



ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO DE SOLUÇÕES DE TRANSPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS

Margarida Ferreira^{1,2}; Márcia Lima^{1,2,3}; Carlos Coelho¹; Alexandre Nolasco²; André Cardoso²;
Bruno Rocha²; Pedro Narra²; Paulo A. Silva⁴; Ricardo Carvalho⁵; Malcolm Pound⁶; Celso Pinto⁷;
Bruno Pires⁷

¹RISCO e Dep. de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro (UA), ²R5 Marine Solutions, ³DREAMS - ULP, ⁴CESAM e Dep. de Física, UA, ⁵Oceaning, ⁶Malcperl Engineering, ⁷Agência Portuguesa do Ambiente
margarida.ferreira@ua.pt, marcia.lima@ua.pt, ccoelho@ua.pt, alexandrenolasco@r5engineers.com,
andrecardoso@r5engineers.com, brunorocha@r5engineers.com, pedronarra@r5engineers.com,
psilva@ua.pt, ricardo.carvalho@oceaning.pt, malcolm@malcperl.com.au, celso.pinto@apambiente.pt,
bruno.pires@apambiente.pt

Resumo

No presente trabalho aplicou-se a ferramenta numérica COAST (Lima, 2018), para avaliar a viabilidade económica de soluções de transposição de sedimentos a 30 anos (2050), para as barras de Aveiro e da Figueira da Foz. A COAST é uma ferramenta de análise custo-benefício que, com base nos *inputs* definidos pelo utilizador (custos das intervenções e valor do território), permite identificar a viabilidade económica da proteção costeira. Para cada solução de transposição foram identificados todos os custos durante o ciclo de vida do projeto. O valor do território foi obtido através de uma metodologia que combina os padrões de uso e ocupação do solo com técnicas de transferência de benefício. Os resultados mostram que, para a barra de Aveiro, as soluções de transposição não são, em termos económicos, compensatórias a 30 anos. Por sua vez, na Figueira da Foz, a evolução da linha de costa promove uma recuperação de território perdido, pelo que as soluções de transposição são economicamente viáveis a 30 anos.

Introdução

Com o objetivo de mitigar os problemas de erosão nos setores costeiros Barra-Vagueira e Figueira da Foz-Leirosa (litoral Oeste português, Figura 1), ao longo dos anos têm sido realizadas várias intervenções de mitigação da erosão costeira (estruturas de proteção costeira, em enrocamentos, e operações de alimentação artificial de sedimentos). Contudo, face ao historial de recuo da posição da linha de costa nos troços a Sul das barras de Aveiro e da Figueira da Foz, medidas adicionais ou alternativas devem ser estudadas. No âmbito do “Estudo de Viabilidade de Transposição Aluvionar das Barras de Aveiro e da Figueira da Foz”, elaborado para a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) pelo consórcio que reuniu a empresa R5 Marine Solutions e a Universidade de Aveiro, com a subcontratação da Oceaning e do consultor Australiano Malcolm Pound, foram avaliadas soluções para a gestão destes troços costeiros, nomeadamente, através da reposição do trânsito sedimentar com base em sistemas de *by-pass* ou de alimentação artificial com recurso a dragas.

No presente trabalho sintetiza-se a análise custo-benefício das soluções de transposição identificadas como tecnicamente viáveis para realizar a transposição de sedimentos das barras de Aveiro e da Figueira da Foz. Os resultados permitiram discutir a viabilidade económica das soluções de transposição em cada uma das áreas de estudo, em função de diferentes indicadores económicos. O trabalho realizado dividiu-se em 7 tarefas distintas, agrupadas em três fases principais (Figura 2).

A primeira fase do estudo teve por objetivo caracterizar as embocaduras das duas áreas de estudo, tendo sido analisada a evolução histórica e situação atual de transposição (Tarefas 1 e 2). A segunda fase destinou-se à conceção das soluções de transposição de sedimentos, analisando-se o volume de sedimentos a transpor e os locais de deposição dos sedimentos a sotamar das embocaduras (Tarefas 3 e 4). Os resultados obtidos mostraram que a transposição anual de 1 000 000 m³ de sedimentos é a solução que permite reduzir significativamente as áreas de território erodidas, permitindo definir e pré-dimensionar diferentes sistemas de transposição de sedimentos para cada uma das áreas de estudo, nomeadamente: sistema fixo tipo Gold Coast Seaway ou Tweed River - Austrália (Solução 1), sistema misto tipo Adelaide - Austrália

(Solução 2), sistema misto tipo Capbreton - França (Solução 3) e sistema móvel com dragagem abrangente (Solução 4). Assim, para a barra de Aveiro foram definidas 4 soluções de transposição de sedimentos e para a barra da Figueira da Foz foram definidas 5 soluções, uma vez que, para a embocadura do Rio Mondego, para a Solução 4 foi avaliada uma solução suplementar em que o sistema de dragagem abrangente é complementado por um circuito hidráulico (Solução 4.2).

Finalmente, na terceira fase procedeu-se à análise custo-benefício das soluções de transposição, sendo que, para cada uma das áreas de estudo começou-se por definir e avaliar a Situação de Referência, correspondendo ao cenário de no futuro se manter a atual política de intervenções de mitigação da erosão costeira nos setores em análise, com base nos dragados provenientes de dragagens de manutenção realizadas nos portos (Solução 0).

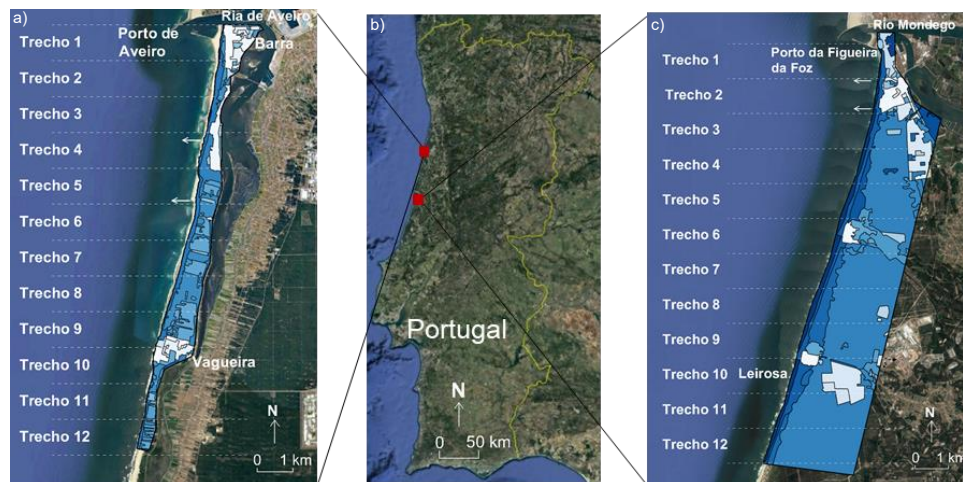


Figura 1. Áreas de estudo com sobreposição da cartografia de uso e ocupação do solo e identificação da localização das saídas dos sistemas de transposição (Google Earth, 2021): a) Barra-Vagueira; b) Portugal Continental; c) Figueira da Foz-Leirosa.

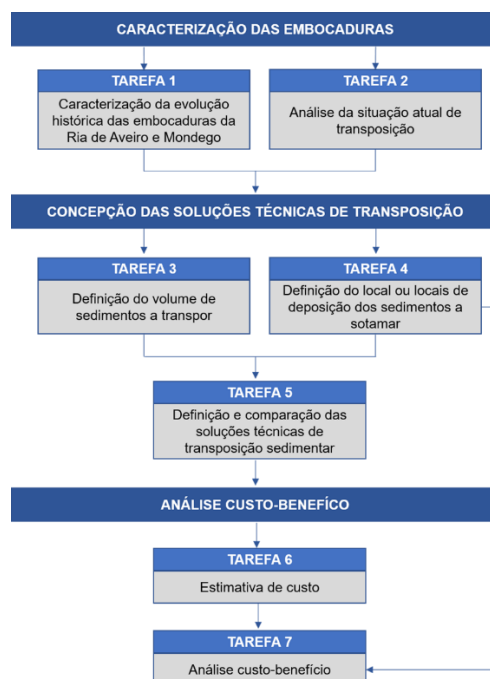


Figura 2. Organigrama do trabalho desenvolvido.



As análises custo-benefício são ferramentas de avaliação do impacto económico de um projeto ao longo do tempo e permitem comparar soluções através da identificação e contabilização dos custos e benefícios inerentes a cada solução (Roebeling *et al.*, 2011). No presente estudo, aplicou-se a ferramenta numérica COAST, desenvolvida por Lima (2018) na Universidade de Aveiro, para avaliar a viabilidade económica de soluções de transposição de sedimentos. Esta ferramenta recorre à posição da linha de costa estimada ao longo do horizonte temporal de análise e aos *inputs* definidos pelo utilizador (custos das intervenções e valor do território), permitindo identificar a viabilidade económica da proteção costeira (Figura 3).

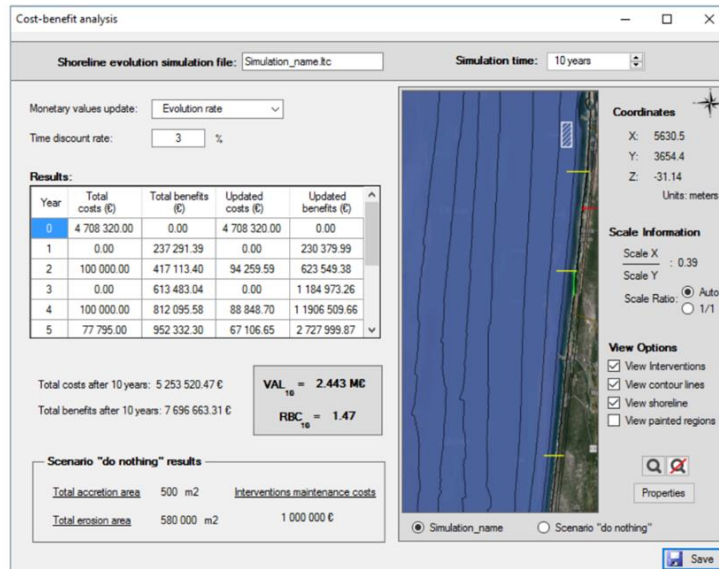


Figura 3. Módulo custo-benefício da ferramenta COAST (Lima, 2018).

Metodologia

A metodologia utilizada para avaliar a viabilidade económica das soluções de transposição de sedimentos baseou-se no estudo da evolução dos indicadores económicos 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*).

A análise custo-benefício das intervenções de proteção costeira requer a quantificação de todos os custos e benefícios ao longo do ciclo de vida de projeto (30 anos). Neste contexto, para as 9 soluções de transposição de sedimentos consideradas no estudo (4 para o setor Barra-Vagueira e 5 para o setor Figueira da Foz-Leirosa), avaliaram-se todos os custos das soluções de transposição e foram obtidos os valores dos benefícios da proteção costeira.

Custos

Na Tabela 1 e Tabela 2 apresentam-se os custos identificados para cada uma das soluções de transposição de sedimentos. Os custos totais são apresentados considerando valores constantes e atualizados, assumindo uma taxa de desconto de 2%. Os valores apresentados contemplam todo o ciclo de vida do projeto, que inclui os custos construtivos (ou de 1º investimento), custos de exploração, custos de manutenção e custos de desmantelamento.

Para o setor costeiro Barra-Vagueira, foi estimado um volume de cerca de 9,9 Mm³ de sedimentos transpostos ao fim de 30 anos, para a Solução 0, e cerca de 35,0 Mm³, para as restantes soluções. A estimativa do custo unitário de transposição mostra que, 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 um investimento inicial elevado em infraestruturas permanentes ou semipermanentes.

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

Para o setor Figueira da Foz-Leirosa, foi estimado um volume de cerca de 9,0 Mm³ de sedimentos transpostos ao fim de 30 anos, para a Solução 0, cerca de 35,8 Mm³, para as Soluções 1 a 3, e 33,5 Mm³ para as Soluções 4. A estimativa do custo de transposição unitário demonstra que 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.

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

Benefícios

A quantificação dos benefícios baseou-se no benefício que resulta de retardar ou sustar o processo erosivo, principalmente, na preservação ou prolongamento do tempo de vida de parcelas do território e atividades conexas e, conseqüentemente, do fluxo económico correspondente. Portanto, a quantificação do valor dos benefícios compreendeu duas fases distintas, a obtenção do valor monetário dos territórios costeiros, e a quantificação das áreas de território não perdidas/ganhas que as soluções de transposição induzem nas áreas de estudo.



O valor monetário dos territórios costeiros foi obtido através de uma abordagem que combina os padrões de uso e ocupação do solo (COS, 2018, disponibilizado pela Direção Geral do Território, Figura 1) com técnicas de transferência de benefício. Esta abordagem foi adotada com base na avaliação do estado da arte referente a estudos sobre valor monetário de zonas costeiras e a estudos de custo-benefício aplicados a proteção costeira. Para tal, a área de estudo foi dividida em 12 trechos costeiros (Figura 1), sendo identificados para cada trecho as funções e usos do solo e correspondente valor do território. O valor do território foi obtido através da ponderação da percentagem de área classificada em cada uso, pelo valor atribuído a esse uso.

Refira-se que a análise da cartografia de uso e ocupação do solo nas duas áreas de estudo permitiu identificar duas funções predominantes dos territórios costeiros, relacionando-se essas funções com usos de solo urbano e solo natural. Assim, houve a necessidade de identificar o valor dos territórios costeiros associados a funções urbanas e naturais. O valor do solo urbano foi obtido através do cálculo da anuidade. O valor dos bens e serviços ambientais foi realizado através de transferência de benefício, com base em valores propostos na bibliografia existente sobre valor monetário de territórios costeiros. Na Tabela 3 apresenta-se os valores monetários obtidos para cada trecho costeiro que compõem as áreas de estudo.

Tabela 3. Valor anual dos trechos costeiros (€/m²/ano).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Aveiro	38,04	21,18	18,79	29,18	5,95	4,56	2,40	0,39	3,87	29,69	7,96	0,45
Figueira	28,96	33,38	12,19	11,37	0,35	7,07	0,31	2,53	1,51	18,88	5,29	0,30

Em Aveiro, a análise dos resultados indica que os territórios costeiros apresentam valores monetários que variam entre o valor máximo de 38,04 €/m²/ano e o valor mínimo de 0,45 €/m²/ano. Na Figueira da Foz, os valores oscilam entre o valor máximo de 33,38 €/m²/ano e o valor mínimo de 0,30 €/m²/ano. Os trechos que apresentam maiores percentagens de área de território artificializados são os trechos com maior valor monetário, ou seja, os trechos 1, 2 e 10 em Aveiro, correspondendo às zonas urbanas da Barra, Costa Nova e Vagueira e os trechos 1, 2 e 10 na Figueira da Foz, correspondendo às zonas do Cabedelo, Cova Gala e Leirosa.

As áreas de território não perdidas/ganhas foram obtidas por aplicação do modelo de evolução da posição da linha de costa LTC - *Long Term Configuration* (Coelho, 2005), para um cenário de intervenção adotado, o qual representou de forma aproximada as soluções técnicas definidas para realizar a transposição de sedimentos nas barras portuárias. Uma vez que os resultados das tarefas preliminares do estudo indicavam a conveniência de transpor um volume anual de 1x10⁶ m³ de sedimentos, da ordem da totalidade do saldo do transporte sólido litoral, o cenário adotado correspondeu à transposição de um volume de sedimentos igual a 1x10⁶ m³/ano, para as duas embocaduras, sendo os sedimentos transpostos através de duas saídas. Na embocadura da Ria de Aveiro, uma das saídas localiza-se no alinhamento do 3^o esporão do campo de esporões da Costa Nova e a outra no alinhamento do 5^o esporão. No setor da Figueira da Foz, as saídas do sistema localizam-se no alinhamento do 1^o e 5^o esporão do campo de esporões da Cova Gala. As localizações das saídas dos sistemas de transposição em cada área de estudo estão identificadas na Figura 1, através de setas.

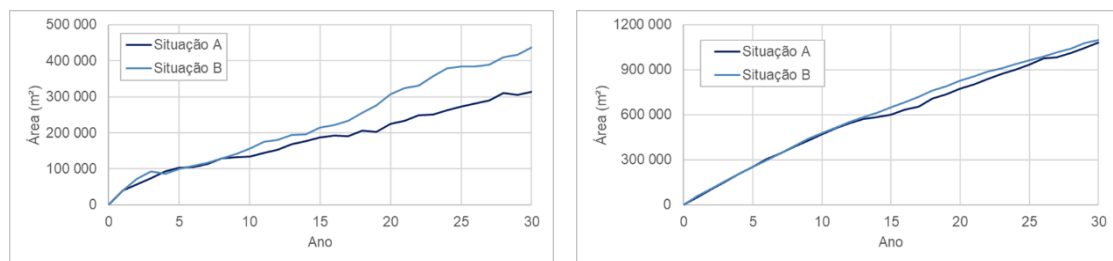
Foi obtida a evolução da posição da linha de costa para o cenário adotado e calculadas as respetivas áreas de território não perdidas ou ganhas por trecho costeiro, considerando a divisão da extensão da linha de costa em 12 trechos, como apresentada na Figura 1. Foram ainda consideradas duas situações distintas de operacionalidade do sistema de transposição de sedimentos. Assim, quer para os sistemas de transposição contínua, quer para os sistemas de dragagem e deposição, a análise custo-benefício é realizada tendo em conta as áreas de território não perdidas para o cenário adotado, considerando-se duas situações de funcionamento do sistema, nomeadamente:



- Situação A (50/50): Os benefícios foram contabilizados considerando que o volume total transposto é distribuído igualmente pelas duas saídas do sistema, isto é, cada saída descarrega o volume de 500 000 m³/ano;
- Situação B (20/80): Os benefícios foram contabilizados considerando que o volume é dividido pelas duas saídas, descarregando a saída localizada mais a Norte o volume de 200 000 m³/ano e a saída a Sul 800 000 m³/ano.

A abordagem de adotar a mesma estimativa de benefícios para a análise custo-benefício das várias soluções de transposição avaliadas foi definida após se ter concluído, através de algumas análises preliminares, que esta abordagem seria mais conservadora, eliminando-se desta forma algumas incertezas associadas à modelação da evolução da posição da linha de costa (discutidas em Coelho *et al.*, 2021a; 2021b).

Na Figura 4, apresenta-se a evolução da área de território não perdida nas duas zonas de estudo, para as duas situações de funcionamento do sistema avaliadas.



a) Barra-Vagueira

b) Figueira da Foz-Leirosa

Figura 4. Evolução da área de território não perdida/ganha no setor costeiro, para as duas situações de funcionamento do sistema de transposição.

Para o setor costeiro Barra-Vagueira, os resultados mostram que o sector apresenta maiores benefícios em termos de área não erodida para a Situação B, sendo o ganho total superior à área de território que seria perdida no cenário de não ser realizada qualquer intervenção de mitigação da erosão costeira (aproximadamente 40 ha), ao fim de 30 anos de simulação. No setor Figueira da Foz-Leirosa, verifica-se que a transposição de 1×10^6 m³/ano leva a que o ganho total de área no setor seja superior à área de território que seria perdida no cenário de não ser realizada qualquer intervenção de mitigação da erosão costeira (aproximadamente 42 ha), permitindo anular o processo erosivo que se verifica acontecer no setor costeiro Figueira da Foz-Leirosa.

Face ao exposto, constata-se que a transposição do mesmo volume de sedimentos tem impactos distintos na evolução da posição da linha de costa dos dois setores costeiros analisados, sendo os ganhos de área significativamente superiores no setor costeiro Figueira da Foz-Leirosa, por comparação aos obtidos no setor Barra-Vagueira. A justificação para esta diferença é atribuída ao saldo do transporte sólido litoral que, no âmbito da Tarefa 3 do estudo foi estimado ser significativamente superior em Aveiro, com consequências na distribuição dos sedimentos na zona costeira. Para o setor Barra-Vagueira, o transporte sólido foi estimado em cerca de 996 000 m³/ano e no setor Figueira da Foz-Leirosa, em aproximadamente 746 000 m³/ano.



Análise Custo-Benefício

Na presente secção apresenta-se a análise custo-benefício das soluções identificadas como tecnicamente viáveis para realizar a transposição sedimentar da barra de Aveiro e da Figueira da Foz. Como uma análise custo-benefício pressupõe a comparação do cenário de intervenção para mitigação da erosão costeira com a situação de referência, começou-se por definir o balanço económico deste cenário. Entende-se por situação de referência, a situação em que se mantém a atual política de gestão do litoral na zona em análise, ou seja, a realização de intervenções de deposição de sedimentos na região a sul das estruturas portuárias com sedimentos provenientes das dragagens de manutenção portuárias. Este cenário é também designado como Cenário 0.

Posteriormente, fez-se a análise custo-benefício das diferentes soluções de transposição considerando uma taxa de desconto de 2% e os custos de manutenção dos sistemas de transposição igual a 2% do custo total de construção. Devido ao conjunto variado de parâmetros associados a estas análises, cuja evolução é difícil de prever, foram também realizadas análises de sensibilidade a parâmetros considerados chave nas análises de custo-benefício executadas.

Situação de Referência (Cenário 0)

Na análise da Situação de Referência, ou Cenário 0, os resultados mostram que a perda económica a 30 anos atingirá os 82 M€ para Aveiro, resultantes de uma perda de 401 703 m², representando uma perda de 64 M€, acrescidos ainda aos 18 M€ investidos nas atuais políticas de mitigação da erosão costeira.

Na Figueira da Foz, registou-se um balanço negativo de 64 M€, resultado de uma perda de 426 650 m², representando cerca de 42 M€, aliados ainda aos 22 M€ de investimento feito na mitigação da erosão costeira. A Tabela 4 resume os valores obtidos para a situação de referência.

Tabela 4. Evolução do balanço físico e económico para a Situação de Referência.

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

Cenários base

Tal como referido anteriormente, as análises custo-benefício das soluções de transposição foram realizadas para duas situações de estimativa de benefícios, definidas considerando diferentes cenários de volume transposto em cada saída e designadas como Situação A (50/50) e Situação B (20/80).

A análise custo-benefício das soluções de transposição avaliadas para Aveiro mostra que nenhuma se apresenta como economicamente compensatória relativamente ao cenário de referência (Figura 5). Apesar de todas demonstrarem ser tecnicamente viáveis, apresentando inclusivamente uma mitigação de território perdido, o custo das intervenções previstas não foi compensado pelo acréscimo de benefícios relativamente à Situação de Referência. Na Situação A (50/50), a área conservada por efeito da transposição de sedimentos é de cerca de 33 hectares, correspondendo a 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€.



A 30 anos, a Solução 1 é a que apresenta melhor rácio benefício-custo (RBC igual a 0,65 para os benefícios estimados com base na Situação de Transposição A e 0,70 para os benefícios estimados com base na Situação de Transposição B). Para as restantes soluções de transposição, verifica-se que os benefícios são ligeiramente superiores a metade dos custos ao fim dos 30 anos (valores de RBC próximos de 0,5). Assim, para o setor Barra-Vagueira em nenhum dos cenários estudados é atingido o ano de *break-even*, nos 30 anos analisados.

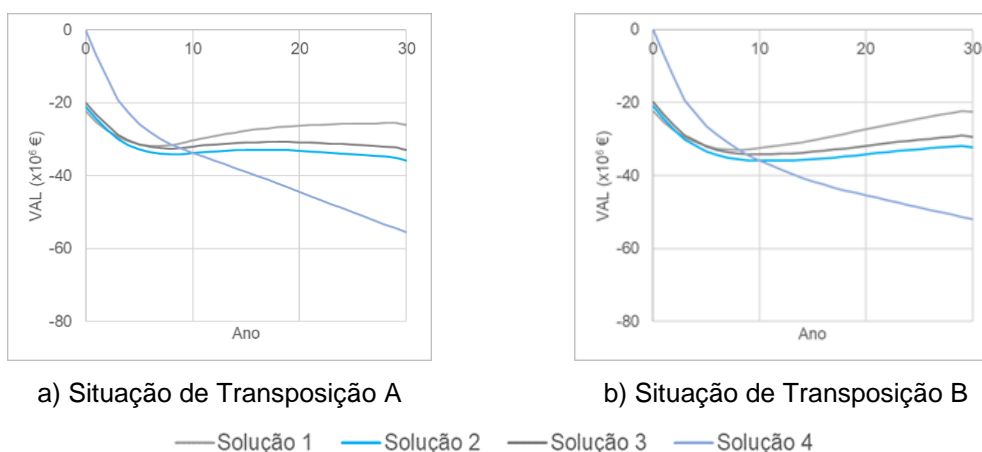


Figura 5. Evolução do indicador económico VAL das soluções de transposição avaliadas para o setor costeiro Barra-Vagueira.

Por outro lado, a análise custo-benefício das soluções de transposição para a Figueira da Foz mostra que é economicamente viável a execução de qualquer das soluções (Figura 6). Em todas as 5 soluções avaliadas, os custos destas são compensados pelos benefícios que advêm da manutenção de área, sendo o ano de *break-even* atingido entre o ano 7 e 10 de projeto, dependendo da solução adotada. Ao fim dos 30 anos de projeto, a Situação de Transposição A (50/50) apresenta uma área conservada na ordem dos 108 hectares, correspondentes a um valor de 333 M€, enquanto a situação B apresenta uma manutenção de área de 110 hectares, correspondendo a um valor de 229 M€. Na Tabela 5 apresenta-se o ano de *break-even* e o RBC ao fim de 30 anos, para as soluções de transposição avaliadas.

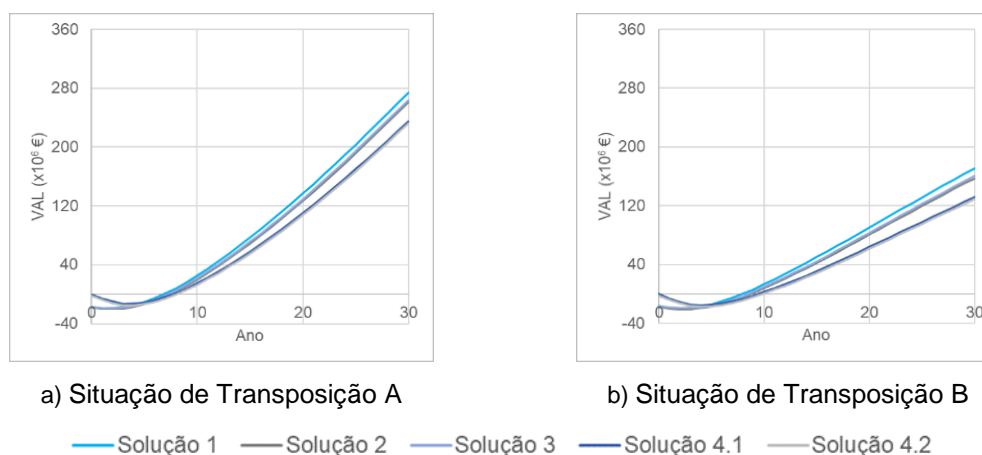


Figura 6. Evolução do indicador económico VAL das soluções de transposição avaliadas para o setor costeiro Figueira da Foz-Leirosa



Tabela 5. RBC ao fim de 30 anos e ano de *break-even* dos sistemas de transposição estudados para o setor costeiro Figueira da Foz-Leirosa

	Situação de transposição A		Situação de transposição B	
	RBC	<i>Break-even</i> (anos)	RBC	<i>Break-even</i> (anos)
Solução 1	5,66	7	3,89	8
Solução 2	4,62	8	3,18	9
Solução 3	4,81	8	3,31	9
Solução 4.1	3,41	8	2,35	10
Solução 4.2	3,31	9	2,28	10

Análise de sensibilidade

Com o objetivo de testar a incerteza das variáveis que mais importância têm na análise custo-benefício, foi executada uma análise de sensibilidade a vários parâmetros, 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 benefícios da proteção costeira resultam dos valores monetários atribuídos ao território e das correspondentes áreas de território não perdidas. No entanto, quer as estimativas das áreas não perdidas, quer as estimativas do valor monetário dos territórios costeiros, apresentam incertezas com potencial impacto no desempenho económico das soluções de transposição. Assim, com objetivo de reforçar a significância dos resultados obtidos, a análise de sensibilidade ao valor dos benefícios para o setor Barra-Vagueira referiu-se a um aumento de benefícios em 50%. Em contrapartida, para o setor Figueira da Foz-Leirosa avaliou-se a situação dos benefícios diminuírem em 50%.

A comparação do desempenho económico de soluções de intervenção através da aplicação de análises custo-benefício requer que todos os valores dos custos e benefícios sejam atualizados para um ano de referência, sendo os valores atualizados através da aplicação de uma taxa de desconto. Com o objetivo de avaliar a influência deste parâmetro nos resultados obtidos, apresenta-se uma análise de sensibilidade à taxa de desconto de base ($r = 2\%$) aplicando dois valores distintos de desconto (0% e 4%). Os custos de manutenção correspondem a uma importante parcela dos custos a considerar no ciclo de vida dos sistemas de transposição fixos ou mistos. No entanto, é impossível antecipar com exatidão a evolução destes custos, uma vez que as razões que levam à necessidade de recorrer a operações de manutenção não planeadas são de carácter aleatório, relacionadas, por exemplo, avarias. Portanto, apresenta-se uma análise de sensibilidade ao parâmetro referido, por alteração da percentagem que os custos anuais de manutenção representam em relação ao custo de construção (5%).

Na Tabela 6 apresentam-se os resultados das análises de sensibilidade realizadas para o setor Barra-Vagueira. Genericamente, os resultados obtidos 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, por comparação aos valores que serviram de base à estimativa dos benefícios, uma vez que, os resultados indicam que com um aumento de 50% apenas uma das soluções se torna economicamente viável (Solução 1). Este resultado evidencia que apesar de todas as incertezas, associadas à modelação numérica da evolução da posição da linha de costa, bem como ao valor monetário atribuído aos territórios costeiros, as soluções de transposição avaliadas no setor costeiro não são economicamente compensatórias.



Dos 8 cenários avaliados (resultantes da combinação de 4 soluções de transposição para duas situações de estimativa de benefícios) apenas um dos cenários apresenta um VAL positivo ao ano 30.

A taxa de desconto tem impactos distintos na evolução dos indicadores económicos de cada solução de transposição, sendo a Solução 4 a que mais beneficia com o aumento da taxa de desconto. No entanto, face aos Cenários Base, a alteração da taxa de desconto não viabiliza economicamente nenhuma das soluções. A análise de sensibilidade realizada aos custos de manutenção mostra naturalmente que o aumento dos custos leva a piores desempenhos das soluções de transposição.

Tabela 6. 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

Relativamente ao setor Figueira da Foz-Leirosa, a análise de sensibilidade realizada, cujos resultados são apresentados na Tabela 7, mostram que mesmo para a situação em que o valor dos benefícios é reduzido para metade do valor estimado nos Cenários Base, as 5 soluções de transposição avaliadas continuam a ser economicamente viáveis a 30 anos, sendo a principal consequência da diminuição dos benefícios, o ano em que os benefícios igualam os custos, ou seja, o ano de *break-even* acontece mais cedo. Assim, conclui-se que mesmo tendo uma incerteza de 50% no valor dos benefícios, associadas à modelação numérica da evolução da posição da linha de costa, bem como ao valor monetário atribuído aos territórios costeiros, continua a ser viável intervir no setor costeiro.

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 face ao ano em que os custos são compensados pelos benefícios. A análise de sensibilidade realizada aos custos de manutenção mostra naturalmente que o aumento dos custos leva a piores desempenhos das soluções de transposição. No entanto, para que as soluções de transposição se tornem economicamente inviáveis, os custos de manutenção têm de superar nos 30 anos de projeto, entre 50% a 85% do valor total de benefícios que a solução representa (a percentagem é função da solução de transposição e da forma como as áreas de território não perdidas se distribuem ao longo da costa).



Tabela 7. 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

Conclusões

O estudo apresentado teve por objetivo analisar a viabilidade económica de soluções de transposição para a embocadura da Ria de Aveiro e para a embocadura do Rio Mondego, considerando-se diferentes soluções definidas como tecnicamente viáveis para realizar a transposição artificial em grande escala de sedimentos nas barras em estudo, com recurso a soluções de transposição de sedimentos mistas, fixas e móveis.

A viabilidade económica das soluções de proteção costeira resulta da relação entre o valor monetário dos custos de intervenção e o valor monetário dos benefícios que a solução representa em termos de território não perdido ou ganho. Para tal, no presente estudo, para cada solução de transposição, foram quantificados todos os custos ao longo do seu ciclo de vida (30 anos), incluindo custos de construção, operação, manutenção e desmantelamento.

A estimativa dos benefícios resulta das áreas de território não perdidas que a solução de transposição induz, multiplicadas pelo valor monetário desses territórios. As áreas de território não perdidas foram obtidas através de modelação numérica, definindo valores anuais ao longo do ciclo de vida do projeto. Os valores dos territórios costeiros foram obtidos através de uma abordagem que combina os padrões de uso e ocupação do solo com técnicas de transferência de benefício. Quer as áreas de território não perdidas, quer o valor do território, foram obtidos ao longo da área de estudo em trechos de aproximadamente 1 km. Refere-se que, complementarmente à abordagem adotada para obter o valor dos territórios costeiros, durante o projeto foram recolhidos um conjunto de dados junto de diferentes entidades, como câmaras municipais, Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro - CCDRC, veraneantes e empresas, permitindo tecer considerações sobre as atividades económicas, recreativas e balneares que se desenvolvem nos territórios abrangidos pelo estudo, bem como sobre as preocupações de diferentes entidades sobre a problemática da erosão costeira. Esta abordagem, embora não tenha permitido uma avaliação quantitativa do valor do território, permitiu uma avaliação qualitativa do mesmo, identificando-se as atividades económicas que se desenvolvem nas áreas de estudo, bem como o potencial económico que pode advir de uma possível intervenção.



Identificado o valor monetário dos territórios dos setores costeiros em análise e as áreas de território não perdidas, procedeu-se à análise custo-benefício das soluções de transposição, dimensionados para transpor anualmente um volume de 1 000 000 m³ de sedimentos. Os resultados obtidos através das análises custo-benefício mostram que a transposição com recurso a um sistema fixo é a solução que representa um custo mais baixo, para as duas áreas de estudo analisadas. 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.

A diferença na viabilidade económica das soluções de transposição entre Aveiro e a Figueira da Foz é atribuída em parte ao valor obtido para os benefícios, uma vez que na Figueira da Foz os benefícios são consideravelmente superiores aos obtidos em Aveiro. Por um lado, os sistemas de transposição induzem um ganho de território no setor da Figueira da Foz consideravelmente superior ao obtido em Aveiro, sendo que, esta diferença é atribuída ao potencial de transporte sólido que, com base no trabalho desenvolvido na tarefa 3 do projeto, estimou-se ser superior em Aveiro (996 000 m³/ano em Aveiro e cerca de 746 000 m³/ano na Figueira da Foz). Por outro lado, os maiores ganhos de área de território no setor Figueira da Foz-Leirosa induzidos pelos sistemas de transposição acontecem nos trechos com valor monetário mais elevado, potenciando os benefícios da proteção costeira. Outro fator que torna mais dispendioso o sistema fixo de transposição em Aveiro, e por isso economicamente menos viável que na Figueira da Foz, é a extensão superior do circuito de descarga de sedimentos, por comparação com a extensão do sistema na Figueira da Foz, induzindo a custos de operação mais elevados em Aveiro.

A experiência internacional com sistemas de transposição de sedimentos aponta no sentido de que estas soluções, para além de mitigarem a erosão costeira, induzem benefícios relacionados com melhoria das condições de navegação, melhoria das condições para a prática de *surf* e aumento do número de turistas. Estes benefícios embora sejam difíceis de projetar e, portanto, tendo em conta a subjetividade e incerteza na sua quantificação não foram tidos em conta neste estudo, também devem ser considerados no processo de tomada de decisão sobre a viabilidade do projeto.

Referências Bibliográficas

- Coelho, C. (2005). "Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira". Dissertação de Doutoramento, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 404 p.
- Coelho, C., Ferreira, M., Silva, P. A., Bernardes, C., Santos, F., Baptista, P., Lima, M., Carvalho, R. (2021a). "Estudo de Viabilidade de Transposição Aluvionar das Barras de Aveiro e da Figueira da Foz - Relatório Intercalar 2: Tarefa 4, Aveiro". Consórcio UA/R5, 91 p.
- Coelho, C., Ferreira, M., Silva, P. A., Bernardes, C., Santos, F., Baptista, P., Lima, M., Carvalho, R. (2021b). "Estudo de Viabilidade de Transposição Aluvionar das Barras de Aveiro e da Figueira da Foz - Relatório Intercalar 2: Tarefa 4, Figueira da Foz". Consórcio UA/R5, 86 p.
- Google Earth 2021. Visitado em dezembro de 2021.
- Lima, M. (2018). "Ferramenta Numérica de Análise de Impacto de Intervenções de Defesa Costeira". Tese de doutoramento, Universidade de Aveiro, 294 p.
- Roebeling, P., Coelho, C., Reis, E. (2011). "Coastal Erosion and Coastal Defense Interventions: a Cost-Benefit Analysis". *Journal of Coastal Research*, SI 64, pp. 1415-1419.