



DO PARADIGMA REATIVO À GESTÃO PREVENTIVA: O PAPEL DA FERRAMENTA COAST NA GESTÃO COSTEIRA NACIONAL

Márcia Lima¹; Carlos Coelho²

¹ CERIS & Universidade Lusófona – CUP & R5 Marine Solutions; ² CERIS & Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro

marcia.lima@ulusofona.pt, ccoelho@ua.pt.

Resumo

As zonas costeiras enfrentam vulnerabilidade crescente, devido à erosão e aos impactos das alterações climáticas, expondo comunidades, infraestruturas e ecossistemas. A incerteza sobre a evolução futura da linha de costa reforça a necessidade de estratégias de adaptação que reduzam impactos, aumentem a resiliência e promovam a gestão sustentável. Tradicionalmente, as intervenções em Portugal foram reativas e centradas em soluções rígidas, com fraca avaliação dos seus efeitos a médio e longo prazo. Neste contexto, a ferramenta COAST, consolidada pelo projeto COAST4US, surge como contributo importante para a gestão do litoral, ao permitir análises integradas da evolução costeira e da viabilidade económica das opções de intervenção. Os resultados evidenciam a eficácia de soluções que atuam nas causas da erosão, como a alimentação artificial com sedimentos, face às soluções rígidas, promovendo a transição para um modelo de gestão preventiva, transparente e suportado em conhecimento técnico-científico.

Introdução

As regiões costeiras destacam-se pela sua relevância económica e ecológica, proporcionando acesso a uma ampla variedade de serviços essenciais. A elevada concentração populacional nestas áreas, aliada aos desafios da erosão costeira e aos impactos das alterações climáticas, evidencia a necessidade de se desenvolverem estratégias de previsão, prevenção e mitigação do recuo da linha de costa.

A costa ocidental de Portugal constitui um exemplo paradigmático, onde a erosão costeira tem sido uma preocupação persistente (Santos *et al.*, 2017). Esta faixa costeira encontra-se exposta ao regime energético de agitação marítima do Atlântico Norte e sofre com a interrupção do fornecimento natural de sedimentos fluviais, sobretudo devido à construção de barragens. Assim, a proteção das regiões costeiras assume importância estratégica para decisores e entidades governamentais. No entanto, perante os constrangimentos associados à escassez de recursos económicos, torna-se fundamental priorizar as áreas a proteger e avaliar as soluções mais eficazes, o que reforça a necessidade de análises rigorosas durante as fases de planeamento e conceção das intervenções. Importa salientar que, historicamente, em Portugal, as respostas à erosão costeira têm sido maioritariamente reativas, atuando em emergência, após eventos de erosão, descuidando a otimização das soluções e a análise de relações custo-benefício.

Para fazer face aos problemas de erosão e galgamento costeiros é essencial planear a médio/longo termo, optando por medidas cada vez mais proativas em detrimento das políticas reativas muitas vezes tomadas no passado. As políticas de planeamento podem basear-se na prevenção, na proteção, na realocização (ou recuo) ou na acomodação. Todas estas medidas devem ser ponderadas e analisadas e, sempre que possível, comparadas com o cenário de não fazer nada, o comumente designado cenário “do nothing”, ou com o cenário de manter ao longo do tempo as estratégias/políticas tomadas até então. É o estudo e comparação destes cenários que permite a realização de análises custo-benefício, necessárias em qualquer intervenção de defesa costeira. Nas últimas décadas tem surgido uma ligeira mudança de paradigma, deixando o foco de ser apenas a eficácia da solução de intervenção ao problema de erosão costeira subjacente, e passando a ser dada maior atenção à gestão das zonas costeiras, através de análises custo-benefício. Análises custo-benefício podem ajudar os decisores, mostrando o que é melhor numa perspetiva mais longa, comparando os custos das medidas com o seu comportamento físico e económico.

Até 2018, não se conheciam ferramentas numéricas de análise custo-benefício de intervenções



de defesa costeira, apenas metodologias teóricas baseadas em estudos desenvolvidos por diversos autores. No sentido de colmatar esta lacuna, foi desenvolvida na Universidade de Aveiro, a ferramenta COAST (*Coastal Optimization ASsessment Tool*, Lima, 2018), uma ferramenta de análise de intervenções de defesa costeira, que permite a realização de análises custo-benefício, tendo em conta fatores como a eficácia da solução, o impacto nas zonas adjacentes, o valor socioeconómico das zonas a proteger e das zonas que eventualmente serão prejudicadas com a intervenção.

Este trabalho apresenta a ferramenta COAST como resposta a essa lacuna, propondo um novo paradigma de gestão preventiva, sustentada por análises integradas de desempenho físico e viabilidade económica de diferentes cenários de intervenção. A consolidação da ferramenta, através do projeto COAST4US (Lima e Coelho, 2024), demonstra o seu potencial para apoiar a tomada de decisão a múltiplas escalas, promovendo intervenções mais eficazes, sustentáveis e ajustadas às especificidades de cada troço costeiro.

Ferramenta COAST

A COAST é uma ferramenta para análise de intervenções de defesa costeira, que se baseia numa metodologia sequencial e bem definida, apoiada por modelos numéricos integrados de forma única, facilitando a comparação do desempenho de diferentes cenários. Pode ser aplicada na maioria dos territórios costeiros ameaçados pelo problema da erosão, agravado pelo impacto potencial das alterações climáticas. A ferramenta integra três módulos distintos: o primeiro é um modelo de evolução da linha de costa (LTC – Coelho, 2005), que permite analisar o impacto das intervenções na evolução da linha de costa e calcular benefícios (território mantido, ganho ou perdido). O segundo é um módulo de pré-dimensionamento de estruturas costeiras (XD-COAST – Lima *et al.*, 2013), que possibilita projetar estruturas costeiras, definir dimensões e quantificar volumes de materiais, de modo a estimar os custos de construção e manutenção. Por fim, inclui-se um módulo de análise custo-benefício, que simplifica a avaliação entre custos e benefícios. Dado que essa análise implica comparar o cenário de intervenção (mitigação da erosão) com um cenário de referência – a partir do qual se obtêm indicadores para avaliar a rentabilidade económica da solução – o módulo permite avaliar tanto o balanço económico do cenário de referência como o custo-benefício de cada cenário de intervenção.

A ferramenta COAST já foi aplicada em diversos estudos recentes, relacionados com a análise custo-benefício de esporões (Lima *et al.*, 2020), alimentações artificiais (Coelho *et al.*, 2022), sistemas de bypass (Ferreira *et al.*, 2023; Lima *et al.*, 2023) e na avaliação da vulnerabilidade e risco de outros troços com elevada taxa de erosão costeira (Pais-Barbosa *et al.*, 2023).

Gestão do litoral oeste português

A erosão costeira, agravada pelos efeitos das alterações climáticas e pela escassez de sedimentos, representa um dos principais desafios da gestão do litoral português. A elevada incerteza sobre a evolução futura da linha de costa obriga a uma abordagem de planeamento a médio e longo prazo, entendidos como horizontes temporais entre os 10 e os 50 anos. Para tal, é essencial recorrer a ferramentas de modelação que, embora baseadas em metodologias simples, permitem a realização de múltiplas simulações em curtos períodos de tempo, tornando possível comparar rapidamente o desempenho de diferentes cenários de intervenção.

Com o objetivo de colmatar esta lacuna, surgiu o projeto COAST4US (Lima e Coelho, 2024), destinado a produzir conhecimento e dados concretos que possibilitassem uma abordagem preventiva à gestão costeira. O projeto permitiu delinear estratégias de gestão sustentáveis, adaptadas a cada troço específico do litoral, numa perspetiva de médio e longo prazo, contribuindo para a redução de custos das intervenções e para a preservação do território nacional. O COAST4US visou apoiar a mitigação do fenómeno da erosão costeira através da aplicação da ferramenta COAST em três troços críticos da costa ocidental portuguesa: Aveiro, Figueira da Foz e Costa de Caparica. Estas áreas foram selecionadas em articulação com a



Agência Portuguesa do Ambiente, entidade responsável pela gestão costeira em Portugal. A abordagem integra a definição de cenários de referência e de intervenção, a modelação numérica da evolução da linha de costa, a caracterização socioeconómica das áreas de estudo e a aplicação de uma análise de custo-benefício baseada em indicadores económicos, como o valor atual líquido, o rácio benefício-custo e o *break-even* (Roebeling *et al.*, 2018). A ferramenta COAST permitiu comparar de forma expedita múltiplos cenários, quantificando áreas de erosão/acreção e estimando os custos de execução e manutenção das soluções propostas, bem como os benefícios resultantes da preservação ou recuperação de território costeiro.

Resultados

Para a região de Aveiro, os resultados indicam que, sem novas intervenções, cerca de 84 ha de território, avaliados em aproximadamente 170 milhões de euros, serão perdidos nos próximos 20 anos. Dos 21 cenários de intervenção propostos, 19 apresentam impactos físicos positivos (ganhos de território), mas apenas 8 são economicamente viáveis, sendo o mais vantajoso o que combina alimentação artificial (cenário de alimentação inicial de 2,4 milhões de m³ de areia, com reforços anuais de 300 mil m³ entre o 4.º e o 20.º ano) e remoção de estruturas. Na Figueira da Foz, a ausência de novas intervenções poderá originar perdas na ordem dos 150 milhões de euros e 35 ha de território. Entre os cenários analisados, 81% revelam impactos físicos positivos, mas apenas 44% são economicamente viáveis. O cenário mais vantajoso prevê a alimentação artificial com deposição anual de 300 mil m³ de sedimentos, entre o primeiro e o terceiro esporão, na Cova Gala. Relativamente à Costa de Caparica, as perdas potenciais estimam-se em cerca de 170 milhões de euros. Dos 22 cenários de intervenção analisados, 95% apresentam balanço físico positivo, mas apenas 36% são economicamente viáveis. Os cenários com melhor desempenho económico incluem igualmente a alimentação artificial e a remoção de estruturas existentes. Estes resultados evidenciam uma tendência para atuar sobre as causas da erosão costeira, através da reposição do balanço sedimentar e da prioridade às alimentações artificiais, em consonância com a estratégia da Agência Portuguesa do Ambiente.

Conclusões

O presente trabalho reforça a importância da aplicação da ferramenta COAST e demonstra que, apesar das incertezas inerentes a todo o processo de projeção e análise económica, a avaliação custo-benefício constitui um recurso valioso no apoio à gestão costeira. Como conclusões específicas para as áreas de estudo do litoral português analisadas, destaca-se que:

- Se não forem realizadas intervenções nos próximos 20 anos, perder-se-ão cerca de 140 hectares de território nacional, correspondendo a uma perda monetária de aproximadamente 500 milhões de euros, de acordo com as premissas de simulação adotadas para as três áreas de estudo. Para inverter a situação erosiva observada nos cenários de referência, foram propostos cerca de 60 cenários de intervenção, definidos em articulação com a Agência Portuguesa do Ambiente e as câmaras municipais locais.
- Dos cerca de 60 cenários, mais de 80% justificam intervenção do ponto de vista físico, evidenciando a possibilidade de reverter parte da tendência erosiva do cenário de referência. No entanto, nunca é recuperada a totalidade da tendência erosiva do cenário de referência, o que reforça a premissa de que a tendência atual é no sentido da perda de território.
- Apesar da grande maioria dos cenários estudados serem vantajosos do ponto de vista físico, a aplicação da ferramenta COAST e os resultados da análise custo-benefício mostraram que mais de metade dos cenários propostos não são economicamente viáveis no horizonte temporal do projeto.
- A alimentação artificial de sedimentos, isolada ou combinada com outras intervenções, foi o tipo de intervenção que apresentou os melhores resultados físicos e económicos,



nos três troços analisados. Tal conduz à conclusão inequívoca de que o futuro da gestão costeira deve privilegiar ações que atuem sobre as causas da erosão, centrando-se na reposição do balanço sedimentar. Estes resultados corroboram a estratégia nacional adotada pela Agência Portuguesa do Ambiente, que dá prioridade às alimentações artificiais em detrimento de obras de engenharia pesada.

Os resultados obtidos comprovam que, mais do que um simples instrumento de avaliação, a ferramenta COAST representa uma mudança de paradigma na forma de gerir a faixa costeira, promovendo a transição de uma gestão reativa, centrada na resposta a impactos, para uma gestão preventiva e fundamentada em conhecimento técnico-científico. Esta mudança consolida a integração de critérios físicos, económicos, ambientais e sociais, e apresenta uma estratégia de gestão para a costa ocidental portuguesa assente nos resultados obtidos com a aplicação da ferramenta COAST num horizonte temporal de 20 anos, permitindo aos decisores políticos optar por medidas mais sustentáveis, adaptativas e alinhadas com os desafios de longo prazo de gestão e planeamento do litoral português.

Referências Bibliográficas

- Coelho, C. (2005). "Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira". Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, 404 páginas.
- Coelho, C., Lima, M., e Ferreira, M. (2022). "A Cost-Benefit Approach to Discuss Artificial Nourishments to Mitigate Coastal Erosion." *Journal of Marine Science and Engineering*, 10 (12), art. no. 1906. Doi: 10.3390/jmse10121906.
- Ferreira, M., Coelho, C., Lima, M., Bernardes, C., Baptista, P., Silva, P. A., Carvalho, R., Pound, M., e Pinto, C. (2023). "Feasibility study of sand bypass at Aveiro and Figueira da Foz inlets." In D. Cox (Ed.), *Proceedings of the Coastal Engineering Conference (37 ed., ASCE)*.
- Lima, M., Coelho, C.B., Cachim, e P.B. (2013). "Programming methods for pre-design of coastal structures." *Computational Methods in Marine Engineering V - Proceedings of the 5th International Conference on Computational Methods in Marine Engineering, MARINE 2013*, pp. 868-879. ISBN: 978-849414074-7.
- Lima, M. (2018). "Ferramenta numérica de análise do impacto de intervenções de defesa costeira na evolução da linha de costa: custos e benefícios", Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, 294 páginas.
- Lima, M., Coelho, C., Veloso-Gomes, F., e 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.
- Lima, M., Ferreira, A. M., e Coelho, C. (2023). "A Cost-Benefit Approach to Assess the Physical and Economic Feasibility of Sand Bypassing Systems." *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(9), 1829. <https://doi.org/10.3390/jmse11091829>.
- Lima, M. e Coelho, C. (2024). "COAST: Coastal Optimizations Assessment Tool", Universidade de Aveiro, 176 páginas.
- Pais-Barbosa, J., Ferreira, A.M., Lima, M., Filho, L.M., Roebeling, P., e Coelho, C. (2023). "Cost-benefit analysis of artificial nourishments: Discussion of climate change adaptation pathways at Ovar (Aveiro, Portugal)." *Ocean and Coastal Management*, 24/4, art. no. 106826.
- Roebeling, P., d'Elia, E., Coelho, C. e Alves, T. (2018). Efficiency in the design of coastal erosion adaptation strategies: An environmental-economic modelling approach. *Ocean & Coastal Management*. ISSN 0964-5691, <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.10.027>.
- Santos, F., Lopes, G., Moniz, Ramos, L., e Taborda, R. (2017). "Grupo de Trabalho do Litoral: Gestão da Zona Costeira: O desafio da mudança." Eds: F. Duarte-Santos, G. Penha-Lopes e Mota-Lopes. ISBN:978-989-99962-1-2.