



AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE
DEPARTAMENTO DO LITORAL E PROTEÇÃO COSTEIRA

Estudo de Viabilidade da Transposição Aluvionar das Barras de Aveiro e da Figueira da Foz

SUMÁRIO EXECUTIVO

Versão 4



universidade
de aveiro



Com a subcontratação da



e do consultor **Malcolm Pound**

Março de 2021

Cofinanciado por:



TÍTULO

Estudo de Viabilidade da Transposição Aluvionar das Barras de Aveiro e da Figueira da Foz

Sumário Executivo

SÍNTESE

O presente relatório refere-se ao Sumário Executivo, que resume o estudo, sob o ponto de vista técnico, económico e de custo-benefício, da transposição dos sedimentos depositados a barlar dos molhes de Aveiro e da Figueira da Foz.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Monitorização da Faixa Costeira de Portugal Continental (COSMO), da Agência Portuguesa do Ambiente, cofinanciado pelo Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos (POSEUR), pela disponibilização de dados (disponível em: <https://cosmo.apambiente.pt>).

À Agência Portuguesa do Ambiente, Administração dos Portos de Aveiro e da Figueira da Foz, pela cedência de dados e relatórios úteis ao desenvolvimento do trabalho apresentado.

A todas as entidades que se mostraram disponíveis para colaborar com o estudo, nomeadamente Câmara Municipal de Aveiro, Câmara Municipal de Vagos, Câmara Municipal da Figueira da Foz, CCDRC - Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro, Turismo do Centro de Portugal, Associação de Escolas de Surf de Portugal, operadores turísticos e veraneantes.

AUTORIA

Universidade de Aveiro

Carlos Daniel Borges Coelho
Professor Auxiliar com Agregação no Departamento de Engenharia Civil

Armando Baptista da Silva Afonso
Professor Catedrático Associado

Cristina Maria de Almeida Bernardes
Professora Associada no Departamento de Geociências

Paulo Manuel Cruz Alves da Silva
Professor Auxiliar no Departamento de Física

Paulo Renato Enes Baganha Baptista
Investigador Auxiliar no Departamento de Geociências

Peter Cornelis Roebeling
Investigador Auxiliar no Departamento de Ambiente e Ordenamento

Sandra Fernández-Fernández
Investigadora no Departamento de Geociências

Tiago Abreu
Investigador no CESAM

Tiago Castro Alves Oliveira
Investigador Auxiliar no Departamento de Física

Ana Margarida Rodrigues Ferreira
Bolsreira no Departamento de Engenharia Civil

Fábio Santos
Bolsreiro no Departamento de Geociências

Nuno Monteiro
Bolsreiro no Departamento de Física

R5 Consulting Engineers

Márcia Lima
Engenheira Civil na R5 Consulting Engineers | R5 Marine Solutions

Alexandre Miguel Condesso Nolasco
Engenheiro Civil na R5 Consulting Engineers

André Filipe Couceiro Cardoso
Engenheiro Civil na R5 Consulting Engineers | R5 Marine Solutions

Bruno Pereira da Rocha
Engenheiro Civil na R5 Consulting Engineers | R5 Marine Solutions

Pedro Fragoso Narra
Engenheiro Civil na R5 Marine Solutions

OCEANING

Ricardo Carvalho
Engenheiro Civil na OCEANING

Cristina Afonso
Engenheira Civil na OCEANING

Pedro Figueira
Engenheiro Civil na OCEANING

Malcperl Engineering Pty Ltd

Malcolm Pound
Engenheiro Civil

ÍNDICE GERAL

RESUMO	5
ABSTRACT	6
1. INTRODUÇÃO	7
1.1. Âmbito	7
1.2. Objetivos	7
1.3. Metodologia	7
2. CARACTERIZAÇÃO DAS EMBOCADURAS	9
2.1. Evolução histórica	9
2.2. Situação atual de transposição sedimentar	10
3. CONCEPÇÃO DAS SOLUÇÕES TÉCNICAS	12
3.1. Volume de sedimentos a transpor	12
3.2. Local de deposição dos sedimentos a sotamar	13
3.3. Definição e comparação de soluções técnicas	15
4. ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO	18
4.1. Estimativa de custo	18
4.2. Análise custo-benefício	19
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	24

TABELAS

Tabela 1. Síntese da estimativa de custos de transposição em Aveiro (milhões de euros)	18
Tabela 2. Síntese da estimativa de custos de transposição na Figueira da Foz (milhões de euros) ...	19
Tabela 3. Evolução do balanço físico e económico para a Situação de Referência (taxa de 2%)	20
Tabela 4. VAL a 30 anos (milhões de euros) das soluções de transposição para Aveiro	21
Tabela 5. VAL a 30 anos (milhões de euros) das soluções de transposição para a Figueira da Foz..	23

RESUMO

Este relatório tem como objetivo geral, sintetizar as principais conclusões do trabalho desenvolvido no estudo de viabilidade técnica, económica e de custo-benefício, da transposição de sedimentos a partir de áreas de acreção, situadas a barlamar dos molhes que protegem as barras de Aveiro e da Figueira da Foz. Pretendeu-se que o estudo incluisse uma análise histórica da evolução das barras e troços adjacentes, antes e depois das intervenções, e fornecesse elementos que contribuam para uma tomada de decisão sobre a transposição sedimentar nas barras de Aveiro e Figueira da Foz.

A embocadura da Ria de Aveiro constitui uma barreira parcial à transposição sedimentar, embora num limiar próximo a um estado de barreira total. Na Figueira da Foz, a embocadura do Rio Mondego tem vindo a adaptar-se à nova configuração dos molhes e considera-se que a retenção sedimentar proveniente da deriva Norte tem vindo a ser progressivamente menor e será atualmente diminuta, com efeito de barreira à transposição sedimentar inferior a 40%. Com base na simulação numérica da propagação da agitação marítima, estimou-se que o caudal sedimentar longilitoral potencial líquido em Aveiro é cerca de 996 000 m³/ano, e na Figueira da Foz cerca de 746 000 m³/ano, e processa-se de Norte para Sul. A simulação da evolução da linha de costa, contemplando vários cenários de deposição sedimentar a sotamar dos molhes das embocaduras, mostra que em Aveiro a transposição de 1 000 000 m³/ano não anula o efeito erosivo que se regista entre a Barra e a Vagueira. Pelo contrário, na Figueira da Foz, os testes de transposição de 1 000 000 m³/ano mostram que é possível anular o efeito erosivo que se regista entre a Figueira da Foz e a Leirosa.

A avaliação das diversas soluções de transposição sedimentar mostra a respetiva viabilidade técnica. Em termos económicos, a transposição anual de 1x10⁶ m³ com recurso a um sistema fixo é a solução que representa um custo mais baixo. No entanto, apesar da incerteza e subjetividade inerentes a uma análise custo-benefício, em Aveiro, não é economicamente compensatório intervir com este volume de transposição, sendo preferível manter a situação atual de dragagem de sedimentos na zona portuária e deposição a Sul da embocadura. Na Figueira da Foz, a evolução da linha de costa promove uma recuperação de território perdido, e as soluções de transposição são técnica e economicamente viáveis, sendo o sistema fixo o que apresenta melhores resultados num horizonte temporal de 30 anos.

ABSTRACT

The general objective of this report is to summarize the main conclusions of the work carried out in the study of technical, economic and cost-effective feasibility, of the sediment's transposition from accretion areas, located updrift from the breakwaters that protect the Aveiro and the Figueira da Foz. The study was intended to include a historical analysis of the evolution of the inlets and adjacent stretches, before and after the interventions, and to provide elements that contribute to a decision-making on the sedimentary transposition in the Aveiro and Figueira mouths.

The Ria de Aveiro mouth is a partial barrier to sediment transposition, although close to a state of total barrier. At Figueira da Foz, the river Mondego mouth has been adapting to the new configuration of the breakwaters and it is considered that the sedimentary retention from the North drift has been progressively lower and will currently be small, with a barrier effect to sedimentary transposition of less than 40%. Based on numerical simulations of the wave climate propagation and in order to transpose the mouths, the net longitudinal sedimentary transport in Aveiro was estimated at around 996 000 m³/year, and at Figueira da Foz was estimated at around 746 000 m³/year. The shoreline evolution numerical modeling results depend on the assumptions considered, on the simplifications inherent to projections of medium/long-term behavior and on the uncertainty associated with the characterization of future actions. In Aveiro, the transposition of 1 000 000 m³/year does not completely cancel the erosive effect that occurs between Barra and Vagueira. On the contrary, in Figueira da Foz, the transposition tests of 1 000 000 m³/year show that it is possible to eliminate the erosive effect between Figueira da Foz and Leirosa.

The evaluation of the different sedimentary transposition solutions shows their technical feasibility. In economic terms, an annual transposition of 1x10⁶ m³ considering a fixed system is the solution that represents the lowest cost. However, despite the uncertainty and subjectivity naturally inherent in a cost-benefit analysis, in Aveiro, it is not economically worthwhile to intervene with this volume of transposition, and it is preferable to maintain the current situation of sediment dredging in the port area and deposition at south of the Ria de Aveiro mouth. In Figueira da Foz, the shoreline evolution promotes the recovery of lost territory, and the transposition solutions are technically and economically viable, with the fixed system being the one that presents the best results in a time horizon of 30 years.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Âmbito

As barras de Aveiro e Figueira da Foz foram alvo de intervenções profundas nos séculos XIX e XX e mais recentemente, nos anos de 2013 e 2010, respetivamente, com o objetivo de melhorar as condições de navegabilidade e acesso a dois importantes portos nacionais. Em ambos os casos, verificou-se a acumulação de sedimentos a barlamar dos molhes Norte e déficit sedimentar a Sul, com intensa erosão costeira a sotamar das embocaduras. As situações de risco decorrentes da erosão costeira foram sendo minimizadas com a construção de obras de proteção costeira (esporões e estruturas aderentes), bem como com a reposição de sedimentos através de alimentações artificiais com areias provenientes das dragagens de manutenção dos canais de acesso. No entanto, estas medidas têm-se revelado insuficientes para contrariar a tendência de recuo instalada nos troços a Sul das barras de Aveiro e da Figueira da Foz, pelo que neste trabalho se procurou analisar novas soluções para a gestão destes troços costeiros, nomeadamente através da reposição do trânsito sedimentar.

1.2. Objetivos

Este relatório tem como objetivo geral, sintetizar as principais conclusões do trabalho desenvolvido no estudo de viabilidade técnica, económica e de custo-benefício, da transposição de sedimentos a partir de áreas de acreção, situadas a barlamar dos molhes que protegem as embocaduras da Ria de Aveiro e da Figueira da Foz. Pretendeu-se que o estudo incluísse uma análise histórica da evolução das barras e troços adjacentes, antes e depois das intervenções, e fornecesse elementos que contribuam para uma tomada de decisão sobre a transposição sedimentar nos molhes de Aveiro e Figueira da Foz.

1.3. Metodologia

Os estudos dividiram-se em sete tarefas (Figura 1). Este documento resume os principais resultados obtidos no desenvolvimento do trabalho. Como complemento à informação aqui descrita, sugere-se a consulta dos relatórios associados a cada tarefa e a cada sector costeiro.

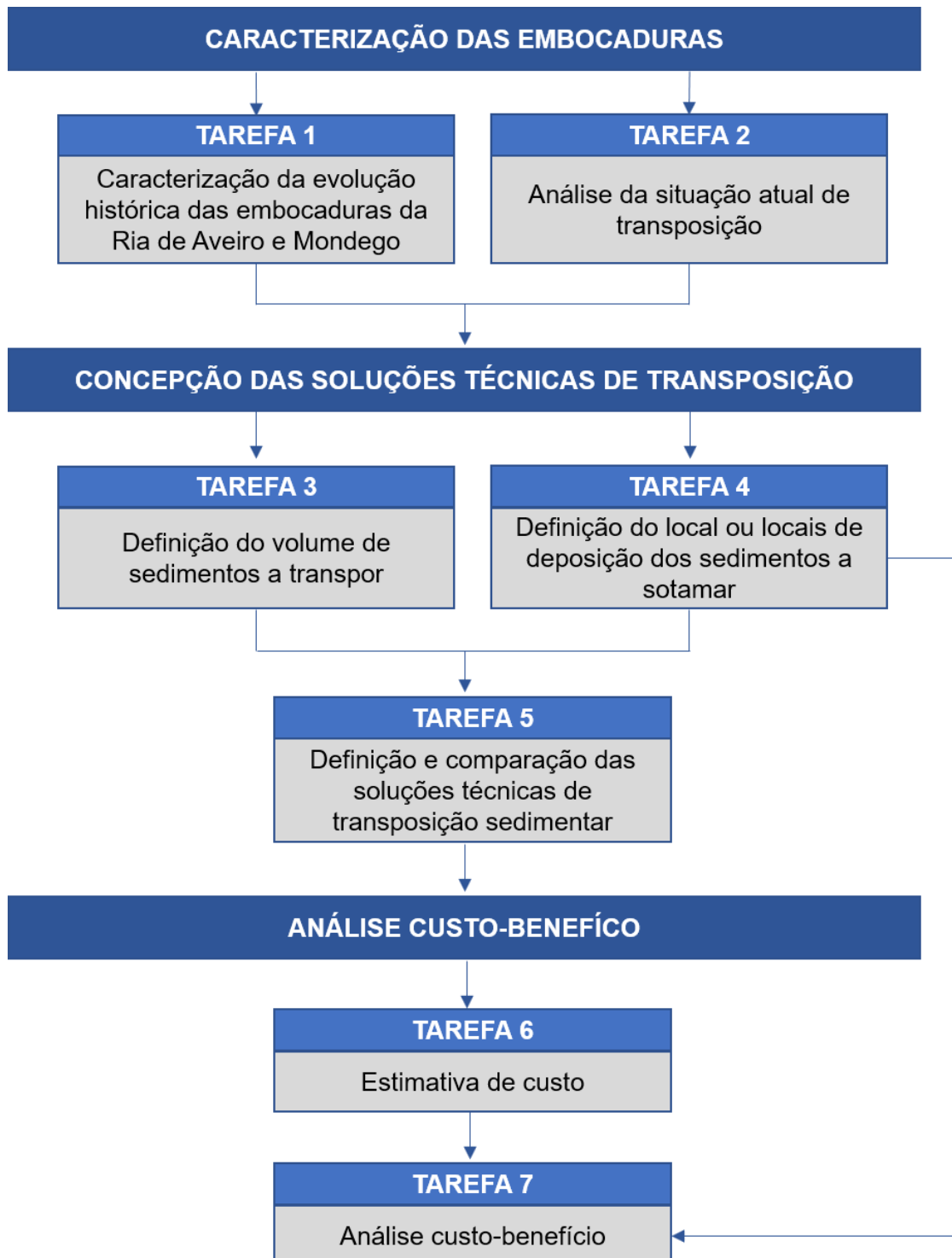


Figura 1. Organograma do trabalho desenvolvido

2. CARACTERIZAÇÃO DAS EMBOCADURAS

2.1. Evolução histórica

A fisiografia das embocaduras de acesso à laguna (ria) de Aveiro e ao estuário do rio Mondego corresponde à resposta do sistema litoral às sucessivas ações de prolongamento dos molhes que protegem as respetivas entradas. A **análise da evolução histórica das embocaduras incidiu nos períodos antes e após intervenções**, incluindo os trechos confinantes. A evolução da linha de costa permitiu estimar taxas de variação, basilares para a calibração e validação de modelos numéricos em tarefas subsequentes.

Em ambas as embocaduras, **a acumulação de sedimentos nas praias a barlar dos molhes causa desequilíbrios no balanço sedimentar dos respetivos trechos**. A escassez de sedimentos induz a sotamar diminuição da largura das praias, recuo da linha de costa, fragilidade do cordão dunar frontal/dique arenoso e perigos devido aos galgamentos oceânicos.

A Sul das embocaduras da Ria de Aveiro e da Figueira da Foz verifica-se a diminuição da largura das praias, recuo da linha de costa, fragilidade do cordão dunar frontal/dique arenoso e perigo ao galgamento oceânico.

As dragagens periódicas e a imersão dos inertes têm contribuído para minimizar a tendência erosiva, após o prolongamento do molhe Norte da Barra de Aveiro, em 2013, em particular nos últimos 5 anos. Entre a Barra e a Vagueira, as taxas médias de recuo da linha de costa diminuíram para valores inferiores a 0,5 m/ano e a largura das praias experimentou melhorias, enquanto para Sul, até à Praia de Mira, permanece a diminuição da largura média da praia emersa e o recuo da linha de costa.

Os molhes do estuário do rio Mondego condicionam a posição e migração da barra submersa para Sul. **Entre 2010 e 2019, a praia emersa a sul do quinto esporão da Cova Gala, numa extensão de 2,5 km, apresentava largura reduzida, a quase total destruição do cordão dunar frontal e taxas de recuo da linha de costa de cerca de 3,5 m/ano**. O trecho não

parece ter beneficiado de forma apreciável com as operações de imersão de dragados. Mais para Sul, o processo erosivo das praias e do recuo da linha de costa mantém-se de forma mais moderada, registando valores residuais.

Entre a Barra e a Vagueira, as taxas médias de recuo da linha de costa, nos últimos 5 anos, diminuíram para valores de 0,5 m/ano. O trecho a Sul da Cova Gala, nos últimos 10 anos, apresenta taxas de recuo de cerca de 3,5 m/ano.

2.2. Situação atual de transposição sedimentar

Em **Aveiro**, os resultados sugerem que a embocadura se encontra atualmente ainda em fase de adaptação à nova configuração, do ponto de vista dos processos de transposição sedimentar. Esta inferência é justificada pela tendência acrecionária notada a Norte da embocadura, cuja estabilização ainda não é observada na série temporal de dados. Por outro lado, após o prolongamento do molhe, a acreção sedimentar é progressivamente menor, enquanto que nos setores situados a Sul a tendência erosiva, registada nos balanços sedimentares, apenas sofre inversão por via das intervenções de alimentação artificial, com volumes não inferiores ao admitido para a média anual da deriva litoral.

Admite-se que na embocadura o efeito de barreira à transposição sedimentar seja quase total e que uma parte deste efeito contribua para a retenção sedimentar em curso no setor da praia emersa a Norte do molhe e, o restante, seja desviado para profundidades superiores à profundidade de fecho do perfil ativo da praia imersa.

Na **Figueira da Foz**, os resultados sugerem que a embocadura tem vindo a adaptar-se à nova configuração dos molhes sob o ponto de vista dos processos de transposição sedimentar. Esta dedução é justificada pela redução da expressão da tendência acrecionária no setor Buarcos - Molhe Norte, o que leva a admitir que a retenção sedimentar proveniente da deriva Norte tem vindo a ser progressivamente menor e será atualmente diminuta. De referir que no domínio da embocadura o volume em trânsito sedimentar é normalmente superior ao valor das dragagens efetuadas que, em média, se situam entre os 300 000 m³ e os 400 000 m³, ou seja, não inferior a 40% do valor admitido para a deriva litoral. Admite-se que na embocadura

o efeito de barreira à transposição sedimentar seja parcial (inferior a 40%). De referir adicionalmente que o esforço de dragagem na embocadura tem vindo a aumentar para volumes que são mais próximos dos realizados antes do prolongamento do molhe Norte.

Com base na análise de uma série temporal de perfis topográficos do setor Sul, entre o molhe Sul e a Leirosa, verificou-se a Sul do esporão n.º 5 da Cova Gala, galgamentos em vários locais, tendo alguns atingido uma extensão da ordem das dezenas de metros para o interior.

Admite-se que na embocadura da Ria de Aveiro o efeito de barreira à transposição sedimentar seja quase total, enquanto na Figueira da Foz o efeito de barreira à transposição sedimentar seja parcial.

3. CONCEPÇÃO DAS SOLUÇÕES TÉCNICAS

3.1. Volume de sedimentos a transpor

O cálculo do caudal sólido litoral potencial, a partir das estimativas dos parâmetros da onda na rebentação, revelou-se adequado, pois os resultados enquadram-se nos valores de referência citados na bibliografia. As previsões de regimes de agitação marítima e do caudal sólido no futuro próximo (2020-2040) e no final do século (2080-2100) consideraram o cenário de alterações climáticas SSP5-8.5 do *International Painel for Climate Change*.

A comparação entre o clima de agitação marítimo entre o período atual (últimos 20 anos) e os períodos futuros mostra, para a altura significativa da onda, uma variação maior nos meses de inverno marítimo (outubro a março), com uma diminuição entre outubro e dezembro, e um aumento no mês de janeiro. Os valores médios da direção de propagação tendem a diminuir face aos valores de referência nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, indicando uma rotação no sentido anti-horário da direção das ondas, enquanto que nos outros meses verifica-se uma tendência contrária, no sentido horário. Os resultados obtidos indicaram, também, uma diminuição do n.º de temporais/ano, e a rotação da agitação marítima nessas condições extremas no sentido anti-horário em cerca de 6° e 3,3°, para os períodos 2020-2039 e 2080-2099.

Para 2020-2039 e 2080-2099, os resultados obtidos indicam uma diminuição do n.º de temporais/ano, e a rotação da agitação marítima nessas condições extremas no sentido anti-horário, respetivamente, em cerca de 6° e 3,3°.

Para o período dos últimos 20 anos, o caudal sedimentar longilitoral líquido foi estimado em cerca de 996 000 m³/ano e 746 000 m³/ano, para Aveiro e a Figueira da Foz, respetivamente, tendo o sentido preferencial de Norte para Sul. Em ambos os locais, verificou-se uma sazonalidade marcada com valores mais elevados nos meses de inverno marítimo, e menores nos meses do verão marítimo, ainda que estes sejam determinados essencialmente pela componente de Norte para Sul.

O volume de sedimentos transportado em eventos extremos, geralmente associados a condições de temporal da agitação marítima, é inferior a 20 000 m³ e a 10 000 m³ para Aveiro e a Figueira da Foz, respetivamente. Contudo, existem eventos, com uma pequena probabilidade de ocorrência, que transportam volumes superiores a 100 000 m³.

O caudal sedimentar longilitoral líquido foi estimado em cerca de 996 000 m³/ano e 746 000 m³/ano, para Aveiro e a Figueira da Foz, respetivamente (sentido Norte-Sul e sazonalidade marcada).

Nos cenários futuros simulados para dois horizontes temporais, os resultados mostram uma tendência para uma diminuição do caudal sólido líquido nos meses do inverno marítimo (dezembro, janeiro e fevereiro). Estes resultados decorrem de uma intensificação dos volumes transportados no sentido Sul-Norte, não sendo evidente uma intensificação do transporte de Norte para Sul. Nos meses de verão marítimo (março a setembro), observou-se uma ligeira intensificação do transporte no sentido Norte-Sul. Estes resultados estão relacionados com a modificação dos climas de agitação futuros, face ao simulado no período histórico de referência.

3.2. Local de deposição dos sedimentos a sotamar

Um aspeto chave da conceção do sistema de transposição passa pela definição do local ou locais de deposição dos sedimentos. Por um lado, a deposição deve ocorrer o mais perto possível da embocadura, reduzindo os custos associados ao sistema de transposição, seja ele realizado através de uma estrutura fixa ou através de operações de dragagem e deposição. No entanto, o ponto principal de deposição deverá localizar-se a sotamar e fora da zona de influência fisiográfica imediata das embocaduras, num local onde o agente de transporte litoral principal seja a onda, e que o material transposto não retorne à embocadura, seguindo o seu caminho para sotamar.

Tendo presente estes pressupostos foram definidos, modelados e avaliados diferentes cenários para a transposição artificial dos sedimentos, considerando volumes de sedimentos a transpor, frequência das intervenções e locais de deposição dos sedimentos a sotamar.

Foram avaliados os impactos na evolução da linha de costa e no perfil transversal de praia, ao longo do tempo.


Entre todos os cenários estudados, as soluções correspondentes aos maiores volumes de sedimentos depositados, correspondem também às soluções com melhor desempenho na perspetiva de mitigar os problemas de erosão a sotamar dos portos de Aveiro e da Figueira da Foz. Quando se comparam diferentes cenários de localização de deposição dos sedimentos, verificam-se comportamentos específicos e distintos. A deposição dos sedimentos na barra submersa do perfil é uma forma eficaz de promover o avanço da posição da berma. A colocação dos sedimentos na zona emersa do perfil ajuda na manutenção da duna frontal, por efeito do transporte eólico, aumentando também a barra submersa do perfil. A colocação dos sedimentos diretamente na duna torna-a mais robusta, sem impacto significativo na largura da praia.


Genericamente, os resultados indicam que os melhores desempenhos são obtidos com recurso ao sistema de transposição contínua, em vez da deposição de sedimentos em momentos discretos no tempo. Em **Aveiro**, nenhum dos cenários avaliados elimina na totalidade as áreas erodidas no trecho, com exceção da transposição contínua, por *by-pass* de 1 000 000 m³/ano, com duas saídas, localizadas a cerca de 3000 m e 4700 m do molhe Sul da Barra, com o escoamento de 800 000 m³/ano na saída localizada mais a Sul. Na **Figueira da Foz** os testes de transposição contínua, por *by-pass* de 1 000 000 m³/ano, com o volume de sedimentos transposto por duas saídas, localizadas a cerca de 1000 m e 1900 m do molhe Sul da embocadura, mostram que é possível anular o efeito erosivo que se regista entre a Figueira da Foz e a Leirosa, potenciando um processo reversivo dessa erosão.

Com 1 milhão de m³/ano, em Aveiro, nenhum dos cenários avaliados elimina a totalidade das áreas erodidas. No entanto, entre a Figueira da Foz e a Leirosa, com o mesmo volume é possível reverter o processo erosivo.

3.3. Definição e comparação de soluções técnicas

A definição das soluções para transposição do caudal sólido litoral potencial (deriva residual anual), foram concebidas de forma flexível, para acomodar o aumento ou a diminuição do caudal sólido durante a vida útil do sistema. Foi igualmente considerada a solução clássica de transposição baseada na atividade regular de dragas, que integrou simultaneamente o objetivo principal de desassoreamento das barras portuárias e os objetivos de proteção costeira a Sul das embocaduras. As soluções técnicas de transposição artificial dos sedimentos são descritas abreviadamente nos quadros seguintes.

<p>SOLUÇÃO 0</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Solução atual, que serve de situação de referência; ▪ Recurso a dragas para transposição de um volume anual de areias que é 1/4 a 1/3 do valor total do transporte sólido litoral; ▪ Dependência das condições de agitação marítima (interrupções durante períodos de mau tempo); ▪ Deposição na faixa ativa do transporte sólido litoral; ▪ Transposição de volumes de sedimentos semelhantes aos atuais, insuficiente para eliminar o processo erosivo observado na costa a Sul; ▪ Não exige investimento inicial.
---	---

<p>SOLUÇÃO 1</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Infraestrutura permanente, com necessidade de financiamento anual; ▪ Captação do trânsito litoral de areias nas pequenas profundidades do perfil ativo, com um sistema de bombeamento instalado numa plataforma fixa; ▪ Os sedimentos transpõem a embocadura através de circuito hidráulico fixo; ▪ Intervenção reduzida para determinar a quantidade de areia a transportar; ▪ Pode operar sempre que existe areia suficiente acumulada na trincheira, sem impacte significativo nos utilizadores da praia; ▪ O sistema funciona todo o ano, cerca de 30 h/semana (~18% do tempo), com transferência média de 650 m³/h, para recolher o transporte sólido litoral médio (~1,01 Mm³/ano).
---	--

SOLUÇÃO 2



- Infraestrutura permanente que funciona com um financiamento anual;
- Captação do trânsito litoral de areias nas pequenas profundidades do perfil ativo, com recurso a tratores/raspadores e posterior bombeamento;
- Os sedimentos transpõem a embocadura através de circuito hidráulico fixo;
- O sistema pode operar em permanência, não sendo afetado por condições marítimas adversas;
- O sistema funciona cerca de 6 meses por ano (50% do ano), 8 h/dia, 6 dias/semana, com capacidade nominal 800 m³/h para recolher o transporte sólido litoral médio (~1,0 Mm³/ano);
- Nos primeiros 5 anos o tempo de operação é superior para se fazer recuar parcialmente a praia a Norte.

SOLUÇÃO 3



- Solução cujos aspetos gerais se assemelham aos da Solução 2, mas com recurso a bombas de jato suspensas;
- Os sedimentos transpõem a embocadura através de circuito hidráulico fixo;
- A descarga deste sistema funciona com bombas de jato, potenciando eventuais dificuldades técnicas;
- Tal como na Solução 2, o sistema funciona cerca de 6 meses por ano, 8 h/dia, 6 dias/semana, com capacidade nominal 800 m³/h;
- Nos primeiros 5 anos o tempo de operação é superior para se fazer recuar parcialmente a praia a Norte.

SOLUÇÃO 4



- Recurso a dragas para transposição de um volume anual de areias de 1,0 Mm³/ano;
- Dificuldade em atuar em fundos entre a cota -4,0 m(ZH) e a linha de costa;
- Dragagens a realizar numa área grande, com profundidades variáveis e limites pouco definidos;
- Para dragar 1,0 Mm³/ano de areia em 3 meses, com 2 dragas com produção conjunta média de 22400 m³ de areia/dia em condições ideais, são necessários 3 meses de operação dessas dragas;
- Nos primeiros 5 anos o tempo de operação é superior para se fazer recuar parcialmente a praia a Norte.

As soluções estudadas para a transposição de areias, visando a proteção costeira e a gestão sedimentar das praias, afiguram-se tecnicamente viáveis, representando uma evolução positiva face à situação de referência.

Em qualquer das soluções não se eliminará a dragagem do canal de navegação, mas ela será reduzida com o passar dos anos, pois diminuirá o afluxo de sedimentos de barlamar. Eventualmente, essa dragagem poderá ser reduzida a um ciclo plurianual, sendo expectável um incremento da segurança do canal de navegação dos portos.

As Soluções 1 a 3 com captação de areias diretamente na praia a Norte consistem em soluções fixas ou mistas, com impactes paisagísticos significativos. Este tipo de impacte traduz-se também em alguma perda de área útil de praia, pois são necessárias áreas reservadas para a recolha de areias e estacionamento dos equipamentos e maquinaria. Estas soluções consideram um circuito hidráulico fixo para descarga da mistura de sedimentos, cujo traçado se estende da praia a Norte, atravessa o canal de navegação, e se prolonga por alguns quilómetros, até ao campo de esporões a Sul, que defende a zona costeira mais exposta à erosão. Este circuito prevê duas tipologias de descarga dos sedimentos (descargas permanentes e descargas temporárias), permitindo uma gestão flexível dos sedimentos costeiros, dirigindo-os para a zona costeira por deposição na faixa ativa, onde serão movimentados sob a ação dos agentes naturais (ação difusa, descarga permanente) ou para alimentação do perfil de praia (ação local, através de descargas temporárias).

4. ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO

4.1. Estimativa de custo

Foi efetuada a estimativa de custo para as diversas soluções descritas. Os custos identificados referem-se à totalidade do ciclo de vida da solução de transposição, incluindo a construção, exploração, operações de manutenção e desmantelamento. **Cada solução de transposição foi concebida para o médio prazo, ou seja, para operar até 2050 (considerando-se um tempo de vida útil de 30 anos).**

A Tabela 1 apresenta a síntese comparativa dos custos no ciclo de vida do empreendimento das soluções de transposição artificial de areias na barra de **Aveiro**.

Tabela 1. Síntese da estimativa de custos de transposição em Aveiro (milhões de euros)

	Custos no ciclo de vida				Custos totais	
	Construção (ano 0)	Exploração (anos 1-30)	Manutenção (anos 1-30)	Desmantelamento (ano 30)	Preços constantes	Preços atualizados (taxa 2%)
Solução 0	0,0	24,8	0,0	0,0	24,8	18,5
Solução 1	22,2	54,6	12,7	1,1	90,6	73,9
Solução 2	21,0	69,9	12,0	1,0	103,8	83,5
Solução 3	19,9	68,2	11,3	0,9	100,4	80,7
Solução 4	0,0	135,0	0,0	0,0	135,0	103,3

Com base nos cerca de 9,9 Mm³ de sedimentos transpostos ao fim de 30 anos, na Solução 0, ou cerca de 35,0 Mm³, nas restantes soluções, podem-se estimar os valores unitários dos custos de transposição. **Das várias soluções alternativas à atual, a que apresenta o menor custo unitário atualizado por m³ de areia transposta é a Solução 1, com cerca de 2,1 €/m³, seguida pelas Soluções 2 e 3 com custos unitários semelhantes, próximos de 2,3-2,4 €/m³. A Solução 4 apresenta custo unitário atualizado próximo de 3,0 €/m³, o valor mais alto das diversas soluções. Esta solução, no entanto, ao contrário das Soluções 1 a 3, não requer investimento inicial elevado em infraestruturas permanentes ou semipermanentes.**

A Tabela 2 apresenta a síntese comparativa dos custos no ciclo de vida do empreendimento das soluções de transposição artificial de areias na barra da **Figueira da Foz**.

Tabela 2. Síntese da estimativa de custos de transposição na Figueira da Foz (milhões de euros)

	Custos no ciclo de vida				Custos totais	
	Construção (ano 0)	Exploração (anos 1-30)	Manutenção (anos 1-30)	Desmantelamento (ano 30)	Preços constantes	Preços atualizados (taxa 2%)
Solução 0	0,0	30,0	0,0	0,0	30,0	22,4
Solução 1	18,1	43,0	10,3	0,9	72,2	58,9
Solução 2	17,7	61,2	10,1	0,8	89,8	72,1
Solução 3	16,6	59,6	9,5	0,8	86,3	69,2
Solução 4.1	0,0	127,5	0,0	0,0	127,5	97,7
Solução 4.2	2,1	127,5	1,2	0,1	130,8	100,7

Com base nos cerca de 9,0 Mm³ de sedimentos transpostos ao fim de 30 anos, na Solução 0, ou cerca de 35,8 Mm³, nas Soluções 1 a 3, ou 33,5 Mm³, nas Soluções 4, podem-se estimar os valores unitários dos custos de transposição. **Das várias soluções alternativas à atual, a que apresenta o menor custo unitário por m³ de areia transposta é a Solução 1 com custo unitário atualizado 1,64 €/m³, seguida pelas Soluções 2 e 3 com custos unitários atualizados semelhantes, de cerca de 2,0 €/m³.**

As Soluções do tipo 4 apresentam custos unitários atualizados da ordem dos 3,0 €/m³, o valor mais alto das diversas soluções. No entanto, não requerem investimento inicial elevado em infraestruturas permanentes.

4.2. Análise custo-benefício

Foi realizada uma análise custo-benefício para as soluções selecionadas como mais vantajosas aos locais em análise. A análise baseou-se principalmente no benefício que resulta de retardar ou sustar o processo erosivo, nomeadamente, na preservação ou prolongamento do tempo de vida de parcelas do território e atividades conexas e, conseqüentemente, do fluxo

económico correspondente. A viabilidade económica das soluções de transposição foi avaliada através do estudo da evolução dos indicadores VAL (Valor Atual Líquido, correspondendo ao balanço acumulado entre os benefícios e os custos atuais), RBC (Rácio Benefício-Custo) e tempo de equilíbrio do investimento (*break-even*).

Foi também efetuada uma avaliação do estado da arte referente a estudos sobre o valor monetário dos territórios costeiros e a estudos de custo-benefício aplicados a proteção costeira. Definiu-se então a metodologia a aplicar para obter o valor monetário dos territórios costeiros, baseada na classificação dos usos de solo e em transferência de benefício.

A viabilidade económica das soluções foi avaliada através do estudo da evolução de indicadores VAL, RBC e *break-even*. O valor monetário dos territórios costeiros foi baseado na classificação dos usos de solo.

Conhecido o valor do território e identificados os custos totais associados a cada uma das soluções de transposição, **procedeu-se à análise custo-benefício das soluções de transposição dimensionados para transpor anualmente um volume de 1 000 000 m³ de sedimentos. Para tal, definiu-se a Situação de Referência, correspondendo ao cenário de no futuro se manter a atual política de realização de intervenções de mitigação da erosão costeira nos setores em análise (Solução 0).**

Os resultados indicam que, a manter-se a atual política de realização de alimentações artificiais, a perda económica a 30 anos (taxa de desconto de 2%) atingirá os 82 milhões de euros para Aveiro e os 64 milhões de euros para a Figueira da Foz (Tabela 3).

Tabela 3. Evolução do balanço físico e económico para a Situação de Referência (taxa de 2%)

Anos	Aveiro			Figueira da Foz		
	10	20	30	10	20	30
Área perdida (m ²)	270 482	347 114	401 703	145 165	305 747	426 650
Valor (milhões de €)	17,77	41,41	64,36	14,30	30,09	42,39
Investimento (milhões de €)	7,41	13,49	18,48	8,98	16,35	22,40
VAL (milhões de €)	-25,18	-54,90	-82,83	-23,29	-46,44	-64,79

Após a definição da Situação de Referência, seguiu-se a análise custo-benefício de cada uma das soluções de transposição. O impacto na linha de costa foi considerado independente das Soluções 1 a 4. Foram avaliadas duas soluções de transposição, considerando as duas saídas (referidas na secção 3.2) e variando o volume numa relação 50/50% (Situação A) ou 20/80% (Situação B), nas saídas localizadas mais a Norte e a Sul, respetivamente. Com o objetivo de testar a incerteza associada nas variáveis consideradas nas análises de custo-benefício, foram ainda desenvolvidas análises de sensibilidade a essas variáveis, nomeadamente: valor dos benefícios da proteção costeira, que inclui áreas de território não perdidas e valor do território, taxa de desconto e custos de manutenção das soluções de transposição. Os resultados para cada local de estudo são apresentados de seguida.

A análise custo-benefício das soluções de transposição avaliadas para **Aveiro** mostra que, apesar das soluções serem tecnicamente viáveis e apresentarem um desempenho positivo, reduzindo as áreas de território perdidas, economicamente não são compensatórias, não sendo a totalidade dos custos cobertos pelos benefícios num horizonte temporal de 30 anos, admitindo os pressupostos definidos no Cenário Base, ou variações para análises de sensibilidade (Tabela 4). Na Situação A (50/50), a área conservada por efeito da transposição de sedimentos é de cerca de 33 hectares, correspondendo ao um valor económico de 47,7 M€. Na Situação B (20/80), a área conservada é de quase 45 hectares, correspondendo a um valor estimado de 51,4 M€.

Tabela 4. VAL a 30 anos (milhões de euros) das soluções de transposição para Aveiro

		Cenário Base	Benefícios +50%	Custos de manutenção 5%	Taxa de desconto	
					0%	4%
Situação A (50/50)	Sol. 1	-26,13	-2,26	-40,32	-25,03	-26,90
	Sol. 2	-35,81	-11,94	-49,21	-38,28	-34,17
	Sol. 3	-32,97	-9,11	-45,68	-34,82	-31,76
	Sol. 4	-55,54	-31,67	-55,54	-69,43	-46,08
Situação B (20/80)	Sol. 1	-22,48	3,22	-36,67	-18,03	-25,19
	Sol. 2	-32,16	-6,46	-45,56	-31,28	-32,47
	Sol. 3	-29,32	-3,63	-42,03	-27,82	-30,05
	Sol. 4	-51,89	-26,20	-51,89	-62,43	-44,37

Em Aveiro, no horizonte temporal de 30 anos a Solução 1 é a que apresenta VAL menos negativo. No entanto, é preferível manter a situação atual de dragagem de sedimentos na zona portuária e deposição a Sul (Solução 0).

Os resultados das análises de sensibilidade para a região de **Aveiro** (valorizando os benefícios, alterando os custos de manutenção anuais ou considerando taxas de desconto diferentes de 2%) mostram que o aumento dos benefícios da proteção costeira leva a melhores desempenhos económicos das soluções de transposição. No entanto, para que as soluções de transposição se tornem economicamente viáveis o valor dos benefícios tem de aumentar consideravelmente, uma vez que os resultados indicam que com um aumento de 50% apenas a Solução 1 se torna economicamente viável.

Apesar das cinco soluções para Aveiro serem tecnicamente viáveis e apresentarem desempenho positivo, não são economicamente compensatórias, não sendo os custos cobertos pelos benefícios.

A análise custo-benefício das soluções de transposição avaliadas mostra que é economicamente viável intervir no setor costeiro da **Figueira da Foz**. Verifica-se que para as 5 soluções de transposição avaliadas, os custos das soluções são compensados pelos benefícios (Tabela 5), sendo o ano de *break-even* atingido entre o 7º e 10º ano de projeto, dependendo da solução de transposição.

Na Figueira da Foz, no horizonte temporal de 30 anos a Solução 1 é a que apresenta VAL mais positivo, sendo economicamente viável a transposição de sedimentos através de um sistema fixo.

Na Situação A (50/50), a área conservada por efeito da transposição de sedimentos, ao fim de 30 anos, é de cerca de 108 hectares, correspondendo a um valor económico de 333 M€. Na Situação B (20/80), a área conservada é de cerca 110 hectares, correspondendo a um valor estimado de 229 M€.

Tabela 5. VAL a 30 anos (milhões de euros) das soluções de transposição para a Figueira da Foz

		Cenário Base	Benefícios -50%	Custos de manutenção 5%	Taxa de desconto	
					0%	4%
Situação A (50/50)	Sol. 1	274,14	107,64	262,60	413,34	185,28
	Sol. 2	260,95	94,45	249,66	395,76	175,05
	Sol. 3	263,80	97,30	253,21	399,24	177,48
	Sol. 4.1	235,32	68,82	235,32	358,08	157,68
	Sol. 4.2	232,34	65,84	231,04	354,77	154,93
Situação B (20/80)	Sol. 1	170,38	55,76	158,84	256,61	114,62
	Sol. 2	157,19	42,57	145,90	239,03	104,39
	Sol. 3	160,04	45,42	149,44	242,51	106,82
	Sol. 4.1	131,56	16,94	131,56	201,36	87,02
	Sol. 4.2	128,58	13,96	127,27	198,04	84,27

Os resultados das análises de sensibilidades na **Figueira da Foz** (redução da valorização dos benefícios associados ao uso do território, alterando os custos de manutenção anuais ou considerando taxas de desconto diferentes de 2%) mostram que mesmo para a situação em que o valor dos benefícios é reduzido para metade, as 5 soluções de transposição avaliadas continuam a ser economicamente viáveis a 30 anos.

Para as cinco soluções de transposição avaliadas na Figueira da Foz, os custos das soluções são compensados pelos benefícios, sendo o ano de *break-even* atingido para todas as soluções entre o 7º e 10º ano de projeto.

O aumento da taxa de desconto leva a que as soluções de transposição apresentem pior desempenho económico, por alteração do valor do VAL ao fim de 30 anos. No entanto, o impacto é pouco significativo em termos do ano em que os custos são compensados pelos benefícios. Para que as soluções de transposição se tornem economicamente inviáveis, os custos de manutenção teriam de superar em 50% a 85% o valor total de benefícios nos 30 anos de projeto.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A embocadura da Ria de Aveiro constitui uma barreira parcial à transposição sedimentar, embora num limiar próximo a um estado de barreira total. Na Figueira da Foz, a embocadura tem vindo a adaptar-se à nova configuração dos molhes e considera-se que a retenção sedimentar proveniente da deriva Norte tem vindo a ser progressivamente menor e será na atualidade diminuta, com efeito de barreira à transposição sedimentar inferior a 40%.
- Para definição do volume de sedimentos a transpor, o caudal sedimentar longitudinal líquido em Aveiro foi estimado em cerca de 1 000 000 m³/ano, e o da Figueira da Foz foi estimado em cerca de 750 000 m³/ano. Nos cenários futuros com horizontes temporais, 2020-2039 e 2080-2099, estimou-se uma tendência para uma diminuição do caudal sólido líquido de Norte para Sul nos meses do inverno marítimo e uma pequena intensificação desse transporte nos meses de verão marítimo. Estes resultados devem ser vistos dentro de um contexto de incerteza sobre os regimes de agitação futura em cenários de alteração climática, e sugerem que deve ser feita uma análise mais detalhada sobre o efeito das alterações climáticas na deriva litoral potencial considerando os resultados de um maior conjunto de modelos climáticos de agitação marítima.
- Em Aveiro, a transposição de 1 000 000 m³/ano, com a saída de 800 000 m³/ano na saída localizada mais a Sul, foi a única simulação onde se anulou o efeito erosivo que se regista entre a Barra e a Vagueira. Na Figueira da Foz, os testes de transposição de 1 000 000 m³/ano, com o volume de sedimentos dividido por duas saídas mostram que é possível anular e reverter o efeito erosivo que se regista entre a Figueira da Foz e a Leirosa. Todos os resultados de modelação são dependentes dos pressupostos dos próprios modelos, das simplificações inerentes a projeções de comportamentos de médio/longo prazo e da incerteza associada à caracterização de ações futuras.
- Além da Solução 0 - Sistema Móvel correspondente à Situação de Referência, que equivale à dragagem de sedimentos na barra portuária, no anteporto e nas bacias de manobra e deposição a Sul dos molhes Sul, foram estudadas 4 soluções técnicas de

transposição artificial dos sedimentos: Solução 1 - Sistema Fixo (tipo Gold Coast-AU); Solução 2 - Sistema Misto (tipo Adelaide-AU); Solução 3 - Sistema Misto (tipo Capbreton-FR); Solução 4 - Sistema Móvel/Misto: Dragagem Abrangente (equivalente à situação atual, mas com dragagem complementar em frente à praia a Norte dos molhes Norte).

- As diversas soluções de transposição sedimentar são tecnicamente possíveis, permitindo a transposição do caudal sólido litoral potencial. Dadas as condições operacionais diferenciadas da Solução 4 (grandes volumes de dragagem), recomenda-se que seja previamente validada através de uma experiência-piloto. Os sistemas de Aveiro e da Figueira da Foz diferem ligeiramente, por efeito das características dos próprios locais, obrigando a maiores distâncias de transposição (e maiores custos) no sistema de Aveiro.
- Em Aveiro, das várias soluções alternativas à atual, a que apresenta o menor custo unitário atualizado por m³ de areia transposta é a Solução 1, com cerca de 2,1 €/m³, seguida pelas Soluções 2 e 3 com custos unitários semelhantes, próximos de 2,3-2,4 €/m³. Na Figueira da Foz, das várias soluções alternativas à atual, a que apresenta o menor custo unitário por m³ de areia transposta é a Solução 1, com custo unitário atualizado 1,64 €/m³, seguida pelas Soluções 2 e 3 com custos unitários atualizados semelhantes, de cerca de 2,0 €/m³. Os menores custos na Figueira da Foz relacionam-se com as menores distâncias de transporte no sistema de *by-pass*. Independentemente do local, as Soluções do tipo 4 apresentam custos unitários atualizados da ordem dos 3,00 €/m³, o valor mais alto das diversas soluções.
- Apesar da incerteza e subjetividade naturalmente inerentes a uma análise custo-benefício, pode concluir-se que, **qualquer das soluções de transposição tecnicamente viáveis para a barra de Aveiro, não são em termos económicos compensatórias num horizonte temporal de 30 anos.**
- **Na Figueira da Foz, a evolução da linha de costa promove uma recuperação de território perdido, pelo que as soluções de transposição tecnicamente viáveis, são economicamente viáveis num horizonte temporal de 30 anos,** admitindo os pressupostos definidos.

- **Síntese conclusiva:**

