 2.2.2.1 Pomares |
| | | | 2.2.3 Olivais | 2.2.3.1 Olivais |
| | | 2.3 Áreas agrícolas heterogéneas | 2.3.1 Culturas temporárias e/ou pastagens melhoradas associadas a culturas permanentes | 2.3.1.1 Culturas temporárias e/ou pastagens melhoradas associadas a vinha 2.3.1.2 Culturas temporárias e/ou pastagens melhoradas associadas a pomar 2.3.1.3 Culturas temporárias e/ou pastagens melhoradas associadas a olival |
| | | | 2.3.2 Mosaicos culturais e parcelares complexos | 2.3.2.1 Mosaicos culturais e parcelares complexos |
| 2.3.3 Agricultura com espaços naturais e seminaturais | | | 2.3.3.1 Agricultura com espaços naturais e seminaturais | |
| 2.4 Agricultura protegida e viveiros | | 2.4.1 Agricultura protegida e viveiros | 2.4.1.1 Agricultura protegida e viveiros | |

| | | | |
|---|--|--|--|
| 3.Pastagens | 3.1 Pastagens | 3.1.1 Pastagens melhoradas 3.1.2 Pastagens espontâneas | 3.1.1.1 Pastagens melhoradas 3.1.2.1 Pastagens espontâneas |
| 4.Superfícies agroflorestais (SAF) | 4.1 Superfícies agroflorestais (SAF) | 4.1.1 Superfícies agroflorestais (SAF) | 4.1.1.1 SAF de sobreiro 4.1.1.2 SAF de azinheira 4.1.1.3 SAF de outros carvalhos 4.1.1.4 SAF de pinheiro manso 4.1.1.5 SAF de outras espécies 4.1.1.6 SAF de sobreiro com azinheira 4.1.1.7 SAF de outras misturas |
| 5.Florestas | 5.1 Florestas | 5.1.1 Florestas de folhosas 5.1.2 Florestas de resinosas | 5.1.1.1 Florestas de sobreiro 5.1.1.2 Florestas de azinheira 5.1.1.3 Florestas de outros carvalhos 5.1.1.4 Florestas de castanheiro 5.1.1.5 Florestas de eucalipto 5.1.1.6 Florestas de espécies invasoras 5.1.1.7 Florestas de outras folhosas 5.1.2.1 Florestas de pinheiro bravo 5.1.2.2 Florestas de pinheiro manso 5.1.2.3 Florestas de outras resinosas |
| 6.Matos | 6.1 Matos | 6.1.1 Matos | 6.1.1.1 Matos |
| 7. Espaços descobertos ou com pouca vegetação | 7.1 Espaços descobertos ou com pouca vegetação | 7.1.1 Praias, dunas e areais 7.1.2 Rocha nua 7.1.3 Vegetação esparsa | 7.1.1.1 Praias, dunas e areais interiores 7.1.1.2 Praias, dunas e areais costeiros 7.1.2.1 Rocha nua 7.1.3.1 Vegetação esparsa |
| 8.Zonas húmidas | 8.1 Zonas húmidas | 8.1.1 Zonas húmidas interiores 8.1.2 Zonas húmidas litorais | 8.1.1.1 Pauis 8.1.2.1 Sapais 8.1.2.2 Zonas entremarés |
| 9.Massas de água superficiais | 9.1 Massas de água interiores | 9.1.1 Cursos de água | 9.1.1.1 Cursos de água naturais 9.1.1.2 Cursos de água modificados ou artificializados |
| | | 9.1.2 Planos de água | 9.1.2.1 Lagos e lagoas interiores artificiais 9.1.2.2 Lagos e lagoas interiores naturais 9.1.2.3 Albufeiras de barragens 9.1.2.4 Albufeiras de represas ou de açudes 9.1.2.5 Charcas |
| | 9.2 Aquicultura | 9.2.1 Aquicultura | 9.2.1.1 Aquicultura |
| | 9.3 Massas de água de transição e costeiras | 9.3.1 Salinas | 9.3.1.1 Salinas |
| 9.3.2 Lagoas costeiras | | 9.3.2.1 Lagoas costeiras | |
| 9.3.3 Desembocaduras fluviais | | 9.3.3.1 Desembocaduras fluviais | |
| | | 9.3.4 Oceano | 9.3.4.1 Oceano |

ANEXO II
Impacto do QMD ao longo do tempo

Impacto do QMD ao longo do tempo (valores negativos representam áreas perdidas ou inundadas)

Áreas de solo não perdidas para cada opção de QMD (simulações LITMOD e LTC no domínio 6 x 5.6 km²).

| Cenário | Ano | Área não perdida (m ²) | | | | |
|----------|-----|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| | | LITMOD | | | LTC | |
| | | Classe | | | Classe | |
| | | 3.1.2.1 | 5.1.1.6 | 7.1.1.2 | 5.1.1.6 | 7.1.1.2 |
| c200d200 | 5 | 0 | -10 | 464 | 0 | 2 879 |
| | 10 | 0 | -977 | 2 379 | 0 | 3 397 |
| | 15 | -1 316 | -1 546 | -17 536 | 1 | 3 217 |
| | 20 | -194 | -1 285 | -6 338 | 0 | 2 245 |
| c300d400 | 5 | 0 | 67 | 2 681 | 0 | 6 621 |
| | 10 | 0 | -822 | 3 159 | 0 | 7 634 |
| | 15 | -1 068 | -1 109 | -15 843 | 3 | 7 904 |
| | 20 | -67 | -818 | -5 005 | 0 | 7 672 |
| c350d400 | 5 | 0 | 65 | 3 198 | 0 | 5 869 |
| | 10 | -50 | -1 218 | 5 243 | 0 | 6 329 |
| | 15 | -1 118 | -1 098 | -13 426 | 3 | 6 181 |
| | 20 | -208 | -1 129 | -1 318 | 0 | 5 475 |
| c350d580 | 5 | 0 | 68 | 5 056 | 0 | 7 502 |
| | 10 | 0 | -449 | 5 464 | 0 | 9 640 |
| | 15 | -375 | -554 | -13 943 | -3 | 9 285 |
| | 20 | 0 | -166 | -5 812 | 0 | 8 828 |

Áreas de solo não inundadas para cada opção de QMD (simulações LITMOD no domínio 6 x 5.6 km²).

| Cenário | Ano | Área não inundada (m ²) | | | | | | | | |
|----------|-----|-------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | Classe | | | | | | | | |
| | | 1.1.1.1 | 1.2.2.1 | 1.4.1.1 | 1.6.2.2 | 2.1.1.1 | 2.3.3.1 | 3.1.2.1 | 5.1.1.6 | 7.1.1.2 |
| c200d200 | 5 | -6 | 387 | 636 | 0 | -219 | -766 | -951 | 1 165 | -1 207 |
| | 10 | 0 | 910 | 3 656 | 0 | -1 115 | -4 080 | -2 119 | -2 385 | 2 072 |
| | 15 | -27 | 898 | 4 549 | -471 | -1 476 | -5 197 | -2 880 | -8 870 | 11 172 |
| | 20 | 2 | 937 | 4 336 | -41 | -2 024 | -6 270 | -2 406 | -6 875 | 9 065 |
| c300d400 | 5 | -10 | 471 | 1 529 | 0 | -195 | -670 | -637 | 2 311 | -3 150 |
| | 10 | 1 | 802 | 5 144 | 0 | -1 376 | -4 526 | -2 158 | -1 943 | 1 678 |
| | 15 | -31 | 872 | 11 130 | -620 | -1 822 | -6 065 | -2 887 | -9 252 | 6 515 |
| | 20 | 0 | 907 | 5 519 | -43 | -2 164 | -6 411 | -2 211 | -5 236 | 7 468 |
| c350d400 | 5 | -7 | 635 | 2 008 | 0 | -256 | -902 | -848 | 2 612 | -3 748 |
| | 10 | -9 | 997 | 5 727 | 0 | -1 753 | -5 677 | -2 506 | -2 401 | 2 283 |
| | 15 | -31 | 961 | 7 874 | -612 | -2 040 | -6 793 | -2 890 | -8 448 | 10 574 |
| | 20 | 0 | 965 | 6 875 | -62 | -2 629 | -7 797 | -2 429 | -5 981 | 8 480 |
| c350d580 | 5 | -2 | 437 | 2 285 | 0 | -171 | -545 | -137 | 3 429 | -5 463 |
| | 10 | 1 | 752 | 4 883 | 0 | -1 209 | -3 962 | -1 739 | -557 | -501 |
| | 15 | -30 | 872 | 7 066 | -630 | -1 427 | -5 236 | -2 725 | -6 201 | 7 272 |
| | 20 | 0 | 757 | 5 026 | -36 | -1 930 | -5 794 | -1 486 | -3 275 | 5 376 |

Áreas de solo não inundadas, para cada opção de QMD (simulações LTC no domínio 6 x 5.6 km²).

| Cenário | Ano | Área não inundada (m²) | | | | | | | | |
|----------|-----|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | Classe | | | | | | | | |
| | | 1.1.1.1 | 1.2.2.1 | 1.4.1.1 | 1.6.2.2 | 2.1.1.1 | 2.3.3.1 | 3.1.2.1 | 5.1.1.6 | 7.1.1.2 |
| c200d200 | 5 | -39 | 662 | 1 145 | 0 | 0 | 0 | 0 | -6 | -2 061 |
| | 10 | -14 | 662 | 1 740 | 0 | 0 | 0 | -3 | 22 | -2 433 |
| | 15 | -16 | 637 | 1 793 | -2 | 0 | 0 | -7 | 78 | -2 571 |
| | 20 | -17 | -541 | -313 | -3 | 11 | -2 | -6 | 186 | -1 732 |
| c300d400 | 5 | -46 | 760 | 3 204 | 0 | 0 | 0 | -2 | 19 | -3 528 |
| | 10 | -288 | 781 | 2 788 | 0 | 0 | 0 | -3 | 85 | -3 033 |
| | 15 | -325 | 783 | 3 604 | 0 | 0 | 0 | -6 | 137 | -3 832 |
| | 20 | -335 | 405 | 2 069 | 7 | 17 | 3 | -57 | 412 | -2 989 |
| c350d400 | 5 | -296 | 760 | 1 911 | 0 | 0 | 0 | -4 | 23 | -2 264 |
| | 10 | -316 | 781 | 2 358 | 0 | 0 | 0 | 8 | 33 | -2 253 |
| | 15 | -339 | 783 | 3 217 | 2 | 0 | 0 | 9 | 89 | -2 933 |
| | 20 | -331 | 405 | 2 095 | -1 | -2 | 1 | -67 | 153 | -1 824 |
| c350d580 | 5 | -45 | 760 | 3 002 | 0 | 0 | 0 | -24 | -190 | -3 081 |
| | 10 | -268 | 781 | 3 387 | 4 | 0 | 0 | -36 | -127 | -3 348 |
| | 15 | -301 | 783 | 3 633 | -11 | 0 | 0 | -46 | -54 | -3 120 |
| | 20 | -318 | 405 | 2 559 | 4 | 17 | 2 | -109 | -73 | -1 829 |

ANEXO III
Valor atual líquido para cada opção de QMD

Valor atual líquido (€) para cada opção de QMD, para 4 modelos de análise (valores negativos representam inviabilidade económica).

Situação de referência

| Ano | LITMOD | | | | LTC | | | |
|-----|------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| | c200d200 | c300d400 | c350d400 | c350d580 | c200d200 | c300d400 | c350d400 | c350d580 |
| 1 | -2 874 338 | -13 616 019 | -15 857 921 | -29 446 907 | -2 874 338 | -13 616 019 | -15 857 921 | -29 446 907 |
| 2 | -2 749 409 | -13 628 916 | -15 879 152 | -29 707 838 | -2 791 009 | -13 645 767 | -15 947 689 | -29 749 876 |
| 3 | -2 453 287 | -13 406 045 | -15 631 703 | -29 680 551 | -2 576 055 | -13 455 775 | -15 833 969 | -29 804 613 |
| 4 | -1 994 394 | -12 958 899 | -15 128 666 | -29 378 950 | -2 235 946 | -13 056 744 | -15 526 634 | -29 623 048 |
| 5 | -1 380 849 | -12 298 550 | -14 382 656 | -28 816 432 | -1 776 917 | -12 458 985 | -15 035 196 | -29 216 674 |
| 6 | -621 523 | -11 497 024 | -13 460 482 | -28 139 320 | -1 318 528 | -11 858 812 | -14 545 188 | -28 784 666 |
| 7 | 276 106 | -10 561 601 | -12 371 179 | -27 353 540 | -861 021 | -11 256 699 | -14 056 832 | -28 328 516 |
| 8 | 1 304 841 | -9 499 288 | -11 123 449 | -26 464 795 | -404 627 | -10 653 098 | -13 570 339 | -27 849 659 |
| 9 | 2 457 753 | -8 316 833 | -9 725 668 | -25 478 574 | 50 437 | -10 048 439 | -13 085 909 | -27 349 473 |
| 10 | 3 728 171 | -7 020 727 | -8 185 899 | -24 400 162 | 503 964 | -9 443 133 | -12 603 730 | -26 829 284 |
| 11 | 4 965 435 | -5 682 065 | -6 682 257 | -23 316 213 | 944 282 | -8 846 439 | -12 135 238 | -26 326 924 |
| 12 | 6 170 406 | -4 303 693 | -5 213 898 | -22 227 637 | 1 371 766 | -8 258 299 | -11 680 052 | -25 841 831 |
| 13 | 7 343 924 | -2 888 346 | -3 779 995 | -21 135 305 | 1 786 780 | -7 678 649 | -11 237 800 | -25 373 464 |
| 14 | 8 486 806 | -1 438 646 | -2 379 740 | -20 040 049 | 2 189 677 | -7 107 424 | -10 808 124 | -24 921 293 |
| 15 | 9 599 848 | 42 889 | -1 012 344 | -18 942 660 | 2 580 803 | -6 544 560 | -10 390 672 | -24 484 809 |
| 16 | 10 706 894 | 1 433 941 | 337 200 | -17 909 216 | 2 941 409 | -6 006 947 | -10 001 288 | -24 071 090 |
| 17 | 11 807 573 | 2 738 041 | 1 668 952 | -16 937 250 | 3 272 753 | -5 493 686 | -9 638 850 | -23 679 285 |
| 18 | 12 901 538 | 3 958 604 | 2 982 975 | -16 024 379 | 3 576 046 | -5 003 912 | -9 302 275 | -23 308 572 |
| 19 | 13 988 462 | 5 098 930 | 4 279 342 | -15 168 298 | 3 852 461 | -4 536 782 | -8 990 518 | -22 958 154 |
| 20 | 15 068 037 | 6 162 206 | 5 558 134 | -14 366 779 | 4 103 128 | -4 091 484 | -8 702 568 | -22 627 262 |

Modelo 1 (custos mínimos, beneficios mínimos)

| Ano | LITMOD | | | | LTC | | | |
|-----|-----------|------------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|
| | c200d200 | c300d400 | c350d400 | c350d580 | c200d200 | c300d400 | c350d400 | c350d580 |
| 1 | -398 194 | -2 699 882 | -3 094 995 | -4 481 705 | -398 194 | -2 699 882 | -3 094 995 | -4 481 705 |
| 2 | -316 330 | -2 629 624 | -3 015 351 | -4 420 937 | -337 129 | -2 638 050 | -3 049 619 | -4 441 955 |
| 3 | -149 342 | -2 443 353 | -2 803 568 | -4 220 724 | -210 726 | -2 468 218 | -2 904 701 | -4 282 755 |
| 4 | 98 569 | -2 146 769 | -2 466 139 | -3 887 904 | -22 207 | -2 195 692 | -2 665 123 | -4 009 953 |
| 5 | 423 356 | -1 745 365 | -2 009 319 | -3 429 066 | 225 323 | -1 825 582 | -2 335 589 | -3 629 187 |
| 6 | 820 594 | -1 275 109 | -1 466 461 | -2 917 262 | 472 092 | -1 456 003 | -2 008 814 | -3 239 935 |
| 7 | 1 286 556 | -739 600 | -842 033 | -2 355 349 | 717 992 | -1 087 149 | -1 684 860 | -2 842 838 |
| 8 | 1 817 651 | -142 300 | -140 338 | -1 746 077 | 962 917 | -719 205 | -1 363 783 | -2 438 509 |
| 9 | 2 410 427 | 513 459 | 634 485 | -1 092 088 | 1 206 769 | -352 344 | -1 045 636 | -2 027 538 |
| 10 | 3 061 559 | 1 224 468 | 1 478 450 | -395 928 | 1 449 455 | 13 265 | -730 466 | -1 610 489 |
| 11 | 3 695 725 | 1 955 221 | 2 302 544 | 299 173 | 1 685 148 | 373 033 | -423 947 | -1 206 183 |
| 12 | 4 313 365 | 2 704 330 | 3 107 234 | 992 852 | 1 914 045 | 727 027 | -125 843 | -814 245 |
| 13 | 4 914 910 | 3 470 465 | 3 892 977 | 1 684 765 | 2 136 337 | 1 075 314 | 164 074 | -434 314 |
| 14 | 5 500 775 | 4 252 351 | 4 660 217 | 2 374 586 | 2 352 211 | 1 417 961 | 446 025 | -66 036 |
| 15 | 6 071 369 | 5 048 763 | 5 409 391 | 3 062 006 | 2 561 847 | 1 755 038 | 720 227 | 290 931 |
| 16 | 6 638 622 | 5 798 576 | 6 148 043 | 3 714 069 | 2 755 880 | 2 078 133 | 978 799 | 633 132 |
| 17 | 7 202 356 | 6 503 590 | 6 876 239 | 4 332 092 | 2 934 946 | 2 387 726 | 1 222 339 | 961 074 |
| 18 | 7 762 407 | 7 165 543 | 7 594 052 | 4 917 347 | 3 099 661 | 2 684 285 | 1 451 427 | 1 275 251 |
| 19 | 8 318 618 | 7 786 117 | 8 301 554 | 5 471 065 | 3 250 618 | 2 968 261 | 1 666 624 | 1 576 137 |
| 20 | 8 870 844 | 8 366 937 | 8 998 821 | 5 994 437 | 3 388 390 | 3 240 092 | 1 868 470 | 1 864 195 |

Modelo 2 (custos máximos, benefícios máximos)

| Ano | LITMOD | | | | LTC | | | |
|-----|------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| | c200d200 | c300d400 | c350d400 | c350d580 | c200d200 | c300d400 | c350d400 | c350d580 |
| 1 | -5 350 482 | -24 532 155 | -28 620 847 | -54 412 110 | -5 350 482 | -24 532 155 | -28 620 847 | -54 412 110 |
| 2 | -5 182 489 | -24 628 208 | -28 742 954 | -54 994 740 | -5 244 888 | -24 653 484 | -28 845 758 | -55 057 796 |
| 3 | -4 757 231 | -24 368 737 | -28 459 837 | -55 140 378 | -4 941 383 | -24 443 331 | -28 763 236 | -55 326 472 |
| 4 | -4 087 358 | -23 771 028 | -27 791 192 | -54 869 995 | -4 449 686 | -23 917 796 | -28 388 144 | -55 236 142 |
| 5 | -3 185 054 | -22 851 735 | -26 755 993 | -54 203 797 | -3 779 156 | -23 092 387 | -27 734 803 | -54 804 161 |
| 6 | -2 063 641 | -21 718 938 | -25 454 502 | -53 361 378 | -3 109 147 | -22 261 621 | -27 081 561 | -54 329 398 |
| 7 | -734 343 | -20 383 601 | -23 900 324 | -52 351 731 | -2 440 034 | -21 426 249 | -26 428 804 | -53 814 195 |
| 8 | 792 031 | -18 856 276 | -22 106 560 | -51 183 512 | -1 772 172 | -20 586 991 | -25 776 895 | -53 260 809 |
| 9 | 2 505 078 | -17 147 124 | -20 085 821 | -49 865 060 | -1 105 896 | -19 744 533 | -25 126 182 | -52 671 409 |
| 10 | 4 394 783 | -15 265 922 | -17 850 247 | -48 404 396 | -441 528 | -18 899 531 | -24 476 995 | -52 048 079 |
| 11 | 6 235 145 | -13 319 350 | -15 667 059 | -46 931 598 | 203 416 | -18 065 912 | -23 846 530 | -51 447 664 |
| 12 | 8 027 447 | -11 311 716 | -13 535 031 | -45 448 125 | 829 486 | -17 243 625 | -23 234 261 | -50 869 417 |
| 13 | 9 772 939 | -9 247 156 | -11 452 966 | -43 955 376 | 1 437 222 | -16 432 611 | -22 639 674 | -50 312 613 |
| 14 | 11 472 837 | -7 129 642 | -9 419 697 | -42 454 684 | 2 027 143 | -15 632 810 | -22 062 273 | -49 776 551 |
| 15 | 13 128 327 | -4 962 985 | -7 434 080 | -40 947 325 | 2 599 759 | -14 844 159 | -21 501 572 | -49 260 549 |
| 16 | 14 775 166 | -2 930 695 | -5 473 642 | -39 532 501 | 3 126 939 | -14 092 026 | -20 981 374 | -48 775 312 |
| 17 | 16 412 790 | -1 027 508 | -3 538 336 | -38 206 592 | 3 610 559 | -13 375 099 | -20 500 038 | -48 319 644 |
| 18 | 18 040 670 | 751 666 | -1 628 103 | -36 966 105 | 4 052 432 | -12 692 108 | -20 055 977 | -47 892 394 |
| 19 | 19 658 306 | 2 411 743 | 257 130 | -35 807 661 | 4 454 304 | -12 041 825 | -19 647 660 | -47 492 445 |
| 20 | 21 265 229 | 3 957 475 | 2 117 446 | -34 727 995 | 4 817 866 | -11 423 060 | -19 273 606 | -47 118 720 |

Modelo 3 (custos mínimos, beneficios máximos)

| Ano | LITMOD | | | | LTC | | | |
|-----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | c200d200 | c300d400 | c350d400 | c350d580 | c200d200 | c300d400 | c350d400 | c350d580 |
| 1 | -398 194 | -2 699 882 | -3 094 995 | -4 481 705 | -398 194 | -2 699 882 | -3 094 995 | -4 481 705 |
| 2 | -137 732 | -2 388 284 | -2 740 484 | -4 132 036 | -200 131 | -2 413 560 | -2 843 288 | -4 195 093 |
| 3 | 377 739 | -1 731 105 | -1 992 374 | -3 368 115 | 193 587 | -1 805 699 | -2 295 773 | -3 554 208 |
| 4 | 1 135 626 | -745 387 | -870 078 | -2 210 357 | 773 298 | -892 155 | -1 467 030 | -2 576 504 |
| 5 | 2 123 796 | 552 451 | 607 708 | -678 427 | 1 529 694 | 311 798 | -371 101 | -1 278 791 |
| 6 | 3 328 982 | 2 054 559 | 2 340 991 | 1 008 608 | 2 283 475 | 1 511 877 | 713 932 | 40 589 |
| 7 | 4 740 008 | 3 750 201 | 4 316 430 | 2 842 272 | 3 034 317 | 2 707 553 | 1 787 950 | 1 379 807 |
| 8 | 6 346 118 | 5 629 042 | 6 521 180 | 4 814 408 | 3 781 915 | 3 898 327 | 2 850 845 | 2 737 111 |
| 9 | 8 136 956 | 7 681 137 | 8 942 880 | 6 917 171 | 4 525 982 | 5 083 728 | 3 902 519 | 4 110 822 |
| 10 | 10 102 555 | 9 896 917 | 11 569 637 | 9 143 015 | 5 266 244 | 6 263 308 | 4 942 889 | 5 499 332 |
| 11 | 12 016 959 | 12 169 907 | 14 134 467 | 11 362 331 | 5 985 230 | 7 423 345 | 5 954 995 | 6 846 264 |
| 12 | 13 881 498 | 14 495 997 | 16 638 827 | 13 574 114 | 6 683 537 | 8 564 089 | 6 939 598 | 8 152 822 |
| 13 | 15 697 464 | 16 871 247 | 19 084 143 | 15 777 410 | 7 361 747 | 9 685 792 | 7 897 435 | 9 420 172 |
| 14 | 17 466 118 | 19 291 872 | 21 471 805 | 17 971 317 | 8 020 424 | 10 788 704 | 8 829 229 | 10 649 450 |
| 15 | 19 188 687 | 21 754 248 | 23 803 170 | 20 154 984 | 8 660 119 | 11 873 074 | 9 735 678 | 11 841 760 |
| 16 | 20 900 969 | 24 075 044 | 26 100 923 | 22 229 622 | 9 252 741 | 12 913 713 | 10 593 191 | 12 986 811 |
| 17 | 22 602 439 | 26 259 700 | 28 365 317 | 24 199 250 | 9 800 209 | 13 912 109 | 11 403 615 | 14 086 198 |
| 18 | 24 292 608 | 28 313 478 | 30 596 612 | 26 067 757 | 10 304 370 | 14 869 704 | 12 168 737 | 15 141 468 |
| 19 | 25 971 014 | 30 241 462 | 32 795 076 | 27 838 903 | 10 767 013 | 15 787 893 | 12 890 286 | 16 154 119 |
| 20 | 27 637 226 | 32 048 566 | 34 960 982 | 29 516 326 | 11 189 863 | 16 668 031 | 13 569 930 | 17 125 602 |

Modelo 4 (custos máximos, beneficios mínimos)

| Ano | LITMOD | | | | LTC | | | |
|-----|------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| | c200d200 | c300d400 | c350d400 | c350d580 | c200d200 | c300d400 | c350d400 | c350d580 |
| 1 | -5 350 482 | -24 532 155 | -28 620 847 | -54 412 110 | -5 350 482 | -24 532 155 | -28 620 847 | -54 412 110 |
| 2 | -5 361 087 | -24 869 548 | -29 017 821 | -55 283 640 | -5 381 886 | -24 877 973 | -29 052 089 | -55 304 659 |
| 3 | -5 284 312 | -25 080 985 | -29 271 031 | -55 992 987 | -5 345 696 | -25 105 850 | -29 372 164 | -56 055 018 |
| 4 | -5 124 414 | -25 172 410 | -29 387 253 | -56 547 543 | -5 245 191 | -25 221 332 | -29 586 237 | -56 669 592 |
| 5 | -4 885 494 | -25 149 550 | -29 373 021 | -56 954 436 | -5 083 528 | -25 229 768 | -29 699 290 | -57 154 557 |
| 6 | -4 572 028 | -25 048 607 | -29 261 955 | -57 287 248 | -4 920 530 | -25 229 501 | -29 804 308 | -57 609 922 |
| 7 | -4 187 796 | -24 873 402 | -29 058 787 | -57 549 352 | -4 756 360 | -25 220 951 | -29 901 614 | -58 036 840 |
| 8 | -3 736 436 | -24 627 618 | -28 768 078 | -57 743 997 | -4 591 170 | -25 204 523 | -29 991 523 | -58 436 429 |
| 9 | -3 221 451 | -24 314 802 | -28 394 217 | -57 874 319 | -4 425 109 | -25 180 605 | -30 074 337 | -58 809 768 |
| 10 | -2 646 213 | -23 938 371 | -27 941 434 | -57 943 339 | -4 258 316 | -25 149 574 | -30 150 350 | -59 157 900 |
| 11 | -2 086 089 | -23 534 037 | -27 498 981 | -57 994 756 | -4 096 666 | -25 116 224 | -30 225 472 | -59 500 112 |
| 12 | -1 540 685 | -23 103 384 | -27 066 624 | -58 029 387 | -3 940 005 | -25 080 687 | -30 299 701 | -59 836 484 |
| 13 | -1 009 616 | -22 647 938 | -26 644 133 | -58 048 020 | -3 788 188 | -25 043 089 | -30 373 036 | -60 167 099 |
| 14 | -492 506 | -22 169 164 | -26 231 284 | -58 051 415 | -3 641 070 | -25 003 553 | -30 445 476 | -60 492 037 |
| 15 | 11 010 | -21 668 470 | -25 827 859 | -58 040 304 | -3 498 513 | -24 962 195 | -30 517 023 | -60 811 379 |
| 16 | 512 819 | -21 207 163 | -25 426 522 | -58 048 054 | -3 369 923 | -24 927 606 | -30 595 766 | -61 128 991 |
| 17 | 1 012 707 | -20 783 618 | -25 027 414 | -58 073 751 | -3 254 703 | -24 899 482 | -30 681 314 | -61 444 768 |
| 18 | 1 510 469 | -20 396 269 | -24 630 663 | -58 116 515 | -3 152 277 | -24 877 527 | -30 773 287 | -61 758 611 |
| 19 | 2 005 910 | -20 043 601 | -24 236 391 | -58 175 499 | -3 062 091 | -24 861 457 | -30 871 321 | -62 070 427 |
| 20 | 2 498 847 | -19 724 154 | -23 844 715 | -58 249 885 | -2 983 607 | -24 850 999 | -30 975 066 | -62 380 126 |



www.lnec.pt/

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA • PORTUGAL
tel. (+351) 21 844 30 00 • fax (+351) 21 844 30 11
lnec@lnec.pt www.lnec.pt