Dragagens

Sustentabilidade do Litoral

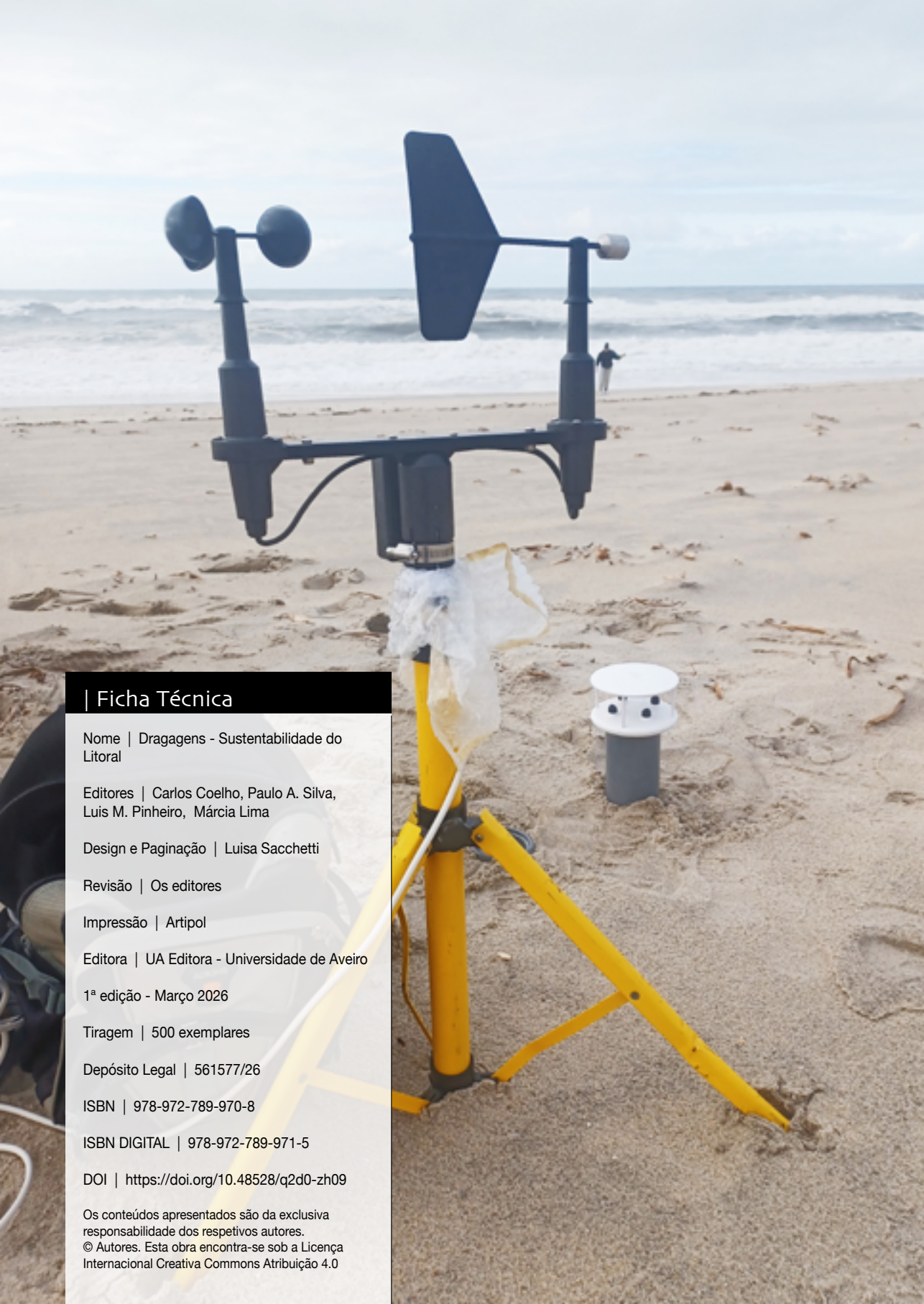


uaeditora
universidade de aveiro

Coordenadores Carlos Coelho, Paulo A. Silva, Luis M. Pinheiro, Márcia Lima

Dragagens

Sustentabilidade do Litoral



| Ficha Técnica

Nome | Dragagens - Sustentabilidade do Litoral

Editores | Carlos Coelho, Paulo A. Silva, Luis M. Pinheiro, Márcia Lima

Design e Paginação | Luisa Sacchetti

Revisão | Os editores

Impressão | Artipol

Editora | UA Editora - Universidade de Aveiro

1ª edição - Março 2026

Tiragem | 500 exemplares

Depósito Legal | 561577/26

ISBN | 978-972-789-970-8

ISBN DIGITAL | 978-972-789-971-5

DOI | https://doi.org/10.48528/q2d0-zh09

Os conteúdos apresentados são da exclusiva responsabilidade dos respetivos autores.
© Autores. Esta obra encontra-se sob a Licença Internacional Creativa Commons Atribuição 4.0

Preâmbulo

A Universidade de Aveiro e a Administração do Porto de Aveiro (APA) estiveram na liderança dos dois anteriores eventos, com um impulso decisivo de uma empresa Espanhola de Dragagens, a **DRAVOSA** e do seu maior responsável em Portugal, o Engº Roberto Vidal. O Roberto Vidal é um técnico que dominava por completo a "arte" das dragagens, tinha uma enorme capacidade para entender as reais necessidades das empresas portuárias e conseguia responder a todos os processos de concurso com as propostas mais assertivas e competitivas, primando o seu desempenho pela excelência, em todos os sentidos.

Foi em conversa com ele e com o Eng. Luís Cacho, que surgiu a ideia da organização de um Curso de Dragagens, capaz de dinamizar o sector empresarial ligado a esta área, bem como de mobilizar a comunidade académica através da Universidade de Aveiro (UA). Foi neste contexto que acordámos contactar a Universidade para perceber da sua vontade em ser parte relevante na organização do Curso Técnico de Dragagens. Como era expectável, a disponibilidade e entusiasmo foram totais e assim nasceu o 1º evento, em 2009, que haveria de ser posteriormente replicado, em 2013.

Mas se o 1º e 2º Cursos tiveram o grande impulso do Eng. Roberto Vidal e da **DRAVOSA**, o 3º Curso teve também o grande contributo de uma empresa Portuguesa, a **DRAGUS**, e do seu responsável, um jovem empresário, José Miguel Oliveira. A **DRAGUS** é uma empresa de constituição recente, perto de cinco anos (à data de 2021) e é a única empresa nacional que possui uma draga de sucção. Apresenta a originalidade de ter sido a primeira embarcação deste tipo construída em Portugal, concretamente nos estaleiros navais de Viana do Castelo. Está equipada com as

mais inovadoras tecnologias associadas às intervenções de dragagem. Toda a sua tripulação é Portuguesa, a maior parte da qual formada na Escola Náutica Infante D. Henrique.

Foi em conversa informal com o José Miguel Oliveira que lhe dei conhecimento das anteriores ações de formação organizadas pela UA e pela APA, que suscitou de imediato a sua disponibilidade e grande entusiasmo em patrocinar a realização de um 3º evento. Contactadas a UA e a APA, a recetividade e apoio não podiam ter sido mais evidentes.

Os dois primeiros eventos revelaram-se um verdadeiro sucesso pelos temas tratados: o de 2009, num âmbito mais global de *Fundamentos, Técnicas e Impactos*; e o de 2013, versando as *Questões Ambientais e Monitorização*. Sucesso pela qualidade técnica dos palestrantes e pela atualidade dos assuntos tratados, pela interação com a plateia nos tempos de debate, pelo convívio amigável e descontraído nos intervalos dos diversos painéis, pelo número de participantes e por ter sido possível a edição em livro com as intervenções efetuadas, registando-as adequadamente para memória futura.

No 1º Curso falámos de *Campos de Atividade de Dragagens*, de *Equipamentos de Dragagens,* dos *Processos Sedimentares e Métodos de Monitorização*, do *Impacto das Dragagens*, de *Casos de Estudo e Aplicação dos Dragados*. No 2º Curso abordámos as *Operações de Dragagens Portuárias*, as *Técnicas de Monitorização*, a *Monitorização, Gestão e Aplicação de Dragados*"e os *Impactos Ambientais*. Todos estes temas foram tratados de forma extremamente competente pelos diversos oradores, de tal modo que o saber e o conhecimento de todos os presentes saíram seguramente reforçados. A relevância e importância do sector das dragagens em várias áreas da economia nacional foi perfeitamente enfatizada, bem como proporcionada uma visão global e atualizada desta área e dos aspetos mais importantes com ela relacionados, designadamente no contexto das questões técnicas e ambientais.

Importa ainda realçar a oportunidade temporal da realização dos dois eventos, por coincidirem com investimentos de grande impacto no crescimento e desenvolvimento das principais infraestruturas portuárias nacionais. Se em 2009 tivemos como oradores especialistas Portugueses, Espanhóis e Holandeses, em 2013 o Curso teve um enquadramento exclusivamente português, mergulhando nos problemas nacionais e na procura das soluções mais adequadas para os ultrapassar.

Observando o saber, a experiência técnica, as diversas áreas de conhecimento, a capacidade de comunicação e a excelência da grande maioria dos participantes, e considerando o programa desenvolvido durante o 3º Curso Técnico de Dragagens, o resultado deste livro será igualmente um caso de sucesso.

Termino, partilhando uma frase do Eng. Roberto Vidal: "*Nada mais gratificante nestes tempos difíceis do que ver que continuam vivas instituições essenciais à sociedade moderna, como a Universidade de Aveiro e a Administração do Porto de Aveiro. Ambas representam a ALMA MATER de Aveiro na nobre missão de transformar o homem através da ciência e do conhecimento. Temos todos de nos congratular por esta realidade.*"

Eng. Rui Paiva



Agradecimentos

A Universidade de Aveiro (UA) e a Administração do Porto de Aveiro (APA) realizaram dois Cursos Técnicos de Dragagem, em 2009, e em 2013, na Universidade de Aveiro, proporcionando a discussão e o aprofundamento de alguns assuntos relacionados com o tema da dragagem. Em resultado do 1º curso, foi editado, em 2011, o livro: *Dragagens - Fundamentos, Técnicas e Impactos*. Na sequência do 2º curso, foi publicado, em 2018, o livro intitulado: *Dragagens Questões Ambientais e Monitorização*. Após o 3º Curso Técnico de Dragagens, realizado em 2021, considera-se pertinente publicar este terceiro livro, intitulado: *Dragagens Sustentabilidade do Litoral.*

Os cursos e livros foram sempre uma iniciativa conjunta entre a Universidade de Aveiro e a Administração do Porto de Aveiro, instituições às quais os editores agradecem. Em particular, na preparação do 3º curso e edição deste livro agradece-se também ao Eng. Rui Paiva e ao José Miguel Oliveira (Dragus), que foram os maiores impulsionadores da realização desta terceira edição e colaboraram na sua organização. Os editores agradecem também à Professora Fátima Alves, na qualidade de Presidente da Administração do Porto de Aveiro à data de realização do 3º curso, que assegurou a continuidade desta colaboração entre a Universidade de Aveiro e a Administração do Porto de Aveiro.

Um obrigado a todos os oradores e autores que contribuíram para o 3º Curso Técnico de Dragagens e para esta publicação, que compila uma série de comunicações realizadas por especialistas da indústria e do meio académico. Os contributos dos autores foram organizados em cinco capítulos, começando por um grupo de trabalhos mais genérico e que servem como referência a aspetos diversos que se relacionam com a atividade de dragagem.

Depois são apresentados trabalhos que se relacionam com alimentações artificiais e gestão costeira, com modelação e monitorização no apoio à gestão sedimentar, com os contributos das dragagens portuárias para a sustentabilidade do litoral e por fim, são apresentados dois casos de estudo. Por último, os editores agradecem a todos os participantes do 3º Curso Técnico de Dragagens, grandes motivadores para a publicação deste livro.

Nota de abertura

A associação da APA – Administração do Porto de Aveiro, S.A., à organização do 3º Curso Técnico de Dragagens, realizado em 2021, na Universidade de Aveiro está intimamente ligada à assunção clara e irreversível de que os atores locais com relevância do setor económico e social têm de trabalhar em conjunto, contribuindo para a sustentabilidade económica, social e ambiental das regiões onde estão inseridos.

Os portos são por definição infraestruturas de coesão territorial contribuindo para o desenvolvimento económico e social local, regional e nacional, tendo como missão o equilíbrio sustentável entre a atividade económica e a sustentabilidade ambiental dos ecossistemas naturais onde se inserem.

O tema das dragagens é, incontornavelmente, um tema recorrente quando se fala de conciliação de valores naturais e atividade portuárias.

Ao longo dos últimos anos têm-se assistido a uma mudança de paradigma entre o conhecimento técnico e o conhecimento científico patente nos inúmeros projetos em que os portos são parceiros ativos, trazendo inovação e realismo às soluções desenvolvidas e que visam substantivamente aumentar a competitividade do setor portuário, a melhoria das condições de segurança da navegabilidade, e ainda a minimização dos impactes ambientais decorrentes da atividade de dragagens.

É um privilégio para o Porto de Aveiro e, consequentemente, para o Porto da Figueira da Foz puder partilhar, com a Universidade de Aveiro, este espaço de reflexão, discussão e transferência de conhecimento entre academia e a sociedade que decorre da realização do 3ª Curso Técnico de Dragagens.

Mais uma vez, constatou-se da oportunidade da realização deste evento técnico, contando com a participação da academia, dos técnicos das administrações portuárias, bem como, das empre-

sas do setor das dragagens que desde o primeiro momento aderiram à sua realização.
Para o Porto de Aveiro e da Figueira da Foz, a missão continua - contribuir para um maior e melhor conhecimento científico, partilhar os diversos contextos reais, consolidar as parcerias entre a ciência e a sociedade.
Zelar pela sustentabilidade dos ecossistemas onde nos inserimos!

Bem hajam!

Prof.ª Doutora Fátima Lopes Alves
Presidente do Conselho de Administração do Porto de Aveiro e do Porto da Figueira da Foz
Julho de 2021

Organização: universidade de aveiro, Porto de Aveiro

Patrocínios: INERSEL, DRAGUS, WestSEA, Jan De Nul Group, RSM marine solutions

Índice

003 · Preâmbulo
007 · Agradecimentos
009 · Nota de abertura

013 · **ASPETOS GERAIS RELACIONADOS COM DRAGAGENS** · Cap.I
015 · I.1. Grupo de trabalho aspectos positivos das dragagens
025 · I.2. Dragagem: pagamento baseado em profundidade mínima atingida, em cada trecho
039 · I.3. Construção de uma draga – c.011 M/v "José Duarte"
057 · I.4. PIANC e trabalhos sobre dragagens

065 · **ALIMENTAÇÕES ARTIFICIAIS E GESTÃO COSTEIRA** · Cap.II
067 · II.1. Gestão do Litoral: Projeto INCCA e Projeto COAST4US
089 · II.2. Alimentação artificial de praias e gestão sedimentar em Portugal continental: passado, presente e futuro

111 · **MODELAÇÃO E MONITORIZAÇÃO NO APOIO À GESTÃO SEDIMENTAR** · Cap.III
113 · III.1. Metodologias geofísicas para planificação de operações de dragagem
125 · III.2. Modelação numérica do desempenho de alimentações artificiais a médio termo
139 · III.3. Transporte sedimentar em alimentações artificiais de praia

149 · **DRAGAGENS PORTUÁRIAS E SUSTENTABILIDADE DO LITORAL** · Cap.IV
151 · IV.1. A utilização de dragados na alimentação artificial da deriva nos Portos de Aveiro e da Figueira da Foz
167 · IV.2. Contributos do Porto de Lisboa para sustentabilidade das zonas costeiras

185 · **CASOS DE ESTUDO** · Cap.V

187 · V.1. Dragagem e remoção de inertes da ZALI para reforço do cordão litoral a Sul da Costa Nova

203 · V.2. Desassoreamento na Ria de Aveiro: reposição do equilíbrio na dinâmica sedimentar

223 · Referências Bibliográficas

Aspetos gerais relacionados com dragagens

CAPITULO I



1. Grupo de trabalho aspectos positivos das dragagens

1.1. Formação do grupo

O Grupo de Trabalho sobre Aspectos Positivos Das Dragagens, apoiado pelo MAGRAMA (Ministerio del Medio Ambiente, de Espanha) e depois pelos Puertos del Estado, APL - Administração do Porto de Lisboa, e APA - Agência Portuguesa do Ambiente, foi criado em Madrid, em junho de 2014. Envolve participação de profissionais espanhóis e portugueses ligados à área maritima (Portos, Institutos e Agencias estatais, Universidades, designers e empresas de dragagem), todos eles com uma longa carreira profissional e experiência no setor das dragagens (Figura I-1).



Figura I-1 · Participantes primeira reunião do grupo.

1.1.1. Cenário no qual o grupo está integrado

O grupo está integrado na Associação dos Portos e Costas Espanhóis (G5) e associado à PIANC (*World Association for Waterborne Transport Infrastructure*) desde 2016. Descrevem-se abaixo as ações finalizadas e/ou em curso neste âmbito, à data de 2021:

· CIP-GT-01: Análisis de estructuras portuarias mediante programas de estabilidad de taludes. FINALIZADO.

· CIP-GT-02: Evolución de las distintas fórmulas de cálculo de la estabilidad hidráulica de los elementos del manto en un dique rompeolas. FINALIZADO.

· CIP-GT-3: *Técnicas y metodologías para la evaluación, caracterización y mejora de los rellenos portuarios.* FINALIZADO.

· CIP-GT-4: *Reparación y refuerzo de estructuras de hormigón en ambiente marinos.* FINALIZADO.

· CIP-GT-5: *Aspectos positivos del dragado. Grupo hispano-luso.* ATIVO

· CIP-GT-6: *Integración de equipos marítimos orientados al atraque y estancia de buques en muelles*. ATIVO.

· CIP-GT-7: *Diseño Sísmico de Obras Marítimas*. ATIVO.

· CIP-GT-8: *Instalación de captación y vertido de aguas en medio marino.* Em formação.

O grupo colabora com diferentes organizações entre as quais se destacam: a CEDA-Central Dredging Association, a PIANC-World Association for Waterborne Transport Infraestructure, a ESPO - European Sea Ports Organisation, e a IADC-International Association of Dredging Companies.

1.1.2. Membros do grupo

O Grupo de trabalho é constituído pelos seguintes elementos:

Membros Permanentes

Presidente: Ana Lope Carvajal (Puertos del Estado); Vice-Presidente: Teresa Sá Pereira (APL); Secretário: Alberto del Pino (DRAVO); Celso Pinto (APAmbiente); Olga Sanchez (AP Aviles); Alfonso Peña (AP Huelva); Ruben Suarez (AP Santander); Antonio Bejarano (AP Sevilla); José Antonio Martinez (Acciona); Jonás Sánchez (MC Valnera); José Luis Buceta (CEDEX); Juan Ramón García (Dredging Management); Maria Manuel Cruz (Porto de Aveiro); Juan Antonio Rodriguez (Portos de Galicia); Ana M Castañeda (Costas Cataluña; Marta Martinez Gil (Sudirección General para la proteccion del mar).

Os estatutos permitem a participação de outros membros, de acordo com as questões que estão a ser desenvolvidas. A incorporação de novos membros de Itália e do Norte de Africa está prevista para o próximo ano. Desde a sua criação até ao presente, o grupo participou

em diferentes seminários e congressos, entre os quais se destacam:

· Apresentação do grupo na Universidade de Aveiro, em 2016

· Seminario web. *Soluciones innovadoras para la gestión del dragado y las mejoras prácticas sobre el medio ambiente y los puertos.* Huelva.2020

· Participação na I Jornada da gestão da areia. Madrid.2021

1.2. Encontros do grupo

O objetivo do grupo é realizar um encontro em Espanha e outro em Portugal todos os anos (Figura I-2). Este propósito teve de ser ajustado no ano de 2020, por razões da pandemia e limitou-se a encontro através de webinar (Figura I-3).



Figura I-2 · Encontro do grupo no porto de Huelva.



Figura I-3 · Encontros do grupo

1.3. Objetivos deste grupo

Os objetivos gerais do Grupo são:

· Difundir em Congressos, Jornadas de Engenharia, Administrações de Portos e Litoral, Universidades, etc., os aspetos positivos de obras de dragagem.

· Ser um grupo de referência de conhecimento no setor.

· Apoiar a carreira e prestígio profissional dos membros.

· Partilhar experiências; Avançar e inovar no conhecimento e desenvolvimento das novas técnicas de dragagem.

O objectivo principal do grupo é divulgar boas práticas e contrapor mitos negativos das dragagens. Nos jornais de notícias é muito comum referir-se à dragagem como um elemento negativo (Figura I-4).



Figura I-4 · Manchetes em jornais sobre dragagens.

Desta forma todo o esforço está focado em divulgar as boas práticas e os aspectos positivos das Dragagens:

· Dragagens para receber maiores navios nos portos.

· Dragagem para reforço da proteção costeira.

· Dragagem para garantir água potável em países em desenvolvimento.

· Dragagem para proteger contra as alterações climáticas.

· Dragagem para eliminar a poluição.

O caso do batelão Ever Given, que bloqueou o Canal do Suez, é um grande exemplo da proeminência das dragagens para resolver situações extraordinarias, que o grupo tem que

ser capaz de explicar e transmitir para a sociedade (Figura I-5).



Figura I-5 · Libertação do Ever Given (Moreno, 2021).

1.4. Documentos de apoio em Espanha

· Diretrizes para a caracterização do material dragado e a sua deposição em águas do domínio público marítimo terrestre.

· Guia de Boas Práticas para a execução de obras marítimas

· ROM 05.05 Recomendações para obras marítimas (Figura I-6).



Figura I-6 · ROM 05.05 (Puertos del Estado, 2006)

1.5. Programas de apoio em Portugal

1.5.1. Programa COSMO

O "Programa de Monitorização da Faixa Costeira de Portugal Continental - COSMO" consiste na recolha, processamento e análise de informação sobre a evolução das praias, dunas, fundos submarinos próximos e arribas ao longo da faixa costeira de Portugal Continental. O Programa COSMO foi concebido e desenvolvido pela Agência Portuguesa do Ambiente I.P., sendo cofinanciado pelo POSEUR – Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos, no âmbito de Aviso-Convite POSEUR-09-2015-25 referente à "Proteção do Litoral - Ações Materiais e Ações que visam a produção de conhecimento, gestão da informação e monitorização"

1.5.2. Estudos do LNEC

Estudos de caracterização morfodinamica desenvolvidos pelo Laboratorio Nacional de Engenheria Civil. Documentos do Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras.

1.5.3. Cursos Técnicos de Dragagem. Aveiro.

1ª Edição, em 2009, e 2º Edição, em 2013.

1.6. Evolução do setor do dragagem

Nos últimos 50 anos, o setor de dragagem avançou enormemente, tanto na capacidade e desenvolvimento tecnológico de seus equipamentos, quanto nos requisitos ambientais, de qualidade e segurança (Figura I-7).



Figura I-7 · Evolução do setor de dragagem.

O grupo quer estar na vanguarda da dragagem, ser uma referência para a mesma e criar uma base documental que suporte a atividade dos seus membros e de todos os relacionados com o setor.

1.7. Exemplos de boas práticas de dragagem

1.7.1. Porto de Aveiro.

A abertura da barra do porto de Aveiro é um exemplo de desenvolvimento dum território com a dragagem como protagonista (Figura I-8). Trata-se de um Projeto que permitiu o desenvolvimento e crescimento da região (Amorim, 2008)



Figura I-8 · Mapa antigo da Ria de Aveiro.

Hoje em dia os projetos de dragagem são um exemplo da coordenação entre o porto e a Agência Portuguesa do Ambiente para tirar partido do uso do material dragado para a proteção da costa.

1.7.2. Porto de Avilés

No Porto de Avilés (Figura I-9), foi utilizada a técnica do *capping* para resolver as questões relacionadas com as dragagens de material contaminado:

- Precisa de fundos marinhos livres de correntes.
- Quanto maior for o tamanho dos grãos do sedimento, melhor será o resultado.
- É uma técnica improvisada (desenho da ferramenta de deposição, altura de deposição, poder de injeção, etc.) .
- É uma técnica viável e possível para a gestão do material das categorias IIIA ou C.



Figura I-9 · Porto de Avilés

A tecnica de *capping* é um exemplo de inovação e respeito pelo ambiente que começa a ser implementado como solução para o tratamento do material contaminado no porto de Avilés e outros portos em Espanha, como Huelva, ou Barcelona.

1.7.3. Porto de Sevilha.

Criação de pântanos para aves aquáticas com material de dragagem (Figuras I-10 e I-11):



Figura I-10 · Pântanos para aves aquáticas no porto de Sevilha.



Figura I-11 · Trabalhos de dragagem para a optimização da navegabilidade.

1.7.4. Porto de Huelva.

O Porto de Huelva foi o primeiro em Espanha a criar zonas húmidas para aves aquáticas com material dragado (Figura I-12).

A maior colónia de aves chamarrico e canastera de Espanha cria os seus ninhos há décadas nos recintos criados com material de dragagem, a partir de manutenção periódica.



Figura I-12 · Área de reserva de aves chamarrico e canastera.

1.7.5. Porto de Lisboa.

O porto de Lisboa é um exemplo de eficiência energética na atividade de dragagem.

A tecnologia *wid-water injection dredging* reduziu consideravelmente o consumo de combustível e a pegada de carbono, em comparação com os sistemas tradicionais de dragagem. Os resultados apresentados na candidatura do ESPO permitiram obter um reconhecimento internacional no ano de 2014, como um exemplo de respeito ambiental num estuário particularmente sensível (Figura I-13).

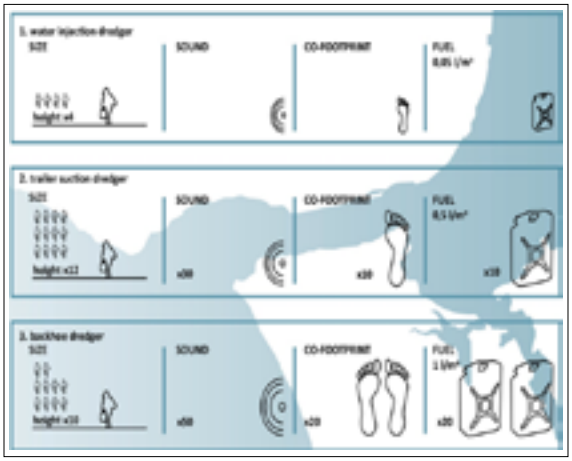


Figura I-13 · Comparação ambiental entre equipamentos de dragagem.

Ricardo Sudaiha
Engenheiro, Empresário, Consultor e Professor de Curso de Dragagem no Brasil

2. Dragagem por resultado: pagamento baseado em profundidade mínima atingida, em cada trecho

2.1.Introdução

Este texto tem a finalidade de trazer à discussão uma nova metodologia de pagamento para os serviços de dragagem, que vem sendo adotada recentemente em contratos de dragagem de manutenção de médio a longo prazo, correspondendo a contratos de dois a cinco anos de duração. Esse procedimento consiste em autorizar os pagamentos para os serviços executados, quando a empresa de dragagem atingir uma profundidade mínima estabelecida em um determinado trecho, considerando ainda os parâmetros contratuais adotados no âmbito das especificações técnicas do projeto.

2.2. Equipamentos de dragagem

2.2.1. Draga de Sucção e Recalque, Draga Flutuante de Cortador, *Cutter* ou *CSD (Cutter Suction Dredge).*

A draga apresentada na Figura I-14 tem as seguintes características básicas:

· Dragagem estacionária, geralmente em águas abrigadas de rios e lagos;

· Pode ser desmontável ou monobloco;

· Possibilita realizar a dragagem, produzindo um fundo praticamente plano;

· Bomba o material dragado através de tubagem, para distâncias até 3000m, ou mais, se for complementada com estações de recalque (*Boosters*);

· Produções da ordem de 30 mil a 300 mil m³/mês.



Figura I-14 · Draga de Sucção e Recalque (CSD)

2.2.2. Escavadoras mecânicas (*Backhoe*) e transporte por batelões

As principais características da *Backhoe* carregando batelões, apresentada na Figura I-15, são:

· Dragagem mecânica de material *in natura* de lama com detritos, argila dura e rocha branda;

· Dragagem estacionária, geralmente em áreas abrigadas, restritas e próximas dos berços de atracação, bacias de evolução e enrocamentos de proteção;

· Carga em batelões lameiros, para transporte e descarga marítima, a qualquer distância da área de dragagem;

· Dragagem irregular na plano do fundo com variações na ordem de ± 0,50m;

· Produções da ordem de 20 mil a 200 mil m³/mês.



Figura I-15 · *Backhoe* (retroescavadora), despejando material dragado em batelão *splithull* (casco dividido).

2.2.3. Draga autotransportadora, *Hopper* ou TSHD (*Trailing Suction Hopper Dredge*)

Principais características da draga Hopper, apresentada na Figura I-16:

· Dragagem nos canais de acesso e bacias de evolução;

· Dragagem com a draga navegando, seja em mar abrigado ou aberto;

· Dragagem de areia ou argila de consistência mole a média;

· Bombagem para a sua cisterna e transporte marítimo, para posterior descarga pelo fundo, a qualquer distância da área de dragagem;

· Dragagem irregular no plano do fundo, com variações de ± 0,30m;

· De acordo com o seu porte, atinge produções de 50 mil a 500 mil m³/mês.



Figura I-16 · Draga *Hopper*

2.2.4. Rebocador tracionando lâmina regularizadora de fundo (*Plough*)

Este rebocador é o principal equipamento no acabamento das dragagens, propiciando a remoção de pontos rasos no fundo e a obtenção da cota mínima necessária, com baixo custo e elevada eficácia (Figura I-17).



Figura I-17 · Rebocador de 1500 HP tracionando *plough* de 10 m.

Principais características:

- · Opera em qualquer local, mesmo restritos, com grande versatilidade;
- · Alta eficácia em argila mole ou de média consistência, mas é limitado para remoção de material rijo ou duro;
- · Aplica-se em áreas dragadas em excesso, arrastando os *spots* baixos ainda não dragados para essas áreas mais profundas, por distâncias inferiores a 25 m.

2.3. Métodos de medição e controle de dragagem

2.3.1. Levantamentos hidrográficos

Através das sondagens batimétricas periódicas, podem ser determinadas as cotas do fundo antes e depois da dragagem (LHpré e LHpós), com posicionamento por satélite, com alta precisão (DGPS), conforme esquematizado na Figura I-18.

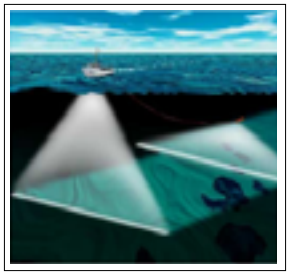


Figura I-18 · Lancha de sondagem multifeixe com posicionamento DGPS.

Através da comparação dos perfis batimétricos entre as sondagens batimétricas, inicial e final, é possível calcular-se o volume dragado por medição *in situ* de acordo com os parâmetros adotados para cada projeto, relativos a cota final, taludes, largura da soleira e tolerâncias horizontal e vertical.

2.3.2. Monitorização online

Através de diversos sensores instalados nas dragas é possível determinar-se instantaneamente os efeitos físicos ocorridos durante a dragagem e que servem de base para se medir a produção da draga.

Através da monitorização online, com base nas reações físicas captadas pelos sensores que atuam no equipamento de dragagem, é possível controlar-se a eficácia da dragagem (Figura I-19).



Figura I-19 · Monitorização online à distância, através dos sensores físicos na draga.

2.3.3. Combinação da sondagem + monitorização:

Através da combinação dos sistemas de sondagem batimétrica, que mede periodicamente a alteração do fundo dragado, com a monitorização online, que exibe instantaneamente as ocorrências físicas a bordo da draga, é possível obter-se a medição e o controle de todo o

processo de dragagem com razoável precisão, servindo a dois propósitos básicos:

· Controle da qualidade e da eficácia da produção;

· Fiscalização para cumprimento das regras contratuais estabelecidas no projeto técnico e no controle ambiental da dragagem.

2.4. Gestão da dragagem

A gestão eficaz de uma obra de dragagem, respeitando-se as cláusulas contratuais e as especificações técnicas e ambientais do projeto, depende dos seguintes fatores, representados esquematicamente na Figura I-20:

· Princípio Ativo, que é dispor-se de equipamentos adequados, disponíveis e próximos ao local de trabalho, com tripulação comprometida, capaz e competente para a operação das dragas;

· Monitorização Digital na Draga, que propicia a avaliação instantânea da precisão do serviço realizado, através da informação online;

· Sondagem Batimétrica periódica no fundo dragado, que propicia o controle e a medição dos serviços durante a dragagem.

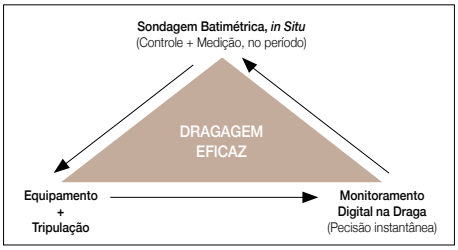


Figura I-20 · Controle circular para melhoria contínua de dragagem.

Com base nesses resultados, volta-se ao princípio ativo, sempre na busca da melhoria contínua do processo, a partir da operação da draga e, sequencialmente, da monitorização instantânea e online, a bordo, e da sondagem batimétrica *in situ*.

2.5. Fiscalização técnica e ambiental da dragagem

Para que se exerça uma correta fiscalização na dragagem, seja de ordem técnica ou ambiental, é imprescindível a utilização da monitorização online a bordo, que informa instantaneamente as ocorrências físicas no equipamento.

A sondagem batimétrica, ainda que seja realizada de tempos em tempos, também complementa esse controle ao informar as ocorrências físicas no fundo do mar, seja na área de dragagem ou na área de deposição.

Uma boa fiscalização, além de acompanhar o cronograma, as medições, a qualidade e a eficácia do serviço realizado, deve ter a preocupação primordial de evitar:

2.5.1. Descargas fracionadas pelo vertedor da cisterna (*Overflow*):

O vertedor da cisterna da draga (***overflow***), é um equipamento útil ao processo de dragagem, pois tem a finalidade de depurar a mistura transportada na cisterna, de forma a levar para a área de deposição, a maior concentração possível de material sólido. Entretanto, caso ocorram descargas pelo vertedor (*overflow*) da cisterna da draga (Figura I-21), seja pelo transbordamento contínuo, ou através do seu abaixamento fracionado, lançando-se para o mar misturas com concentração superior a 20% de material sólido, haverá importante prejuízo de ordem ambiental ou económica para o trabalho.

Esse mau procedimento provoca turbidez, eventual contaminação no meio ambiente e assoreamento forçado no fundo, fatores totalmente contrários às normas técnicas e ambientais da obra de dragagem.

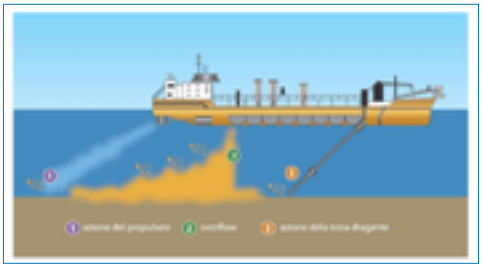


Figura I-21 · Turbidez 1. Propulsor; 2. *Overflow*; 3. Boca de dragagem

Apesar de existirem outros fatores nocivos à dragagem, atuando no fundo dragado, como os provocados pela propulsão da draga ou pela atuação da boca de dragagem, eles são de influência muito menor que os provocados pela má operação do vertedor da draga (*overflow*).

2.5.2. Descarga pelo fundo, fora da área de despejo:

A descarga pelo fundo da draga (Figura I-22), fora do despejo marítimo designado, é uma falha grosseira e que pode ser facilmente detectada pelo controle da monitorização online pela dragagem.



Figura I-22 · Descarga pelo fundo

2.5.3. Descarga lateral (*Overboard*), indevida:

A descarga lateral (*overboard*) pelo costado da draga, da água ou mistura pobre bombada pela draga é um procedimento correto, que tem o objetivo de evitar o lançamento de mistura muito pobre na cisterna (Figura I-23). Entretanto, se for mal utilizada, descarregando a mistura rica para fora do costado da draga, deve ser igualmente coibida pela fiscalização, por ser altamente prejudicial ao meio ambiente e aos termos económicos do contrato de dragagem.



Figura I-23 · Descarga lateral (Overboard).

2.5.4. Descarga da draga de sucção (*Cutter*), antes do depósito

No caso das dragas de sucção e recalque (*cutters*), que operam em dragagem de manutenção de rios e lagos (Figura I-24), a descarga da mistura bombada, deve ocorrer, apenas, no final da tubagem, seja terrestre ou flutuante. Para esse controle, basta que se obtenham, através das informações de monitorização online, as pressões de bombagem no percurso da tubagem, que podem facilmente detectar abertura ou vazamentos.



Figura I-24 · Draga de sucção e recalque, bombando por tubagens longas.

2.6. Dragagem com critério convencional de medição e pagamento

A medição de uma dragagem, conforme os critérios convencionais amplamente adotados, medem o volume dragado por diferença de perfis batimétricos entre duas sondagens, pré e pós dragagem. Normalmente são utilizadas medições mensais durante a obra, para remunerar o pagamento dos serviços à empresa de dragagem contratada. Esse método, pode vir a prejudicar a entidade portuária que, embora esteja a pagar regularmente o trabalho executado, mês a mês, só poderá exigir da empresa contratada o atingimento da cota mínima exigida, após a conclusão do trabalho. Por exemplo, num contrato de um ano de dragagem de manutenção, somente após os 12 meses é que o Porto poderá usufruir de um calado compatível com as suas necessidades operacionais, mesmo que já tenha pago, até o 11º mês, mais de 90% de todo o trabalho (Figura I-25). Nesse período do contrato, o Porto não terá possibilidade de garantir pleno acesso dos navios, de determinado calado necessário, conforme o modelo convencional adotado no contrato de dragagem.

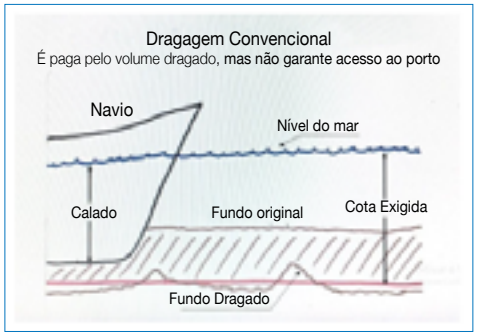


Figura I-25 · Dragagem convencional quase concluída, mas o acesso ainda é inviável.

2.7. Dragagem por resultado com critério de medição e pagamento

Para o sucesso da contratação da dragagem por resultado, com medição e pagamento à empresa de dragagem, somente após terem sido atingidas as cotas mínimas necessárias e exigidas pelo cliente Porto em determinado trecho, são necessárias algumas tratativas precedentes, para que ambas as partes não se prejudiquem e o objetivo principal, acesso dos navios ao porto, seja alcançado o mais rápido possível.

Assim é, por exemplo, para a dragagem de manutenção de um canal de acesso de 5 km, se a cota final a ser atingida for de -15.00 m, e a cota inicial for da ordem de -10.00 m, podem ser negociadas pelas partes, as medições e pagamentos condicionados aos valores correspondentes aos volumes a serem removidos no trecho de 5 km, para cotas intermediárias de -11m, -12m, -13m, -14m e -15m.

Dessa forma, a empresa de dragagem fará o seu planeamento com o objetivo de atingir prioritariamente as cotas mínimas intermediárias, em todo o canal, e não irá dragar aleatoriamente, para atingir a cota final apenas em alguns trechos, que poderia deixar outros inconclusos, para o final da obra.

Na dragagem de manutenção por resultado, o Porto terá ganhos de calados parciais, durante as fases da obra, conforme previamente acertado, compatíveis com os valores desembolsados.

Entretanto, a dragagem por resultado obriga a que o Porto conheça plenamente a área a ser dragada, especialmente com relação ao comportamento do assoreamento, seja em todo o trecho ou em locais específicos, de maior influência desse fenómeno natural, que ocorre em função das chuvas, estiagens e movimentos das correntes e marés.

Essas informações, devidamente estudadas, catalogadas e de conhecimento amplo e transparente das partes, são fundamentais para determinar-se a taxa de assoreamento naquele porto e a sua influência no custo da dragagem de manutenção.

Alguns clientes tem a preocupação adicional de exigir uma faixa de garantia mínima, de mais 0.50m, além da cota de dragagem, que funciona como uma prevenção para evitar que assoreamentos ocorridos com taxas superiores à capacidade de dragagem, não venham a afetar a cota mínima exigida, evitando assim o prejuízo do acesso marítimo ao Porto.

Essa faixa de garantia mínima, adicional e obrigatória à cota final exigida, não deve ser confundida com a tolerância vertical da dragagem, que depende da precisão da operação, mas não é de remoção obrigatória.

Assim sendo, se em um determinado Porto, o projeto da dragagem de manutenção, de acordo com as normas internacionais para um determinado calado do navio, exigir uma cota mínima de -15.00 m, mas a faixa de garantia mínima é 0.50m, fará com que essa cota mínima exigida passe a ser de -15.50m, acrescendo-se ainda, a tolerância vertical, cuja ocorrência depende da precisão da operação da draga, mas não é obrigatória.

A medição para pagamento da dragagem por resultado, pode ser prevista, de acordo com a cota mínima a ser atingida em determinado trecho, de duas formas:

2.7.1. Valor fixo

Valor fixo, em função do volume estimado a remover entre a cota inicial e a cota mínima exigida, em determinado trecho, acrescido dos riscos pela taxa de assoreamento que venha a ocorrer durante o contrato:

Nesse caso, o cliente Porto apenas se preocupa em calcular e pré estimar o volume a ser removido até à cota mínima exigida e obrigatória, na projeção da soleira do canal.

Os volumes decorrentes de escorregamento de talude, passam a ser de risco da empresa de dragagem, que, deve ter pleno conhecimento do tipo de material em cada trecho. Da mesma forma, passam a ser risco da empresa de dragagem, os volumes das tolerâncias horizontal e vertical, além da soleira e da cota exigida, pois são consequências exclusivas da precisão da operação de dragagem. O valor desses volumes deve ser diluído no valor previsto a receber.

Em alguns casos, o Porto pode considerar a participação da empresa de dragagem do risco da dragagem de manutenção por resultado, pagando o valor previsto através de uma taxa de dragagem com valor unitário compatível à Tonelada de Porte Bruto (TPB) dos navios

que adentram ao Porto. Dessa forma, a empresa de dragagem tem um maior interesse em manter, e até mesmo ampliar, a cota mínima exigida em todo trecho que é o principal atrativo aos armadores para acederem ao Porto.

2.7.2. Valor variável

Valor variável, correspondente ao Valor Fixo (secção 2.7.1), acrescido dos valores respectivos dos volumes da dragagem ocorrida nos taludes e nas tolerâncias horizontal e vertical, previamente acertadas nas especificações do contrato.

Nesse tipo de medição e pagamento, o cliente Porto, absorve o risco decorrente da dragagem efetivamente ocorrida nos taludes laterais, e nas tolerâncias, horizontal e vertical, conforme pré convencionados, deixando para a empresa de dragagem o risco decorrente da taxa de assoreamento.

É uma forma mais flexível do cliente Porto, atrair empresas de dragagem para obter custos menores dos serviços, sem perder a garantia mínima da cota exigida em cada trecho na projeção da soleira do canal. Na Figura I-26 apresenta-se o exemplo do Porto de Paranaguá, no Paraná, Brasil.



Figura I-26 · Caso prático, Porto de Paranaguá, Paraná, Brasil.

2.7.3. Exemplo ilustrativo

Apresenta-se um exemplo ilustrativo, considerando as seguintes condições: canal de 10km, cota mínima -10m, garantia mínima de 0.50m, tolerância vertical de 0.30cm.

Na Figura I-27, à esquerda da imagem, está configurada a alternativa de medição e paga-

mento citada na secção 2.7.1, na qual o Porto paga o valor correspondente ao volume previsto a dragar, caso seja atingida a cota de -10,00 m, mais a garantia mínima de 0.50m, conforme preço unitário de dragagem. Não são considerados, pelo Porto, os volumes dragados nos taludes laterais e nas tolerâncias, que são riscos da empresa de dragagem e, portanto, são automaticamente diluídos no preço unitário cobrado pela dragagem.

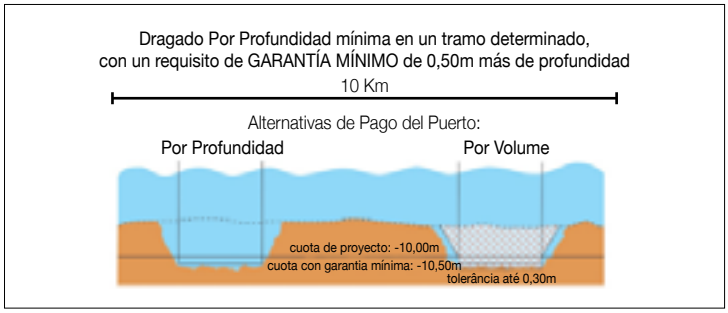


Figura I-27 · Dragagem por resultado: Alternativas de medição e pagamento.

Na Figura I-27, à direita, o Porto paga todo o volume dragado na projeção da soleira do canal até a cota mínima exigida, de -10.00m, mais a garantia mínima de 0.50 m, mais os volumes dragados nos seus taludes laterais e tolerâncias horizontal e vertical, pré-definidos em contrato, conforme preço unitário acertado.

É oportuno observar que o preço unitário do exemplo à esquerda da imagem, é maior que o preço unitário do exemplo à direita, visto que a empresa de dragagem tem um risco maior no primeiro caso.

2.8. Cálculo da cobrança do valor unitário por TPB dos navios

Considerando o pagamento da dragagem por resultado previsto na secção 2.7.1, com o valor remuneratório à empresa de dragagem na base unitária de Tonelada de Porte Bruto dos navios previstos para aceder ao Porto, em função da cota mínima necessária em todo o trecho considerado:

- Navios previstos para acesso ao Porto: 4 mil navios/ano;
- TPB médio de cada navio: 15 mil TPB/navio;
- Somatório: 60 milhões de t de TPB/ano;
- Volume de dragagem previsto por ano: 10 milhões de m³/ano.

(A empresa de dragagem deve considerar o volume na projeção da soleira do canal, até à cota mínima exigida, mais a garantia mínima - se houver, além dos volumes a serem dragados, compatíveis com a taxa anual de assoreamento e com os taludes e tolerâncias previstos para ocorrer).

· Custo total de dragagem previsto por ano: 60 milhões de USD/ano;

· Valor previsto para TARIFA:

60.000.000 USD/ano / 60.000.000 ton TPB/ ano = 1.00 USD / t de TPB por navio.

2.9. Problemas a serem superados na contratação da dragagem por resultado

· Taxa de assoreamento desconhecida ou mal avaliada;

· Projeto de dragagem com dimensões e cotas mínimas incompatíveis com as efetivas necessidades do porto;

· Alteração comercial/económica no fluxo de navios;

· Intercorrências por pandemia, guerras e fenómenos naturais;

· Instabilidade política no País;

· Falta de clareza ou transparência na contratação do serviço por ambas as partes.

2.10. Canal azul, cota mínima atingida no trecho designado

Um trecho de canal com a soleira totalmente dragada, para a cota mínima desejada, é tudo o que o Porto precisa para atrair navios e garantir a viabilidade da sua operação (Figura I-28).

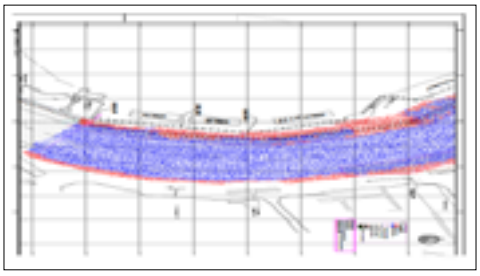


Figura I-28 · Na sondagem batimétrica, a cor azul representa a cota final mínima exigida.na soleira do canal.

Carlos Martins
Andomarc Miranda
José Delgado
MARTIFER

3. Construção de uma draga – C.011 m/v "JOSÉ DUARTE"

Este capítulo descreve a construção da Draga "José Duarte", pela Martifer, nos estaleiros navais WestSEA, em Viana do Castelo.

3.1. WestSEA

3.1.1. O estaleiro

Os estaleiros navais WestSEA (Figura I-29) são uma empresa de construção naval que está integrada no grupo Martifer. O grupo Martifer assumiu a subconcessão do espaço que teria até então pertencido aos Estaleiros Navais de Viana do Castelo (ENVC), com o objectivo de dar continuidade a toda a experiência e tecnologia aí existente. A perspectiva de novas oportunidades de projectos e desenvolvimentos tecnológicos no ramo da construção naval a nível nacional foi também um agente relevante no contínuo crescimento dos estaleiros até aos dias de hoje.



Figura I-29 · Representação do espaço dos estaleiros WestSEA (fonte: WestSEA)

Atualmente, a WestSEA conta com uma área total de 250,000 metros quadrados no espaço dos estaleiros em Viana do Castelo. O espaço representado na Figura I-29, destaca a vermelho a região do estaleiro, que está integrado na zona litoral do centro da cidade. Tem portanto uma posição estratégica no contexto nacional e europeu por se situar próximo de vários portos de relevo internacional, tais como Vigo, Porto e Lisboa. Este espaço é composto por diversas oficinas, armazéns, escritórios, cais, bacias de aprestamento e docas secas onde se dão os principais trabalhos. Estas docas permitem que sejam efectuados diversos trabalhos em navios até 190 metros de comprimento e 29 metros de boca.
O principal foco de atividade do estaleiro tem sido a construção, reparação e reconversão de navios. Com uma capacidade de elevação de 108 toneladas e capacidade de produção de 20,000 toneladas por ano, permite assim oferecer uma elevada eficiência produtiva nas principais tarefas de construção de um navio, em particular nas atividades de transformação do aço, no fabrico de encanamentos e na montagem de instalações mecânicas diversas. Sempre com foco no futuro e desenvolvimento sustentável da indústria naval, os estaleiros procuram os melhores métodos de expansão. De momento, encontra-se adjudicada a construção de uma terceira doca (representada a verde na Figura I-29) que permite o estaleiro envolver-se em empreendimentos maiores e mais ambiciosos. A nova doca permitirá acolher navios com 220 metros de comprimentos e 45 metros de boca e a sua conclusão foi prevista para 2024. A nova doca colocará os estaleiros numa posição mais competitiva no mercado de construção naval e permitirá abrir um maior leque de oportunidades ao estaleiro.

3.1.2. Cronologia

Os estaleiros WestSEA remontam a uma origem antiga, de onde procede o seu maior recurso: a experiência e a prática de implementação de soluções na área de construção naval. Em 1944 foram oficialmente fundados os ENVC por técnicos de construção naval associados a empresas de pesca de bacalhau da região. Com a sua criação, pretendia-se desenvolver a atividade piscatória nacional de forma a não existir nenhuma dependência de outrem.
A importância dos ENVC no contexto nacional e fruto do período que Portugal atravessava, levou à sua aquisição pelo Estado, em 1975. A transformação em sociedade anónima dos ENVC permitiu ao estado português manter-se como principal accionista até 2013, ano em que se deu a dissolução dos ENVC. Até esta data contavam-se com mais de 213 novas construções efectuadas e portanto já existia um forte e consolidado conhecimento da área.

O grupo Martifer assume então a subconcessão dos terrenos dos ENVC e gere a subconcessão através da criação da WestSEA, dando-se início a um novo período na história dos estaleiros. Em 2021, a WestSEA conta com um significante histórico de novas construções. O primeiro contrato de construção foi assinado em 2014 e o primeiro navio entregue em 2015. Desde então foram entregues mais 16 navios tendo existido um especial foco em navios militares, cruzeiros e polares. Estão ainda em fase de construção 4 novos navios que fortalecerão o portefólio da WestSEA.

3.1.3. Recursos humanos

A WestSEA conta com 320 colaboradores pertencentes aos quadros efectivos. Destes, 140 pertenciam aos extintos ENVC e 180 são novas contratações que vieram reforçar a empresa e contribuir para o seu crescimento. O estaleiro conta também com trabalhadores indirectos que temporariamente e conforme a necessidade reforçam a equipa de trabalho. A necessidade deste reforço é sazonal e dependente da carência de cada projecto, existindo em média cerca de 700 trabalhadores contratados indirectamente.

Um dos mais importantes recursos da WestSEA são exatamente as pessoas que, através de um sentimento partilhado de orgulho e pertença, contribuem para o desenvolvimento do estaleiro. O espírito de entreajuda e solidariedade intrínseco nos trabalhadores e colaboradores do estaleiro permitem que o grupo desenvolva competências e cresça acompanhado de um espirito crítico e construtivo, que permite a identificação de novas áreas a atuar. Uma dessas áreas, que surgiu como desafio ao estaleiro, foi a construção de um novo navio para efectuar trabalhos de dragagem, que o estaleiro aceitou com motivação e vontade de aprofundar uma nova matéria na construção naval.

3.2. Características típicas de uma draga

3.2.1. Dragagem

O processo de dragagem é o nome dado aos diferentes métodos e técnicas de escavação e realocação de depósitos do leito marítimo como areia, gravilha e sedimentos em geral. É frequentemente uma ferramenta importante na expansão de novas áreas costeiras através da criação de infraestruturas que melhor permitam acomodar áreas estratégicas de operação nas mais diversas atividades marítimas. Alguns exemplos deste tipo de infraestruturas são:

· Aprofundamento de portos e vias navegáveis interiores e costeiras;
· Colocação de areia em locais que sofrem erosão costeira;
· Remoção de contaminantes do leito marítimo.

O equipamento mais comum para exercer este processo são exatamente as dragas. As dragas são máquinas habitualmente flutuantes equipadas com sistemas de dragagem adequados à situação, à tipologia dos inertes, e ao local a que está destinada a atuar. Consequentemente, é importante identificar no início de uma nova construção de um navio draga, em que zona atuará e que tipos de sistemas estão disponíveis para executar o trabalho com a maior eficácia possível.

3.2.2. Tipos de navio draga

Diferentes tipos de draga têm sido desenvolvidas ao longo dos anos (IADC, 2022) que permitem responder a dificuldades pertinentes de profundidade e de tipo de depósitos. As diferentes soluções de dragagem permitem obter um melhor entendimento de como os diferentes obstáculos têm sido superados, como novos surgem e os efeitos que têm.
Um dos primeiros exemplos de navio draga que é possível determinar são os "*bucket dredger*". Este tipo de navio, representado na Figura I-30, usa uma corrente de "baldes" que escava os fundos e deposita os inertes a bordo. É um sistema considerado desactualizado de acordo com os padrões atuais da atividade e está a ser substituído faseadamente por outro tipo de sistemas, visto que não oferece muita flexibilidade na dragagem. Outra importante limitação deste tipo de dragas são os baixos níveis de produção, que não acompanharam a evolução em escala dos sistemas modernos.
Utilizando um sistema semelhante, existem também embarcações do tipo "*crane bucket dredger*". Estas embarcações são geralmente compostas por uma grua equipada com um balde de escavação e um porão para carregar inertes (ou acompanhadas de uma barcaça independente). Face aos "*bucket dredger*", estes sistemas permitem uma maior flexibilidade da posição a dragar, apesar do nível de extracção ser menor em geral. Estão limitadas em dragar alguns tipos de sedimentos mais finos que podem escapar do "balde", e são portanto mais comuns para inertes de tamanhos maiores.

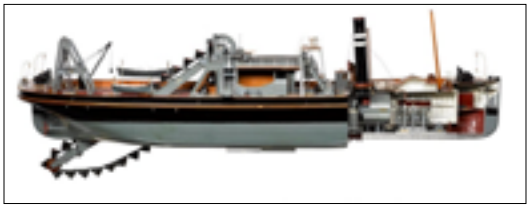


Figura I-30 · Modelo de um navio draga "*bucket dredger*" (fonte: National Museums Scotland).

Os sistemas descritos que fazem o uso de "baldes" têm caído em desuso em detrimento de embarcações que ofereçam maior flexibilidade na gestão do material dragado. Em geral, neste campo, têm sido favorecidos sistemas que utilizam aspiração para recolher inertes do leito marítimo. Equipamentos "*trailing suction*" permitem atingir profundidades mais consideráveis e aumentar a produção resultante da dragagem utilizando um espaço reduzido a bordo e cobrindo uma área de atividade mais considerável.

Dragas do tipo "*cutter suction*", representadas na Figura I-31, reúnem os dois tipos de equipamento, ou seja, permitem que se escave e que seja feita a sucção de inertes. As maiores limitações destes equipamentos são a dificuldade em manobrar enquanto trabalha e a sensibilidade da embarcação a mares agitados. No entanto, permitem ter níveis de produção mais elevados e são frequentemente utilizadas para projectos de grande escala e onde os fundos são de leito rochoso, mais duro.



Figura I-31 · *Cutter suction dredger* (fonte: Damen).

Outro tipo de dragas que permitem recolher material inerte são as dragas "*trailing suction hopper dredger*". Estas dragas estão equipadas com um sistema de bombagem

que remove o material do fundo marítimo através de aspiração e por norma são embarcações com porões próprios para armazenamento de inertes. Este tipo de navio draga é atualmente aquele que é considerado mais flexível, pois dependendo do tamanho da embarcação e dos acessórios de aspiração, pode ser adaptado e utilizado para diversos tipos de material rochoso e sedimentar. A aspiração pode ser também adaptada ao tipo de material, conferindo à draga níveis de produção altos para diferentes propriedades geológicas do fundo.

Qualquer que seja o equipamento usado para a remoção de inertes, existe sempre uma necessidade de pós-processamento da carga dragada. Esta exigência de processamento de material também pode ser adaptada à finalidade do material. Em casos de reconstrução da área costeira, são utilizados tubos que transportem o material e o depositem na costa. Noutros casos em que o projecto envolve simplesmente a realocação de inertes, o armazenamento a bordo da embarcação torna-se mais vantajoso. Os navios que utilizam porões para alocar material dragado são comumente referidos como "*hopper dredger*".

Um exemplo deste tipo de embarcações era a draga USAV Essayons, operada pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos. Construída em 1949, era na altura o maior navio draga e utilizava aspiração para recolher sobretudo material sedimentar do fundo de portos chegando mesmo a ser utilizada em projectos internacionais, como na dragagem do Canal do Suez. Após a aspiração, os aglomerados inertes eram depositados nos porões do navio. A particularidade deste navio eram exatamente estes porões de carga que foram desenhados com uma abertura no fundo do navio. Estas aberturas permitiam que a carga compartimentada fosse depositada noutro local onde não interferisse com os trabalhos de dragagem em curso. O facto de a carga ser acomodada nestes porões fazia também com que o navio pudesse navegar com o material dragado, não necessitando de nenhum auxílio na descarga.

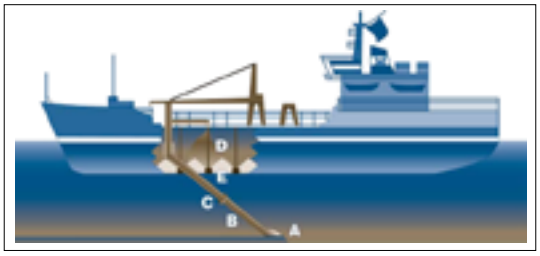


Figura I-32 · Modelo de um navio do tipo "*Hopper Dredge Essayon*" (Fonte: US Army Corps of Engineers)

As "*hopper dredger*" evoluíram desde então e o estado da indústria atual optou por uma solução que permitisse ao navio draga uma maior agilização no processo de recolha e transporte de inertes. A solução para este problema e como alternativa a navios com vários porões de descarga, são as "*split-hull hopper dredger*". Estas embarcações, como o nome indica, são desenhadas com um casco que é dividido pela linha de centro e só têm um porão de armazenamento de material, possibilitando assim uma maior quantidade de volume de carga. Podem ser equipadas com material de dragagem, que lhe conferem uma maior independência na operação, ou então utilizadas como navio de apoio aos trabalhos de dragagem com propulsão própria ou utilizando uma barcaça que seja deste tipo de casco. É de notar também a facilidade e rapidez que estas dragas oferecem na descarga de material e que portanto permitem altos níveis de produção e eficiência.

Os diferentes tipos de embarcações descritos possuem vantagens e limites. No momento de projecto básico de uma embarcação draga será indispensável pesar os prós e os contras de cada tipo e perceber que sistema será necessário ter a bordo.

3.3. Draga "José Duarte"

3.3.1. Arranjo geral

A draga "José Duarte" construída nos estaleiros da WestSEA, no ano de 2018, foi a primeira embarcação do género construída em Portugal. A draga de sucção de arrasto, ou "*Trailing Suction Split-Hull*", tem as seguintes características (Fig. I-33):

- comprimento fora-a-fora de 76.4 metros,
- comprimentos entre perpendiculares de 68.5 metros,
- boca máxima de 11.4 metros,
- capacidade do porão de 1045 metros cúbicos.

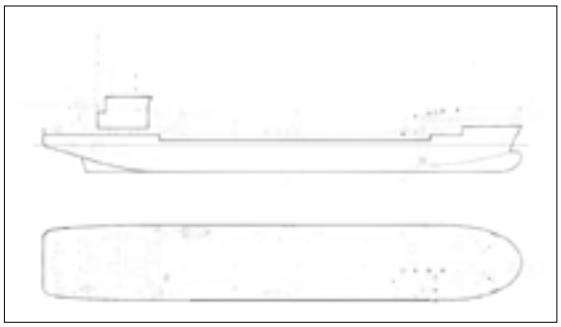


Figura I-33 · Arranjo geral da draga "José Duarte" (fonte: WestSEA).

Construída para a Dragus Int, Lda, a draga "José Duarte" representou um importante avanço para o operador português e para os estaleiros que puderam construir um navio personalizado e assim expandir o seu portefólio de novas construções e de soluções de engenharia disponíveis para oferta.

3.3.2. Particularidades

De forma a satisfazer as necessidades do armador, a draga "José Duarte" foi adaptada com alguns elementos que a fariam destacar-se perante a oferta. Uma destas singularidades seria o porão de carga "*split hopper*", representado na Figura I-34.

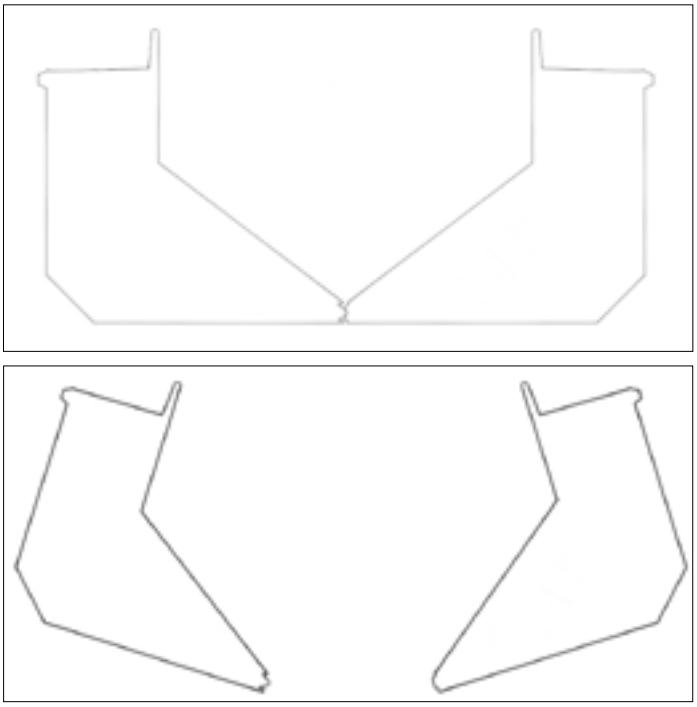


Figura I-34 · Desenho de projeto do porão de carga "*split hopper*" (fonte: WestSEA).

Como descrito na secção anterior, um porão de carga "*split hopper*" permite oferecer uma maior flexibilidade de gestão dos recursos dragados. Os ciclos de carregamento e descarregamento são minimizados sem comprometer a manobrabilidade e nível de produção do navio.

Neste tipo de navio, existem dois cascos: um a estibordo e outro a bombordo. A sua união

é feita no convés a meia-nau, através de significativas articulações como exemplificado na Figura I-35, que permitem que a secção do porão se abra e descarregue o material.
Para efectuar a operação de abertura e fecho do porão, são utilizados dois cilindros hidráulicos com 375 toneladas de força cada. Localizados a vante e a ré, respectivamente, estes dois cilindros compõem o sistema hidráulico que permite a abertura do porão através da rotação dos dois cascos sobre as articulações situadas no convés (Figura I-35).



Figura I-35 · Articulação de união dos dois cascos no convés do navio (fonte: WestSEA).

3.3.3. Dimensionamento estrutural

O cálculo e dimensionamento de toda a estrutura e casco tiveram que obedecer a um conjunto de regras específicas e pouco convencionais, dadas as particularidades dos mesmos (Figura I-36).

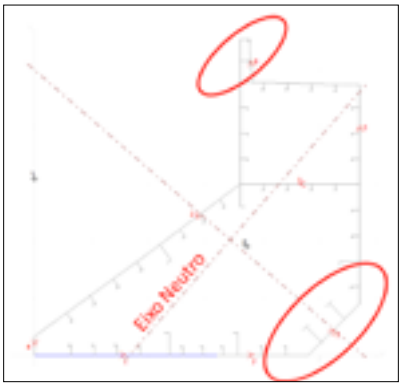


Figura I-36 · Orientação menos resistente do Módulo da Secção Mestra, a partir do qual foi realizado o dimensionamento estrutural. As zonas assinaladas são as zonas mais solicitadas (fonte: WestSEA).

Começando pela análise global da estrutura foi necessário fazer o dimensionamento da viga-navio. Para este estudo foram considerados duas estruturas independentes para cada meio-casco. Isto levou a que fosse usado um sistema de eixos não convencional, para que o sistema viga-navio resistisse a todas as forças submetidas. O módulo de secção foi determinado no eixo menos resistente, de modo a ser convenientemente dimensionado para as maiores solicitações de ondas e da distribuição do peso leve do navio (Figura I-36). Foram feitos então estudos mais aprofundados em elementos finitos que determinaram que seria necessário reforçar as estruturas da braçola e encolamento (Figura I-37).

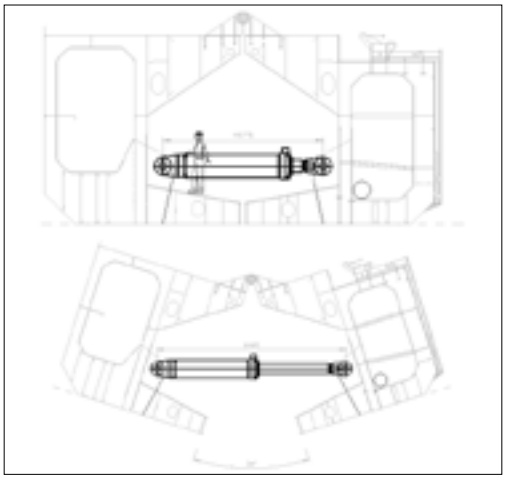


Figura I-37 · Plano de abertura do porão de carga (fonte: WestSEA).

A estrutura do navio foi dimensionada para um raio de operação que permitisse que o navio navegasse em alto mar com a estabilidade necessária e operasse com um nível de segurança adequado. O navio pode então navegar com 3.95 metros de calado "*Summer Draught*" para uma navegação internacional ("*Unrestricted Navigation*"). Quando se encontra a efectuar trabalhos de dragagem, o raio de operação é obviamente mais restrito. Neste caso, o navio poderá ter até 4.35 metros de calado e poderá efectuar a sua atividade de dragagem até 15 milhas da costa e até 20 milhas de um porto de abrigo ("*Dredging Navigation*"). Será também necessário respeitar as condições de mar que definem que o navio não pode dragar em altura de onda significativa superior a 2.5 metros.

3.3.4. Sistema de abertura dos cascos

Além do dimensionamento estrutural foi também necessário perceber como se comportariam todos os sistemas a bordo em relação à abertura do casco e como seria feito o arranjo de todos os espaços inerentes a um navio, como a casa-das-máquinas ou a superestrutura. O arranjo destes dois espaços encontra-se representado na Figura I-38. No caso da superestrutura em específico, a solução encontrada passou por suspender a sua estrutura sobre o convés e mantê-la apoiada sobre articulações que permitissem a abertura do casco.



Figura I-38 · Arranjo da superestrutura e da casa-das-máquinas (fonte: West-SEA).

Depois de corretamente dispor de todos estes espaços de maior relevância para o navio foi indispensável proceder à arrumação de todos os restantes aprestamentos. A análise de todas as possíveis colisões ou restrições ao movimento de abertura dos dois cascos levou a que fossem implementadas algumas soluções para as estruturas, encanamentos e rede eléctrica. Em geral, para estes últimos foram utilizadas ligações flexíveis que corressem sobre o convés, visto que seria onde se situava o eixo de rotação dos cascos. Para estruturas secundárias como é o caso de escadas, pavimentos e chaminés, foi necessário fazer alterações e dimensioná-las para que não colidissem. Ou seja, as estruturas não poderão estar solidamente fixas em dois dos grandes corpos do navio que se movimentam entre si (Super-Estrutura, ou Casco de Bombordo, ou Casco de Estibordo). Exemplos da aplicação destas soluções são visíveis na Figura I-39.



Figura I-39 · Aplicação de ligações flexíveis em encanamentos e exemplificação da liberdade de rotação conferida a pavimentos e escadas (fonte: WestSEA).

3.3.5. Sistema de dragagem

O sistema de dragagem por sucção foi projectado para trabalhos até 30 metros de profundidade com a possibilidade de incrementar a profundidade de dragagem até 40 metros, através da extensão do equipamento, como ilustrado na Figura I-40.

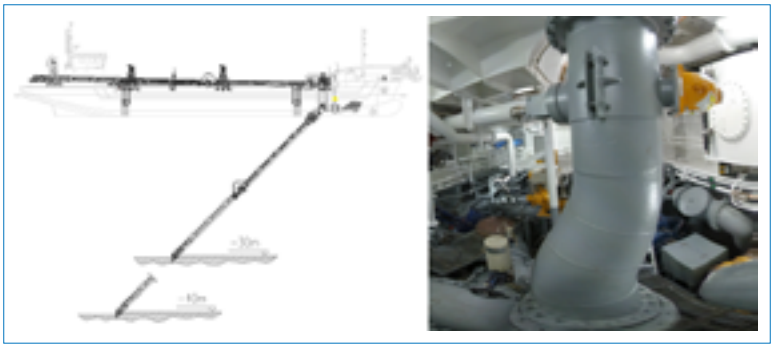


Figura I-40 · Sistema de dragagem e a amarelo o densímetro instalado na bomba (fonte: WestSEA).

Foi ainda instalado um sistema de determinação imediata da densidade do fluído a ser dragado, a jusante da bomba. Este sistema mede instantaneamente a densidade da mistura de inertes e água, através da medição do nível radiométrico, como ilustrado na Figura I-40. Esta informação é extremamente útil para o comandante do navio, pois assim aperceber-se-á de imediato se deve arriar ou elevar a cabeça do braço de dragagem de modo a que sejam aspirados convenientemente os sedimentos, ajustando gradualmente ao longo de todo o processo de dragagem.

O sistema de dragagem é móvel e permite posicionar o braço e cabeça de dragagem na posição de operação (em dragagem), ou estivá-la sobre o convés para navegação. A Figura I-41 expõe as duas configurações possíveis.

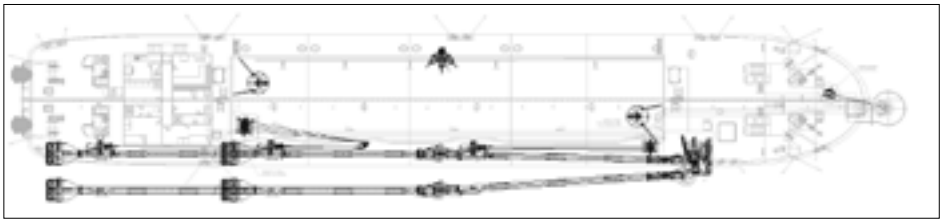


Figura I-41 · Posicionamento do braço e cabeça de dragagem (fonte: WestSEA).

A jusante da bomba de dragagem é possível aglomerar os inertes no porão através de um sistema de 4 válvulas, comandadas independentemente entre si, possibilitando um maior controlo do enchimento uniforme do porão pelo operador na Ponte de Comando (representadas a vermelho na Figura I-42).

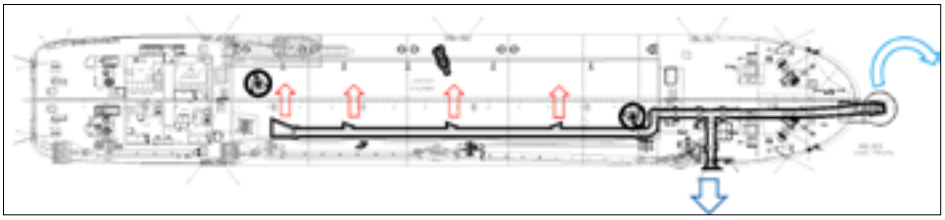


Figura I-42 · Encaminhamento dos inertes a jusante da bomba de dragagem (fonte: WestSEA).

É também possível projectar os inertes pela válvula "*rainbow*" (representada a azul-claro na Figura I-42) na proa do navio, para uma praia ou margem relativamente próxima ao navio. Finalmente, para a eventualidade de ser necessário encaminhar os inertes para distâncias superiores pode ser utilizado o acoplamento de um tubo (com flutuadores), sendo este acoplado a um ramal a Estibordo, representado a azul-escuro na Figura I-42.
O encaminhamento dos inertes aqui referido ("*rainbow*" ou através do tubo flutuante), pode ser proveniente directamente do processo de aspiração do braço de dragagem. Ou então os inertes podem ser provenientes do próprio porão do navio, que têm como destino locais com maior distância do local onde foi dragado.

O funcionamento das válvulas está exemplificado na Figura I-43, onde também é possível verificar o normal funcionamento a jusante da bomba de dragagem.



Figura I-43 · Válvulas de carregamento no porão (esquerda) (fonte: Sul Informação), e válvula *rainbow* (direita) (fonte: Universidade de Aveiro).

3.3.6. Remoção dos inertes

Conforme explicado, o sistema de libertação dos inertes aglomerados no porão para o fundo marinho, numa draga *Split Hopper,* é significativamente rápido. Este processo de abertura dos cascos com o recurso dos hidráulicos demora cerca de 1 minuto (Figura I-44).



Figura I-44 · Processo rápido de remoção dos inertes do porão, pela abertura do casco (fonte: Dragus).

Neste processo, é possível limpar todos os inertes do porão com a ajuda da água projectada pelas mesmas saídas sobre o porão (indicadas a vermelho na Figura I-42), impelida pela mesma bomba de dragagem que neste caso aspira água directamente do mar, através duma caixa de mar (indicada a azul na Figura I-45, devendo as restantes 4 aberturas no

porão se encontrarem fechadas).

Conforme já referido, além de ser possível encaminhar os inertes directamente aspirados do leito dragado para as proximidades (pelo "*rainbow*" ou tubo flutuante), é também possível encaminhar os inertes para uma eventual reconstrução da linha costeira, que se encontre a uma grande distância do local aspirado. Para tal, será necessário proceder inicialmente ao processo de dragagem e aglomeração dos inertes no próprio porão, para depois o navio navegar para o destino pretendido, e aí proceder ao desembarque dos inertes no porão. Esta operação de remoção dos inertes do porão é feita através de 4 aberturas ao colector colocado no fundo deste (Figura I-45), passando o material dragado novamente pela bomba de dragagem.

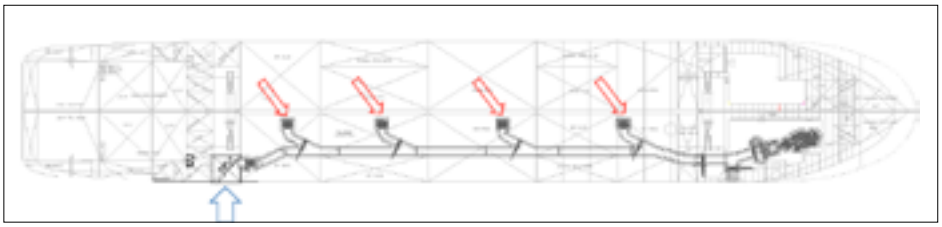


Figura I-45 · Aberturas nos porões para recolocação dos inertes (a vermelho), e caixa de mar (a azul). (Fonte: WestSEA).

Para tal, deverá ser necessário liquidificar os inertes que se encontram decantados no porão transformando numa solução líquida capaz de ser aspirado pela bomba de dragagem. Este processo de liquidificação é garantido através de várias projecções de água ao longo do porão (Figura I-46).

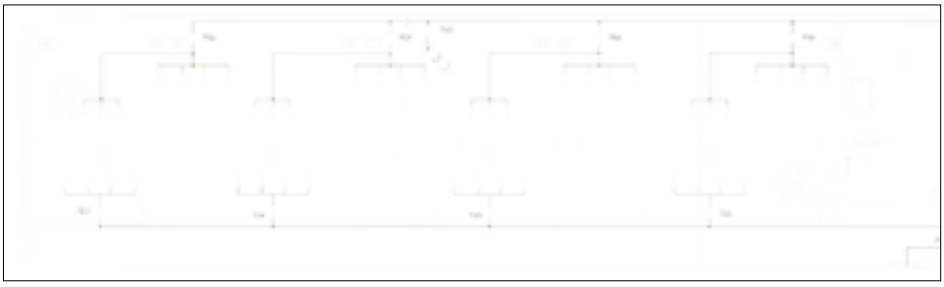


Figura I-46 · Várias projecções de água ao longo do porão, a diferentes cotas (fonte: WestSEA).

Para além disto, existe um potente jacto de água direccionável, comandado na Ponte de Comando, que permite ajudar neste processo de liquidificação, ou permite uma limpeza do porão num dado local em específico (Figura I-47).



Figura I-47 · Jato de água "*Jetwater*" (fonte: WestSEA).

3.3.7. Condicionamento da carga no porão

Outro sistema de controlo de carga no porão são as válvulas *overflow*. Estas válvulas, controladas desde da Ponte de Comando, permitem o controlo da água excedente que se situe sobre os sedimentos decantados, operando como esgoto directamente para o espaço envolvente (rio, estuário ou mar). Estas válvulas, além de fazerem o controlo do excesso de água, contribuem para incrementar a estabilidade do navio (Figura I-48).



Figura I-48 · Válvulas *Overflow*. (fonte: WestSEA)

3.3.8. Limitações Específicas

O navio draga "José Duarte" foi projectado para operar no território nacional e como tal seria condicionado para navegação no rio Douro, onde existem eclusas que restringem as dimensões dos navios que aí navegam (Figura I-49). Em específico para o rio Douro o comprimento está limitado a 87 metros e a boca a 11.4 metros. Também é necessário que os aprestamentos sejam rebatíveis visto que existe um limite de altura acima da linha de água de 8.5 metros (*Air Draught*), como ilustrado na Figura I-50. De calado máximo o navio não pudera exceder os 3.80 metros.



Figura I-49 · Eclusas do rio Douro. Localização do Estaleiro do Armador, em Várzea do Douro (fonte: (Douro APDL, 2022)



Figura I-50 · Perfil do navio com os equipamentos rebatidos e limite máximo de altura sobre a linha de água a tracejado (fonte: WestSEA)

3.4. Conclusão

Em conclusão o projecto e construção deste navio draga foram um desafio estimulante, que permitiu o desenvolvimento de novas competências técnicas para a WestSEA e para

os seus colaboradores. Tendo sido a primeira construção desta tipologia nos Estaleiros de Viana, e não existindo qualquer experiência mesmo entre colaboradores mais antigos, foi necessário adquirir e aprofundar novos conhecimentos com base na experiência de casos pontuais de outros projectos e verificando passo-a-passo a concordância da estrutura e do sistema.

Foi igualmente muito desafiante a gestão desta construção, de acordo com um planeamento sobrelotado que o estaleiro possuía nesse ano. Em simultâneo ocorria a entrega de 2 navios militares NPO (C.008 e C.009) para a Marinha de Guerra Portuguesa, a entrega de 1 porta flutuante para uma doca seca militar francesa (C.002), a entrega de 1 navio cruzeiro Inland (C.012) e o início da construção do primeiro navio expedição polar (C.010).

Este desafio permitiu entregar uma draga com um sistema de dragagem muito versátil, e satisfazer as necessidades do cliente a vários níveis. A navegação no rio Douro sem qualquer limitação é um dos pontos salientados pelo Armador. É um navio com dimensões intermédias que, pelas suas características muito específicas, destaca-se perante a concorrência nacional e internacional para trabalhos de média dimensão, muito frequentes na península Ibérica.

A WestSEA orgulha-se de ter concluído com sucesso este navio, que permitiu aumentar o portefólio de construções do estaleiro, e diferenciar-se pela qualidade e flexibilidade dos projectos envolvidos.

Maria Graça Neves
Presidente da delegação Portuguesa da PIANC
DHA-NPE, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal, gneves@lnec.pt

4. PIANC e trabalhos sobre dragagens

4.1. PIANC

4.1.1. O que é a PIANC

A PIANC, *the World Association for Waterborne Transport Infrastructure*, é uma associação internacional, apolítica e sem fins lucrativos que fornece orientação e consultoria técnica para infraestruturas de transporte marítimo e fluvial sustentáveis para portos, marinas e vias interiores.

A PIANC tem como objetivo promover as condições de exploração e segurança da navegação interior e marítima, encorajando o progresso em matéria de conceção, construção, gestão, manutenção e exploração das vias navegáveis, dos portos e das suas estruturas de proteção, tendo sempre presente os problemas ambientais. As instalações destinadas à pesca e às atividades de recreio náutico fazem igualmente parte do campo de ação da PIANC.

Reúne especialistas internacionais para desenvolvimentos técnicos, económicos e ambientais de ponta, tendo como missão manter a comunidade internacional conectada e apoiar Jovens Profissionais e Países Emergentes.

A PIANC é subvencionada pelos governos de 43 países, que agrega:

- delegados desses governos;
- membros individuais;
- membros coletivos (sociedades privadas, administrações portuárias, empresas, laboratórios, etc.).

Atualmente tem membros em 66 países, incluindo cerca de 500 membros coletivos (consultores, projetistas, empreiteiros, fabricantes, autoridades portuárias, etc.) e quase 1800 membros individuais.

Fundada em 1885, tem nas suas preocupações os desafios do século XXI, tais como o desenvolvimento sustentável, as mudanças climáticas, a necessidade de trabalhar com a

natureza e a digitalização.

Com as Comissões e Grupos de Trabalho da PIANC, bem como com vários Congressos globais, continua a expandir a sua rede de forma a ficar a par dos desenvolvimentos da indústria, educação e tecnologia de ponta.

4.1.2 Comissões e grupos de trabalho

A PIANC tem quatro Comissões Técnicas que coordenam as atividades técnicas e científicas dos Grupos de Trabalho que tratam de temas relevantes para a indústria e cobrem as diferentes áreas relacionadas com as infraestruturas de transporte marítimo e fluvial:

- *Incom - Inland Navigation Commission*
- *MarCom - Maritime Navigation Commission*
- *EnviCom - Environmental Commission*
- *RedCom - Recreational Navigation Commission*

Estas comissões supervisionam continuamente o trabalho realizado pelos especialistas nos respetivos Grupos de Trabalho (*Working Groups, WG*), em tópicos relevantes para a indústria. As Comissões e respetivos Grupos de Trabalho reúnem especialistas de todos os países membros. Os resultados da sua atividade, Relatórios Técnicos, fornecem orientação para a indústria de transporte marítimo internacional.

Além destas, foram ainda estabelecidas quatro Comissões não técnicas especificamente para o apoio a Jovens Profissionais e Países Emergentes (*YP-Com - Young Professional Commission e CoCom - International Co-Operation Commission*), bem como para lidar com Finanças e Marketing (*FinCom and ProCom*). Mais informação pode ser obtida em PIANC (2023a, Figura I-51a).

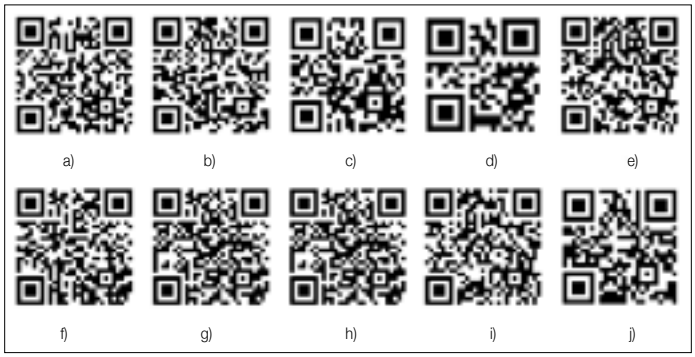


Figura I-51 · Acesso a páginas WEB.

4.1.3 Vantagens em ser membro da PIANC

A PIANC oferece aos membros a possibilidade de participação num fórum técnico-científico internacional e interdisciplinar, único no mundo, e o acesso gratuito:

· ao seu boletim periódico;

· a todas as suas publicações, entre as quais se contam os relatórios dos grupos de trabalho internacionais sobre matérias especializadas (PIANC, 2023b, Figura I-51b).

Assim, as principais vantagens em ser membro da PIANC são as que se apresentam resumidamente na Figura I-52.



Figura I-52 · Principais razões para fazer parte da PIANC (PIANC, 2023c, Figura I-51c).

4.2. PIANC Portugal

4.2.1 O que é a PIANC Portugal

A PIANC Portugal é a Secção Portuguesa da PIANC (PIANC, 2023d, Figura I-51d), que é formada pelo conjunto dos delegados governamentais, Delegação Portuguesa, dos membros individuais e dos membros coletivos de Portugal.

A composição atual da Delegação Portuguesa da PIANC foi definida no Despacho nº 7534/2020 do Gabinete do Senhor Secretário de Estado Adjunto e das Comunicações, a 13 de julho de 2020, publicado no Diário da República Nº 147 de 30-07-2020 (2ª série). É composta pela Presidente, Maria da Graça Neves, e nove vogais, António Jorge Oliveira de Sousa Antunes, Carlos Daniel Borges Coelho, Carlos Manuel da Costa Ventura Soares, Eduardo Manuel Romano Moutinho, Hugo Guedes Lopes, João Manuel Enes Garcia de Vargas, Luís Fernando Sequeira de Vasconcelos Dias, Maria Cristina dos Santos Cabaço

Afonso e Paula Freitas Menezes.
Atualmente a PIANC Portugal conta com 37 membros individuais e 20 membros coletivos.

4.2.2 Eventos organizados

A PIANC Portugal organiza anualmente diversos eventos de partilha de conhecimento, com a apresentação de trabalhos técnicos e científicos nas áreas ligadas à PIANC e com a participação ativa de todos os membros da PIANC Portugal, professores e investigadores, projetistas, donos de obra e de empresas de construção na área da engenharia costeira e portuária.
Durante 2021, a PIANC Portugal organizou dois webinars, um em maio, organizado pela YPCom e um em novembro, organizado pela Delegação Portuguesa da PIANC: "Engenharia Costeira e Portuária em Portugal e no Mundo: O testemunho dos jovens profissionais portugueses" foi o tema do primeiro webinar. Como se pode ler no site da PIANC Portugal, "Este foi o primeiro webinar organizado pela YPCOM e reuniu jovens profissionais portugueses a trabalhar em Portugal e no estrangeiro que apresentaram o trabalho que estão a desenvolver, focando-se na prática da engenharia marítimo-portuária nos países onde estão a trabalhar e nas diferenças com a atividade em Portugal." No total houve vinte apresentações de jovens profissionais portugueses a trabalhar em Portugal e em mais nove países diferentes. Este webinar está disponível no Youtube® (PIANC, 2023e, Figura I-51e).
"Engenharia Costeira e Portuária em Portugal – Grandes Obras em curso" foi o tema do segundo webinar. Neste webinar foram apresentadas quatro grandes obras em curso em Portugal, nomeadamente o Prolongamento do quebra-mar exterior do porto de Leixões, o Prolongamento do Molhe Leste do porto de Sines, a obra de proteção de emergência do Porto das Lajes das Flores e as principais obras de proteção costeira promovidas pela Agência Portuguesa do Ambiente, por um total de seis oradores que representaram os donos de obra e/ou projetistas. Este webinar está também disponível no Youtube® (PIANC, 2023f, Figura I-51f).
As 10ªs Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Figura I-53, decorreram a 7 e 8 de abril de 2022, evento organizado pela PIANC, que teve lugar em Sines. Estas Jornadas são hoje uma referência no meio técnico e científico da engenharia portuguesa, particularmente nos domínios da hidráulica marítima e da engenharia costeira e portuária. As primeiras Jornadas tiveram lugar em 1999, quando a Delegação Portuguesa da PIANC, reconhecendo que em Portugal não existia um grande encontro técnico nacional, periódico,

dedicado exclusivamente à apresentação de trabalhos técnico-científicos nas áreas ligadas à PIANC, decidiu organizar de 2 em 2 anos as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, abertas a todo o meio técnico nacional.



Figura I-53 · 10ªas Jornadas de Engenharia Costeira e Portuária (PIANC 2023g, Figura I-51g).

Os eventos organizados pela PIANC Portugal estão disponíveis em PIANC, 2023h (Figura I-51h).

4.3. Trabalhos da PIANC sobre dragagens

No âmbito da atividade das Comissões Técnicas da PIANC, ao longo das últimas décadas foram criados diversos Grupos de Trabalho que versaram sobre temas relacionados com as dragagens, publicando os respetivos relatórios.

O primeiro trabalho sobre dragagens foi publicado em 1977 e intitula-se "*Final report of the International Commission for the Study of Environmental Effects of Dredging and Disposal of Dredged Materials*".

No âmbito das diferentes comissões e grupos de trabalho foram publicados relatórios em temas relacionados diretamente com as dragagens. Nas Tabelas I-1 e I-2 apresenta-se a listagem das publicações efetuadas, incluindo a informação do ano, dos grupos de trabalho de cada comissão e do respetivo título.

Em Portugal houve a apresentação de trabalhos sobre dragagens no âmbito das Jornadas de Engenharia Costeira e Portuária. Nomeadamente, nas Jornadas que tiveram lugar no Porto, em 2011, houve a apresentação de 3 trabalhos sobre dragagens que podem ser consultados em PIANC, 2023i (Figura I-51i).

Tabela I-1 · Relatórios publicados no âmbito das Comissões InCom e MarCom em temas relacionados com as dragagens.

Ano	Nº do WG	Título
InCom		
1990	WG7	Management of dredged material from inland waterways
1996	WG 17	Handling and treatment of contaminated dredged material from ports and inland waterways Vol. 1
1996	WG 17	Handling and treatment of contaminated dredged material from ports and inland waterways Vol. 1
MarCom		
1984	WG 6	Classification of soils and rocks to be dredged
1986	WG 10	Disposal of dredged material at sea
1992	WG 19	Beneficial uses of dredged material – A practical guide
2000	WG 23	Site investigation requirements for dredging work
2013	WG 120	Water injection dredging
2014	WG 144	Classification of Soils and Rocks for the Maritime Dredging Process
2016	WG 144	Classification of Soils and Rocks for the Maritime Dredging Process
2017	WG 144	Classification for Soils and Rocks for the Maritime Dredging Process

Tabela I-2 · Relatórios publicados no âmbito da Comissão EnviCom e outras publicações em temas relacionados com as dragagens.

Ano	Nº do WG	Título
EnviCom		
1997	DMMG	Dredged material management guide
1999	WG 1	Management of aquatic disposal of dredged material
1999	DTF	Dredging: the facts – JOINT PIANC-IADC-CEDA-IAPH-WODA BROCHURE
2001	DTEF	Dredging: The environmental fact
2002	WG 5	Environmental Guidelines for Aquatic, Nearshore and Upland Confined Disposal Facilities for
2006	WG 8	Contaminated Dredged Material
2006	WG 10	Biological Assessment Guidance for Dredged Material
2009	WG 100	Environmental Risk Assessment of Dredging and Disposal Operations
2009	WG 104	Dredging, management practices for the environment – A structured selection approach
2009	WG 109	Dredged material as a resource – Options and Constraints
2010	WG 108	Long-term management of Confined Disposal Facilities for Dredged Material
2014	WG 124	Dredging and Port Construction around coral reefs
2003	WG 13	Dredging & Port Construction: Interactions with Features of Archaeological or Heritage Interest
Outras Publicações		Dredging of Marinas / Dragage de marinas
1977	DREDG	Final Report of the International Commission for the Study of Environmental Effects of Dredging and Disposal of Dredged Materials

À data deste documento, existem dois grupos de trabalho ativos na área das dragagens: MarCom WG 164 - *Upgrade of Port Terminals by increasing dredged depth* e EnviCom WG 227 - *A Guide for Assessing and Managing Environmental Restrictions on Dredging and Disposal Operations*.

Nota final: este artigo foi desenvolvido à data do 3º Curso de Dragagens, em outubro de 2021. Qualquer informação relativa à PIANC Portugal e/ou PIANC internacional, pode ser consultada, respetivamente, em PIANC 2023d e PIANC 2023j (Figura I-51d e Figura I-51j).

Alimentações artificiais e gestão costeira

CAPITULO II



Márcia Lima
Investigadora do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro
e Professora Auxiliar na Universidade Lusófona - Centro Universitário do Porto

Carlos Coelho
Professor Associado com Agregação no Departamento
de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

1. Gestão do Litoral: Projeto INCCA e Projeto COAST4US

1.1. Introdução

As zonas costeiras são intrinsecamente dinâmicas, sendo a sua evolução condicionada por fatores meteorológicos, oceanográficos, geológicos e antropogénicos. As praias arenosas ocupam mais de um 1/3 da linha de costa mundial, estando atualmente 1/4 em situação de erosão, sendo que 15% recua mais de 1 m/ano (Luijendijk *et al*., 2018). Esta tendência poderá ser agravada devido aos efeitos das alterações climáticas, nomeadamente a subida do nível do mar (Hinkel *et al.*, 2013) e as alterações na frequência e duração das tempestades (Lobeto *et al*., 2021). O desenvolvimento histórico e contínuo da zona costeira tem conduzido à redução da sua área, conduzindo à perda de valores paisagísticos, de praia recreativas e de habitats, e aumentando os riscos para as pessoas, ambientes construídos e infraestruturas, especialmente em zonas costeiras densamente povoadas e desenvolvidas. Esta situação tem gerado avultados prejuízos económicos e financeiros, em particular nas frentes urbanas, colocando em risco pessoas e bens. Por este motivo, é essencial o aprofundamento do estudo de estratégias de previsão, prevenção e mitigação do problema da erosão costeira, nomeadamente no que diz respeito à análise de intervenções de defesa costeira.

As intervenções de defesa costeira conduzem a custos de investimento e de manutenção elevados com tendências crescentes no tempo, o que leva por vezes à discussão entre intervir para defender, ou retirar a população das zonas de risco. Assim, é de extrema importância uma análise ponderada de alternativas na fase de planeamento e de projeto de uma intervenção de defesa costeira. Como agravante, verificasse que as estratégias de

mitigação dos problemas da erosão costeira são, muitas das vezes, essencialmente reativas, não tendo por isso em conta a otimização das soluções a implementar e a análise entre os custos e os benefícios de cada cenário de intervenção. 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 custobenefício.

Neste contexto, foi desenvolvida, em 2018, a ferramenta COAST, 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, entre outros. A COAST baseia-se numa metodologia sequencial e bem definida, suportada por modelos numéricos já integrados de uma forma única, facilitando a comparação do desempenho de diferentes cenários e podendo ser aplicada à generalidade dos territórios costeiros ameaçados pelo problema da erosão costeira, agravado pelo potencial impacto das alterações climáticas. Os projetos de investigação aplicada INCCA e COAST4US, foram pioneiros na aplicação desta ferramenta ao litoral português e são apresentados, respetivamente, nas secções 1.3. e 1.4. deste artigo, sucedendo à apresentação da ferramenta COAST, na secção 1.2.

1.2. Ferramenta COAST

Uma análise custo-benefício permite avaliar o impacto económico líquido de um projeto ao longo do tempo através da identificação e contabilização dos custos e benefícios. Para efetuar uma análise custo-benefício deve começar-se por identificar, quantificar e adicionar todos os fatores positivos (os benefícios), seguindo-se a identificação, quantificação e subtração de todos os fatores negativos (os custos) que advêm da realização de determinado projeto.

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, por Lima (2018), a ferramenta COAST, uma ferramenta de análise custo-benefício aplicada a intervenções de defesa costeira.

A ferramenta COAST - *Coastal Optimization ASsessement Tool* (Figura II-1) é composta por três módulos integrados: 1) módulo de evolução da linha de costa; 2) módulo de prédimen-

sionamento das intervenções de defesa costeira; 3) módulo de custo-benefício.



Figura II-1 · Ferramenta numérica COAST (Lima, 2018).

1.2.1. Módulo de evolução da linha de costa

O módulo de evolução da linha de costa da COAST tem integrado o modelo numérico LTC (Coelho, 2005). O LTC, *Long-Term Configuration*, é um modelo matemático que permite prever a evolução da posição da linha de costa a médio e longo prazo. Os modelos mais utilizados e simples para prever a evolução da posição da linha de costa são baseados na técnica de "uma linha", que assume que o perfil transversal se mantém constante, mas pode ser deslocado na direção perpendicular à linha de costa, como resultado dos fenómenos de erosão ou acreção.

O modelo LTC admite o estabelecimento de cenários naturais e antropogénicos, podendo ser utilizado como ferramenta para escolha de soluções de engenharia para mitigação do problema da erosão. O LTC foi concebido para aplicação a praias arenosas, onde o principal processo que controla a evolução da linha de costa é o transporte longitudinal de sedimentos. Este depende das condições de agitação marítima, do nível da água do mar, da existência de fontes/sumidouros de sedimentos, das características sedimentares e morfológicas da praia, das estruturas de defesa costeira existentes e das condições de fronteira da área de estudo.

O LTC diferencia-se dos restantes modelos de uma linha por permitir ajustar a topografia/batimetria em cada passo de cálculo. Assim, no modelo LTC procede-se ao ajuste do perfil ativo com as zonas adjacentes, pelo que, a variação da posição da linha de costa além de depender do balanço sedimentar, depende também da batimetria e topografia da zona de estudo (Figura II-2).

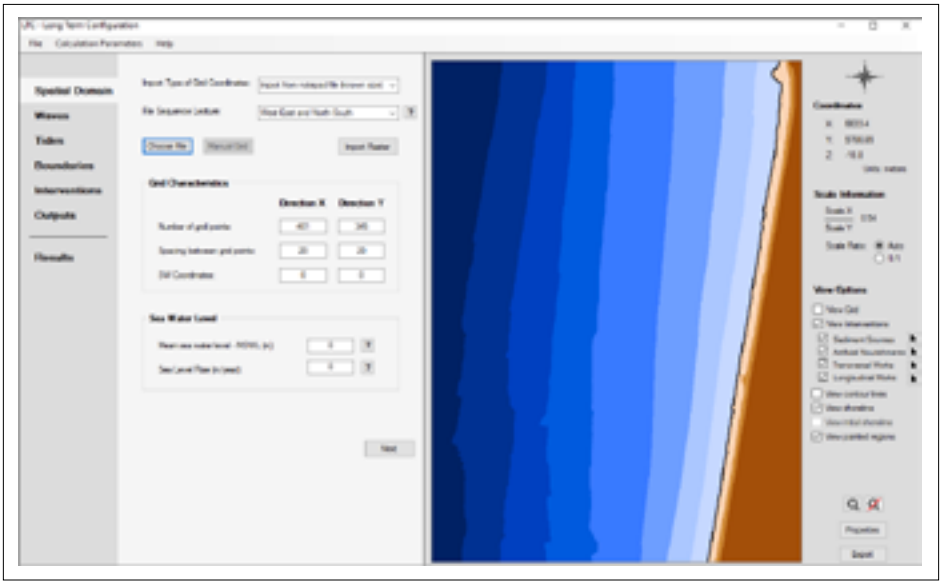


Figura II-2 · COAST: módulo de evolução da linha de costa (Lima, 2018).

1.2.2. Módulo de pré-dimensionamento

O módulo de pré-dimensionamento surgiu face à necessidade de otimização do dimensionamento da secção transversal de estruturas costeiras, uma vez que este se baseia em formulações essencialmente empíricas, onde o domínio da influência dos parâmetros envolvidos se torna essencial. Foi assim concebido o XD-COAST – *Xpress Design of Coastal Structures* (Lima, 2011), com o intuito de facilitar a comparação de várias soluções estruturais possíveis para a secção transversal das estruturas costeiras, permitindo, de forma rápida e expedita, tomadas de decisão sustentadas, e facilitando a compreensão da influência, nos resultados finais, dos diferentes parâmetros envolvidos nos cálculos. Os resultados do programa facilitam também a estimativa de custos da intervenção de defesa costeira, através da contabilização do volume de material envolvido em cada solução. Partindo das características definidas para a secção transversal foi desenvolvido um algoritmo de estimativa dos volumes da estrutura (cabeça + tronco). Com a aplicação deste módulo (Figura II-3), é possível a definição das dimensões da intervenção e a estimativa do volume de material envolvido, dados fundamentais para a estimativa dos custos da estrutura, na análise de custo-benefício.

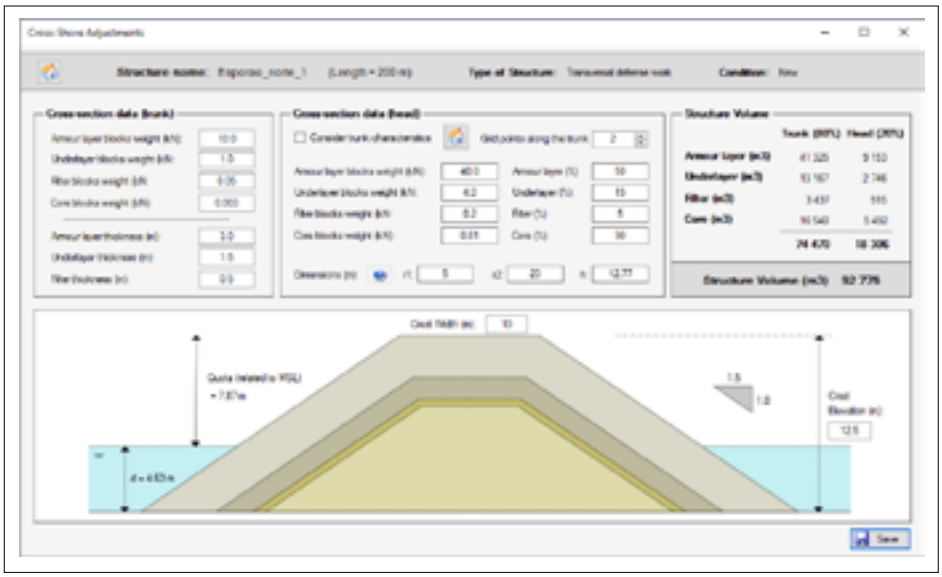


Figura II-3 · COAST: módulo de pré-dimensionamento (Lima, 2018).

1.2.3. Módulo de custo-benefício

Este último módulo utiliza os resultados da evolução da linha de costa (áreas de acreção e erosão, que permitem a estimativa dos benefícios) e do prédimensionamento da intervenção (quantificação do volume de material envolvido na implantação da solução, que permite a estimativa dos custos), considerando os valores monetários atribuídos pelo utilizador (tendo em conta, simultaneamente, fatores económicos, sociais, ambientais, culturais, etc.), permitindo estimar o valor atual líquido e o rácio benefício-custo inerente a cada solução.

Quantificados os custos e benefícios associados a cada solução, a COAST quantifica os parâmetros económicos das intervenções (VAL - valor atualizado líquido, RBC - rácio benefício/custo, *break-even* - tempo necessário até que seja atingido o equilíbrio de investimento, ou seja, ano a partir do qual a intervenção pode ser considerada economicamente vantajosa). Os resultados fornecidos pelo software (Figura II-4) permitem a comparação das diferentes soluções de intervenção, com base no seu desempenho físico e económico, fornecendo às entidades responsáveis pela gestão do litoral dados que permitam uma decisão fundamentada sobre os cenários de intervenção.

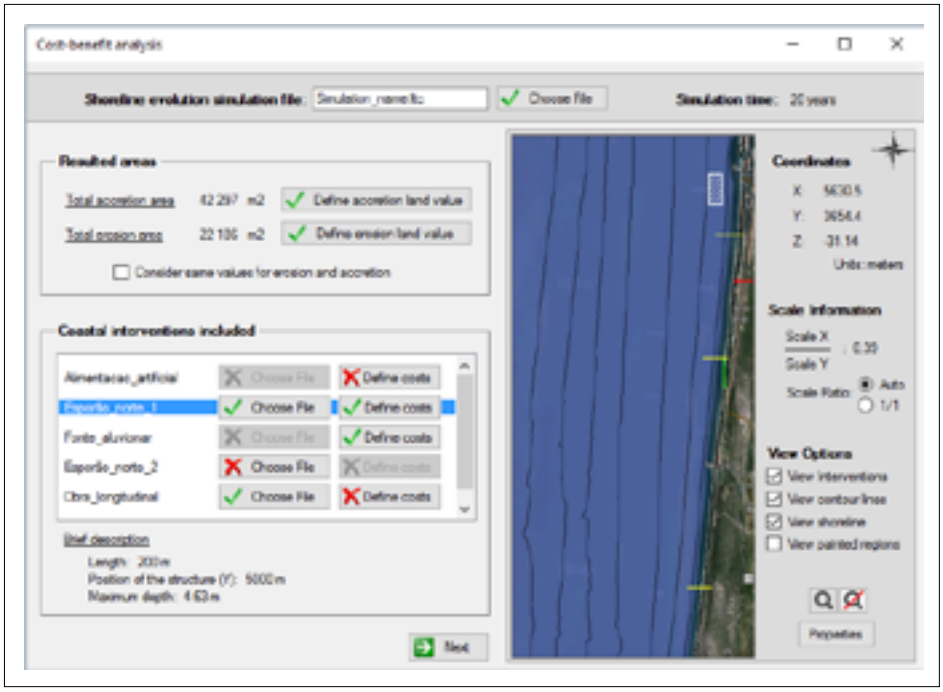


Figura II-4 · COAST: módulo de custo-benefício (Lima, 2018).

1.3. Projeto INCCA

Nesta secção é apresentado o projeto INCCA - Adaptação Integrada às Alterações Climáticas para Comunidades Resilientes (http://incca.web.ua.pt/), um projeto de 3 anos, promovido pela Universidade de Aveiro, em parceria com a Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, que teve início a 1 de fevereiro de 2020. A subsecção 1.3.1. apresenta o enquadramento e os objetivos do projeto. Na subsecção 1.3.2. é apresentada a metodologia e na subsecção 1.3.3. os principais resultados. A secção termina com as principais conclusões (subsecção 1.3.4.).

1.3.1. Enquadramento e objetivos

O Projeto INCCA promoveu uma abordagem de adaptação das zonas costeiras integradora de perspetivas de curto, médio e longo prazo, considerando as dimensões social, ambiental, económica e de engenharia, para ajudar os órgãos de decisão a conceber planos de ação para implementação de estratégias de adaptação às alterações climáticas sustentáveis e duradouras. Foi um projeto com uma forte componente participativa, que pre-

tendeu envolver as populações locais e stakeholders através da realização de workshops. O projeto visou reduzir a vulnerabilidade dos territórios costeiros e aumentar a resiliência das comunidades locais, seguindo, em linhas gerais, três objetivos: realizar uma análise custo-benefício de estratégias de intervenção para o litoral português em horizontes temporais de curto (2030), médio (2050) e longo-prazo (2100); avaliar os impactos socio-ambientais locais das opções de adaptação às alterações climáticas; e, com base nos dois objetivos anteriores, desenvolver um modelo participativo e económico para a implementação da adaptação às alterações climáticas.

O litoral do concelho de Ovar (Figura II-5) foi identificado como sendo uma das zonas de Portugal com maior vulnerabilidade e risco costeiro (Coelho *et al.*, 2015). Para além da sua riqueza ecológica, da elevada concentração populacional e da qualidade das praias, este território distingue-se pela forte fragilidade geológica, que aliada a uma agitação marítima de rumos muitos abertos e elevada energia resulta num dos processos erosivos mais intensos da orla costeira europeia. Por este motivo, o litoral de Ovar constituiu o caso de estudo do projeto INCCA, sendo que, foi neste concelho que foram realizados os momentos participativos. O projeto contemplou a realização de workshops participativos com o intuito de envolver os *stakeholders* nas diferentes fases do processo de construção da estratégia municipal, promover o debate e a discussão multidisciplinar e multissectorial, e, acima de tudo, contribuir para uma nova cultura de democracia participativa sobre o futuro da gestão costeira em Ovar.



Figura II-5 · Caso de estudo do projeto INCCA: município de Ovar (Cruz, 2015).

1.3.2. Metodologia

Para alcançar os objetivos propostos, o projeto INCCA propôs: (i) identificar e quantificar os custos (diretos e indiretos) sociais, ambientais e económicos de medidas de adaptação (e os caminhos de longo prazo originados pelas medidas); (ii) identificar e quantificar os benefícios sociais, ambientais e económicos potenciais (diretos e indiretos) das medidas de adaptação para o curto, médio e longo-prazo; (iii) desenvolver e utilizar modelos numéricos para visualizar a evolução da linha de costa no curto, médio e longo-prazo, e antecipar o comportamento das estruturas costeiras; (iv) prever os efeitos socio-ambientais das potenciais reações económicas a diferentes estratégias costeiras; (v) desenvolver um modelo integrado para avaliar e comparar o desempenho socio-ambiental e de custo-benefício de diferentes cenários de adaptação costeira para curto, médio e longo-prazo; (vi) conceber planos de ação de adaptação costeira a longo-prazo, através do desenvolvimento de um estudo-piloto.

No que diz respeito aos processos participativos, apesar dos esforços de vários países para envolver o público na gestão costeira, ainda existem várias barreiras a superar (Fitton *et al.*, 2021; Silver, 2021), relacionadas, principalmente, com a falta de envolvimento dos cidadãos no processo, o que é prejudicial para a conceção e implementação de estratégias de adaptação (McKinley *et al.*, 2021). Assim, o uso de ferramentas inovadoras e processos participativos na gestão costeira podem potencializar o sucesso do sistema e as estratégias resultantes (Areia *et al*., 2021). A abordagem utilizada no projeto INCCA, de "investigação participada" (designada de metodologia PAR - *Participatory Action Research*), pode ser aplicada a processos que englobam alterações climáticas (Amaru e Chhetri, 2013; Campos *et al.*, 2016) e, por extrapolação, a estratégias de gestão costeira.

A primeira metodologia participativa desenvolvida, testada e implementada no âmbito do projecto BASE (*Bottom-up climate Adaptation Strategies towards a sustainable Europe*, Ng *et al*., 2016), teve como objetivo fundamental priorizar e analisar, de forma participada, as diferentes opções de mitigação e adaptação à erosão costeira, usando quer análises multi-critério, quer uma tabela simplificada de análise custo-benefício. A segunda metodologia teve como principal objetivo construir uma visão comum para o futuro da linha de costa do concelho de Ovar, e construir um caminho de adaptação que permita atingir esse futuro.

Ambas as metodologias usadas no projeto INCCA pressupõem uma ativa e presente co-

laboração de um conjunto amplo de *stakeholders* com o conhecimento técnico, social, económico e ambiental, assim como outros agentes com interesse no território, tais como os negócios locais, as populações que usufruem deste território costeiro, entre outros. O envolvimento dos *stakeholders* fez-se essencialmente através da realização de 3 workshops participativos, quer em formato online, quer presencial.

Os eventos participativos tiveram um número variável de *stakeholders*, entre 15 e 22, totalizando cerca de 34 participantes diferentes, em representação de 20 entidades (Alves, 2021; Rato *et al*., 2021; Alves *et al*., 2022). O papel dos *stakeholders* passou pela análise dos dados fornecidos pelo projeto INCCA, contribuição com o seu conhecimento individual, compreensão das problemáticas e especificidades do litoral de Ovar e debate sobre as estratégias e medidas de mitigação e adaptação à erosão costeira e alterações climáticas. Os *stakeholders* foram ainda consultados nas várias etapas do processo para rever, comentar e validar quer os pressupostos, quer as conclusões obtidas.

1.3.3. Resultados

Os principais resultados do projeto são uma base de dados informativa das medidas de adaptação analisadas, custos, eficácia e benefícios, e um conjunto de medidas de adaptação adequadas para implementar ao longo da costa portuguesa, explicando as características socio-ambientais específicas, os custos de implementação e o potencial retorno económico.

O primeiro Workshop Participativo, subdividido em 3 momentos distintos, permitiu a priorização das metamedidas propostas pela equipa do projeto e a análise custo-benefício das 3 medidas definidas como prioritárias: preservação dos sistemas dunares, acomodação do edificiado urbanizado e implementação de quebramares destacados. Além disso, todas as metamedidas e consequentes medidas foram analisadas, comentadas e validadas pelos *stakeholders*, conduzindo à publicação do Manual de Medidas de Mitigação e Adaptação à Erosão Costeira e às Alterações Climáticas (Lima *et al.*, 2021a, 2021b e 2021c), composto por 3 bases de dados distintas:

· A Base de Dados #1 visa apresentar a compilação e caracterização das 53 medidas de mitigação e adaptação da erosão costeira em costas sedimentares, identificadas

no âmbito do projeto INCCA.

· A caracterização dos impactos de implementação das medidas está patente na Base de Dados #2, que tem por objetivo a descrição do impacto e a sua caracterização métrica com valores (ou intervalos de valores). A listagem de impactos está dividida em impactos positivos e negativos que caracterizam a medida, ao nível ambiental, económico e social, totalizando, à data, um total de 160 impactos (24 ambientais positivos, 27 ambientais negativos, 22 económicos positivos, 28 económicos negativos, 25 sociais positivos e 34 sociais negativos).

· A Base de Dados #3 visa apresentar toda a informação recolhida relativamente a custos diretos que caracterizam as medidas de mitigação e adaptação à erosão costeira e alterações climáticas identificadas na Base de Dados #1, nomeadamente, custos de implementação, custos de manutenção e custos de operação.

O segundo Workshop Participativo realizou-se em torno das narrativas dos cenários para a costa de Ovar em 2100. Foram criados 4 grupos de trabalho e as opiniões dos diferentes *stakeholders* foram diversificadas. A maioria dos grupos manifestou preferência pela integração de diferentes cenários, sendo que nenhum dos grupos optou por uma das narrativas de forma isolada. As narrativas podem ser consultadas na íntegra em Coelho *et al*. (2023).
Com base nas prioridades identificadas pelos *stakeholders* relativamente à gestão costeira da região, foi elaborada uma lista de 10 objetivos para o Plano de Adaptação de Ovar, sendo que, desta lista, os *stakeholders* foram convidados a adicionar novos elementos e a priorizar. As ideias partilhadas pelos quatro grupos de trabalho revelam que se consegue atingir uma visão comum para o litoral do concelho de Ovar.
Com base na discussão gerada no âmbito dos diferentes momentos participativos foi definida pelos *stakeholders*, no terceiro momento participativo, uma visão comum para o litoral do concelho de Ovar, baseada nas medidas relacionadas com obras de proteção costeira, alimentações artificiais de areias, relocalização de pessoas e bens e o reforço dos cordões dunares, mas também com recurso a instrumentos fiscais e à educação e sensibilização das populações (Figura II-6).

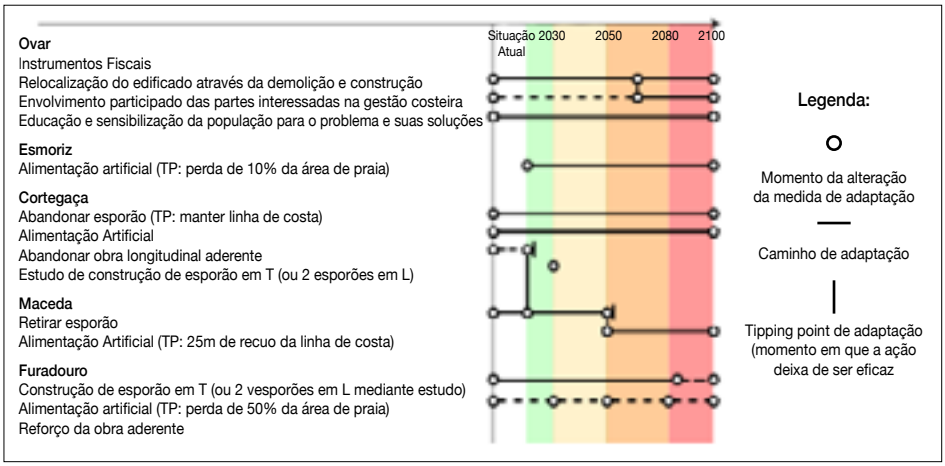


Figura II-6 · Caminho de adaptação costeira (curto-2030, médio-2050 e longo prazo-2100), para o litoral de Ovar.

Entre as medidas sugeridas pelos diferentes grupos, existem algumas que, devido ao seu caráter mais abrangente ou sistémico, podem ser aplicadas na região de Ovar como um todo, e não apenas em localidades específicas. É o caso do envolvimento participativo das partes interessadas na gestão costeira através de uma governança articulada e coerente, bem como das medidas de educação e sensibilização da população perante a problemática da erosão costeira e das suas possíveis soluções. Adicionalmente, foi sugerida a aplicação imediata e contínua de instrumentos fiscais como forma de desencorajar o uso de habitações na zona de risco de inundação em todas as zonas urbanas da região. Esta medida visa preparar as localidades para a relocalização deste edificado a começar entre os anos de 2050 e 2080, progredindo até se completar.

No caso específico de Esmoriz, ficou decidido que não deveria ser cedida área de praia ao avanço do mar. Assim, a medida de alimentação artificial da praia está prevista com começo provável em 2030, altura em que se espera que o ponto de viragem de perda de 10% da área de praia seja atingido, e continuando indefinidamente de forma a manter o areal.

O plano final para Cortegaça sugere o abandono do esporão, levando ao seu desaparecimento gradual, enquanto se monitoriza a linha de costa. Caso a mesma sofra alterações significativas como resultado do abandono do esporão, o mesmo pode ser recuperado. A alimentação artificial da praia é também prevista nesta localidade com início imediato e caráter contínuo. Ficou ainda projetado o abandono da obra longitudinal aderente do parque de campismo, salientando que esta medida deve ser levada a cabo só após averiguar o

impacte da remoção do esporão localizado no limite Sul de Cortegaça, a fim de controlar possíveis efeitos negativos na evolução da posição da linha de costa. Adicionalmente, foi sugerida a execução de um estudo para averiguar o interesse na construção de esporões em "T/L" no local.

Em Maceda, a decisão de retirar o esporão (localizado a Sul de Cortegaça) foi unânime, sendo que esta medida deverá ser aplicada no presente e ser eficaz até 2050. Chegando a este ponto, caso se tenha atingido o ponto de viragem de recuo de 25m da linha de costa, será necessário proceder à alimentação artificial da praia de forma a não ultrapassar este valor.

Finalmente, no Furadouro, ficou decidido que seria necessário proceder à construção imediata de um esporão em "T" ou de dois esporões em "L", mediante os resultados de um estudo comparativo das alternativas, de forma a proteger a frente urbana. Caso se verifique que estas medidas não são suficientes para prevenir os galgamentos que prejudicam a localidade, poder-se-á recorrer ao reforço das obras aderentes através de uma subida do coroamento das mesmas. Quando às praias do Furadouro especificamente, ficou decidido que a perda de mais de 50% da sua área seria inaceitável, sendo então necessário proceder à alimentação artificial com areia, pontualmente, de forma a manter o areal disponível.

1.3.4. Conclusões

Foram realizados 3 workshops participativos, iniciados com um leque abrangente de medidas de mitigação e adaptação à erosão costeira e às alterações climáticas, que convergiram, num último momento, para uma visão comum e partilhada pelos diferentes intervenientes, traduzida no caminho de adaptação que representa uma combinação de diferentes medidas que contribuem para a definição da estratégia de gestão costeira no Concelho de Ovar. Todo o trabalho foi complementado com simulações dos cenários do caminho de adaptação recorrendo à ferramenta COAST.

Em conclusão, o Projeto INCCA serviu para explorar e demonstrar a importância da inovação na temática da gestão costeira, para adaptação às condições em mudança. As maiores noções a reter desta aprendizagem para uso futuro são (Coelho *et al.*, 2023):

· Informação: É necessário expandir e tornar acessíveis as bases de dados referentes a datas de eventos de galgamento/inundação e respetivos danos, bem como dados referentes a implementação e manutenção de obras de proteção. Estes dados

históricos e presentes são cruciais para as comunidades pública, técnica e científica, no debate acerca do plano de adaptação mais viável para cada local.

· Participação: O envolvimento de grupos diversos de *stakeholders* nos processos participativos e de tomada de decisão é fundamental para a delineação do plano com a maior aceitação e benefício coletivo. Integrando membros de academia, administração local, instituições, Organizações Não Governamentais (ONGs), e cidadãos interessados, é possível fundir conhecimento científico e empírico, conciliar tradição com desenvolvimento, obter uma visão multidisciplinar do sistema, e alcançar soluções equitativas.

· Intervenção: A deliberação sobre as medidas mais relevantes a adotar deve ser ponderada, tendo sempre em mente o potencial para a complementaridade de soluções. Durante os momentos participativos, os *stakeholders* manifestaram o interesse em proteger as zonas urbanizadas e manter o valor socioeconómico das praias de Ovar através da aplicação combinada de alimentação artificial e reconfiguração de obras existentes.

· Projeção: É necessário continuar a investir no conhecimento local, nomeadamente no que toca ao potencial social e económico das praias e zonas urbanas, mas também do valor dos ecossistemas costeiros da região. Adicionalmente, os custos de intervenções devem ser definidos de forma a permitir efetuar análises custo-benefício com rigor e representatividade real, adequada à especificidade de cada local.

· Monitorização: Reforça-se a ideia da necessidade de acompanhar o progresso da execução e eficácia das medidas adotadas de forma contínua e tendo em conta todos os efeitos que possam resultar da sua realização, ou afetar o respetivo funcionamento. Observando os padrões de erosão costeira e a velocidade da subida do nível do mar, o desempenho tanto das obras fixas como das ações de alimentação artificial tem de ser estudado ano a ano, fazendo ajustes e, se necessário, adotando diferentes caminhos de adaptação.

1.4. Projeto COAST4US

Nesta secção é apresentado o projeto COAST4US - Aplicação da ferramenta COAST ao litoral português (https://coast4us.pt/), um projeto de 2 anos, promovido pela R5 Consulting Engineers, em parceria com a R5 Marine Solutions e a Universidade de Aveiro, financiado pelo EEA Grants, ao abrigo do Programa Crescimento Azul, operado pela DGPM - Direção-

Geral de Política do Mar, que teve início a 1 de janeiro de 2021. A apresentação do projeto está subdividida em 4 partes: enquadramento e objetivos (1.4.1.), metodologia (1.4.2.), principais resultados (1.4.3.) e principais conclusões (1.4.4.).

1.4.1. Enquadramento e objetivos

As zonas costeiras caracterizam-se pela sua riqueza económica e ambiental, proporcionando acesso a vários serviços únicos. A sua importância para a sociedade implica que qualquer alteração no ecossistema pode resultar num impacto relevante em termos socioeconómicos. A fixação da população neste setor aliada aos efeitos das mudanças climáticas torna imprescindível o estudo de estratégias para prever, prevenir e mitigar este fenómeno. A costa oeste de Portugal é um desses casos onde a erosão costeira se agravou ao longo dos anos, tornando-se imprescindível a criação de estratégias de mitigação. A proteção das áreas costeiras é crucial para as partes interessadas e entidades governamentais. No entanto, com recursos finitos disponíveis, a capacidade de priorizar quais áreas proteger e avaliar as medidas mais rentáveis é essencial na gestão costeira.

Neste sentido, surgiu o projeto COAST4US, com o objetivo de minimizar este problema, contribuindo para a mitigação da problemática da erosão costeira em Portugal e estabelecendo a COAST (ferramenta de análise de custo-benefício de intervenções costeiras) como ferramenta de referência nacional, através da sua aplicação a três zonas de elevado risco costeiro na costa oeste portuguesa. O projeto COAST4US pretendeu contribuir para a viabilização da aplicação desta ferramenta em situações reais, contribuindo para uma mitigação mais eficiente do fenómeno de erosão costeira, e dotando as entidades responsáveis pela gestão das zonas costeiras de mais e melhor informação aquando da tomada de decisão. Assim, o projeto propôs a aplicação da ferramenta COAST a três trechos de elevado risco à erosão costeira no litoral oeste português, escolhidos em consonância com a Agência Portuguesa do Ambiente (Figura II-7): São Jacinto - Gafanha da Boa Hora (Municípios de Aveiro, Ílhavo e Vagos); Cabo Mondego - Praia da Cova Gala (Município da Figueira da Foz); Cova do Vapor - Cornélia (Município de Almada).

Este projeto pretendeu validar a ferramenta COAST para uso comercial, bem como fornecer uma visão de uma panóplia de cenários possíveis para as áreas de estudo incluídas. Estes cenários são definidos seguindo uma abordagem participativa, ou seja, discutidos com os *stakeholders* locais e nacionais (Agência Portuguesa do Ambiente, Câmaras Municipais locais, etc.) e permitem dotar as entidades responsáveis pela gestão do litoral de informação

concreta, baseada em análises de custo-benefício que conduzem a tomadas de decisão fundamentadas.

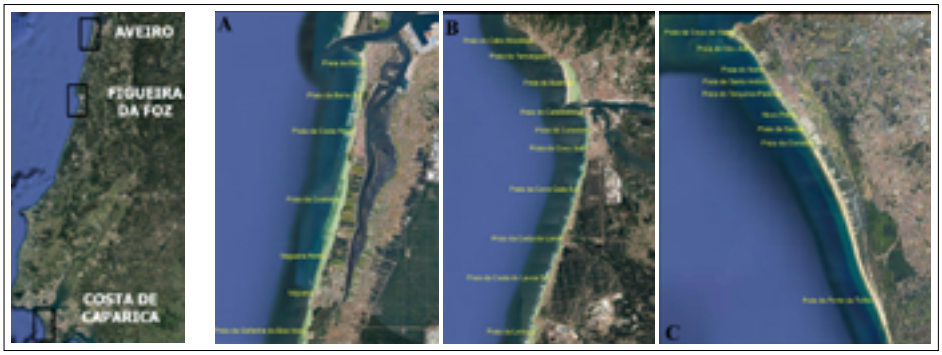


Figura II-7 · Casos de estudo do projeto COAST4US: A - Aveiro; B - Figueira da Foz; C - Costa de Caparica). Fonte: Google Earth®.

1.4.2. Metodologia

A execução do projeto COAST4US foi conseguida através da realização de 9 tarefas encadeadas de acordo com a Figura II-8. As tarefas 1 e 9, respetivamente, gestão e disseminação do projeto, são transversais às 3 zonas de estudo e acompanharam o projeto desde o seu início até à respetiva conclusão. As tarefas 2 (caracterização física da área de estudo), 5 (definição de possíveis cenários de intervenção) e 6 (modelação dos cenários de intervenção) são relativas à caracterização física dos 3 locais de estudo e modelação de possíveis cenários de intervenção, a par das estratégias nacionais/municipais de planeamento do litoral. Estas atividades pretenderam testar e discutir o desempenho técnico de cenários alternativos de intervenção nos 3 trechos de estudo, através da projeção da evolução da linha de costa e consequente aplicação da ferramenta COAST. Posteriormente, as tarefas 3 (caracterização socioeconómica da área de estudo), 4 (custos das intervenções de defesa costeira) e 7 (viabilidade económica das intervenções) focaram-se na avaliação de custos e benefícios das intervenções preconizadas, bem como na sua viabilidade. Nestas tarefas procedeu-se à recolha e tratamento de informação socioeconómica para aferir os benefícios que determinadas soluções trarão aos locais de estudo, bem como a orçamentação dos custos da própria intervenção. A tarefa 8, estratégia de gestão do litoral oeste português, é uma tarefa conclusiva, que teve por objetivo reunir todos os pressupostos e resultados das tarefas anteriores, por forma a aferir a viabilidade de soluções de intervenção costeira em cada um dos trechos estudados. Ao longo da realização das

diferentes tarefas do projeto, a aquisição de informação essencial à execução do projeto foi particularmente relevante, proveniente das entidades gestoras do litoral, *stakeholders* envolvidos e população em geral.

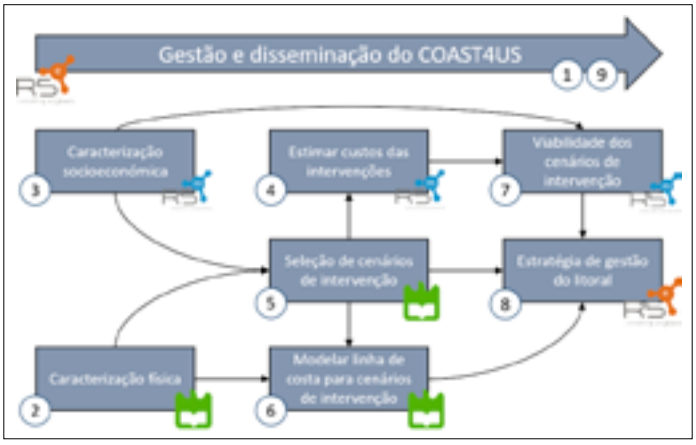


Figura II-8 · Metodologia aplicada no projeto COAST4US.

1.4.3. Resultados

A viabilidade dos cenários de intervenção analisados, objetivo do projeto COAST4US, compreendeu a realização de análises custo-benefício a cada um dos cenários de intervenção aplicando a ferramenta COAST, antecedida do cálculo das áreas ganhas e perdidas ao longo do tempo (e respetivo balanço físico ao fim dos 20 anos), fundamentais para a estimativa de benefícios em cada cenário.

Como uma análise custo-benefício pressupõe a comparação do cenário de intervenção para mitigação da erosão costeira com um cenário de referência, relativamente ao qual se obtêm indicadores que permitem avaliar se a solução é economicamente mais rentável, a ferramenta COAST permite a análise do balanço económico do cenário de referência, bem como a análise custo-benefício de cada um dos cenários de intervenção. Assim, a análise custo-benefício de cada uma das soluções, compreendeu duas fases:

· 1ª fase: obtenção do balanço físico e económico para o cenário de não serem realizadas quaisquer intervenções de mitigação da erosão costeira no horizonte temporal em análise (20 anos), para além da manutenção das obras existentes (cenário de referência).

· 2ª fase: obtenção da evolução dos indicadores económicos (valor atualizado líquido, que resulta do balanço acumulado entre os benefícios e os custos atuais - se positivo significa que a intervenção é economicamente viável) e (rácio benefício-custo, que resulta da relação entre o somatório dos valores atuais de benefícios e o somatório dos valores atuais de custos - intervenção é rentável se superior a 1) de cada cenário de intervenção, por projeção da evolução de todos os custos e benefícios ao longo do tempo, dos cenários propostos.

O balanço económico de cada um dos 3 cenários de referência (cada um dos quais definido seguindo o mesmo critério para cada um dos 3 troços em análise) e a análise custo-benefício dos 59 cenários de intervenção analisados (sendo 21 cenários no trecho de Aveiro, 16 cenários no trecho da Figueira da Foz e 22 cenários para a Costa de Caparica) consideraram os valores de custos e benefícios atualizados considerando uma taxa de desconto de 3%.

1.4.3.1 Aveiro

Para o trecho de Aveiro (São Jacinto - Gafanha da Boa Hora) foram propostos 21 cenários que englobam a construção de novas estruturas (esporões e obras longitudinais aderentes), o prolongamento e/ou remoção de estruturas existentes (esporões), alimentação artificial e cenários que combinam os diferentes tipos de intervenção anteriores.

Analisando o cenário de referência, que corresponde à manutenção das obras existentes ao longo do troço, sem qualquer tipo de intervenção adicional ao longo dos 20 anos de simulação, verifica-se que, se nada for feito, em 2040 terão sido perdidos cerca de 84 hectares de território, a que corresponde uma perda económica de aproximadamente 170 milhões de euros.

Dos 21 cenários de intervenção propostos, verifica-se que 90% dos cenários apresentam um balanço físico positivo e 38% dos cenários de intervenção são viáveis do ponto de vista económico. A Figura II-9 destaca os 8 cenários que apresentaram simultaneamente um balanço físico e económico positivo, verificando-se que o cenário mais vantajoso do ponto de vista económico corresponde à alimentação inicial de 2.4 milhões de m³ de areia, com reforços de 300 mil m³ anuais (entre o 4º e o 20º ano).

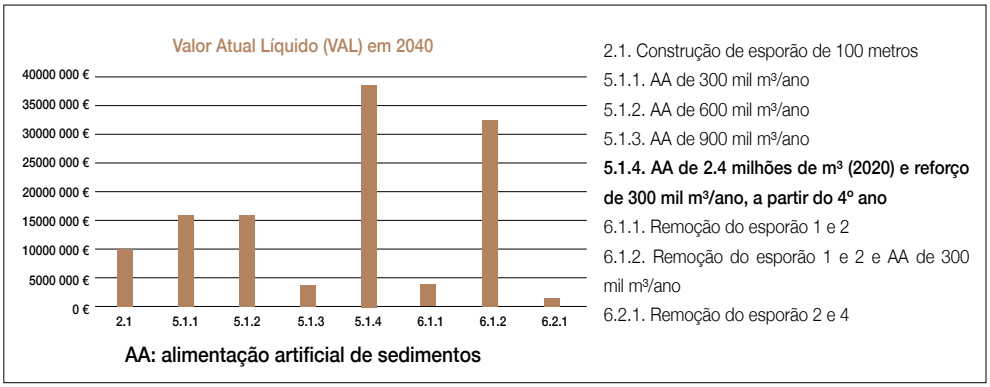


Figura II-9 · Cenários física e economicamente viáveis no trecho de Aveiro.

1.4.3.2. Figueira da Foz

Para o trecho da Figueira da Foz (Cabo Mondego - Leirosa) foram propostos 16 cenários que englobam a construção de novas estruturas (esporões, obras longitudinais aderentes e sistemas de *bypass*), o prolongamento e/ou remoção de estruturas existentes (obras longitudinais aderentes), alimentação artificial e dragagem de sedimentos e cenários que combinam os diferentes tipos de intervenção anteriores.

A análise do cenário de referência (manutenção das obras existentes ao longo do troço, sem qualquer tipo de intervenção adicional ao longo dos 20 anos de simulação) permite verificar que, se nada for feito, em 2040 terão sido perdidos cerca de 35 hectares de território a que correspondem aproximadamente 150 milhões de euros.

Dos 16 cenários de intervenção propostos, verifica-se que 81% dos cenários são viáveis do

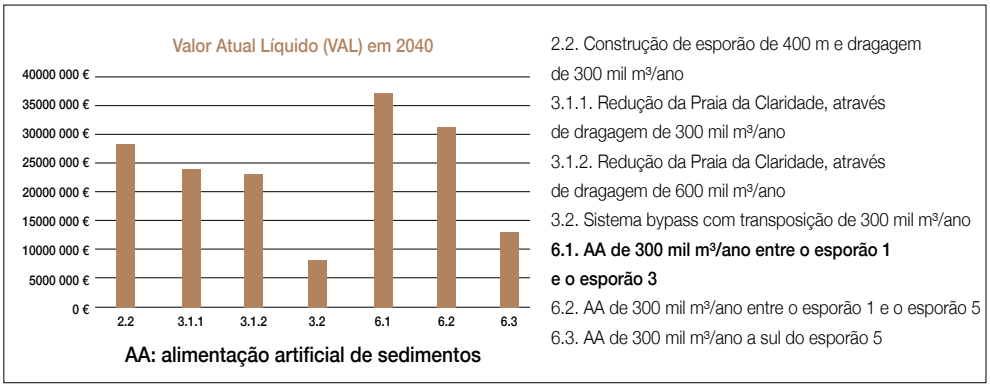


Figura II-10 · Cenários física e economicamente viáveis no trecho de Figueira da Foz.

ponto de vista físico e 44% dos cenários de intervenção são compensatórios do ponto de vista económico. A Figura II-10 destaca os 7 cenários que apresentaram simultaneamente um balanço físico e económico positivo, verificando-se que o cenário mais vantajoso do ponto de vista económico corresponde à alimentação artificial de 300 mil m³/ano de sedimentos depositados entre o esporão 1 e o esporão 3, na Cova Gala.

1.4.3.1. Costa de Caparica

No trecho da Costa de Caparica (Cova do Vapor - Fonte da Telha) foram propostos e analisados 22 cenários que englobam a remoção e/ou prolongamento de estruturas existentes (esporões e obras longitudinais aderentes), alimentação artificial de sedimentos e cenários que combinam os diferentes tipos de intervenção anteriores.

Analisando o cenário de referência (que corresponde, à semelhança dos trechos anteriores, à manutenção das obras existentes ao longo do troço, sem qualquer tipo de intervenção adicional ao longo dos 20 anos de simulação), verifica-se que, se nada for feito, em 2040 terão sido perdidos cerca de 21 hectares de território a que corresponde uma perda económica de aproximadamente 170 milhões de euros.

Dos 22 cenários de intervenção propostos, verifica-se que 95% dos cenários apresentam um balanço físico positivo e apenas 36% dos cenários de intervenção são viáveis do ponto de vista económico. A Figura II-11 destaca os 8 cenários que apresentaram simultaneamente um balanço físico e económico positivo, verificando-se que o cenário mais vantajoso do ponto de vista económico corresponde à alimentação artificial de 1 milhão de m³ anuais depositados no campo de esporões da Costa de Caparica (do EC7 até 500 m a sul do EC1).

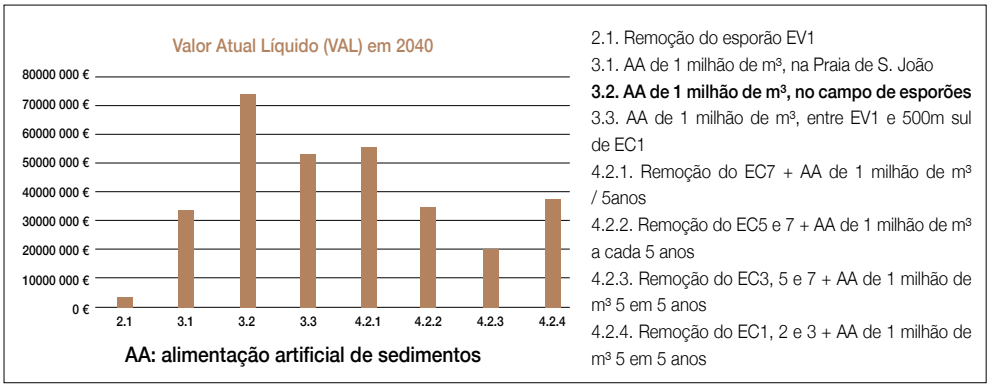


Figura II-11 · Cenários física e economicamente viáveis no trecho de Costa de Caparica.

1.4.4. Conclusões

A gestão costeira baseada em análises custo-benefício, foco do projeto COAST4US, afigura-se como uma componente indispensável para a definição das prioridades de intervenção na faixa costeira, pelos organismos do Estado que a tutela, possibilitando uma maior sustentabilidade técnica e económica na tomada de decisão. A mudança de paradigma para um planeamento das zonas costeiras baseado em políticas pró-ativas é imperativa e conduz a uma gestão cada vez mais eficaz do litoral. O projeto COAST4US assentou neste propósito, beneficiando o país e os cidadãos, com a apresentação de uma estratégia de gestão do litoral oeste português, baseada nos resultados da aplicação da ferramenta COAST, num horizonte temporal de 20 anos.

Os resultados do projeto COAST4US reforçam a importância da aplicação da ferramenta COAST a estas três zonas de estudo em Portugal (Aveiro, Figueira da Foz e Costa de Caparica), permitindo concluir que:

· Se não for efetuada qualquer intervenção, nos próximos 20 anos, irão ser perdidos cerca de 140 hectares de território nacional, a que corresponde uma perda monetária na ordem dos 500 milhões €, de acordo com os pressupostos de simulação assumidos para as 3 zonas de estudo analisadas. Para reverter a situação erosiva verificada nos cenários de referência, foram propostos cerca de 60 cenários de intervenção escolhidos em consonância com a Agência Portuguesa do Ambiente e com as câmaras municipais locais.

· Dos cerca de 60 cenários estudados no total das três zonas de estudo, em mais de 80% compensa intervir do ponto de vista físico, ou seja, é possível reverter alguma 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, quer implementada de forma isolada, quer combinada com outras intervenções (remoção de esporões, por exemplo) foi o tipo de intervenção que apresentou melhores resultados físicos e económicos para os 3

trechos em análise, permitindo concluir que é inequívoco que o futuro deve passar por ações ao nível das causas da erosão costeira, apostando na reposição do balanço sedimentar (resultados que reforçam a estratégia nacional que tem vindo a ser adotada pela Agência Portuguesa do Ambiente de aposta nas alimentações artificiais em detrimento de obras pesadas).

· Os resultados obtidos mostram a importância do desenvolvimento do projeto COAST4US e reforçam a importância da realização de análises custo-benefício e da COAST como ferramenta de auxílio à gestão costeira em Portugal.

1.5. Considerações finais

As zonas costeiras enfrentam graves problemas de erosão, com uma tendência crescente de agravamento face ao contínuo défice sedimentar, crescente pressão urbana e previsível agravamento das alterações climáticas. Para fazer face a este problema é imperativo planear, com medidas cada vez mais proativas, em detrimento das políticas reativas a que tantas vezes se assistiu no passado, tornando por isso essencial a realização de análises custo-benefício às diferentes medidas de mitigação da erosão costeira.

Esta mudança de paradigma de aplicação de análises custo-benefício a intervenções de defesa costeira permite adotar políticas de gestão preventiva, de planeamento sustentável a longo prazo. O desenvolvimento da ferramenta COAST e a sua aplicação no âmbito dos projetos INCCA e COAST4US representam um marco importante na estratégia de gestão das zonas costeiras em Portugal. Os resultados de ambos os projetos mostraram que é imperativo aplicar-se este caminho de planeamento e otimização das intervenções de defesa costeira no litoral português, passando-se da teoria à prática, discutindo todos os prós e contras que esse passo implica, com os decisores locais e administração central. Para isso, é fundamental que os decisores tenham em sua posse dados que sustentem e fundamentem as suas decisões, daí a importância da aplicação da ferramenta COAST.

O projeto INCCA demonstrou como, através de métodos participativos, foi possível envolver diversos atores de diferentes setores, nos processos fundamentais de definição de estratégias de gestão costeira e tomada de decisão. O uso de metodologias participativas no projeto INCCA foi tanto um meio como um fim em si mesmo, contribuindo para uma cultura de democracia participativa, essencial para a co-criação de soluções para um futuro de consenso. O processo participativo permitiu a apresentação de uma proposta consensual de caminho de adaptação e pontos de viragem para o futuro do litoral de Ovar, cor-

respondendo a uma visão comum, partilhada pelos diferentes intervenientes. A proposta combinou diferentes medidas e o caminho de adaptação que resultou das discussões e reflexões promovidas nos workshops foi devidamente modelado numericamente e quantificado economicamente, servindo de base à proposta do Plano de Adaptação e Mitigação à Erosão Costeira do Concelho de Ovar apresentado.

Por outro lado, com os resultados do projeto COAST4US, para as três zonas de estudo identificadas, foi iniciada a criação de uma plataforma de gestão sustentada nos resultados da ferramenta COAST, que permitirá uma definição estratégica nacional de economia do mar, fornecendo aos órgãos de gestão nacional (neste caso particular à Agência Portuguesa do Ambiente) dados para uma gestão preventiva e eficaz da erosão costeira em Portugal.

Como notas finais, realçar que dada a escassez de recursos públicos, a gestão dos mesmos deve ser extremamente rigorosa e visar soluções sustentáveis de proteção costeira e, por isso, as entidades responsáveis pela implementação das políticas de gestão costeira deverão considerar os resultados de análises custo-benefício que suportem as suas tomadas de decisão. Realçar tambem que, apesar de todas as incertezas e custos inerentes a todo o processo de análise, a análise custo-benefício e a aplicação da ferramenta COAST apresentam-se como uma mais-valia importante no auxílio à gestão costeira.

Celso Aleixo Pinto
Coordenador do Núcleo de Monitorização Costeira e Risco.
Agência Portuguesa do Ambiente

2. Alimentação artificial de praias e gestão sedimentar em Portugal continental: passado, presente e futuro

2.1. Introdução

2.1.1. Definição e enquadramento das alimentações artificiais de praias

A alimentação artificial de praias consiste na deposição de grandes quantidades de areia de boa qualidade na berma da praia emersa (Figura II-12) e/ou no cordão dunar adjacente, promovendo o seu alargamento no sentido do mar e o seu robustecimento volumétrico e altimétrico (Dean, 2002). Os sedimentos podem igualmente ser depositados no domínio imerso do perfil da praia (i.e. *nearshore*, Figura II-12b), favorecendo a dissipação da energia das ondas (Huisman *et al.*, 2019), expectando-se que a areia se difunda naturalmente no sistema costeiro através dos processos de transporte sedimentar transversais e longitudinais (Huisman *et al.*, 2019; Pinto *et al.*, 2022). A introdução de sedimentos no sistema praia-duna (i.e. dentro do perfil ativo da praia) através das alimentações artificiais favorece a reposição parcial ou total do balanço sedimentar litoral num determinado local ou ao nível da célula costeira (Pinto *et al.*, 2020).



Figura II-12 · Alimentação artificial com deposição na praia: (a) emersa - Costa de Caparica (Almada) em 2019; (b) imersa - Costa Nova (Ílhavo) em 2020.

A alimentação artificial de praias é uma técnica de proteção/defesa costeira e de regeneração de praias considerada ambientalmente aceitável. É utilizada em situações de emergên-

cia, como solução local e de curto prazo (i.e. mitigação de erosão induzida por temporais), ou como estratégia de gestão à escala regional e de longo prazo (i.e. mitigação de tendência erosiva instalada e vulnerabilidade à subida do nível médio do mar), de acordo com de Schipper *et al.*, 2021; Pinto *et al.*, 2020; Stive *et al.*, 2013; Hamm *et al.*, 2002).

Para além de providenciar proteção a parcelas valiosas do território do ponto vista ambiental e estratégico, a alimentação artificial de praias permite ainda preservar o estado natural da praia, potenciando as suas capacidades recreativas e balneares.

Em termos gerais, a alimentação artificial de praias providencia maior proteção contra os fenómenos de galgamento oceânico (e eventual inundação) e minimização dos efeitos erosivos causados por temporais sobre a linha de costa e danos a estruturas ali construídas (Hamm *et al.*, 2002; Gravens *et al.*, 2006). Vários trabalhos têm mostrado que as vantagens são particularmente evidentes quando avaliado o nível de danos potencial, caso não existisse a concretização deste tipo de intervenção (CUR, 1987; Dean, 2002; Gravens *et al.*, 2006; Bird & Lewis, 2015).

Uma das vantagens das alimentações de praia prende-se com o facto de estas terem um efeito de proteção "imediato" (Martins & Veloso-Gomes, 2011), permitindo rapidamente recriar a morfologia do sistema praia-duna e/ou barra submarina (pela deposição nos fundos proximais), ao contrário das estruturas de defesa costeira ditas "pesadas", cujos efeitos levam algum tempo a ser sentidos (por exemplo o efeito de acumulação pelos esporões a barlamar).

A alimentação de praias tem sido também utlizada em diversas zonas costeiras do mundo para aumentar o potencial recreativo e balnear das praias e para proteger as infraestruturas terrestres relacionadas com a indústria do turismo e com o desenvolvimento comercial, residencial e industrial (USAID, 2009, de Schipper *et al.*, 2021). Neste contexto, este tipo de intervenção pode gerar benefícios económicos e sociais muito relevantes à escala local e regional. Do ponto de vista ambiental, a alimentação artificial tem igualmente sido utilizada para a recuperação de habitats degradados face à erosão costeira, contribuindo para a valorização e proteção de determinados ecossistemas costeiros.

Nas situações em que a margem terrestre é limitada por arribas rochosas com sintomas de instabilidade, a alimentação artificial providencia uma defesa natural contra a incidência direta das ondas na base da arriba, minimizando a sua ação erosiva (e.g., erosão basal, efeito hidráulico). Outra vantagem decorrente do incremento da largura da praia, é o fomento da utilização balnear fora das áreas potencialmente sujeitas aos resíduos de movimentos de

massa (i.e. mais próximas da base da arriba), mitigando o risco para os utentes da praia (Teixeira, 2016; Teixeira & Pinto, 2022).

2.1.2. A alimentação artificial de praias enquanto medida de adaptação às alterações climáticas

Segundo a *European Climate Adaptation Platform Climate* – ADAPT, a qual resulta de uma parceria entre a Comissão Europeia e a Agência Europeia do Ambiente, a alimentação artificial de praias é considerada uma medida de adaptação viável e ajustada às consequências das alterações climáticas (e.g. subida do nível médio do mar), tendo como objetivo minimizar os fenómenos de erosão costeira e de galgamento que previsivelmente se virão a agravar num futuro próximo.

Segundo o 6th *Assessment Report do Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) de 2022 (Pörtner *et al.*, 2022) a alimentação artificial de praias é considerada uma medida *nature-friendly*, de caráter *green*, inserindo-se na categoria definida pelo IPCC de *Structural and physical: Engineering and built environment options*. Segundo o IPCC, a alimentação artificial insere-se no conjunto de soluções para reduzir os impactos climáticos a médio prazo nos ecossistemas oceânicos e costeiros, apresentando um grau de confiança médio (potencial de médio prazo). O IPCC considera esta medida de proteção como um contributo para a adaptação, sendo uma resposta comum a nível mundial face à erosão costeira e uma alternativa às estruturas de proteção "pesadas" (i.e. *hard protection*) tais como as obras longitudinais aderentes/paredões. As alimentações de praia enquadram-se na categoria de soluções baseadas na Natureza (*nature based solutions*), sendo cada vez mais consideradas por razões ambientais, económicas e/ou sociais.

Apesar dos resultados rápidos que providenciam, as alimentações artificiais apresentam ainda *trade-offs* insuficientemente quantificados entre eficácia, custo a longo prazo, utilidade para os utilizadores da praia e danos ecológicos (de Schipper *et al.*, 2021). Existe igualmente alguma controvérsia em relação à sustentabilidade deste tipo de intervenção no médio e longo prazo, relacionada com a disponibilidade de sedimentos e compatibilidade, custos de construção, geomorfologia costeira e impactos ambientais, bem como a crença enganosa de proteção, a qual pode incentivar ou potenciar o desenvolvimento costeiro em curso (Cooper *et al.*, 2009; Pranzini *et al.*, 2017; Parkinson e Ogurcak, 2018). Segundo Parkinson e Ogurcak (2018), as alimentações artificiais de praias, tal como historicamente construídas, irão certamente continuar durante as próximas décadas, mas devem ser en-

caradas como uma estratégia de caráter provisório durante a formulação e implementação de uma estratégia de gestão adaptativa, mais robusta e de longo prazo, incorporando a retirada/recuo progressivo da ocupação na faixa costeira (vide Ponto 2.5.).

2.2. Retrospetiva das alimentações artificiais de praia em portugal (1950-2021)

2.2.1. Enquadramento das intervenções

Desde 1950 foram pelo menos depositados cerca de 43 000 000 m^3 (atualizado de Pinto *et al.*, 2020) de sedimentos arenosos (granulometria fina, média, grosseira) na faixa costeira de Portugal Continental, compreendida entre os -10 m ZH (Zero Hidrográfico) até à alta praia (+10 m ZH), abarcando a zona submarina do perfil de praia imerso, a praia emersa/berma e o cordão dunar frontal. Este domínio engloba a área sujeita a transporte sedimentar ativo e a alterações morfológicas sazonais e inter-anuais relevantes em termos de tendências evolutivas e do balanço sedimentar na faixa costeira.

As intervenções foram efetuadas numa série de locais da costa ocidental e sul, envolvendo diferentes volumes e tipologias de deposição (Figura II-13).

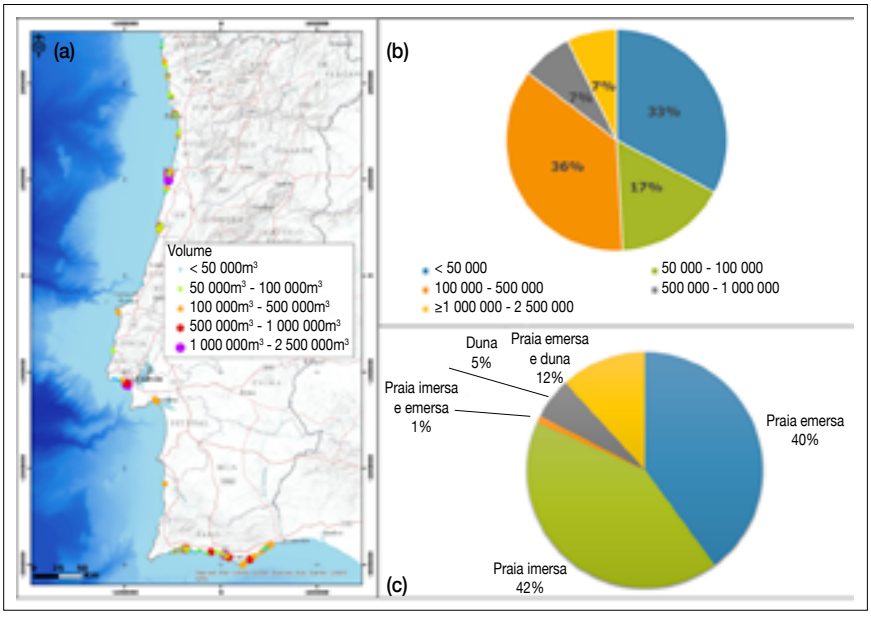


Figura II-13 · Localização, magnitudes dos volumes e tipologias de deposição das alimentações de praia em Portugal Continental, entre 1950 e 2021 (atualizado de Pinto *et al.*, 2020).

Verifica-se que predominam as alimentações artificiais de pequena, < 50 000 m^3, a média magnitude, 100 000 m^3 - 500 000 m^3 (Figura II-13b), sendo privilegiada a deposição na praia emersa e imersa (Figura II-13c), ambas com praticamente a mesma percentagem em termos de importância relativa face ao total. Desde 2010 foram realizadas 84 intervenções de alimentação artificial (47 % do total) e depositados cerca de 18 000 000 m^3 (43 % do volume total depositado entre 1950-2021), Figura II-14, confirmando a tendência crescente de utilização desta medida de proteção/defesa costeira em detrimento das obras de engenharia costeira "pesada".

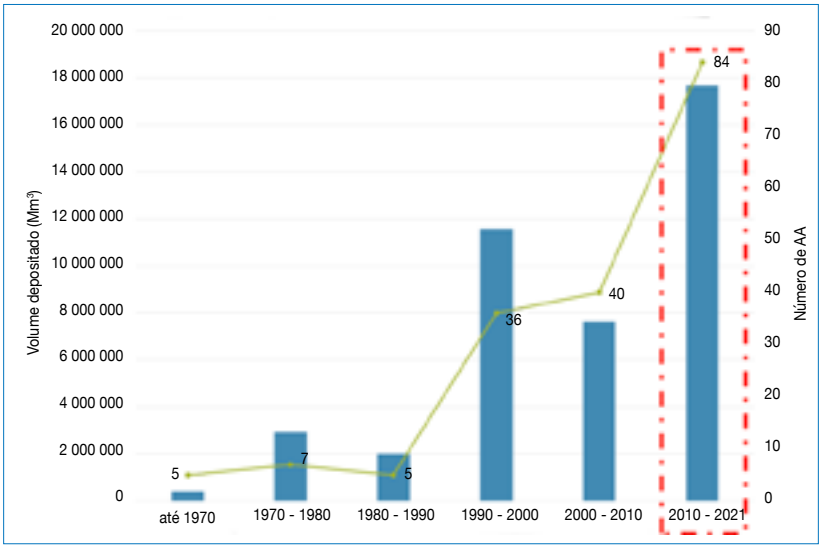


Figura II-14 · Volumes e número de intervenções de alimentação artificial (AA) entre 1950 e 2021 (atualizado de Pinto *et al.*, 2020).

2.2.2. Alteração do paradigma de proteção costeira

O aumento do número de alimentações de praia em Portugal Continental foi acompanhado por uma diminuição no número de intervenções correspondentes a obras costeiras "pesadas" (e.g.: esporões, quebra-mares, estruturas aderentes). A Figura II-15 mostra como na década de 90 do século XX houve um incremento significativo no número de intervenções de alimentação artificial de praias e, simultaneamente, um decréscimo (de cerca de 30%) no número de obras costeiras ditas "pesadas". Este padrão é idêntico ao descrito por Hillyer (1996) no que se refere às intervenções realizadas pelo US Army Corps of Engineers nos EUA entre os anos 1950 e 1990.

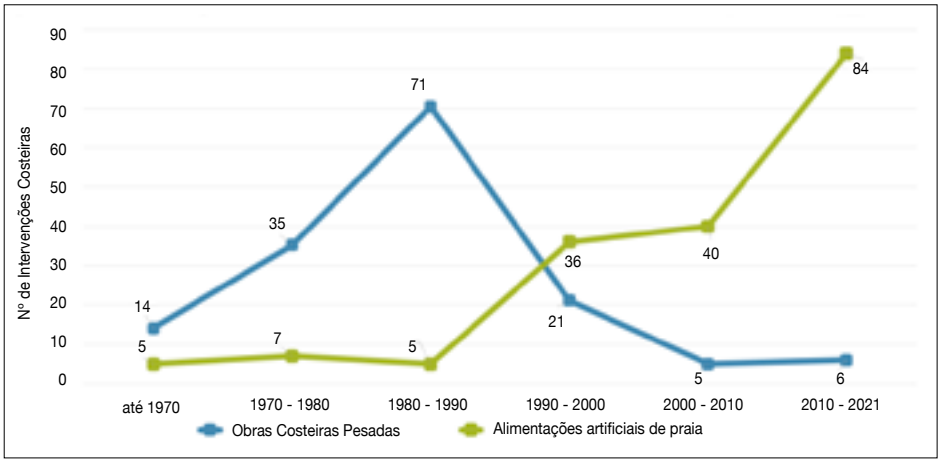


Figura II-15 · Número de intervenções costeiras - alimentações artificiais de praia e obras costeiras pesadas - em Portugal Continental desde 1950 até 2021 (atualizado de Pinto *et al.*, 2020).

Do exposto, verifica-se uma clara alteração do paradigma no que respeita à estratégia de gestão do litoral (Pinto *et al.*, 2018). Nos últimos 20-30 anos tem-se privilegiado o recurso às alimentações artificias como medida de proteção/defesa costeira e de manutenção das praias e linha de costa. Este cenário é oposto àquele que prevalecia nos 30 anos anteriores, onde o recurso a obras costeiras de engenharia "pesada" era norma instituída na Administração e comunidade técnica-científica, acreditando-se ser a forma mais eficaz de travar os fenómenos de erosão e recuo da linha de costa que começavam nessa altura a ameaçar determinados núcleos urbanos (Pinto *et al.*, 2018). Não obstante, já em 1974, Castanho *et al.* (1974) do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, faziam referência às vantagens da criação de praias artificialmente, como medida para contrariar o défice sedimentar litoral e mitigar os efeitos negativos da erosão. Em 1990 o litoral português contava já com 120 estruturas costeiras "pesadas", mais de metade das quais foram construídas na década de 80. As obras mais recentes (últimos 15 anos) dizem respeito a intervenções de emergência, na sua maioria correspondentes a defesas longitudinais aderentes em locais já fortemente artificializados, para proteção de pessoas e bens em risco (Pinto *et al.*, 2018).

A experiência mostra que a defesa de núcleos urbanos expostos, com grau de desenvolvimento elevado (pessoas e património construído) através da fixação da linha de costa, foi uma medida, à data, plausível e aceitável na medida em que se afigurava como a única forma de impedir a perda de território/recuo da linha de costa. Apesar dos efeitos negativos

associados - nos processos de transporte e circulação sedimentar - e os custos de investimento e manutenção geralmente elevados, reconhece-se a incapacidade em se prever de forma fiável a situação atual desses núcleos urbanos e da linha de costa adjacente, caso não tivessem sido efetuadas as infraestruturas de proteção, tal como referido por Veloso-Gomes (2007). Não obstante, a manutenção de soluções rígidas de proteção costeira dificilmente será evitável em determinados núcleos urbanos do litoral, dadas as repercussões sociais, económicas e políticas que o desaparecimento ou destruição destas áreas acarretaria.

Nos anos 90 do século XX, a comunidade técnica e científica nacional começou a identificar padrões de evolução do litoral que vieram a pôr em evidência alguns dos efeitos negativos das estruturas "pesadas" na linha de costa (e.g., Dias, 1993; Veloso-Gomes *et al.*, 2006; Rosa-Santos *et al.*, 2009; Ferreira & Matias, 2013). O agravamento da erosão a sotamar dos esporões, a redução/desaparecimento da praia adjacente às estruturas longilitorais de defesa, bem como a perda de valores ambientais e cénicos, apelava a utilização de intervenções ambientalmente mais aceitáveis, a favor da natureza (estratégia conhecida como *building with nature*). O recurso a alimentações artificiais de praia surgiu como uma alternativa viável, passível de aplicação em alguns locais, o que veio favorecer a alteração de paradigma, tal como sugerido por Andrade & Freitas (2002).

2.2.3. Manchas de empréstimo para alimentação artificial de praias

Em termos de manchas de empréstimo utilizadas para a concretização das alimentações, predomina o recurso aos sedimentos arenosos de boa qualidade provenientes das dragagens associadas à atividade portuária/pesca/recreio, totalizando 91% das intervenções (Figura II-16a). O volume depositado proveniente destas dragagens ascende a cerca de 39 000 000 m^3, contrastando com a pequena expressão das alimentações que recorreram a manchas de empréstimo *offshore* localizadas na plataforma continental próxima (7% das intervenções), e um volume da ordem dos 4 000 000 m^3.

Do exercício de dragagem decorrente da atividade portuária, pesca ou recreio, 80% das operações recorreram a sedimentos provenientes de dragagens de manutenção de barras e canais de navegação (Figura II-5b), confirmando a abordagem à gestão sedimentar integrada pelas Autoridades Portuárias/Portos e DGRM, as quais passaram a privilegiar com maior frequência a deposição dos sedimentos dragados e de boa qualidade na faixa litoral próxima (a profundidades inferiores a -10 m ZH), ou disponibilizando os mesmos para alimentações da praia emersa e/ou cordão dunar (executadas pela Agência Portuguesa

do Ambiente e instituições antecessoras com competências na gestão da faixa costeira - tuteladas pelo Ministério do Ambiente). Este aspeto reflete a crescente consciencialização e compromisso das entidades com responsabilidades a nível portuário com os objetivos de proteção e defesa costeira consagrados e importância dada à utilização racional dos dragados (i.e. areia de boa qualidade) como medida de gestão sedimentar integrada para mitigação da erosão costeira (Pinto *et al.*, 2018).

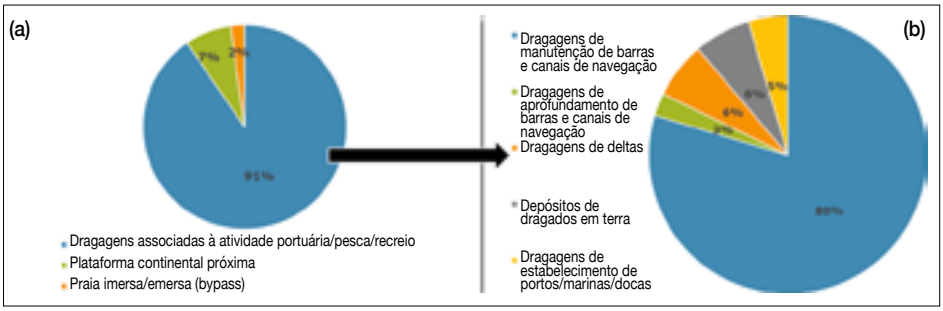


Figura II-16 · (a) Manchas de empréstimo utilizadas para alimentação artificial; (b) Tipologia das dragagens associada à atividade portuária/pesca/recreio.

2.3. Comportamento e evolução de alimentações artificiais

Para se avaliarem os efeitos das alimentações artificiais de praia no sistema costeiro e concluir-se acerca do seu grau de sucesso, eficácia, comportamento e longevidade é fundamental assegurar a manutenção de programas de monitorização nas áreas intervencionadas. Esta medida permite otimizar e melhor adequar futuros projetos às condições locais e aos objetivos de proteção ou valorização previamente definidos pelas entidades responsáveis pelas intervenções.

Na Costa Ocidental, a monitorização do comportamento e evolução das alimentações artificiais é ainda relativamente recente, destacando-se as intervenções realizadas na Costa de Caparica – Almada, monitorizada desde 2007 (e.g. Veloso-Gomes *et al.*, 2009; Andrade *et al.*, 2013; Pinto *et al.*, 2012; Pinto *et al.*, 2015a; Pinto *et al.*, 2015b; Pinto *et al.*, 2017; Pinto *et al.*, 2020; Pais *et al.*, 2022) e na Costa Nova – Ílhavo (e.g. Mendes *et al.*, 2021, Pinto *et al.*, 2022; Ferreira *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2022), Figura II-17. No caso da costa sul do Algarve, onde o recurso praia tem assumido importância estratégica regional, a monitorização das intervenções de alimentação artificial teve início na década de 1990 (Teixeira, 1996, 1999, 2011, 2016), destacando-se o caso de Vale do Lobo – Loulé (e.g. Teixeira, 2011; Teixeira *et*

al., 2019; Pinto & Teixeira, 2022), Figura II-17.

Uma síntese da evolução e comportamento das intervenções realizadas nestes três locais é descrita nos pontos seguintes:



Figura II-17 · Localização das três intervenções de alimentação artificial analisadas.

a) Costa Nova (Ílhavo)

Esta intervenção consistiu na deposição de ≈ 2.4 x 10^6 m^3 de areia na praia imersa, entre os -4 m ZH e -8 m ZH, no ano de 2020 (Figura II-18), recorrendo-se para o efeito a depósito de dragados pré-existente no interior do Porto de Aveiro (i.e. área da ZALI).

De acordo com Pinto *et al.* (2022), os resultados mostram um decréscimo da ordem dos 40% do volume colocado na área de deposição (ver Figura II-18) em apenas 7 meses. A rápida mobilização por processos transversais explica parte destas alterações, observando-se a difusão da areia colocada ao sistema de barras submersas pré-existente e a agradação do domínio emerso do perfil de praia. Adicionalmente, observou-se igualmente um reforço volumétrico e aumento da robustez morfológica da barra submersa para sul, confirmando o processo de dispersão e difusão dos sedimentos depositados ao longo do sistema (que coincide com os objetivos inicialmente definidos) e a sua saída pela fronteira sul da célula de monitorização, traduzindo-se numa perda de 0.75 x 10^6 m^3 (30%) em cerca de 7 meses.

Nos últimos 10 anos, verifica-se uma diminuição consistente das taxas de erosão neste troço costeiro (Pinto *et al.*, 2022; Fernandez-Fernandez *et al.*, 2019; Bernardes *et al.*, 2020), em grande medida devido às operações anteriores de alimentação artificial efetuadas pela Administração do Porto de Aveiro (≈ 7 x 10^6 m^3) na praia imersa da Costa Nova, confirmando os benefícios desta opção tendente a repor parcialmente o balanço sedimentar neste troço costeiro. No entanto, a extrapolação linear para o futuro do transporte longilitoral potencial (≈ 0.9 x 10^6 m^3/ano - Pinto *et al.*, 2022) sugere que, apesar da grande magnitude da intervenção mais recente (2020), a permanência expectável dos sedimentos na célula de monitorização (área de 12 km^2) será da ordem dos 2-3 anos, o que indicia a necessidade de futuras operações de realimentação.

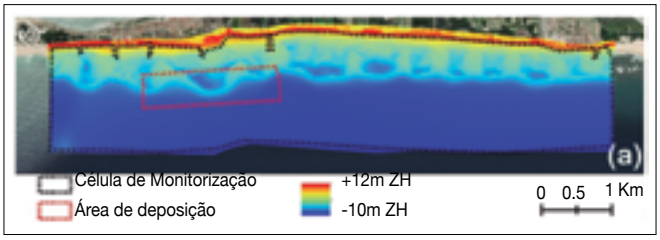


Figura II-18 · Localização e definição da área de deposição e fronteiras da célula de monitorização da alimentação artificial realizada em 2020 na praia imersa da Costa Nova.

b) Costa de Caparica (Almada)

Esta intervenção correspondeu à deposição de 0.5 x 10^6 m^3 de areia em 2007 e 1 x 10^6 m^3 na praia emersa de São João de Caparica e Costa de Caparica, nos anos de 2008, 2009, 2014 e 2019, totalizando 4.5 x 10^6 m^3 (Figura II-19). As manchas de empréstimo utilizadas para a realização das intervenções de alimentação artificial foram os sedimentos acumulados no canal de navegação do Porto de Lisboa e o bordo norte do Cachopo Norte, apenas em 2008 (Pinto *et al.*, 2015a; 2015b). Os enchimentos promoveram um alargamento médio da praia entre os 40 m e os 60 m. A intervenção de 2007 não foi incluída na avaliação do comportamento e evolução dos enchimentos na área de deposição e na célula de monitorização, dado ter incidido em área inferior (limitada pelos esporões EC4 e EV1 – Pinto *et al.*, 2017).

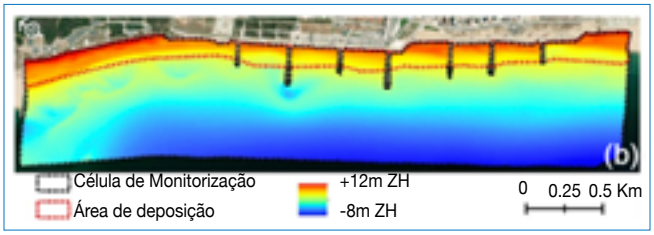


Figura II-19 · Localização e definição da área de deposição e fronteiras da célula de monitorização das alimentações artificiais de praia realizadas em 2008, 2009, 2014 e 2019 na praia emersa de São João/Costa de Caparica.

A comparação de levantamentos topo-batimétricos sucessivos entre 2008 e 2020 mostra que as perdas na área de deposição (i.e. praia emersa) em 12 anos são significativas (82%), nomeadamente se se considerarm a quantidade total de areia depositada neste período (4 x 10^6 m^3). Contudo, 67% do sedimento depositado ainda está presente na célula de monitorização (Figura II-19), o que aparenta ser um indicador positivo da eficiência da alimentação (*feeder efficiency*), dado que parte do sedimento manteve-se e redistribuiu-se no sistema costeiro, reforçando localmente o balanço sedimentar.

A análise da tendência das variações volumétricas na célula de monitorização entre 2014 e 2020 sugere uma aparente estabilização destes valores, em média da ordem dos - 0.2 x 10^6 m^3/ano, o que indicia uma longevidade dos enchimentos com volume de 1 x 10^6 m^3 de ≈ 4 a 5 anos (Figura II-20).

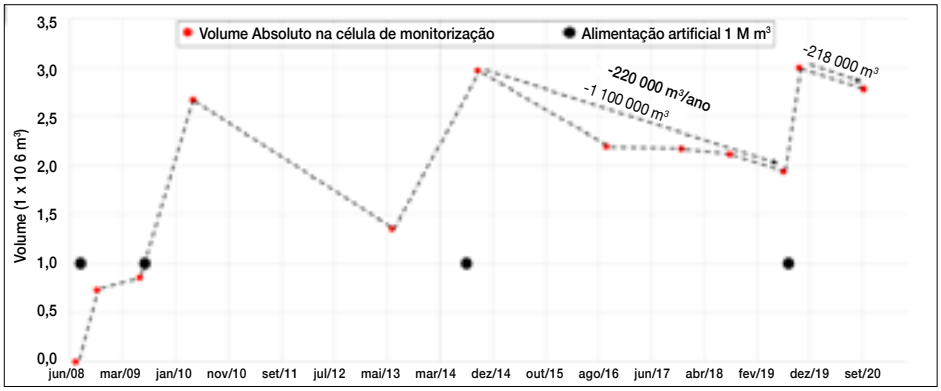


Figura II-20 · Evolução temporal dos volumes na célula de monitorização da Costa de Caparica.

c) Vale do Lobo (Loulé)

A praia de Vale do Lobo foi alimentada em 1998 (0.7 x 10^6 m^3) e 2006 (0.37 x 10^6 m^3) e no

troço Forte Novo - Garrão, em 2010 (1.25 x $10^6 m^3$) com aumentos da largura média da praia entre 30m a 50m (Teixeira *et al.*, 2019; Pinto & Teixeira, 2022).

A análise da evolução temporal do enchimento de Vale do Lobo mostra, como esperado, a redução progressiva da largura média da praia (média integrada dos seis perfis) após a concretização das três intervenções. No entanto, enquanto após as duas primeiras intervenções (1998 e 2006) a largura da praia nativa inicial foi atingida em 7 e 5 anos, respetivamente, na terceira intervenção (2010) este limiar ainda não foi alcançado passados 11 anos (2021), Figura II-21.

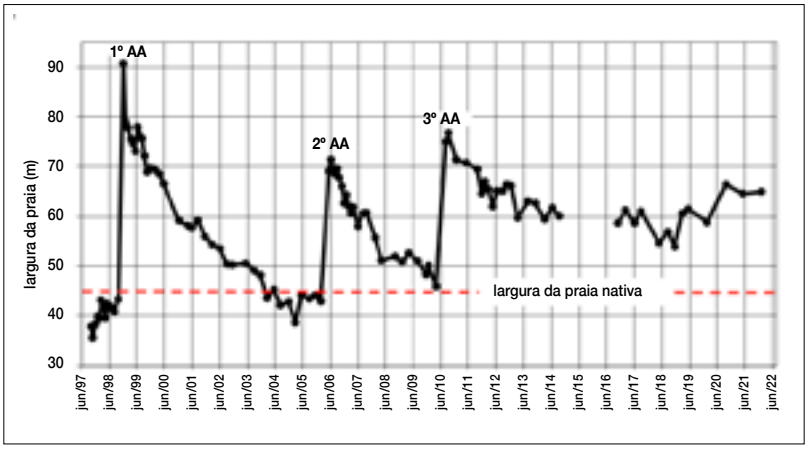


Figura II-21 · Evolução temporal da largura média da praia de Vale do Lobo na sequência das três alimentações artificiais (AA).

A comparação entre o levantamento topo-batimétrico de 2010 (imediatamente após a intervenção) e o mais recente de 2020 revela perda de ≈ 1.3 x $10^6 m^3$, o que corresponde a ≈ 1.3 x $10^5 m^3$/ano (Pinto & Teixeira, 2022). Este valor, ligeiramente superior ao valor obtido por Teixeira (2019) de ≈ 1.0 x $10^5 m^3$/ano é semelhante ao obtido por Coelho *et al.* (2021a), pode ser entendido como uma estimativa do transporte longilitoral residual anual dirigido de poente para nascente.

Segundo Pinto & Teixeira (2022), as perdas volumétricas observadas não são exatamente concordantes com o outro indicador de diagnóstico considerado (i.e. largura da praia), o que deve ser atribuído ao aumento da granulometria dos sedimentos depositados (D50 = 0.9 Φ/0.54mm para D50 = 0.3 Φ/0.81mm), que terá imposto uma nova configura-

ção de equilíbrio ao perfil, conferindo-lhe maior estabilidade e, simultaneamente, uma maior residência temporal ao enchimento no domínio emerso.

A análise efetuada mostra que a totalidade do volume da alimentação artificial depositado em 2010 já terá abandonado a área intervencionada e respetiva célula de monitorização (na sua grande maioria pela fronteira nascente), tendo tido uma longevidade da ordem dos 10 anos, o que sugere a necessidade de nova intervenção de realimentação no curto prazo.

2.4 Perspetivas futuras

2.4.1. Recursos sedimentares disponíveis para alimentação artificial (Costa Ocidental)

Os recursos sedimentares principais e com os requisitos e critérios de qualidade e texturais (i.e. granulometria e composição – fração arenosa) adequadas para a alimentação artificial de praias provém essencialmente de duas fontes:

I. Dragagens de manutenção/aprofundamento associadas à atividade portuária/piscatória/recreio;

II. Dragagem de manchas de empréstimo localizadas "*offshore*" na plataforma continental próxima.

A estratégia futura de reposição parcial ou manutenção do balanço sedimentar assente em alimentações artificiais de praia, entre outros fatores de natureza económica-financeira, irá depender das reservas/volumes disponíveis existentes nas áreas fonte acima referidas e da distância destas aos locais a intervencionar.

2.4.2. Dragagens de manutenção/aprofundamento associadas à atividade portuária/piscatória/recreio

Tendo em consideração as estimativas dos volumes de dragagem (média anual) dos Portos (Andrade *et al.*, 2015) mais próximos dos troços costeiros passíveis de serem alimentados artificialmente no futuro (i.e. troços com maior tendência erosiva de longo prazo e maior exposição de pessoas e bens a situações de risco), é possível concluir o seguinte:

a) Troço Esmoriz - Furadouro - O Porto de Leixões dista ≈ 25 a 30km do limite norte deste troço, podendo gerar um volume potencial de sedimentos de ≈ 350 000m^3/ano. A distância entre a mancha de empréstimo (Porto de Leixões) e a área de deposição inviabilizam economicamente a operação, acrescendo o facto do volume potencialmente disponível por ano corresponder apenas a 1/3 da magnitude do transporte longilitoral potencial

(≈ 1.0 x 10^6 m^3/ano) dirigido para sul.

b) Troço Barra – Praia de Mira – O Porto de Aveiro dista cerca de 3 a 5 km da área normalmente utlizada para imersão dos sedimentos (i.e. Costa Nova), podendo gerar um volume potencial de dragados de ≈ 490 000 m^3/ano. A distância entre a mancha de empréstimo (Porto de Aveiro) e a área de deposição (Costa Nova) viabilizam a operação (efetuada periodicamente pelo Porto de Aveiro). Os volumes potencialmente disponíveis por ano equivalem a cerca de metade do transporte longilitoral potencial (≈ 0.9 x 10^6 m^3/ano) dirigido para sul (Pinto *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2021), podendo contribuir para reposição parcial do balanço sedimentar e atenuação do processo erosivo, tal como efetivamente se tem vindo a verificar (Pinto *et al*., 2022; Fernandez-Fernandez *et al.*, 2019; Bernardes *et al.*, 2020).

c) Troço Cova-Gala - Costa de Lavos - O canal de navegação e barra do Porto da Figueira da Foz distam ≈ 2 a 3 km da área normalmente utilizada para imersão dos sedimentos (i.e. Cova-Gala), podendo gerar um volume potencial de dragados de ≈ 200 000 m^3/ano. A distância entre a mancha de empréstimo (Porto da Figueira da Foz) e a área de deposição (i.e. Cova-Gala) viabilizam a operação (efetuada periodicamente pelo Porto da Figueira da Foz). Os volumes potencialmente disponíveis por ano equivalem a cerca de 1/4 do transporte longilitoral potencial (≈ 0.75 x 10^6 m^3/ano) dirigido para sul (Silva et al., 2021), sendo insuficientes para contrariar o processo erosivo instalado (Pinto et al., 2021; Coelho et al., 2021b).

d) Troço Costa de Caparica – O canal de navegação do Porto de Lisboa dista ≈ 7 a 8 km das praias da Costa de Caparica, podendo gerar um volume potencial de dragados de ≈ 200 000 m^3/ano. A distância entre a mancha de empréstimo (i.e. canal de navegação do Porto de Lisboa) e a área de deposição viabilizam a operação (efetuada por cinco vezes desde 2007 pela Administração do Porto de Lisboa e Agência Portuguesa do Ambiente). Os volumes potencialmente disponíveis por ano são coincidentes com o transporte longilitoral potencial (≈ 0.2 a 0.3 x 10^6 m^3/ano) dirigido para norte, afigurando-se suficientes para contrariar o processo erosivo de longo prazo.

Do exposto resulta que os volumes médios anuais de dragagem nos Portos de Leixões, Aveiro, Figueira da Foz e Lisboa são, de uma forma geral, um contributo muito relevante

para a reposição parcial e local do balanço sedimentar, embora com diferentes graus de importância e adequabilidade. A utilização destes sedimentos ditos "oportunidade" (os quais correspondem a sedimentos que já estavam previstos ser dragados e que podem ser utilizados para alimentações artificiais em locais próximos) são um exemplo de cooperação interinstitucional que importa relevar e reforçar no âmbito da gestão sedimentar integrada. Não obstante, regra geral, os volumes disponíveis não asseguram a reposição do défice existente, sendo globalmente insuficientes para a realização de intervenções de elevada magnitude.

2.4.3. Dragagem de manchas de empréstimo localizadas "*offshore*" na plataforma continental próxima.

Os resultados preliminares obtidos no âmbito do Grupo de Trabalho dos Sedimentos (Andrade *et al.*, 2015) permitiram identificar quatro manchas de empréstimo potenciais na plataforma continental próxima (entre os -20 m e os -35 m ZH), nas áreas adjacentes a quatro locais identificados com tendência erosiva instalada de longo prazo: (a) Espinho-Torreira; (b) Barra-Mira; (c) Figueira da Foz-Leirosa; (d) Costa de Caparica (Figura II-22).

Em linha com as recomendações emanadas nos Relatórios do Grupo de Trabalho do Litoral (Santos *et al.*, 2017) e dos Sedimentos (Andrade *et al.*, 2015), a Agência Portuguesa do Ambiente desenvolveu o projeto CHIMERA com o objetivo de realizar um conjunto de trabalhos de reconhecimento sedimentar, morfológico e de caraterização físico-química nas quatro áreas acima referidas. A abordagem, de caráter multidisciplinar, conjugou a realização de levantamentos hidrográficos, sísmica ligeira de reflexão, amostragem superficial e em profundidade, até aos 3 m (Figura II-22), e levantamento do campo magnético total, permitindo caracterizar a morfologia, estratigrafia, volumes e caraterísticas dos sedimentos (Mil-Homens *et al.*, 2020; Pinto *et al.*, 2019).

Os resultados obtidos confirmam a existência quase generalizada de sedimento útil (finos - silte e argila <10%; cascalho <15%; carbonatos <30%; sem contaminantes) nas manchas de empréstimo selecionadas, dominando a classe dimensional das areias (Figura II-23).

Para uma profundidade de exploração de 3m estima-se a existência de um volume da ordem dos 14 x10^6 m^3 nas manchas de empréstimo Espinho - Torreira (a) e Costa de Caparica (d), e 28 x 10^6 m^3 e 29 x10^6 m^3 nas manchas de Barra - Mira (b) e Figueira da Foz - Leirosa (c), respetivamente (Pinto *et al.*, 2019). O modelo sismo-estratigráfico inferido a partir dos dados da geofísica mostra a presença de substrato rochoso entre os 6m e os 57 m abaixo

da superfície do fundo marinho nas quatro áreas (Pinto *et al.*, 2019; Mil-Homens *et al.*, 2020).

Os resultados obtidos confirmam a existência de recursos sedimentares (numa espessura de 3m) compatíveis com a estratégia de proteção baseada na reposição do ciclo sedimentar até 2040 (Espinho - Torreira) e 2060 (Barra - Mira; Figueira da Foz; Costa de Caparica), assumindo que os volumes de alimentação necessários são iguais à magnitude da deriva litoral potencial na situação de referência em cada um dos locais.



Figura II-22 · Localização das quatro manchas de empréstimo potenciais (a, b, c, d) na plataforma continental próxima (entre os -20m e os -35m ZH) e exemplos do processo de amostragem.

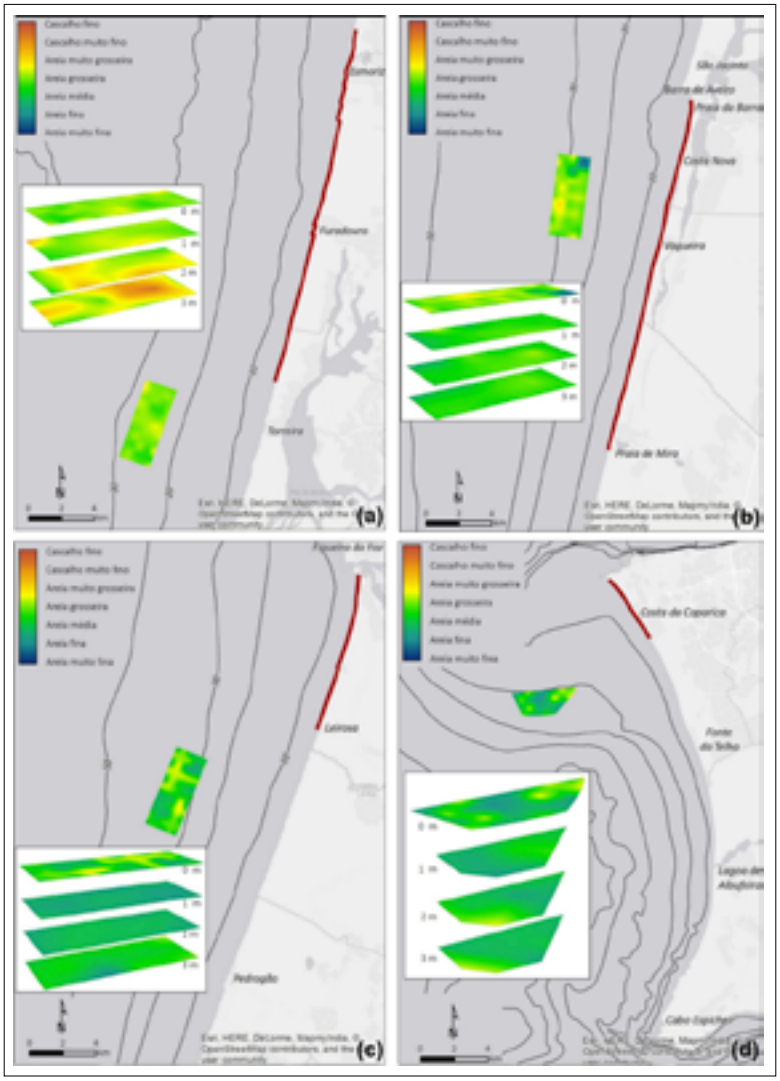


Figura II-23 · Mapas de distribuição espacial do diâmetro médio do sedimento à superfície e por camadas em profundidade nas quatro áreas da plataforma continental (adaptado de Pinto *et al.*, 2019).

A longevidade das manchas de empréstimo poderá eventualmente ser prolongada até 2080-2100, caso se venham a verificar algumas das seguintes condições:

a) Utilização de sedimentos do domínio das cascalheiras finas (e.g. mancha Espinho – Torreira) para alimentações na praia imersa (i.e. introdução na deriva litoral);

b) Realização de intervenções de alimentação artificial com magnitude ligeiramente

inferior ao caudal sedimentar longilitoral potencial líquido anual;

c) Aumento da profundidade de exploração das manchas – atendendo à espessura da cobertura sedimentar interpretada com base nos dados de sísmica de reflexão ligeira e profundidade do substrato rochoso (Pinto *et al.*, 2019).

2.5. Gestão adaptativa

A estratégia de proteção costeira atualmente consagrada (baseada na reposição parcial ou manutenção do balanço sedimentar através de alimentações artificiais de praia), não será por si só suficiente para assegurar a anulação total do risco para as pessoas e bens instalados em determinadas comunidades costeiras, em particular no cenário atual de alterações climáticas e de subsequente subida do nível médio do mar.

Não obstante, esta estratégia será particularmente útil para providenciar "tempo para nos adaptarmos", assegurando um horizonte temporal mais alargado no futuro que possibilite a concretização de outras estratégias de Adaptação de maior complexidade e dificuldade em termos sociais, culturais, políticos, económico-financeiros e ambientais, tais como o Recuo Planeado/Retirada ou a Acomodação (Figura II-24).

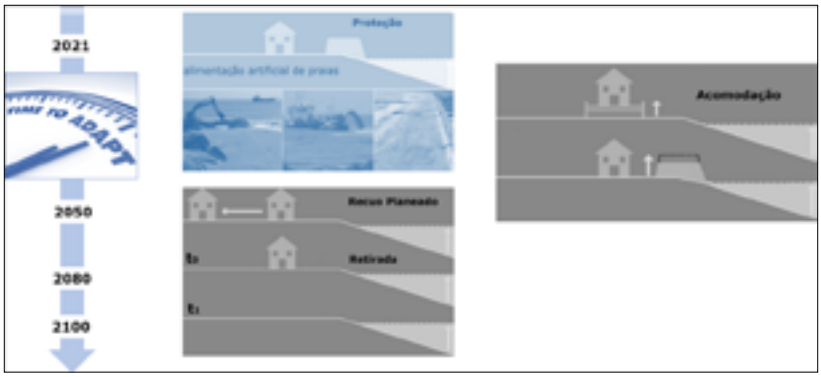


Figura II-24 · Estratégias de adaptação passíveis de serem adotadas até 2100.

Estas estratégias de Adaptação estão já consagradas nos novos Programas da Orla Costeira (POC) em vigor ou em fase de aprovação (as designadas áreas críticas), e poderão passar pela Acomodação (e.g. construção de estruturas sobre-elevadas, aumento da cota de coroamento de determinadas obras de proteção/defesa costeira) e pela Relocalização/Recuo Planeado, tal como já efetuado com sucesso em alguns locais críticos da faixa cos-

teira portuguesa (e.g. São Bartolomeu do Mar - Esposende, Bairro dos Pescadores de Esmoriz - Ovar) ou Retirada (e.g. Praia da Fuzeta - Olhão).

Estas medidas de adaptação mais complexas não serão de implementação imediata, devendo ser objeto de estudos de especialidade posteriores, de natureza e rigor técnico e científico, em conformidade com a respetiva problemática local. Este processo deverá envolver todas as partes interessadas, nomeadamente, no contexto de processos de elaboração, alteração ou revisão do PDM ou de outro plano territorial em vigor, em que se fará a verificação da situação de legalidade das construções em causa (e.g. ocupação do domínio hídrico), e se desenvolverão as formas de operacionalização da intervenção, no respeito estrito pelos direitos preexistentes e juridicamente consolidados dos proprietários.

De qualquer forma, se, no âmbito da concretização da estratégia definida para as Áreas Críticas, se verificar a indispensabilidade da demolição e/ou relocalização de uma qualquer construção, estas intervenções serão planeadas e executadas acautelando a devida compensação dos proprietários, em função da legalidade das referidas ocupações do domínio hídrico.

2.6. Monitorização costeira

Para se avaliarem os efeitos das alimentações artificiais de praia no sistema costeiro, e concluir-se acerca da sua eficácia, comportamento e longevidade é fundamental assegurar a manutenção de programas de monitorização nas áreas intervencionadas. Esta medida permite otimizar e melhor adequar futuros projetos às condições locais e aos objetivos de proteção ou valorização previamente definidos.

O Programa de Monitorização da Faixa Costeira de Portugal Continental (COSMO) iniciado em julho de 2018 e cofinanciado pelo POSEUR, procede à realização programada e sistemática de levantamentos topográficos (meios terrestres e aéreos - UAV) e hidrográficos nas praias, dunas, fundos submarinos próximos e arribas, consistindo os dados obtidos em ortofotomapas, modelos digitais de elevação (MDE) da margem terrestre, levantamentos hidrográficos e perfis de praia, imersos e emersos (Figura II-25).

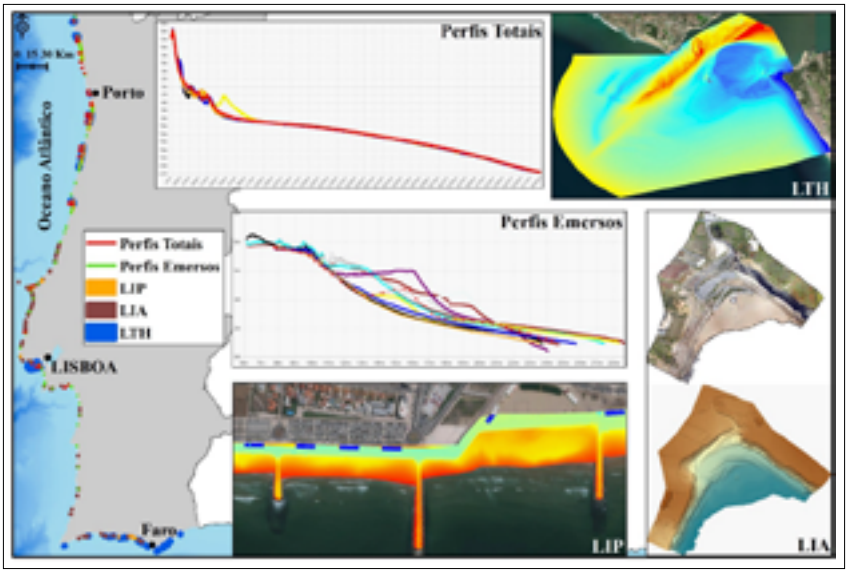


Figura II-25 - Localização por tipologia de monitorização no litoral de Portugal Continental e exemplos dos produtos gerados no âmbito do Program COSMO (retirado de Pinto *et al*., 2021).

Os dados obtidos pelo Program COSMO têm permitido complementar o conhecimento atualmente existente relativamente ao comportamento e evolução de uma série de alimentações artificiais, designadamente na Costa Nova (Ílhavo), Costa de Caparica (Almada) e Vale do Lobo (Loulé), vide Ponto 2.3.

Os resultados obtidos no âmbito do Programa COSMO confirmam, em linha com o melhor conhecimento e literatura técnico-científica nacional e internacional, que, em determinados locais ou áreas mais extensas, é possível atenuar a tendência erosiva de longo prazo através da realização periódica de intervenções de alimentação artificial de praias, numa lógica de reposição ou manutenção do balanço sedimentar.

O Programa COSMO veio consolidar o conhecimento técnico-científico gerado pela monitorização costeira como mecanismo imprescindível para a interpretação integrada da evolução da zona costeira e como dimensão de suporte à decisão (Pinto *et al.*, 2021). O conhecimento e capacidade de previsão melhorada pela análise e interpretação dos dados da monitorização costeira pela comunidade técnico-científica nacional e APA tem permitido a esta concretizar vários projetos/estudos e intervenções no domínio da proteção/defesa costeira, impactes ambientais, gestão de riscos e análise custo-benefício. A continuidade futura do Programa COSMO é fundamental para continuar a assegurar o apoio à decisão

pelas entidades gestoras da faixa costeira e à investigação aplicada nesta área do conhecimento (Pinto *et al.*, 2021). A APA prepara um novo programa (designado COSMO 2.0), em linha com o anterior, mas devidamente ajustado e adaptado face à experiência acumulada e respetivo processo de aprendizagem, de modo a corrigir e melhorar alguns aspetos particulares, designadamente em termos de: otimização dos custos, reajuste e adaptação das áreas de monitorização, frequência temporal e técnicas de aquisição (Pinto *et al.*, 2021).

2.7. Conclusões

A alimentação artificial de praias é atualmente consagrada em Portugal Continental como uma das mais importantes medidas de proteção/defesa costeira, confirmando a mudança de paradigma e o recurso, cada vez mais, às medidas *soft* em alternativa ou complemento às obras de engenharia ditas "pesadas". Efetivamente, com uma gestão sedimentar eficiente à escala local e regional afigura-se ser possível repor, em determinados locais ou troços, o balanço sedimentar, contrariando assim a tendência erosiva instalada de longo prazo ou mitigando os efeitos negativos causados pelos temporais. Acresce que a alimentação artificial é atualmente considerada uma medida de adaptação viável e ajustada às consequências das alterações climáticas, tais como a subida do nível médio do mar e alteração do regime de agitação (variação na direção modal e aumento da frequência de temporais).

À data considera-se que os recursos sedimentares existentes para a realização de intervenções de alimentação artificial na Costa Ocidental, provenientes de dragagens de manutenção/aprofundamento e manchas de empréstimo *offshore*, serão previsivelmente suficientes para assegurar a continuidade futura desta estratégia de proteção, a qual assenta na reposição parcial ou manutenção do balanço sedimentar em troços com tendência erosiva de longo prazo.

Em paralelo com a estratégia de proteção consagrada, será necessário no futuro adotar outras medidas de Adaptação em determinadas áreas ou locais, tais como o Recuo Planeado/Retirada ou a Acomodação, de modo a evitar situações de conflito de uso e mitigar a exposição de pessoas e bens a situações de risco.

A recolha, processamento e análise de dados de monitorização costeira precisos e sistemáticos é fundamental para o processo de tomada de decisão informada, baseada em evidências, das entidades gestoras da faixa costeira. A integração do conhecimento técnico-científico gerado pela monitorização, em particular no que se refere à avaliação dos efeitos das alimentações artificiais de praia no sistema costeiro, é fundamental para se con-

cluir acerca da sua eficácia, comportamento e longevidade, permitindo otimizar e melhor adequar futuros projetos às condições locais e aos objetivos de proteção ou valorização previamente definidos.

Modelação e monitorização no apoio à gestão sedimentar

CAPITULO III



Luis Menezes Pinheiro
Ricardo Correia
CESAM e Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

1. Metodologias geofísicas para planificação de operações de dragagem

1.1. Técnicas geofísicas para planificação de operações de dragagem

A importância crescente do transporte marítimo a nível global, a localização de Portugal em importantes rotas marítimas internacionais e o facto de o nosso país dispor de uma série de instalações portuárias com elevado potencial ao longo de toda a sua costa, conferem às atividades portuárias uma importância primordial na economia azul nacional.

A realização de dragagens em áreas portuárias é uma necessidade recorrente, seja para manutenção da área navegável, seja para ampliação da capacidade dos portos para receberem navios com maior calado, uma tendência global atual. Para a correta planificação destas operações é fundamental conhecer antecipadamente a geologia de fundo até à profundidade a que se pretende dragar, de forma a antecipar potenciais problemas técnicos, maximizar a razão custo/benefício nos trabalhos a realizar, e identificar previamente áreas com potenciais vestígios arqueológicos ou estruturas submersas que necessitem ser tomadas em linha de conta aquando destas operações. Este conhecimento prévio é em particular importante, atendendo a que vários dos portos nacionais se encontram em áreas de geologia com variações laterais significativas em termos de espessura sedimentar, com padrões de sedimentação complexos, presença de paleocanais em profundidade (e.g. Porto de Aveiro e Porto da Figueira da Foz), e frequentemente em áreas controladas por falhas geológicas (e.g. Porto de Aveiro) ou onde o topo do soco tem uma geometria complexa (e.g. Porto de Leixões). Assim, é de todo o interesse a utilização prévia de técnicas geofísicas, nomeadamente o sonar de varrimento lateral, a reflexão sísmica de alta resolução, a magnetometria e a batimetria multifeixe, para caraterizar previamente a geologia de fundo antes do início dessas operações.

Antes da realização das operações de dragagem, é em particular fundamental conhecer a distribuição espacial dos diversos tipos de sedimentos de fundo, identificar eventuais áreas de afloramentos rochosos, falhas geológicas, e estruturas antropogénicas, nomeadamente arqueológicas, assim como eventuais áreas de escape de gás. O sonar de varrimento lateral, de preferência calibrado com amostragem criteriosamente selecionada dos sedimentos de fundo, permite gerar, a partir de dados de retrodispersão (*backscatter*), uma carta detalhada de sedimentos de fundo e identificar áreas de afloramentos rochosos, eventuais áreas de escape de gás e/ou a presença de vestígios arqueológicos com expressão no fundo. Este tipo de informação pode igualmente ser obtido com base nos dados da intensidade de retrodispersão dos levantamentos de batimetria multifeixe. Neste caso, apesar de se tratar de um levantamento mais dispendioso do que um levantamento de sonar de varrimento lateral, para além da informação da distribuição espacial dos vários tipos de sedimentos de fundo é possível obter uma batimetria de precisão, o que é uma grande mais valia para a planificação das operações de dragagem. Nas situações em que já existe uma batimetria de precisão na área a intervencionar, o que é frequente em áreas portuárias, o sonar de varrimento lateral é suficiente para o propósito de cartografar os vários tipos de sedimentos de fundo na área a dragar. Os mosaicos obtidos com sonar de varrimento lateral permitem identificar a distribuição espacial das diferentes manchas de sedimentos, reduzindo muito significativamente o número de amostras de sedimento a colher para a sua calibração e identificar os melhores locais, de forma a garantir a representatividade dessas amostras.

No que se refere à geologia de subsuperfície, a reflexão sísmica de alta resolução permite obter secções que revelam essa geologia com grande detalhe para as profundidades de interesse, permitindo identificar as diversas formações sedimentares e a sua geometria, áreas de formações rochosas mais competentes, falhas geológicas, presença de paleocanais, acumulações de gás a pequena profundidade e vestígios arqueológicos não aflorantes. Esta pode ser adquirida com sistemas 3D, ou com sistemas 2D com malha apertada, o que permite obter pseudo-volumes 3D, frequentemente suficientes para os objetivos em vista.

Um outro método geofísico com grande utilidade para este tipo de estudos é a magnetometria. Esta pode contribuir em algumas situações para o conhecimento das formações

rochosas em profundidade, caso estas tenham um contraste de suscetibilidade magnética, como no caso de algumas formações ou intrusões ígneas, e identificar a presença de objetos no fundo ou na subsuperfície (arqueológicos, tubagens ou outros artefactos de origem antropogénica) se estes tiverem uma assinatura magnética.

1.2. Capacidades instaladas em aquisição geofísica, na Universidade de Aveiro

A Universidade de Aveiro, através do Laboratório Associado CESAM (Centro de Estudos do Ambiente e do Mar), dispõe de uma embarcação com 10.5m – a Nereide (Fig III-1) – com capacidade para realizar investigação até às 25 milhas náuticas da costa e operar os diversos equipamentos existentes na Universidade, na área da geologia, geofísica, biologia, química e oceanografia física. Em termos de equipamentos geofísicos, o Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha (LGGM) do Departamento de Geociências e Laboratório Associado CESAM, dispõe dos vários equipamentos geofísicos necessários para este tipo de estudos (Fig. III-2).



Figura III-1 - Embarcação Nereide, da Universidade de Aveiro, com capacidade para operar os vários equipamentos da Universidade nos domínios da geologia, geofísica, biologia, química e oceanografia física, até uma distância da costa de 25 milhas náuticas da costa.

No que respeita à reflexão sísmica de alta resolução (Fig III-2), o LGGM dispõe de: (1) um sistema Chirp Sonar (frequência de operação 0.5-12 kHz), com uma penetração até cerca de 30m abaixo do fundo e uma resolução vertical de cerca de 10cm – modelo Edgetech

512i (trata-se de um sistema combinado que inclui, para além do Chirp Sonar, um sonar de varrimento lateral de dupla frequência de 100 e 400 KHz, pelo que adquire simultaneamente ambos tipos de dados); e (2) um Sistema Sparker com uma potência de 1kJ, que permite uma penetração de mais de 100m abaixo do fundo, com uma resolução vertical de 20 a 30cm.



Figura III-2 · Sistemas de reflexão sísmica de alta resolução disponíveis na Universidade de Aveiro: (em cima) Sistema combinado Chirp Sonar / Sonar de Varrimento Lateral, modelo Edgetech 512i: (em baixo) Sistema Sparker, 1kJoule com streamer monocanal.

O Laboratório Associado CESAM dispõe ainda de um sistema de batimetria multifeixe Kongsberg 2040C, que pode operar a partir da embarcação Nereide, e que permite efetuar levantamentos batimétricos de alta resolução desde pequenas profundidades até cerca de 500m de profundidade de água (Fig III-3).



Figura III-3 · Sistema de batimetria multifeixe Kongsberg 2040C, do Laboratório Associado CESAM, da Universidade de Aveiro.

Finalmente o Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro dispõe de um Magnetómetro/Gradiómetro com 6 sensores de tipo fluxgate, que permite realizar levantamentos de campo total e componentes individuais do campo magnético, assim como obter gradientes destas componentes (Fig III-4).



Figura III-4 · Magnetómetro/Gradiómetro do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.

1.3. Processamento e interpretação dos dados de acústica. Exemplos

No que respeita ao processamento dos dados, o Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha (LGGM) do CESAM e Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro dispõe de software standard da indústria para processar e interpretar os dados geofísicos. As figuras seguintes mostram resultados do processamento de dados adquiridos pelo LGGM no âmbito de várias campanhas realizadas em áreas portuárias nacionais e processados no âmbito de vários projetos e teses de mestrado no Departamento de Geociências, sob orientação dos autores deste trabalho. A Figura III-5 (Pinheiro *et al.*, 2011) mostra 2 perfis de reflexão sísmica adquiridos na Ria de Aveiro com o sistema Chirp Sonar acima descrito. Nestes perfis é claro o elevado nível de detalhe (resolução) e a capacidade de investigação em profundidade da geologia de subsuperfície com este tipo de dados.

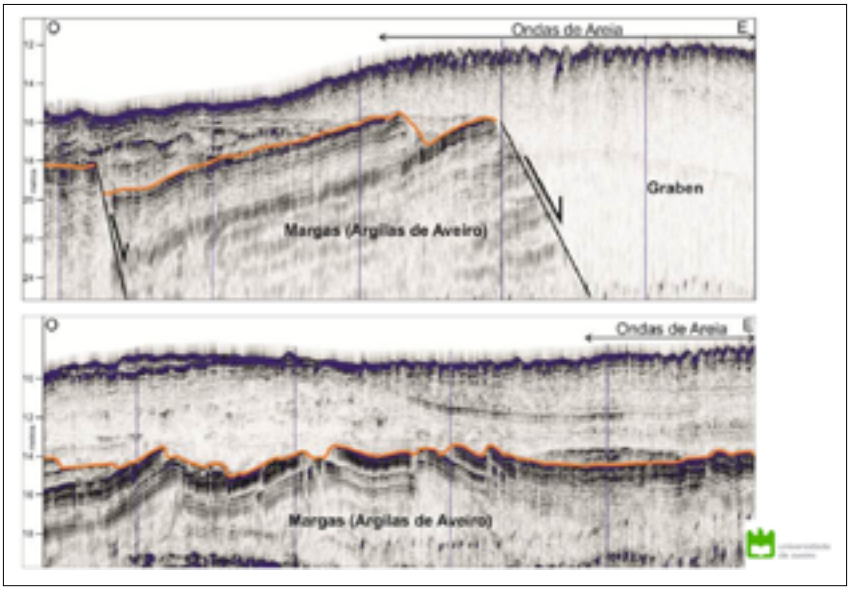


Figura III-5 · Secções de reflexão sísmica Chirp Sonar de Alta resolução adquiridos na Ria de Aveiro, ilustrando a elevada variabilidade lateral da espessura de sedimentos em alguns locais, associada a falhas, e a elevada definição das variações laterais do topo do soco acústico e respetiva profundidade, o que permite antecipar eventuais problemas e encontrar aquando da realização das dragagens (Pinheiro *et al.*, 2011).

Técnicas avançadas de processamento deste tipo de dados permitem melhorar significativamente a qualidade das secções sísmicas adquiridas, aumentar a sua resolução e resolver problemas associados com ondulação forte durante a aquisição e a presença de reflexões múltiplas e/ou outros artefactos, como por exemplo difrações associadas com falhas geológicas ou topografia irregular do soco acústico (formação geológica competente abaixo da qual não é possível observar a geologia nas secções sísmicas, dado que a energia sísmica para um sistema com uma dada potência é praticamente totalmente refletida no seu topo, devido à sua alta impedância acústica – produto da velocidade de propagação das ondas sísmicas nessa formação pela respetiva densidade). A Figura III-6 mostra um perfil sísmico adquirido no Canal do Espinheiro, na Ria de Aveiro, e o tipo de melhoria de resolução e eliminação de artefactos que é possível obter com processamento adequado (Novunga, 2021).

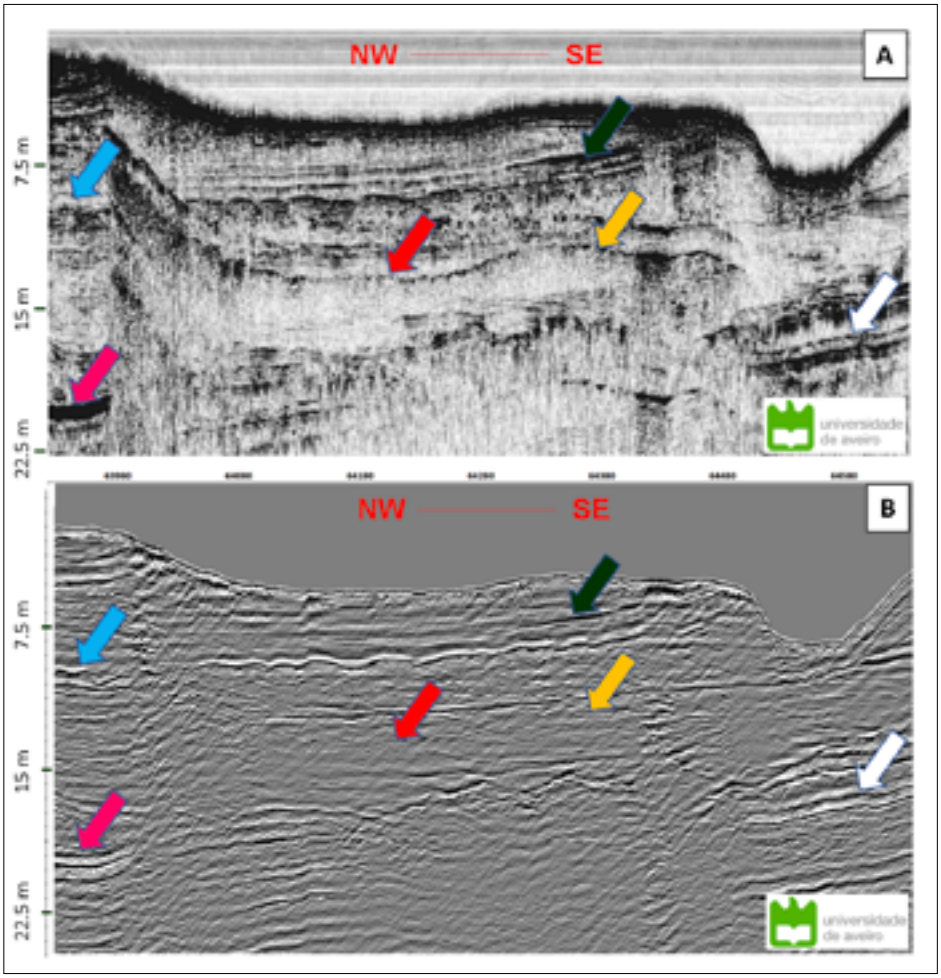


Figura III-6 · Processamento de secção sísmica, ilustrando a melhoria de resolução, e a forte atenuação de reflexões múltiplas (refletor assinalado pelas setas a amarelo e vermelho; Novunga, 2021).

A Figura III-7 mostra um exemplo da elevada resolução que é possível obter utilizando técnicas avançadas de processamento num perfil adquirido na área do Porto de Setúbal, de forma a revelar a estrutura sedimentar complexa numa secção sísmica (Fernandes, 2023).

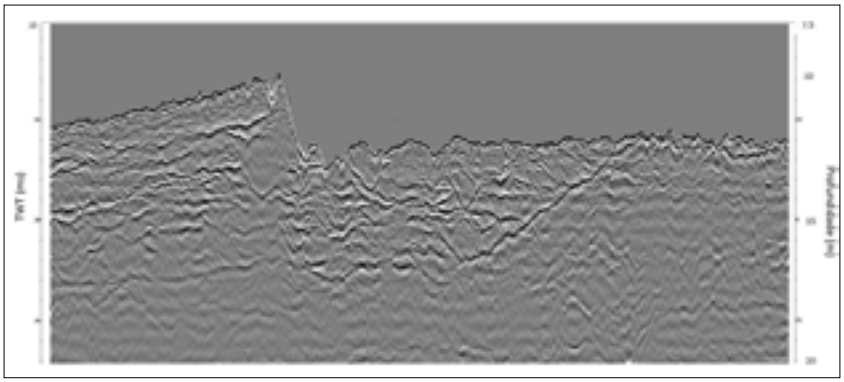


Figura III-7 · Secção sísmica adquirida na área do Porto de Setúbal, onde é visível a elevada resolução em áreas de padrões sedimentares complexos, graças à aplicação de técnicas avançadas de processamento, em particular desconvolução (Fernandes, 2023).

Após processamento, a interpretação das secções sísmicas permite a identificação das diversas camadas sedimentares, assim como detetar a eventual presença de falhas geológicas e acumulações de gás a pequena profundidade. A Figura III-8 mostra uma dessas secções interpretada, adquirida da Ria de Aveiro, no Setor do Cabeço das Leitoas, na qual se podem identificar, até uma profundidade superior a 30m, as camadas sedimentares competentes das margas e calcários do Cretácico (formação das "Argilas de Aveiro" - C), subjacentes às camadas do Plio-Pleistocénico (PP) e Holocénico (H). É claramente visível a elevada complexidade das unidades e padrões sedimentares, dobramento das camadas, discordâncias erosivas, áreas de paleocanais, e ainda uma acumulação de gás a pequena profundidade, a SE.

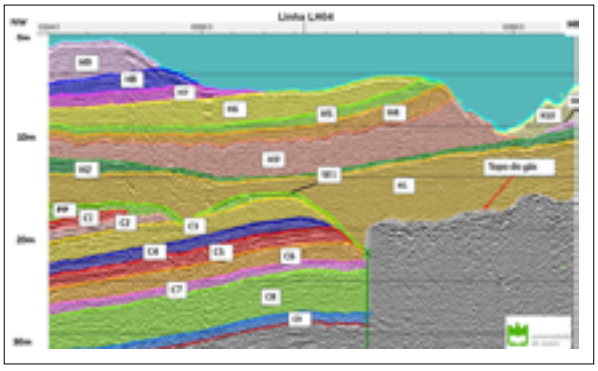


Figura III-8 · Secção sísmica no setor do Cabeço das Leitoas, na Ria de Aveiro, onde é possível identificar as camadas competentes do Cretácico (formação das "Argilas de Aveiro", designadas por C), subjacentes às camadas do Plio-Pleistocénico (PP) e Holocénico (H). É visível a elevada complexidade dos padrões sedimentares, discordâncias erosivas, áreas de paleocanais nesta área da Ria de Aveiro. No canto inferior direito observa-se uma acumulação de gás (a cinza), marcada pela ausência de reflexões internas (Novunga, 2021).

No que respeita a levantamentos de sonar de varrimento lateral, a Figura III-9 mostra uma imagem mosaico, resultante de vários perfis adquiridos na zona da entrada do Porto de Aveiro. Pode observar-se uma área de formas de fundo (mega-ripples), e também blocos rochosos individuais na parede e base do molhe norte. Quando existem áreas com diversos tipos de sedimentos de fundo, os sedimentos mais finos são facilmente distinguíveis dos mais grosseiros por terem uma retrodispersão mais baixa, pelo que surgem nestes mosaicos de sonar de varrimento lateral com uma cor mais escura (quando usada uma escala de cores convencional; ver Figura III-10).

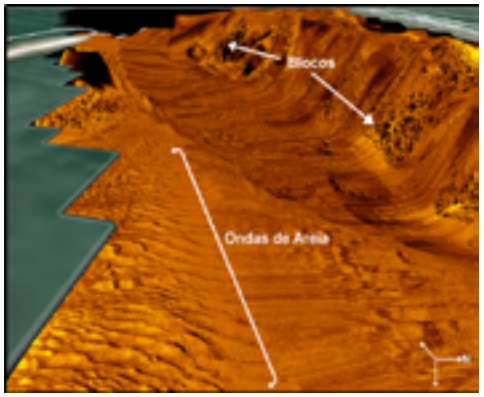


Figura III-9 · Imagem 3D da entrada do Porto de Aveiro, construída com base em batimetria derivada da reflexão sísmica de alta resolução, sobre a qual foi projetado o mosaico de sonar de varrimento lateral. Podem ser distinguidas formas sedimentares de fundo devidas a correntes e identificar uma série de blocos rochosos do molhe norte (Pinheiro *et al.*, 2011).

A Figura III-10 apresenta um levantamento de sonar de varrimento lateral realizado ao largo do Porto da Figueira da Foz, em 2016. As áreas com mais alta retrodispersão correspondem a sedimentos mais grosseiros e as zonas mais escuras a sedimentos mais finos, confirmados por amostragem direta dos sedimentos (Pinheiro *et al.*, 2017).

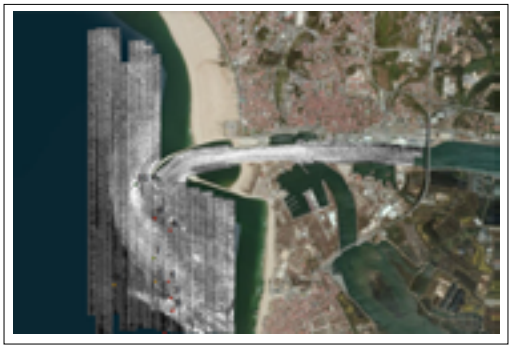


Figura III-10 · Mosaico de sonar de varrimento lateral adquirido ao largo do Porto da Figueira da Foz, permitindo identificar áreas com sedimentos mais grosseiros (cores mais claras) e sedimentos mais finos (cinza escuro). Círculos numerados mostram resultados de amostragem de sedimentos: a verde – areias grosseiras; a vermelho – areias médias; a amarelo – areias finas. (Pinheiro *et al.*, 2017).

Em termos de levantamentos batimétricos multifeixe de alta resolução, a Figura III-11 apresenta uma imagem 3D de levantamento adquirido no Terminal Norte com o sistema da Universidade de Aveiro (Cavalinhos *et al.*, 2020), no qual é possível identificar marcas de dragagens recentes e depressões semicirculares (*pockmarks*) associadas com zonas de escape de gás metano biogénico acumulado nos sedimentos (e.g. Fig III-8).

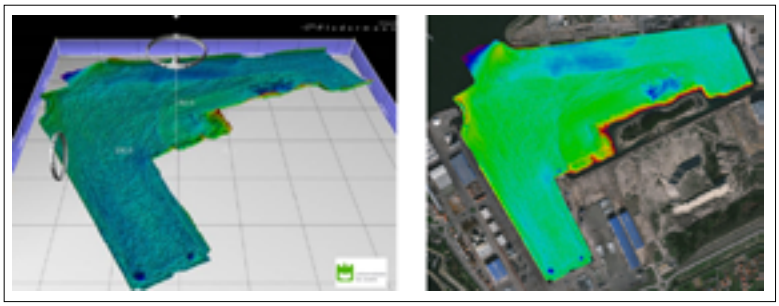


Figura III-11 · Levantamento batimétrico do Terminal Norte do Porto de Aveiro (Cavalinhos *et al*., 2020), onde são visíveis marcas de dragagens recentes e depressões associadas com escape de gás acumulado a pequena profundidade (Cavalinhos *et al.*, 2020).

Nos locais onde é possível realizar sondagens mecânicas complementares, as várias formações sedimentares e rochosas nessa área podem ser caracterizadas do ponto de vista geológico e geotécnico, o que permite uma planificação mais eficiente das operações de

dragagem e melhor antecipar eventuais problemas de execução. A Figura III-12 mostra um estudo integrado realizado no Porto da Figueira da Foz, que integra batimetria derivada da reflexão sísmica, assim como uma malha apertada de perfis de reflexão sísmica e sondagens mecânicas. Recorrendo a software de visualização 3D é possível construir estes modelos interativos onde o utilizador pode mudar facilmente o ângulo de visão dos dados e selecionar os horizontes geológicos, sondagens e perfis sísmicos que pretende observar.

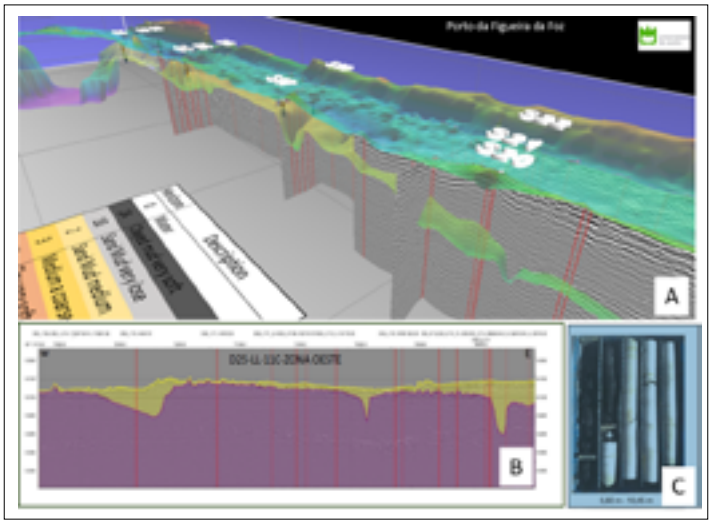


Figura III-12 · (A) Visualização integrada de uma malha de perfis de reflexão sísmica de alta resolução, combinada com batimetria extraída da reflexão sísmica e sondagens mecânicas. O horizonte mais profundo revela o topo da unidade composta por calcários. (B) Secção sísmica longitudinal mostrando o topo dos calcários e os sedimentos de cobertura. (C) Sondagem ilustrando os sedimentos superficiais sobre os calcários. (Pinheiro *et al.*, 2017).

1.4. Conclusões

Espera-se com os resultados apresentados neste trabalho, que resultam todos de campanhas realizadas pela Universidade de Aveiro em áreas portuárias ou na sua proximidade, contribuir para uma melhor compreensão das potencialidades dos levantamentos geofísicos para uma eficaz planificação de operações de dragagem. Idealmente, estes dados geofísicos devem ser calibrados com recolha de amostras de fundo, para calibração das profundidades das várias unidades geológicas e a correta cartografia do tipo de sedimen-

tos de fundo. A seleção dos locais a amostrar deve ser preferencialmente feita com base no levantamento prévio de sonar de varrimento lateral e de sísmica, o que permite reduzir muito significativamente o número necessário de amostras necessárias, garantindo a sua representatividade.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao mestre da Nereide, Paulo Rosa, a navegação precisa que permitiu a aquisição destes dados com elevada qualidade. Agradecem ainda ao Doutor Henrique Duarte as sugestões que permitiram melhorar significativamente a desconvolução dos dados de reflexão sísmica. Finalmente agradecem à IHS pela cedência do software de interpretação Kingdom Suite, que permite a interpretação integrada 2D e 3D de dados geofísicos.

Carlos Coelho
Ana Margarida Ferreira
Bárbara Marinho
RISCO e Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

2. Modelação numérica do desempenho de alimentações artificiais a médio termo

2.1. Introdução

As zonas costeiras mundiais apresentam tendências crescentes de erosão associadas a significativos balanços sedimentares negativos. A alimentação artificial de areias é uma medida que permite diminuir esses balanços negativos, introduzindo sedimentos no sistema costeiro. Porém, devido à complexidade da dinâmica sedimentar envolvida, a previsão do seu comportamento é de difícil avaliação, deixando importantes questões técnicas sem resposta adequada. Por exemplo, qual o tempo que os projetos de alimentação artificial de areias devem considerar para que o sistema praia-duna atinja a sua configuração de equilíbrio, após a intervenção. Outros aspetos de projeto relacionam-se com a velocidade de transporte sedimentar longitudinal dos sedimentos introduzidos, bem como o tempo necessário para que esses sedimentos beneficiem as praias vizinhas, ajudando a determinar a frequência das intervenções de realimentação. Todos estes aspetos estão dependentes do conhecimento e do estudo das características morfológicas, da hidrodinâmica e da dinâmica sedimentar de cada local. É por isso necessário continuar a desenvolver investigação que permita oferecer orientações de projeto em termos de volume, frequência e localização (em planta e perfil) para este tipo de intervenções e compreender melhor o grau de difusão dos sedimentos ao longo do tempo (Coelho, 2023).

O desenvolvimento do conhecimento e da capacidade de modelação numérica apoia e facilita a tomada de decisão e a justificação das opções perante a sociedade. No entanto, a evolução morfológica do litoral depende de diversos processos costeiros que atuam a diferentes escalas temporais. Devido à elevada complexidade em reproduzir todos esses processos, os modelos são normalmente divididos em três tipos, consoante os processos de evolução da morfologia de praia que descrevem: modelos de curto prazo, modelos de médio prazo e modelos de longo prazo. A escala temporal associada aos modelos de curto

prazo relaciona-se com períodos de tempo que variam de horas a dias, por exemplo a erosão das dunas devido a tempestades. Os modelos de médio prazo abrangem processos cujo tempo de atuação varia de meses a um ano, sendo associados geralmente a processos relacionados com sazonalidade. Os modelos de longo prazo simulam processos cujas consequências na morfologia costeira se repercutem de décadas a séculos, por exemplo subida do nível médio da água do mar (Marinho, 2018).

Em geral, para análises a médio/longo-prazo, com horizontes temporais até 10 ou 20 anos, são aplicados modelos simples que obrigam à adoção de pressupostos e à avaliação das componentes de transporte sedimentar longitudinal e transversal em separado. Um dos aspetos chave na aplicação de modelos numéricos corresponde à sua calibração e validação, garantindo-se que reproduzem adequadamente a realidade do sistema a modelar, o que realça a importância da monitorização. Este trabalho teve por objetivo apresentar aspetos da modelação do transporte sedimentar longitudinal e transversal de sedimentos depositados artificialmente e refere o desenvolvimento preliminar de abordagens para conjugar ambos os efeitos.

2.2. Metodologia

As alimentações artificiais de areias interferem com a dinâmica sedimentar natural. Após a deposição, os sedimentos são distribuídos por ação das ondas, das correntes e do vento, sendo a agitação incidente considerada o principal agente modelador (Figura III-13). Desta forma, os sedimentos são naturalmente transportados do local de deposição, sendo necessário intervenções de realimentação ao longo do tempo. Os intervalos de realimentação variam normalmente entre 2 e 10 anos e dependem do projeto inicial, clima de agitação, sedimentos utilizados, número e tipo de tempestades, etc.

A colocação de sedimentos interfere com o transporte sedimentar longitudinal, pelo que para a modelação do comportamento longitudinal é importante avaliar a variação das condições de transporte por interferência com a orientação da linha de costa e a dispersão para sotamar e para barlamar. Por análise da fórmula CERC (1984), foram estimadas as condições de direção da agitação que induzem máximo transporte e deduzido o impacto que a alimentação provoca na orientação da posição da linha de costa. Com recurso ao modelo de evolução da posição da linha de costa LTC (Coelho, 2005) foi avaliada a dispersão dos sedimentos depositado num horizonte temporal de 5 anos, para um conjunto de casos genéricos.

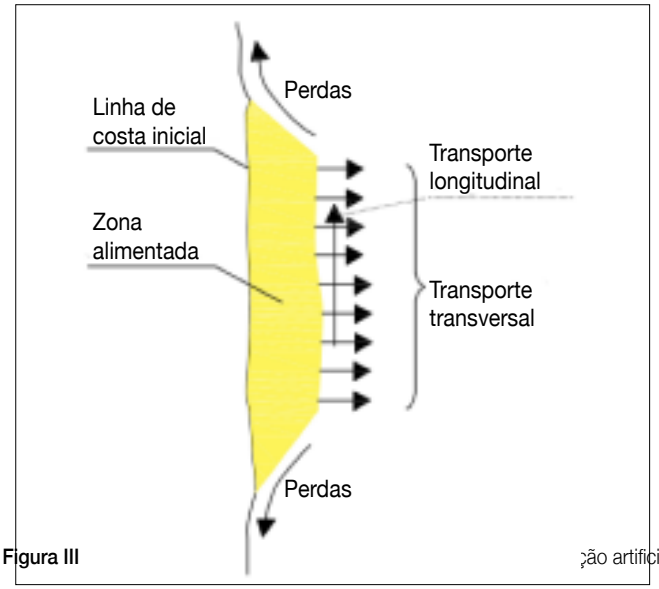


Figura III ção artificial.

Para a modelação do comportamento transversal foi considerado o modelo CS-Model (Larson *et al.*, 2016). Este modelo permitiu avaliar o desempenho da alimentação em diferentes locais do perfil transversal (barra submersa, berma e duna), considerando os efeitos do transporte sedimentar eólico, ataque da agitação à duna, através do espraio das ondas e eventual galgamento das dunas e trocas sedimentares barra/berma. São apresentados os resultados da aplicação do modelo a dois perfis representativos da região de Aveiro, um localizado na Costa Nova e outro na Vagueira.

Por fim, refere-se de forma breve, o trabalho que está a ser desenvolvido no sentido de conjugar os efeitos transversais e longitudinais, através da combinação dos resultados dos modelos numéricos LTC e CS-Model.

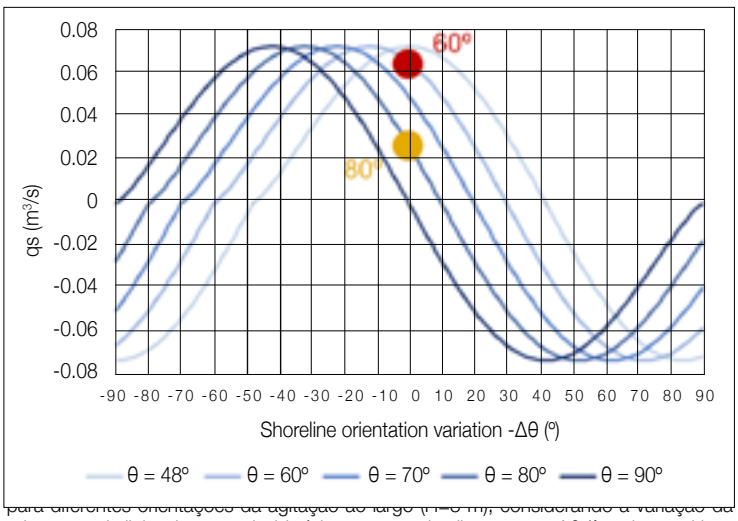
2.3. Comportamento longitudinal

2.3.1.Máximo transporte

Murray e Asthon (2013) avaliaram o fluxo de sedimentos ao longo da linha de costa, para diferentes ângulos de proveniência das ondas e concluíram que segmentos da costa com diferentes orientações experimentam diferentes fluxos longitudinais de sedimentos. O ângulo da onda que leva ao maior valor de sedimentos em transporte não é necessariamente

a onda mais oblíqua. Os resultados que estes autores apresentam foram produzidos com base numa equação empírica de transporte longitudinal de sedimentos, em função das características da agitação na rebentação, transformando-a numa relação que considera as características das ondas ao largo (Murray, 2007).

De forma similar aos trabalhos referidos, foi considerada a fórmula CERC (1984), ajustada para envolver as características das ondas ao largo, considerando os pressupostos da teoria das ondas lineares. Conclui-se que a taxa de transporte longitudinal de sedimentos ao longo da costa aumenta com a altura das ondas e atinge o máximo para uma direção de onda ao largo em torno de 48º, em relação à linha de costa (Ferreira e Coelho, 2021). Contudo, se a alimentação artificial de areias alterar os contornos da linha de costa e da profundidade de rebentação das ondas e, consequentemente, das características da onda na rebentação, as taxas máximas de transporte sedimentar longitudinal passam a ocorrer para diferentes ângulos de ondas ao largo. Na Figura III-14, a curva com θ=48º representa a direção de máximo transporte, quando a altura de onda ao largo é de 3 metros. No caso da orientação da onda ao largo ser de 60º, a capacidade de transporte longitudinal já é ligeiramente inferior, sendo bastante inferior quando a orientação ao largo é de 80º (ângulos θ entre a ortogonal das ondas e a linha de costa).



para diferentes orientações da agitação ao largo (H=3 m), considerando a variação da orientação da linha de costa devido à intervenção de alimentação, Δθ (ângulos positivos considerados no sentido horário).

No entanto, de acordo com o trabalho desenvolvido por Ferreira e Coelho (2021), se a

orientação da linha de costa variar Δθ por efeito da alimentação, a máxima capacidade de transporte ocorre para novas orientações de onda ao largo, como se pode comprovar com o cenário de rotação da orientação da linha de costa nos limites da intervenção de barlamar e de sotamar, em Δθ = 25º (Figura III-15). Como se verifica na Figura III-15, a onda de 80º ao largo inverte o sentido de transporte a barlamar da intervenção. Quer a barlamar, quer a sotamar, em termos absolutos, a capacidade de transporte passa a ser superior na onda de 80º, invertendo a situação que se observava na Figura III-14 (Ferreira e Coelho, 2021).

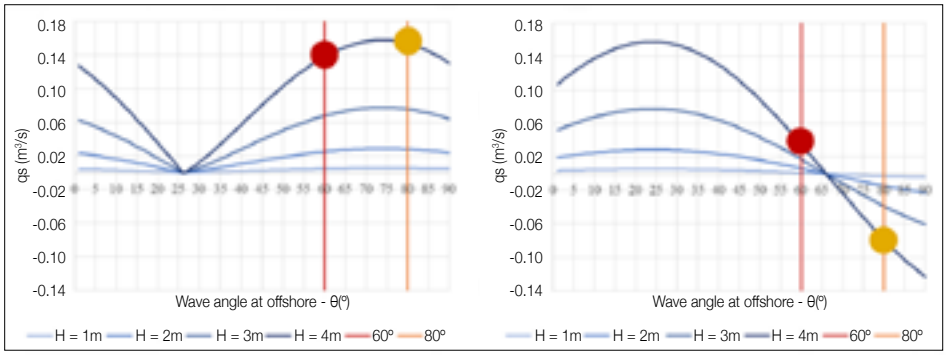


Figura III-15 · Taxas de transporte sedimentar longitudinal de acordo com a fórmula CERC (1984), considerando a variação da orientação da linha de costa devido à intervenção de alimentação, Δθ. Esquerda: limite barlamar da intervenção (Δθ = +25º). Direita: limite sotamar da intervenção (Δθ = -25º).

O comportamento descrito faz com que se alterem os padrões de transporte, gerando diferentes conjugações de gradientes que podem até originar situações de erosão nas vizinhanças das áreas onde se procedeu à alimentação artificial de sedimentos (Mendes *et al*., 2021 e Ferreira *et al*., 2023).

2.3.2. Distribuição para sotamar e barlamar

A formulação base do modelo LTC, *Long-Term Configuration* (Coelho, 2005) consiste no balanço de massa, considerando a equação de continuidade dos volumes de areia envolvidos no processo de transporte longitudinal de sedimentos. Ao discretizar o tempo em intervalos Δt, a análise ao longo da linha de costa para trechos de comprimento Δy, permite relacionar a variação de volume com a variação no tempo dos caudais sólidos em transporte:

$$\Delta V = (Q_i - Q_{i-1} + Q_{ext})\Delta t = (\Delta Q + Q_{ext})\Delta t \qquad \text{(III-1)}$$

A variação do caudal sólido em transporte no comprimento Δy depende da diferença entre os volumes que entram (Q_i) e que saem (Q_{i-1}) do trecho de comprimento Δy em cada intervalo de tempo Δt, sendo que, os volumes sólidos em transporte no intervalo Δt dependem fundamentalmente da altura e orientação da onda na rebentação, calculados para cada comprimento de linha de costa Δy (Coelho, 2005). O modelo considera que $Q_{ext} = q_{ext}\ \Delta y$ e que a variação do volume de areia (ΔV) no comprimento Δy é distribuída uniformemente em toda a largura ativa do perfil transversal, representando uma variação na cota dos pontos do perfil (Coelho, 2005).

Para prever o impacto que as alimentações artificiais de sedimentos têm sobre a evolução da morfologia do litoral, Ferreira (2016) realizou várias simulações com recurso ao LTC, fazendo variar o clima de agitação. Todos os cenários foram avaliados numa área de estudo genérica e regular, para melhor controlo do desempenho do modelo. As simulações incidiram sobre uma região de 5000x20000m^2 com batimetria regular, representada por uma malha de pontos espaçada de 20m na direção Este-Oeste e 50m na direção Norte-Sul.

A alimentação artificial de sedimentos conduz a um volume extra de sedimentos que serão distribuídos ao longo do litoral por ação da dinâmica sedimentar que ocorre no local onde é realizada a operação. Para perceber como ocorre a distribuição espacial e temporal do volume extra de sedimentos induzido pela alimentação artificial, procedeu-se à avaliação da variação da topo-hidrografia da zona de estudo. A batimetria/topografia da situação de evolução natural da linha de costa foi subtraída à batimetria/topografia da situação em que se considerou a alimentação artificial. Para a avaliação rápida e intuitiva dos comportamentos, foram produzidos mapas da área de estudo através do software ArcGIS 10.3 (Ferreira, 2016).

De acordo com Ferreira (2016), os resultados mostram que a altura de onda tem um impacto significativo na distribuição dos sedimentos da alimentação artificial. Para o mesmo rumo de proveniência da agitação, quanto maior é a altura de onda, mais cedo os trechos localizados a Sul sentem o efeito da alimentação artificial de sedimentos. Nestes cenários, a dispersão dos sedimentos é maior, fazendo com que, em algumas zonas da área de estudo, os benefícios comecem a diminuir, tendendo a desaparecer o efeito benéfico da alimentação. Como exemplo, na Figura III-16 ilustra-se o impacto que a alimentação artificial de sedimentos provoca na morfologia da zona de estudo, materializado através das diferenças altimétricas, em função da altura de onda, para o mesmo tempo de simulação, 5 anos, condições-fronteira da grelha modelada e rumo de proveniência da agitação marítima

(α - ângulo entre a ortogonal da onda e o Norte). Note-se que o volume de sedimentos depositado foi colocado em toda a largura do perfil ativo e na extensão longitudinal, entre os 2km e os 4km, medidos desde a fronteira Norte do domínio de cálculo.

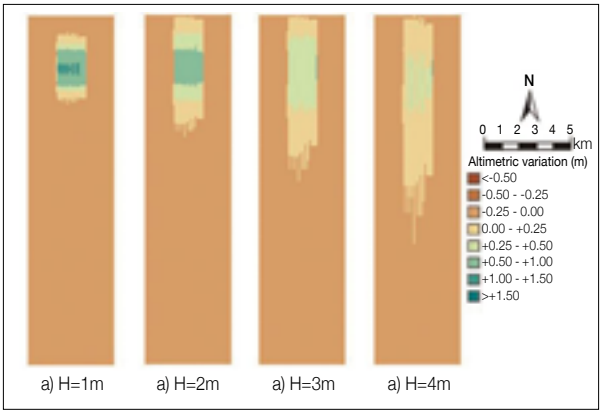


Figura III - 16 · Impacto da alimentação artificial de sedimentos na morfologia da largura ativa do perfil, ao fim de 5 anos de simulação, em função da altura de onda (α = 60º) (Ferreira, 2016).

O rumo de proveniência da agitação marítima também condiciona a forma como os sedimentos são distribuídos. Os resultados obtidos indicam que as zonas mais a Sul começam a beneficiar da alimentação mais cedo e em maior grandeza, quanto mais próximo da perpendicular à linha de costa é o rumo de proveniência das ondas. Como exemplo, na Figura III-17 apresenta-se o impacto da alimentação artificial de sedimentos na morfologia da região em análise, em função do rumo de proveniência da agitação, para a altura de onda de 4m (Ferreira, 2016).

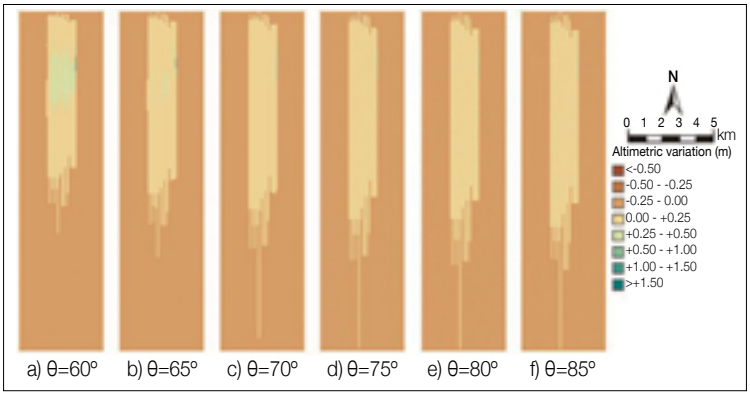


Figura III-17· Impacto da alimentação artificial de sedimentos na morfologia da largura ativa do perfil, ao fim de 5 anos de simulação, em função do rumo da agitação marítima (H=4m) (Ferreira, 2016).

Como se constata, a distribuição espacial e temporal dos sedimentos é influenciada pelas condições de agitação marítima (altura e rumo de proveniência da agitação). As zonas mais a Sul da região modelada começam a receber sedimentos mais cedo e em maior grandeza, para as maiores alturas de onda e para os rumos de agitação mais próximos da perpendicular à linha de costa. Os resultados obtidos mostram que os sedimentos vão sendo distribuídos pela região modelada ao longo do tempo, sendo possível antecipar que em alguns trechos, o efeito benéfico da alimentação tenderá a desaparecer (Ferreira, 2016).

2.4. Comportamento transversal

2.4.1. CS-Model

A nível da evolução do perfil transversal de praia, ocorrem processos costeiros a diferentes escalas de tempo. Segundo Larson *et al.* (2016), os processos de dinâmica sedimentar a considerar na modelação numérica do perfil transversal de praia devem incluir os processos que atuam a médio/longo prazo (por exemplo processos relacionados com transporte de sedimentos devido à ação do vento, troca de material barra-berma, etc.) e processos de curta duração cujos efeitos na alteração do perfil de praia se repercutem por longos períodos (por exemplo erosão da duna induzida por tempestades). No presente estudo, as projeções da evolução morfológica dos perfis transversais de praia foram realizadas através da aplicação do modelo numérico CS-Model (Larson *et al.*, 2016; Marinho, 2018). O CS-Model é um modelo numérico de evolução dos perfis de praia que simula os processos transversais numa perspetiva de médio/longo prazo, tendo em conta os processos relativos à erosão da duna, *overwash*, transporte eólico de sedimentos e troca de material barra-berma. O modelo descreve a evolução do perfil transversal de praia através de um conjunto de parâmetros morfológicos, recorrendo a um conjunto de equações de conservação de massa combinadas com equações que descrevem os processos transversais de transporte de sedimentos (Larson *et al.*, 2016; Marinho, 2018).

Para a aplicação do modelo, procedeu-se à representação aproximada do perfil transversal de praia de acordo com o esquema apresentado na Figura III-18, definindo os seguintes parâmetros: altura da duna (S), localização do pé da duna do lado de terra e do lado de mar (YL e YS respetivamente), posição da crista da berma (YB), volume da barra (VB), altura da berma (DB), inclinações das faces da duna (βL e βS), inclinação da berma (βF) e profundidade de fecho (DC). Para além disso, são também definidos pelo utilizador parâmetros relacionados com as características dos sedimentos e transporte eólico dos sedimentos.

Para o clima de agitação, o utilizador indica as alturas de onda, direção, período e nível de maré (Larson *et al.*, 2016, Marinho, 2018).

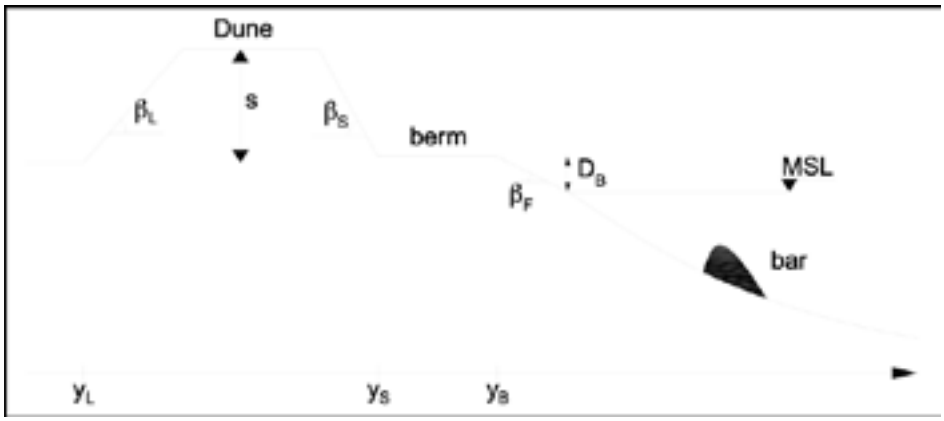


Figura III-18 · Esquema do perfil transversal de praia utilizado pelo CS-Model.

2.4.2. Avaliação do comportamento na Costa Nova e na Vagueira

Numa fase inicial, o modelo numérico foi calibrado e validado com dados provenientes do programa COSMO (2021), referentes a levantamentos topo-batimétricos realizados entre 2018 e 2019, em dois perfis da região de Aveiro, Portugal. Na Figura III-19 , para cada perfil, apresentam-se os levantamentos utilizados (linhas a azul) e a esquematização aproximada do perfil para definição dos parâmetros utilizados pelo modelo numérico (linha a vermelho). Posteriormente, simulou-se a evolução desses perfis para um conjunto de cenários de intervenção definidos com o objetivo de discutir o impacto do volume depositado e o local de deposição no perfil. Para avaliar o impacto das alimentações, estimou-se inicialmente a evolução dos perfis no cenário de não intervenção (evolução natural) e definiu-se um cenário de referência de intervenção que considerou a deposição de $5x10^5 m^3$/ano de sedimentos na barra submersa. Seguidamente, nos cenários avaliados, variou-se o local de deposição (praia ou duna) e o volume de material depositado, testando-se os valores de $1x10^5 m^3$/ano, $3x10^5 m^3$/ano e $7x10^5 m^3$/ano.

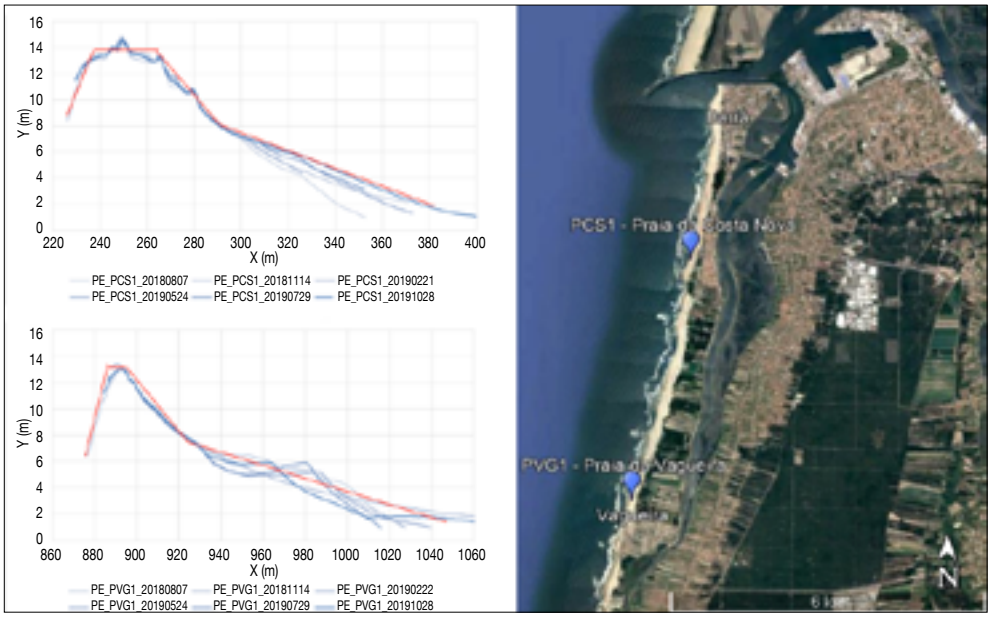


Figura III-19· Localização dos perfis transversais simulados com recurso ao CS-Model. Em cima: Costa Nova; em baixo: Vagueira (Ferreira *et al.*, 2022).

A fase inicial do estudo compreendeu a calibração e validação do modelo numérico. Para isso, os resultados de simulação obtidos numericamente foram comparados com os resultados de monitorização disponibilizados no âmbito do programa COSMO (Figuras III-20 e III-21), aplicando-se parâmetros estatísticos para aferir a viabilidade do modelo em reproduzir a evolução dos perfis (erro médio e índice de concordância de *Willmott*). Os resultados da análise estatística desenvolvida apresentaram erros médios para a maioria dos parâmetros avaliados (posição do pé da duna, posição da berma e largura da berma) inferiores a 1m e parâmetros de concordância de *Willmott* a variar entre 0 e 0.6, permitindo concluir que o modelo é capaz de reproduzir a evolução recente dos perfis de praia (Ferreira *et al.*, 2022).

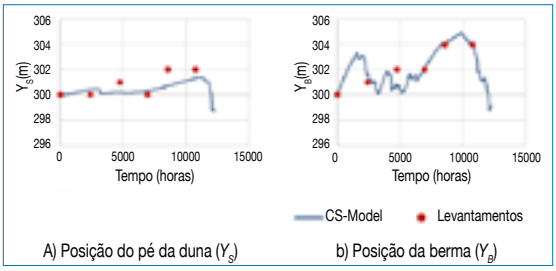


Figura III-20 · Resultados da calibração do modelo CS-Model, aplicado ao perfil da Costa Nova (Ferreira *et al.*, 2022).

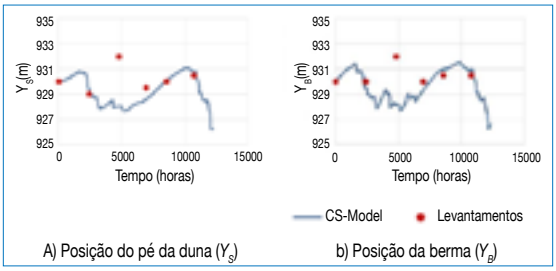


Figura III-21 · Resultados da calibração do modelo CS-Model, aplicado ao perfil da Vagueira (Ferreira *et al*., 2022).

O impacto das intervenções de alimentação de sedimentos na evolução dos perfis de praia reflete-se no aumento da largura da berma e/ou aumento da robustez da duna por aumento do seu volume. Em termos gerais, os resultados mostram que a deposição de sedimentos na barra submersa ou na praia são as soluções que conduzem a maiores ganhos de largura de berma de praia, sendo que, naturalmente quanto maior o volume de sedimentos depositado na barra submersa, maior é o avanço da posição da berma. A deposição de sedimentos na duna reflete-se sobretudo em termos de ganho de volume da duna e consequente aumento de robustez (Ferreira *et al*., 2022). As Figuras III-22 e III-23 mostram a evolução dos resultados da posição do pé da duna e da berma da praia, em função dos volumes depositados e do local de deposição no perfil. Em termos gerais, a adição de sedimentos ao perfil resulta em ganhos de largura de berma e/ou aumento do volume de sedimentos na duna.

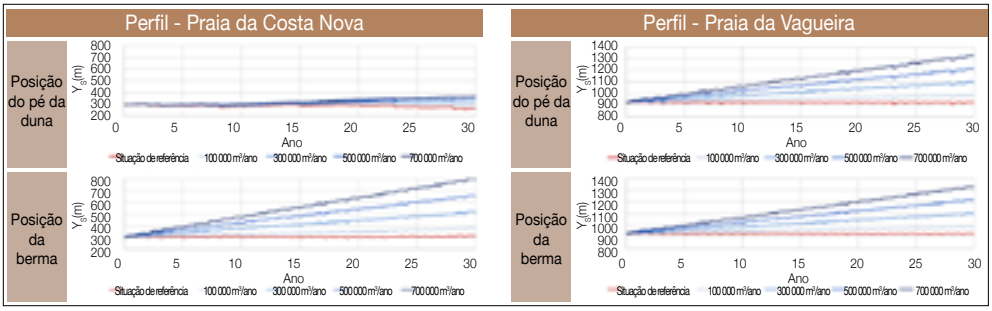


Figura III-22 · Evolução da posição do pé da duna e da berma, para os perfis da Costa Nova (esquerda) e da Vagueira (direita), em função dos volumes de sedimentos depositados na barra submersa (Ferreira *et al.*, 2022).

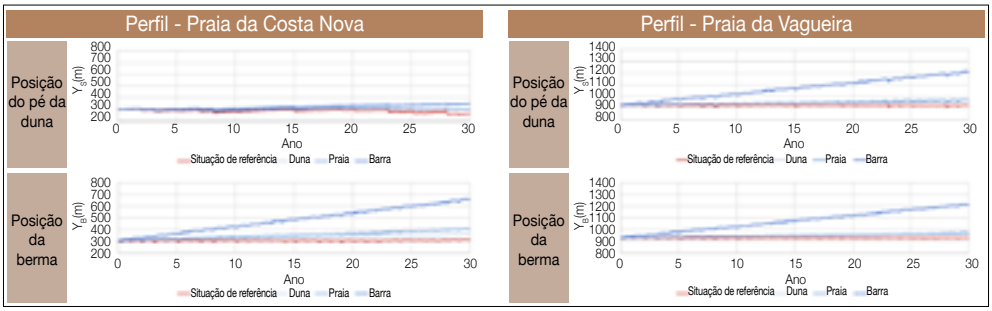


Figura III-23 · Evolução da posição do pé da duna e da berma, para os perfis da Costa Nova (esquerda) e da Vagueira (direita), em função do local de deposição de sedimentos no perfil transversal (Ferreira *et al*., 2022).

Apesar dos resultados indicarem que o ganho de largura de berma de praia é maior quando os sedimentos são depositados na barra submersa ou na praia, verificam-se diferenças entre os perfis analisados. No perfil da Costa Nova, a deposição de sedimentos na barra submersa ou na praia leva a uma evolução da largura da berma crescente no tempo, enquanto no perfil da Vagueira esse crescimento não é constante no tempo e apresenta uma ordem de grandeza inferior à obtida para o perfil da Costa Nova, pois a posição do pé da duna avança com a adição dos sedimentos. Os impactos das intervenções refletem-se essencialmente em aumento de largura de berma da praia e/ou aumento do volume da duna, já que os volumes das barras submersas tendem para o valor de equilíbrio. Os resultados da modelação são fortemente dependentes do processo de calibração, realçando a importância da monitorização para validação do desempenho dos modelos numéricos.

2.5. Conjugação de efeitos

O uso de modelos simples para reproduzir as principais tendências de evolução de intervenções de defesa costeira, como é exemplo a alimentação artificial de sedimentos, deve ser potenciado para promover a compreensão do sistema costeiro, ajudando a fundamentar as tomadas de decisão e o planeamento e gestão do litoral a médio-longo prazo. Desta forma, o trabalho de investigação que se tem vindo a desenvolver visa melhorar a capacidade de modelação numérica numa perspetiva de médio-longo prazo, conjugando-se efeitos de transporte de sedimentos longitudinais e transversais no mesmo modelo. Para tal, pretende-se incorporar os resultados do LTC (taxa de variação da posição da linha de costa) na evolução dos perfis transversais de praia simulados através do CS-Model ao longo do processo de simulação (Figura III-24). Esta abordagem ao assentar na utilização

de modelos numéricos simplificados permitirá análises de médio-longo prazo, aliviando o esforço computacional exigido.

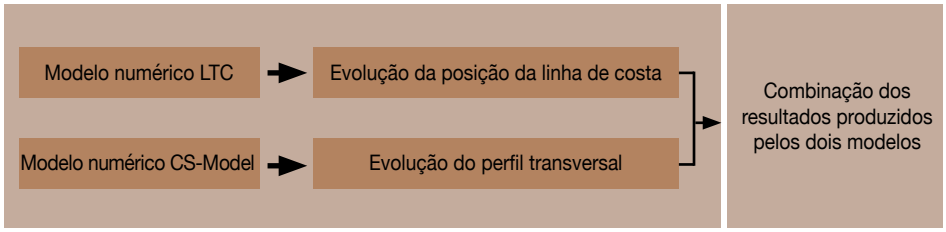


Figura III-24 · Representação esquemática da combinação dos efeitos dos modelos numéricos LTC e CS-Model (Ferreira *et al*., 2022).

2.6. Conclusões

A modelação numérica do desempenho de alimentação artificial de sedimentos a médio-prazo permite o apoio ao dimensionamento das intervenções e à tomada de decisões. No entanto, a capacidade de modelação dos processos associados à dinâmica sedimentar e correspondentes variações morfológicas do litoral ainda carece de maior conhecimento, dada a complexidade dos processos de transporte sedimentar longitudinal e transversal envolvidos e a especificidade das condições de cada local.

De uma forma geral, em relação ao comportamento da linha de costa, verifica-se que a dispersão dos sedimentos é maior para as ondas de maior altura, que apresentaram maior capacidade de transporte longitudinal. Em relação à direção das ondas, a distribuição de sedimentos de barlamar para sotamar é maior para ondas que se propagam em direções próximas à perpendicular ao litoral e este efeito relaciona-se com as diferentes orientações da linha de costa que a intervenção provoca nas vizinhanças do local de deposição, a barlamar e a sotamar. Este comportamento pode ser atribuído aos efeitos de refração da onda, uma vez que a deposição de sedimentos altera a batimetria local e consequentemente a orientação da linha de costa, com impacto nos fluxos sedimentares na vizinhança da intervenção. Estes resultados representam contributos importantes sobre modelação das alimentações artificiais e tempo de permanência dos sedimentos nos locais de depósito. Só as ondas mais altas justificaram a necessidade de nova alimentação após os 5 anos de simulação, devido à diminuição da quantidade de sedimentos da alimentação no local da intervenção. Numa abordagem muito simples, esta componente do trabalho permite antecipar genericamente como os sedimentos são distribuídos espacial e temporalmente após intervenções de alimentação artificial, dependendo do clima de agitação (altura e direção das ondas).

Na componente de comportamento do perfil transversal, os resultados salientam a necessidade de continuar a desenvolver investigação orientada com o objetivo de discutir incertezas associadas à modelação numérica da evolução dos perfis de praia e efeitos das alimentações artificiais de sedimentos. As alimentações artificiais de sedimentos permitem mitigar os problemas de erosão costeira. Os impactos das alimentações artificiais refletem-se na redução da área de território erodido, mas também em aumento de largura de berma da praia e/ou aumento do volume da duna. Diferentes esquemas de alimentação servem diferentes propósitos, consoante o local de deposição no perfil ou o volume de sedimentos considerado. A melhoria na capacidade de modelação terá como contributo auxiliar na gestão das alimentações artificiais de sedimentos, consoante o principal objetivo definido para a intervenção, nomeadamente: aumentar a robustez da duna, criar área recreativa de praia ou proteger da erosão com fornecimento de sedimentos para a deriva litoral.

Paulo Alves da Silva
Departamento de Física, Universidade de Aveiro & CESAM
Soraia Romão
Departamento de Física, Universidade de Aveiro & CESAM
Instituto Dom Luiz (IDL) & Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa

3. Transporte sedimentar em alimentações artificiais de praia

3.1. Introdução

O litoral de Aveiro, exposto a um regime energético de ondulação proveniente do Atlântico Norte, ilustra focos de erosão que decorrem do *déficit* sedimentar existente na célula sedimentar a sul da embocadura do rio Douro. De acordo com Lira *et al*. (2016) entre 1950 e 2014 observaram-se taxas de recuo da zona costeira de cerca de 8 m/ano (Figura III-25).

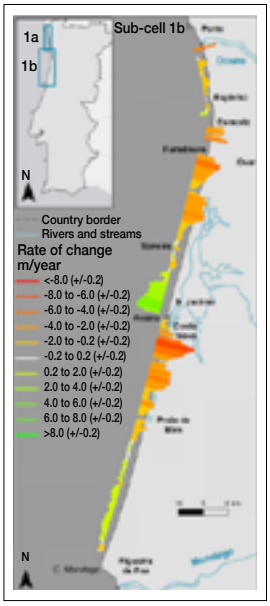


Figura III-25 · Evolução da linha de costa entre 1958 e 2014 na célula sedimentar 1b entre a foz do Rio Douro e o Cabo Mondego (reprodução de Lira *et al*., 2016)

A ocorrência de temporais contribui para o recuo da linha de costa, mas nem sempre as praias recuperam os sedimentos durante os regimes de agitação de menor energia, como no Verão, devido a estarem em desequilíbrio sedimentar, resultando num recuo permanente da linha de costa (Figura III-26).



Figura III-26 · (a) Praia de Mira. (b) Praia da Barra após a tempestade Hercules (janeiro de 2014).

Os fenómenos de erosão são também evidentes noutros locais do litoral de Portugal continental (Figura III-27a) e nas ilhas (Figura III-27b).



Figura III-27 · (a) Praia de Vale do Lobo em 1995 (reprodução de Teixeira, 2011). (b) Praia de Porto Santo em 2017.

A alimentação artificial de praias consiste na deposição de grandes quantidades de areia numa zona da praia. É uma medida de mitigação da erosão costeira que respeita o equilíbrio da natureza. A deposição é normalmente efetuada na praia emersa (berma), na duna ou no perfil ativo na praia submarina (Figura III-28). Apesar das alimentações de praia serem efetuadas em Portugal desde meados do séc. XX, é nos últimos 20 anos que esta medida tem sido aplicada com mais frequência (Pinto *et al*., 2018; 2020).

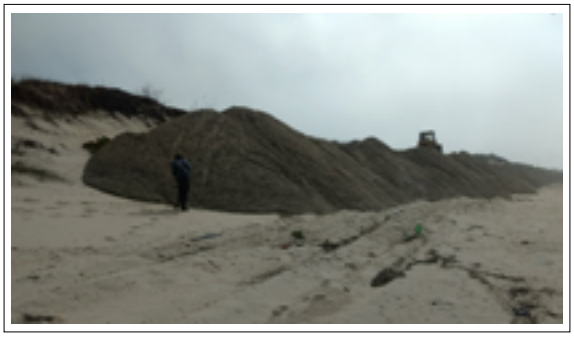


Figura III-28· Alimentação da duna na Praia de Mira efetuada entre setembro de 2017 e abril de 2018.

A alimentação de praia, como elemento de proteção costeira, pode ter diferentes propósitos. Quando realizada na parte subaérea, contribui para o reforço da zona dunar, que é um elemento fundamental de proteção do litoral, e para o aumento do volume de praia. Constitui também uma medida efetiva para o aumento da largura da praia, por exemplo, aumentando a zona de praia útil para os banhistas (Figura III-29). No caso das alimentações submarinas, espera-se que a areia depositada constitua um reservatório e que seja progressivamente transportada para a costa ao longo do tempo, alimentando a praia (Figura III-30). Este tipo de alimentação funciona também como um mecanismo efetivo de dissipação da energia das ondas.



Figura III-29 · Praia D. Ana antes e após a alimentação artificial em julho 2015 (reprodução de Teixeira e Pinto, 2022).

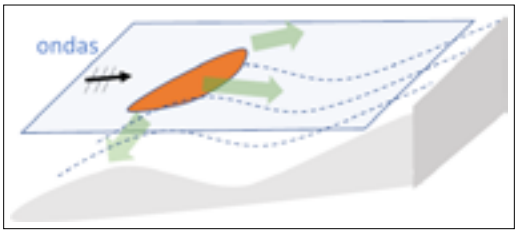


Figura III-30 · Esquema de uma alimentação na praia submarina.

Para descrever/prever a evolução de uma alimentação artificial de praia e avaliar a sua eficácia, os projetistas devem identificar as zonas que se pretende proteger, avaliar os locais de deposição de areia e o tempo de duração da alimentação. Para responder a estas questões, devem ser conhecidas as características hidrodinâmicas e morfológicas dos locais a alimentar, os mecanismos que determinam o transporte sedimentar, de forma a quantificar as taxas de transporte, e ter ferramentas que descrevem a evolução morfodinâmica da zona da alimentação e das praias adjacentes.

No caso das alimentações na praia subaérea, a sua evolução é ditada pelos processos de transporte sedimentar na zona de espraio, isto é, pela intensidade da deriva litoral, pelo transporte de areia associado a galgamentos da duna, que se traduzem em geral numa perda permanente de sedimento para fora da praia emersa e pelo transporte eólico. No caso das alimentações efetuadas na praia submarina, o transporte de areias e a dinâmica da alimentação é determinada sobretudo por processos associados à ação das ondas.

Em qualquer caso, conhecer o modo como as ondas se propagam desde o largo para a costa, as correntes litorais que induzem e a ação do espraio das ondas na praia subaérea é fundamental.

3.2. Mecanismos de transporte sedimentar

Do ponto de vista do transporte sedimentar na zona costeira, interessa estudar os processos de transformação das ondas a partir do momento em que interagem com o leito de fundo (base da onda) e os escoamentos que daí resultam (Figura III-31).

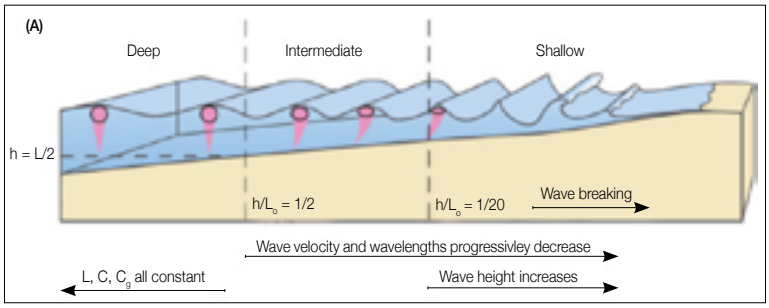


Figura III-31 · Propagação das ondas na zona costeira (reprodução de Thurman, 1997).

Existem vários mecanismos que determinam as características da onda na zona costeira: o empolamento, a refração e a rebentação. O empolamento da onda traduz-se no aumento

da altura da onda, H, e da velocidade orbital junto ao fundo, Uw. A refração da onda (Fig III-32a), consiste na modificação da direção de propagação das ondas, podendo aumentar a altura da onda em zonas de convergência de energia e diminuí-la em zonas de divergência. Este mecanismo resulta da modificação da velocidade de fase da onda promovida pela variação da profundidade. A altura da onda à medida que se propaga para menores profundidades pode ser estimada através do princípio de conservação do fluxo de energia da onda (Fig III-32b):

$$H = K_s K_r H_0 \quad \text{(III-2)}$$

onde Ks representa o coeficiente de empolamento, $K_s = \sqrt{\frac{c_{g0}}{c_g}}$,e $K_r = \sqrt{\frac{b_0}{b}}$ o coeficiente de refração. Nestas equações, cg representa a velocidade de grupo e b a distância entre dois raios de onda (o índice 0 refere-se às condições da ondulação em água profunda). No caso de uma batimetria paralela à costa, estabelece-se analiticamente uma relação entre as distâncias b e os valores dos ângulos de incidência da onda, $\frac{b_0}{b} = \frac{1 - sin^2\theta_0}{1 - sin^2\theta}$.

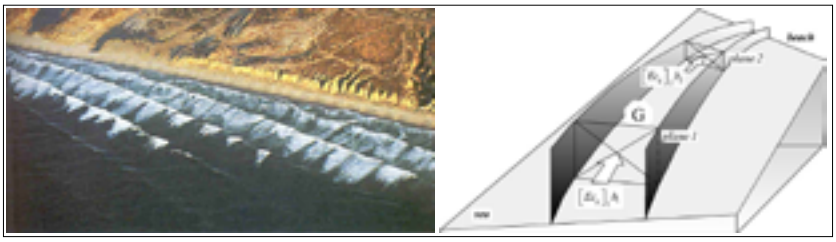


Figura III-32 · a) Ilustração do fenómeno de refração das ondas e b) fluxo de energia de onda através de duas secções limitadas por dois raios de onda (reprodução de Holthuijsen, 2007)

O escoamento orbital junto ao fundo, cuja amplitude é proporcional à altura da onda e ao seu período, produz tensões de atrito de intensidade considerável e que mobiliza os sedimentos depositados no fundo.

Para profundidades menores que a base da onda, as ondas sofrem transformações na sua forma, apresentando cristas acentuadas e de curta duração, cavas mais longas e a face frontal da crista da onda tende a inclinar gradualmente para a frente. Estes processos têm uma influência determinante no transporte sedimentar para a costa e podem ser traduzidos em função de dois parâmetros de assimetria da velocidade orbital da onda junto ao fundo, nomeadamente, um índice de assimetria, r, e um parâmetro de forma, ϕ (Abreu *et al.*, 2010). A rebentação da onda ocorre quando a velocidade orbital das partículas na crista é superior

à velocidade de fase da onda. O tipo de rebentação depende do declive da praia, sendo normalmente descrita pelos seguintes tipos: progressiva, mergulhante e colapsante correspondendo, respetivamente, a declives de fundo cada vez mais acentuados. Na zona de rebentação das ondas há um transporte de massa de água na direção de propagação da onda. De forma a compensar este fluxo estabelece-se um escoamento médio junto ao leito de fundo no sentido contrário, para o largo, que se denomina de *undertow*. O transporte de massa também origina correntes paralelas à linha de costa quando o ângulo da onda na rebentação não é nulo e que está na origem do transporte longilitoral.

Desta forma, o transporte de sedimentos na direção transversal à linha de costa é determinado por diferentes processos sendo as assimetrias da onda responsáveis por um transporte médio no sentido da costa e o undertow pelo transporte no sentido contrário. A evolução do perfil de fundo resulta do balanço delicado destas duas contribuições. Na direção longitudinal, o transporte médio de sedimentos resulta da ação combinada da onda que mobiliza as partículas de sedimento e da corrente de deriva longilitoral que os transportam.

Existem na literatura diferentes formulações que permitem estimar o transporte de sedimentos num dado local em função das características das ondas e da natureza do leito de fundo na direção transversal (por exemplo, Soulsby, 1997; Silva *et al.*, 2006; Abreu, 2013; van der A *et al.*, 2013) e na direção longitudinal (por exemplo, CERC, 1984; Mil-Homens *et al.*, 2013; Shaeri *et al.*, 2020).

3.3. Modelos de morfodinâmica

A batimetria e a geometria da zona costeira influenciam fortemente os padrões das correntes e de propagação de ondas, bem como o transporte de sedimentos que lhes está associado. Por sua vez, estes transportes induzem modificações na batimetria, dando assim origem a um ciclo de realimentação entre a batimetria, o escoamento e o transporte de sedimentos. Para captar esta evolução, são utilizados modelos morfodinâmicos. Na sua essência um modelo morfodinâmico atualiza a forma do leito de fundo a intervalos regulares e os padrões de ondas, correntes e transporte sedimentar são recalculados com a nova batimetria. Este processo é repetido durante o tempo de simulação considerado.

Existem três classes principais de modelos numéricos de morfodinâmica costeira:

- Modelos de evolução da linha de costa, que calculam as alterações da posição da linha de costa durante períodos de anos ou décadas. São exemplos, os modelos de uma

linha ou n-linhas (por exemplo, Genesis - Hanson e Kraus, 1989; LTC - Coelho, 2005; LITPACK - DHI, 2014).

- Modelos de evolução de um perfil transversal da praia na escala temporal de dias a meses, e que consideram diferentes processos associados às assimetrias das ondas, correntes médias e inclinação do leito de fundo (por exemplo, Roelvink *et al.*, 2009; Dubardier *et al.*, 2015).

- Modelos de zonas costeiras, que determinam os padrões de erosão e acreção numa zona costeira topograficamente complexa. Estes modelos contêm diferentes módulos que descrevem a propagação de ondas, o campo de escoamento associado à maré, às ondas e ao vento, e o consequente transporte de sedimentos num domínio tridimensional. A evolução morfodinâmica do leito de fundo é calculada por uma equação bidimensional de balanço sedimentar. São exemplos destes modelos o Delft3D (oss.deltares.nl/web/delft3d/home), o CROCO (Coastal and Regional Ocean COmmunity model, www.croco-ocean.org), COAWST (Warner et al., 2010), Telemac-Mascaret (https://www.opentelemac.org/). Alguns destes sistemas computacionais contemplam módulos de qualidade da água e os processos bio-geoquímicos e biológicos, o que os torna ferramentas valiosas para a exploração de problemas complexos da dinâmica e do transporte no ambiente marinho.

Nesta seção são apresentados exemplos de aplicação de modelos que simulam o transporte de sedimentos na zona costeira e que contribuem para os estudos de evolução da morfodinâmica de alimentações artificiais.

3.3.1. Alimentação artificial na Costa Nova

A Agência Portuguesa do Ambiente promoveu uma operação de alimentação artificial de elevada magnitude na zona costeira de Aveiro que foi efetuada entre junho e setembro de 2020 (Pinto *et al.*, 2022). A intervenção de alimentação da praia consistiu na deposição de aproximadamente 2.375 milhões de metros cúbicos de sedimento em frente à praia de Costa Nova, entre 4 e 8 metros abaixo do ZH, conforme ilustrado na Figura III-33a.

Foi efetuado um estudo numérico da influência desta alimentação artificial em diferentes parâmetros hidrodinâmicos e do transporte sedimentar com o modelo Delft3D (Silva *et al.*, 2022). A Figura III-33b representa as taxas de transporte de sedimentos (Q_t). Estes resultados referem-se a uma condição de onda representativa das condições de inverno marítimo (H_s=2.5m; T_p=9s e *Dir*=315º). A variação nos valores Q_t ilustrada na Figura III-33c resulta da

diferença dos valores calculados com a batimetria após realizada a alimentação e a batimetria de referência, sem alimentação.

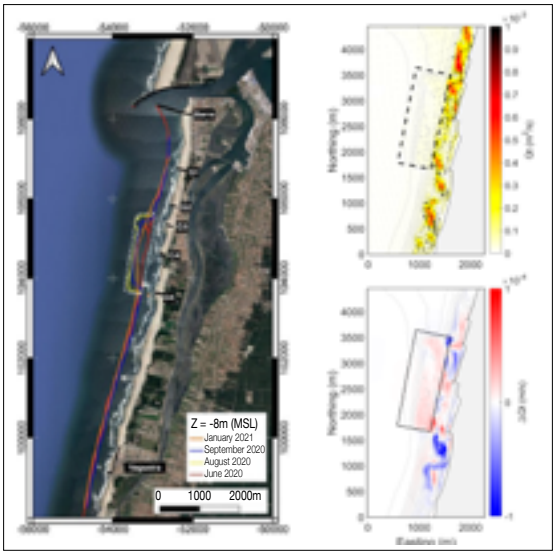


Figura III-33 · (a) Batimetria com a alimentação artificial. O polígono a tracejado corresponde ao local da alimentação. (b) Taxas de transporte total. (c) diferenças entre os valores calculados com alimentação e a situação de referência, sem alimentação (adaptado de Mendes *et al.*, 2021 e Silva *et al.*, 2022).

Verifica-se que a presença da alimentação artificial se traduz num aumento do transporte sedimentar na zona da alimentação, o que contribui para o fornecimento de sedimentos para as zonas adjacentes. Entre a zona de deposição e a costa adjacente verifica-se uma diminuição do transporte o que poderá potenciar a deposição de sedimentos nesta zona.

3.3.2. Modelo lagrangiano de partículas

Romão *et al*. (2024) desenvolveram um modelo lagrangiano que calcula as posições de um conjunto de partículas de sedimento libertadas num dado ponto do espaço ao longo do tempo. Este modelo foi acoplado ao modelo Delft3D que estima as taxas de transporte de sedimentos por arrastamento e em suspensão. A velocidade de advecção de partículas, em cada passo de tempo, foi determinada considerando as taxas de transporte de sedimentos

calculadas através do modelo Delft3D: o fluxo volumétrico é convertido em uma velocidade efetiva de transporte de partículas (Vtr), dividindo-o por uma escala de comprimento vertical característica.

O modelo considera também os efeitos estocásticos associados ao processo de difusão que é adicionada como uma contribuição para o movimento das partículas. Este efeito é expresso em termos de velocidade de difusão (UD), ao longo das direções x e y.

Desta forma, o vetor posição de uma partícula no instante de calculo n+1 é calculada a partir da seguinte equação:

$$\boldsymbol{X}^{n+1} = \boldsymbol{X}^{n} + \left(\boldsymbol{U}_{D} + \boldsymbol{V}_{tr}\right) \Delta t \qquad \text{(III-3)}$$

Este modelo foi aplicado à configuração do modelo Delft3D existente para o litoral de Aveiro. A Figura III-34 ilustra a nuvem de partículas que foram libertadas na zona costeira da Costa Nova ao fim de 2 dias de simulação. O centro de massa da nuvem de partículas é comparado com o que resulta da dispersão das partículas de sedimento marcadas com tinta fluorescente e que foram libertadas no mesmo local.

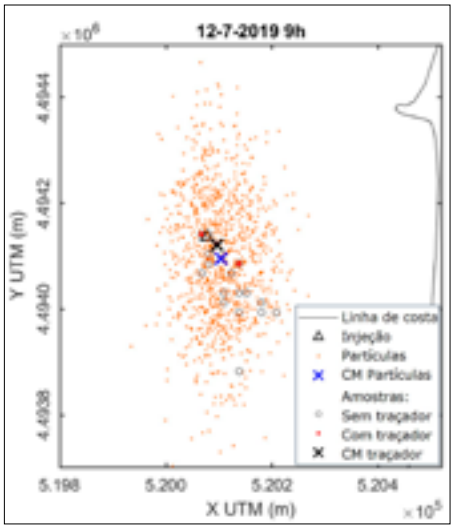


Figura III-34 · Simulação da posição das partículas (pontos cor-de-laranja) ao fim de dois dias de simulação. Os círculos correspondem à localização das amostras de sedimento adquiridas em cada levantamento, e os círculos vermelhos são as amostras identificadas com o traçador fluorescente. O símbolo triângulo representa o local de injeção do traçador fluorescente e onde foram libertadas as partículas numéricas. As cruzes azul e preta representam, respetivamente, a posição do centro de massa da nuvem de partículas numéricas e fluorescentes recolhidas nas amostras (adaptado de Romão *et al.*, 2024).

Esta abordagem permite compreender como os sedimentos se movem no perfil ativo permitindo estabelecer os caminhos preferenciais de deslocamento e a velocidade a que estes se movem em função das condições de ondulação e das correntes médias. Nesta perspetiva, podem contribuir para uma melhor compreensão da evolução das alimentações artificiais.

3.4. Agradecimentos

Os resultados apresentados foram obtidos no âmbito do projeto de investigação SANDTRACK (POCI-01-0145-FEDER-031779). Agradece-se a todos os participantes do projeto, em especial à Dra. Soraia Romão pela disponibilização dos resultados do modelo.

Dragagens portuárias e sustentabilidade do Litoral

CAPITULO IV



Carla Garrido
Administração dos Portos de Aveiro e da Figueira da Foz

1. A utilização de dragados na alimentação artificial da deriva nos Portos de Aveiro e da Figueira da Foz

1.1. Introdução

A preservação e conservação do território e sua biodiversidade tem vindo a assumir um papel significativo na lista de preocupações das entidades públicas responsáveis pela sua gestão. Atendendo à sua natureza, o litoral baixo e arenoso é considerado zona de risco, preocupando as entidades gestoras, bem como todas as entidades que, direta ou indiretamente têm responsabilidade nesta zona, como é o caso das Administrações Portuárias nacionais.

As Administrações Portuárias visam essencialmente a exploração económica dos portos, servindo as necessidades regionais de transporte marítimo e garantindo a multimodalidade com os outros meios de transportes. Criadas com o propósito de promover o desenvolvimento económico da região onde se inserem e das populações que aí se instalam, asseguram a coordenação, fiscalização e regulamentação das atividades neles exercidas.

Os portos situam-se numa faixa de território nacional com gestão partilhada e distribuída por diversas entidades públicas, destacando-se as Administrações Portuárias, a APA, I.P. (Agência Portuguesa do Ambiente) e a DGRM (Direção Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos).

A APA, I.P. é a entidade responsável pela Gestão do Litoral, com grandes preocupações no combate à erosão costeira da costa atlântica portuguesa e na qual se inclui a linha de costa entre Aveiro e a zona da Cova-Gala, sita a sul da Figueira da Foz, área de influência dos Portos de Aveiro e da Figueira da Foz. Esta entidade assume ainda o papel de Autoridade de AIA (avaliação de impacte ambiental).

A DGRM assume responsabilidade de Autoridade Nacional para a Imersão de Resíduos e é responsável pela emissão dos Títulos de Utilização do Espaço Marítimo Nacional, necessários para a imersão de dragados no mar e pelo acompanhamento da monitorização

ambiental destes locais.

Atenta à diversidade de entidades com responsabilidades nesta faixa de território, importa a cooperação entre elas de forma a otimizar recursos humanos e financeiros, com consequentes benefícios para cada uma delas e para o País.

1.2. Segurança da navegação no Porto de Aveiro e no Porto da Figueira da Foz

As administrações portuárias dos portos de Aveiro e da Figueira da Foz, visam, entre outros, a exploração económica dos portos de Aveiro e da Figueira da Foz, e foram criadas pelos Decreto-Lei n.º 339/98, de 3 de novembro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 40/2002, de 28 de fevereiro, e pelo Decreto-Lei n.º 210/2008, de 3 de novembro, respetivamente. De referir ainda o Decreto-Lei n.º 46/2002, de 02 de março, que comete às autoridades portuárias a competência integrada em matéria de segurança marítima e portuária nas suas áreas de jurisdição, passando estas a ser responsáveis pela definição das condições de segurança de funcionamento do porto, definição do assinalamento marítimo, bem como instalação, manutenção e funcionamento do mesmo, estabelecimento das condições de navegabilidade nas águas sob sua jurisdição, garantia da manutenção de fundos nas vias navegáveis (canais de acesso e zonas de manobras) e nas áreas de fundeadouros, entre outros.

As administrações portuárias são frequentemente confrontadas com a necessidade de criar condições para que navios de maiores dimensões possam escalar os respetivos portos, com o intuito de reforçar a economia local e nacional. Contudo, importa que os projetos de ampliação e aprofundamento assegurem as condições necessárias à sua manutenção, em concreto das cotas de serviço, uma vez que alterar elementos naturais de zonas tão dinâmicas, como os fundos na entrada dos portos, pode revelar-se um grande desafio. Por exemplo, a experiência que se adquiriu nos últimos anos no porto da Figueira da Foz veio mostrar que em situação de temporal é muito difícil conter os sedimentos a norte do molhe norte sem que estes bloqueiem a entrada da barra à navegação habitual.

Nos portos de Aveiro e da Figueira da Foz, até à data, a solução que se tem revelado como mais adequada, do ponto de vista técnico e económico, para a manutenção dos acessos marítimos, é a do *bypass* móvel, com transposição do material e respetiva imersão nos locais sitos a sul de cada porto, de forma a repor os sedimentos na deriva litoral e recorrendo a equipamentos de dragagem móveis, entre outros, dragas de sucção em marcha. Os locais de imersão encontram-se nas imediações da Costa Nova, no caso do Porto de Aveiro, e no que diz respeito ao Porto da Figueira da Foz na Cova-Gala, em profundidades

compatíveis com a faixa ativa do litoral, ou seja, que não excedem os 8 metros (Z.H.).

Tendo em conta a tipologia da navegação comercial em cada um dos portos, encontram-se definidas as cotas de dragagem, as respetivas cotas de serviço e o calado máximo admitido para cada troço do canal de navegação e zonas de acostagem e manobras, de modo a garantir as normais condições de segurança da navegação. As cotas de serviço suprarreferidas são definidas tendo em conta o calado máximo dos navios autorizados na zona em causa, acrescido de um fator de segurança que varia em função da tipologia e dimensões máximas destes últimos.

Definidas as cotas de serviço para cada zona de navegação e manobras, importa proceder à monitorização dos fundos, cuja frequência depende do histórico de dinâmica sedimentar da zona, impondo-se um intervalo mais curto entre levantamentos hidrográficos de monitorização dos fundos em zonas cuja dinâmica é mais elevada. A Tabela IV-1 reflete o plano de monitorização dos fundos atualmente em vigor nas administrações portuárias de Aveiro e da Figueira da Foz e que contribuem para garantir as normais condições de segurança da navegação nos portos.

Tabela IV-1 · Plano de monitorização de fundos dos Portos de Aveiro e da Figueira da Foz

		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
FIGUEIRA DA FOZ	**BARRA até Limite da AJ e Anteporto**			x						x			
	BARRA (Zona exterior objeto de dragagens de manutenção)	x	x	x		x		x		x	x	x	x
	BMSC + 200m a montante da ponte			x			x			x			x
	Acesso ao PP (Cais de descarga + Cais de abastecimento						x						x
	AJ (Área de Jurisdição molhada)						x						
AVEIRO	**BARRA + BANCO**						x						
	BARRA (Zona exterior objeto de dragagens de manutenção)				x								
	Anteporto	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
	Darsena			x							x		
	CP_TGL-P.tes 20 a 23			x							x		
	Terminal Sul					x							x
	CM - Acesso ao Porto de Pesca Costeiro					x							x
	AJ (Área de Jurisdição molhada)												

Com os resultados da monitorização efetuada é possível alimentar a base de dados com

informação sobre a morfologia dos fundos, reforçar os níveis de confiança dos técnicos do departamento de pilotagem e planear as intervenções de dragagem de manutenção dos fundos. As intervenções de dragagem de manutenção de fundos nos portos de Aveiro e da Figueira da Foz ocorrem de forma preventiva, no período autorizado para o efeito, a partir de maio de cada ano, ou de emergência, sempre que se constate existirem cotas de fundo inferiores às cotas de serviço definidas para a referida zona.

1.3. Porto de Aveiro

1.3.1.Breve caracterização

O porto de Aveiro é atualmente administrado pela APA - Administração do Porto de Aveiro, S.A. (APA, S.A.) em conformidade com o citado Decreto-Lei n.º 339/98, de 3 de novembro. A sua área de jurisdição ascende a 1700 hecares e a área molhada equivale a 778 hectares (Figura IV-1).

O setor comercial sul é constituído por um terminal multiusos, cuja construção data do



Figura IV-1 · Mapa geral do porto de Aveiro

início da década de 60 do século XX e se encontra sob regime de concessão desde o ano de 2001. A referida concessão inclui a responsabilidade de manutenção dos fundos e de efetuar as necessárias dragagens de manutenção essenciais à operação do terminal. O setor comercial norte é constituído por terminais especializados, entre eles o Terminal Norte (multiusos), o Terminal de Contentores e Ro-Ro, o Terminal de Graneis Sólidos, o Terminal de Graneis Líquidos e uma zona de atividades logísticas e industriais, designada de ZALI. A Figura IV-1, infra apresentada, dá uma perspetiva geográfica dos diversos terminais do porto, assim como, da extensão do canal de navegação e área molhada adjacente, sujeita a monitorização regular de fundos.

Relativamente ao volume de carga movimentada no porto, na última década, o valor médio ronda os 4.5 milhões de toneladas, tendo atingido o seu apogeu em 2018, com 5.6 milhões de toneladas movimentadas, conforme se constata da análise da Figura IV-2.

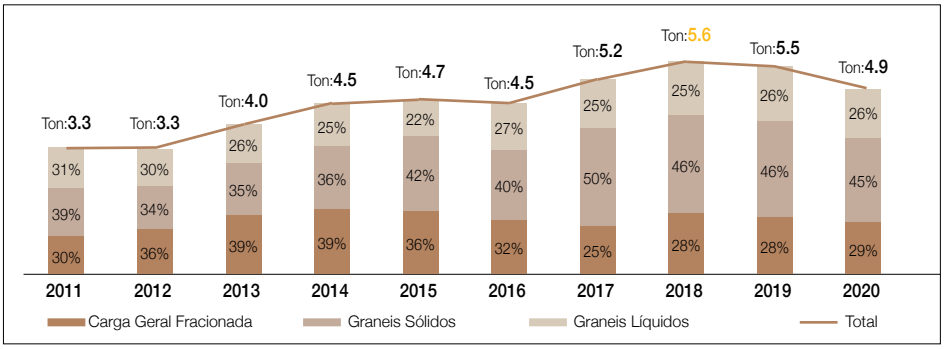


Figura IV-2 · Evolução das toneladas movimentadas na APA, S.A., na última década

Analisando a Figura IV-2, contata-se que o período que sucedeu aos grandes investimentos no crescimento do setor norte e na reconfiguração da barra do porto foi de crescimento acentuado para o Porto de Aveiro.

1.3.2. Dragagens e utilização dos dragados

O porto de Aveiro, estando situado num estuário, depende das operações de dragagem para que possa garantir a manutenção das normais condições de segurança da navegação. Efetuado o balanço da última década, que se apresenta no gráfico da figura seguinte, constata-se que o volume total de sedimentos dragado nas áreas sob a sua jurisdição ronda os 7.7 milhões de metros cúbicos, cuja distribuição anual é apresentada na Figura IV-3. Em média, no período de 2011 a 2020, o volume dragado ronda os 746 mil metros

cúbicos, sendo o destino da quase totalidade dos sedimentos (95%) o reforço da deriva litoral, através da imersão no mar, no local licenciado para o efeito situado entre o 3.º e 5.º esporões, do campo de esporões da Costa Nova.

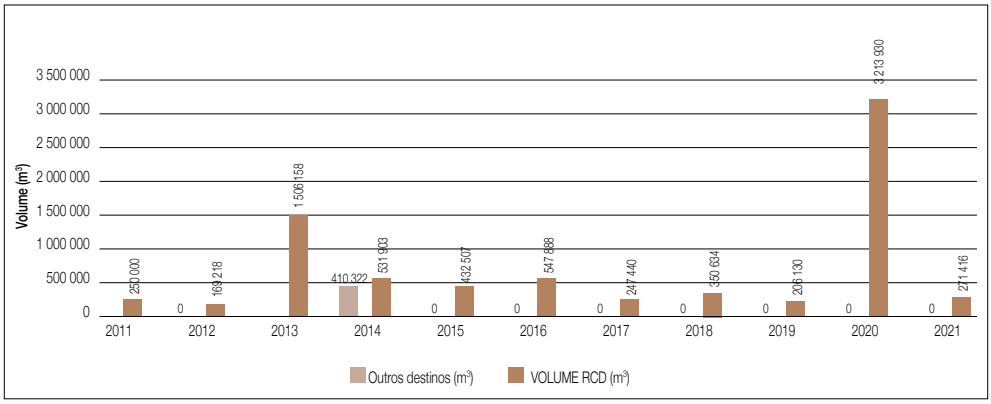


Figura IV-3 · Volumes dragados pela APA, S.A., na última década, e respetivo destino.

O planeamento das dragagens a realizar (Tabela IV-2) tem por base o histórico das dragagens e a necessidade de garantir as normais condições de segurança para o calado máximo admissível.

Tabela IV-2 · Volumes de dragagem para o período de 2022 a 2026
(Fonte: Plano de dragagens de manutenção da APA, S.A).

	VOLUME (m³)					
	2022	**2023**	**2026**	**2026**	**2026**	**2022 - 2026**
Barra	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	500 000.00
Anteporto	250 000	250 000	250 000	250 000	250 000	1 250 000.00
DARSENA I - TN	100 000	100 000	100 000	100 000	100 000	500 000.00
DARSENA II - Restante						
DARSENA - ENTRADA	15 000	40 000	40 000	40 000	40 000	175 000.00
DARSENA - Rocha	6 000	0	0	0	0	6 000.00
Terminal de Graneis Líquidos Ptes 20-23	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000	250 000.00
Curva Navalria	40 000	40 000	40 000	40 000	40 000	200 000.00
Porto de Pesca do Largo + TEDP	50 000					50 000.00
Porto de Pesca Costeira + Oudinot + Canalete	50 000					50 000.00
TOTAL (a+b)	**661 000**	**580 000**	**580 000**	**580 000**	**580 000**	**2 981 000**

Assim, estimam-se os volumes de dragagem de manutenção a realizar nos cinco (5) anos seguintes, volumes esses que integram o Plano de Dragagens de Manutenção da Administração do Porto de Aveiro. Para o período de 2022 a 2026, o Plano prevê a dragagem de um volume de cerca de 3 milhões de m^3, ou seja, uma média de 596 200 m^3 por ano.

Os sedimentos serão imersos no local definido para o efeito em conformidade com o TUPEM (Título de Utilização Privativa do Espaço Marítimo Nacional) em vigor, se considerados compatíveis com o local, após a respetiva análise, caracterização e classificação, de acordo com a Portaria n.º 1450/2007, de 12 de novembro.

1.3.3. Empreitada de dragagem dos fundos adjacentes e remoção de inertes da ZALI

Em paralelo com as dragagens de manutenção, os portos também efetuam dragagens de primeiro estabelecimento. A empreitada de dragagem dos fundos adjacentes e remoção dos inertes da ZALI destaca-se por ter sido uma obra onde se conciliaram as vontades e interesses de duas entidades, APA, I.P. e a APA, S.A. e consistiu na alimentação artificial do troço costeiro entre a Costa Nova e a Vagueira, com inertes provenientes do depósito de dragados do porto de Aveiro.

Para o efeito, a 15 de julho de 2016 foi assinado um protocolo de colaboração entre a APA, I.P. e a APA, S.A. que previa a imersão de 2 750 000 m^3 de sedimentos na zona suprarreferida, tendo como objetivos promover o enchimento e consolidação das praias adjacentes, promover o robustecimento do cordão dunar e o reforço do cordão litoral a sul da povoação da Costa Nova, minimizando os problemas de erosão que aquela zona costeira tem vindo a sofrer, com sedimentos cedidos pela APA, S.A..

Os sedimentos utilizados para o efeito na recarga de grande magnitude, *Shot*, na zona identificada na imagem a verde, que veio a concretizar-se em 2020, foram provenientes de depósito existente nos terraplenos do porto (resultantes de uma anterior dragagem de primeiro estabelecimento) e de uma dragagem de primeiro estabelecimento numa zona designada de "ilha", sita na bacia de manobras do setor comercial norte, identificadas a laranja na Figura IV-4, respetivamente.



Figura IV-4 · Localização dos sedimentos e respetivo local de imersão.

No que diz respeito aos meios envolvidos, destacam-se draga de corte e sucção, dragas de sucção em marcha, batelões para transporte e imersão, entre outros, apresentados na Figura IV-5.



Figura IV-5 · Equipamentos usados na intervenção

1.4. Porto da Figueira da Foz

1.4.1. Breve caracterização

O porto da Figueira da Foz é gerido por uma administração portuária criada pelo Decreto-Lei n.º 210/2008, de 3 de novembro, designada por APFF – Administração do Porto da Figueira da Foz, S.A., e que consiste numa sociedade anónima e capitais exclusivamente

públicos integralmente detidos pela APA - Administração do Porto de Aveiro, S.A.. Desta forma foram criadas as condições para uma racionalização de recursos, exploração de sinergias e de economias de complementaridade e até de expansão.

No que diz respeito ao setor comercial, o porto da Figueira da Foz é constituído por três terminais, o Terminal de Carga Geral, o Terminal de Graneis Sólidos e o Terminal de Granéis Líquidos, representados na Figura IV-6 a cor de laranja e verde, respetivamente.



Figura IV-6 · Mapa geral do porto da Figueira da Foz.

O Porto da Figueira da Foz na sua embocadura é afetado por uma dinâmica sedimentar muito ativa, levando, por vezes, ao condicionamento dos calados máximos admissíveis no porto, de forma a salvaguardar as normais condições de segurança da navegação.

No que diz respeito a mercadorias movimentadas na APFF, S.A., foram movimentados, em média, 2 milhões de toneladas por ano na última década, conforme Figura IV-7.

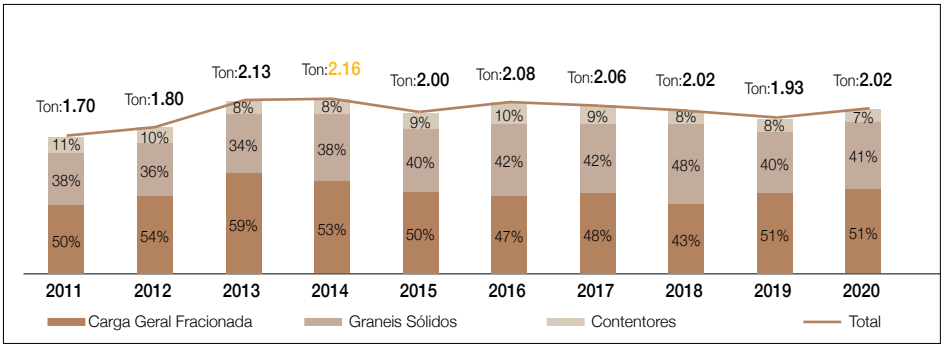


Figura IV-7 · Evolução das toneladas movimentadas na APFF, S.A.

1.4.2. Dragagens e utilização dos dragados

O porto da Figueira da Foz, sito na foz do rio Mondego, tem-se revelado dependente de operações de dragagem para garantir as normais condições de segurança da navegação. No gráfico da Figura IV-8 apresentam-se os volumes de sedimentos dragados no porto e o seu destino.

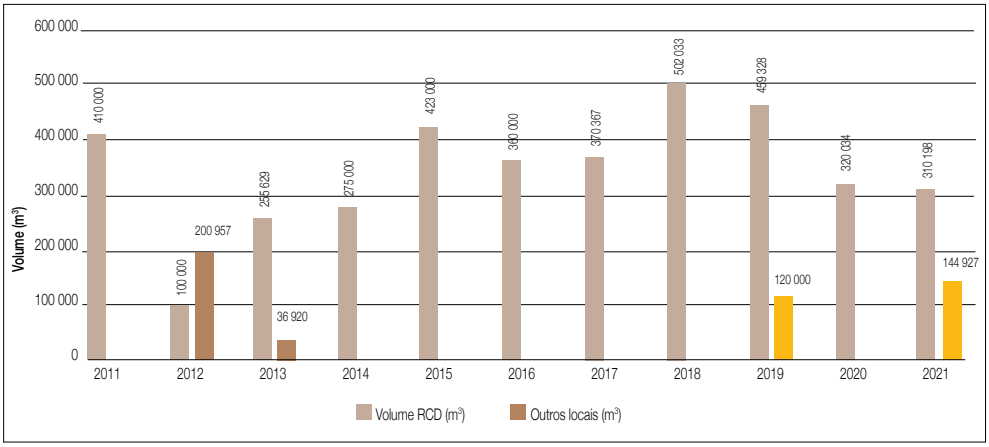


Figura IV-8 · Volumes dragados pela APFF, S.A. na última década e respetivo destino.

A castanho claro estão representados os volumes que foram imersos, no local licenciado a sul do molhe sul para o efeito, sito em frente à Cova-Gala, com o objetivo de reforçar a deriva litoral e consequentemente o cordão dunar a sul da entrada do porto. A castanho escuro os volumes que, por não apresentarem características compatíveis com o reforço do cordão dunar, foram colocados num local sito ao largo da Figueira da Foz. Das intervenções apresentadas destacam-se ainda as que ocorreram em 2019 e em 2021, identificadas a amarelo no gráfico, que resultaram da celebração de protocolos de colaboração técnica e financeira entre a APFF, S.A. e a APA, I.P., para colocação na praia emersa e que serão referidos na secção 1.4.3. O volume total de sedimentos imersos junto à costa com o intuito de reforçar a deriva litoral e o cordão dunar na última década ronda os quatro milhões de metros cúbicos, numa média anual de 383 333 m^3/ano, conforme se constata da análise do gráfico. A salientar ainda que 88% do volume dragado foi depositado no local autorizado para a imersão dos dragados com vista a reforçar a deriva litoral e o cordão dunar.

Também o Porto da Figueira da Foz dispõe de Plano de Dragagens de Manutenção, em que se encontram estimados os volumes a dragar durante os 5 anos de duração do referido

plano, de modo a garantir as normais condições de segurança para o calado máximo admissível, volumes que se sumariam na Tabela IV-3.

O plano prevê para o período de 2022 a 2026 a dragagem de um volume estimado em cerca de 3 000 000m^3, ou seja, uma média de 600 000 m^3 por ano. Os sedimentos serão devidamente analisados, caracterizados e classificados de acordo com a Portaria n.º 1450/2007, de 12 de novembro, e, se se constatar serem os mesmos compatíveis com o reforço da deriva, serão imersos no local definido para o efeito.

Tabela IV-3 · Volumes de dragagem para o período de 2022 a 2026
(Fonte: Plano de dragagens de manutenção da APFF, S.A).

	VOLUME (m^3)					
	2022	**2023**	**2026**	**2026**	**2026**	**2022 - 2026**
Barra e Anteporto	450 000	450 000	450 000	450 000	450 000	2 250 000
Bacia Manobras do Setor Comercial	130 000	130 000	130 000	130 000	130 000	650 000
Acesso ao Porto de Pesca, Duques d'Alba e acesso à Bfiscal e ao ISN	0	50 000	0	50 000	0	100 000
Porto de Recreio e Cais de Serviços	50 000	0	0	0	0	50 000
TOTAL	**630 000**	**630 000**	**580 000**	**630 000**	**580 000**	**3 050 000**

Acresce referir que o Projeto de Aprofundamento da Barra, Canal de Acesso e Bacia de Manobras, cujas zonas de intervenção estão definidas na Figura IV-9, prevê a dragagem de cerca de 756 mil metros cúbicos com imersão no local junto à Cova-Gala, de forma a contribuir para o reforço da deriva. Os sedimentos são constituídos essencialmente por material arenoso, conforme informação apresentada na Tabela IV-4.

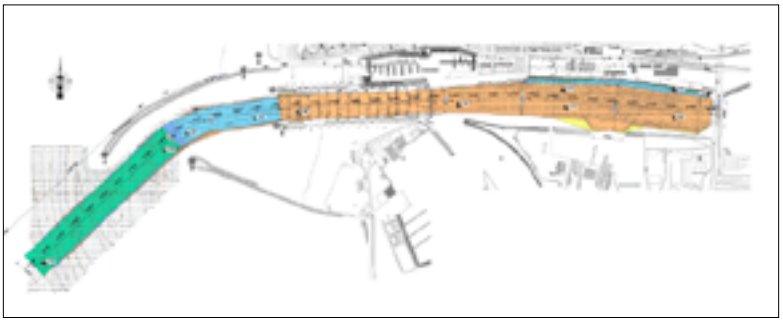


Figura IV-9 · Zonas a dragar no âmbito do Projeto de Aprofundamento da Barra, Canal de Acesso e Bacia de Manobras

Tabela IV-4 · Volumes de dragagem previstos no Projeto de Aprofundamento da Barra, Canal de Acesso e Bacia de Manobras

	Areia	Calcário
Barra	272 140 m^3	-
Anteporto	89 140 m^3	36 880 m^3
Canal Interior	394 420 m^3	13 430 m^3
TOTAL	**755 700 m^3**	**50 310 m^3**

Com esta obra, pretende a Administração do Porto da Figueira da Foz incrementar as dimensões dos navios a frequentar o porto, com acréscimos de 20 m no comprimento, passando a autorizar navios com 140 m de comprimento e 20 m de boca. Quanto aos calados máximos admissíveis, pretende-se um incremento de 1.5 m.

1.4.3. Empreitadas de dragagem com reforço do cordão dunar

Em 2019 e em sequência da situação débil em que o cordão dunar a sul da Cova-Gala se encontrava, a APA, I.P. contactou a APFF, S.A. e promoveram conjuntamente o respetivo reforço, pela recarga de 120 000 m^3 de sedimentos, dragados na zona de entrada do porto e descarregados por tubagem para a praia emersa. Na Figura IV-10 apresenta-se a situação inicial, onde se verifica existir défice sedimentar e a necessidade urgente de reforço do sistema dunar e praia emersa.



Figura IV-10 · Estado do cordão dunar na Cova-Gala, antes da intervenção

Em conformidade com protocolo de colaboração técnica e financeira celebrado entre as duas entidades, a APFF, S.A. procedeu à dragagem do respetivo volume na entrada da barra, zona identificada na Figura IV-11, e encaminhou os sedimentos até à tubagem para serem descarregados na praia emersa e posteriormente serem objeto de regularização (ver Figura IV-12), pela APA, I.P.



Figura IV-11 · Áreas de dragagem (violeta) e de reforço da intervenção (vermelho)



Figura IV-12 · Estado do cordão dunar na Cova-Gala após o reforço do cordão dunar efetuado

Em 2021, volvidos que estavam dois anos desta primeira intervenção conjunta, e atendendo ao elevado estado de degradação do cordão dunar na zona e dos *geobags* instalados

no local na intervenção anterior, com o propósito de auxiliar na retenção dos sedimentos na zona emersa, visível na Figura IV-13, celebrou-se novo protocolo de colaboração Técnica e Financeira entre a APFF, S.A., a APA, I.P. e a CMFF - Câmara Municipal da Figueira da Foz.



Figura IV-13 · Estado do cordão dunar na Cova-Gala, antes da intervenção de 2021

O acordo entre as entidades consistiu em repor novamente uma situação estável do cordão dunar na Cova-Gala, reforçando-o com 160 000 m^3 de material proveniente das dragagens de manutenção da acessibilidade ao porto da Figueira da Foz. Nesta intervenção e à semelhança da anterior, a APFF, S.A. comparticipou os custos da dragagem na zona identificada na Figura IV-14 e respetivo transporte até ao local de descarga, sendo o restante custo assumido pela APA, I.P. onde se incluem os trabalhos de descarga por tubagem e de espalhamento na praia, reparação e enchimento dos *geobags*, apresentados na Figura IV-15.

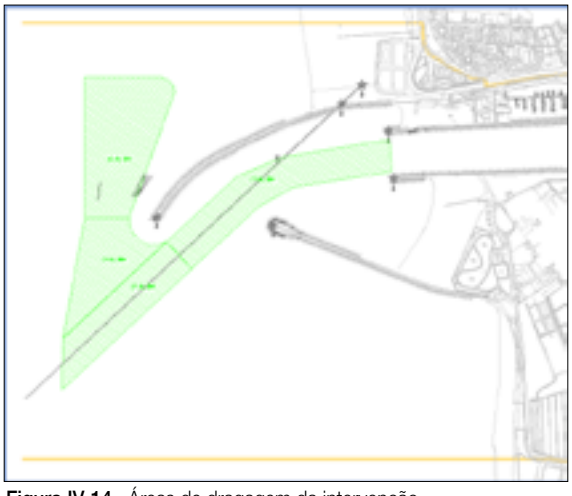


Figura IV-14 · Áreas de dragagem da intervenção



Figura IV-15 · Trabalhos realizados na zona de depósito para reforço do cordão dunar

Estas duas intervenções são a prova de que a articulação entre entidades é fundamental, pois permite criar sinergias e a otimização de recursos, quer sejam humanos ou financeiros, conducentes à defesa do litoral.

1.5. Conclusão

A utilização de dragados na alimentação artificial da deriva é já uma prática dos portos de Aveiro e da Figueira da Foz, que importa manter, uma vez que ao contribuir para a manutenção das suas condições de navegabilidade, promove concomitantemente a reposição de sedimentos dragados ao longo da faixa litoral, permitindo assim mitigar os problemas de erosão costeira.

As colaborações, técnica e financeira, entre instituições, efetuadas no passado, mostraram a viabilidade de partilhar recursos e contribuir em conjunto para a minimização da

erosão costeira através de iniciativas pontuais e articuladas, conjugando as necessidades portuárias de garantir a operacionalidade do seu acesso marítimo, em segurança, com os benefícios económicos e sociais inerentes à recuperação de território (praia emersa), combate à erosão costeira, resiliência às alterações climáticas, numa perspetiva de desenvolvimento sustentável.

Importa agora, em contexto de alterações climáticas significativas, ponderar a otimização da proteção costeira, reforçando a necessidade de criar este tipo de parcerias *win-win*.

Maria Teresa Sá Pereira
Rita Silveira Ramos
Administração do Porto de Lisboa

2. Contributos do Porto de Lisboa para sustentabilidade das zonas costeiras

Resumo

O Porto de Lisboa, situa-se no Estuário do Tejo, um dos maiores Estuários da Europa e, também, um dos mais sensíveis em termos de valores ambientais. Fica confinante com uma das zonas costeiras de alto valor turístico, as praias da Costa da Caparica, que sofrem de significativa erosão costeira. A operacionalidade do Porto de Lisboa depende entre outros fatores da realização de frequentes dragagens, as quais contribuem assim para o desenvolvimento deste porto e para o desenvolvimento económico da região em que aquele se insere. Por todos estes fatores, e por uma atitude proativa visando valores de sustentabilidade, a gestão das dragagens e relocalização dos sedimentos dragados, carece de conhecimento aprofundado, monitorização permanente, procura de soluções com mitigação da pegada ecológica, e contínua colaboração com outras entidades com competências de gestão no Estuário e Zona Costeira.

2.1.Caracterização do Porto

2.1.1. Porto multifuncional

O Porto de Lisboa, é um porto multifuncional, que abrange a maior parte dos segmentos da operação portuária, nomeadamente carga contentorizada, agroalimentares, carga geral, combustíveis, cruzeiros, transporte fluvial, pesca, marítimo-turística, navegação de recreio, entre outros.

2.1.2. Bacia hidrográfica e estuário do Tejo

O Porto de Lisboa, situa-se próximo da foz do rio Tejo, mais concretamente no Estuário do rio Tejo.

O Tejo é o rio mais extenso da Península Ibérica, sendo a sua bacia hidrográfica a terceira

mais extensa na península, logo atrás da do rio Douro e da do rio Ebro (Figura IV-16). O estuário do Tejo é um dos maiores estuários da Europa, ocupando uma superfície aproximada de 320 km^2, estendendo-se por 80 km desde Muge, limite montante da intrusão salina em condições hidrológicas normais, até à foz do rio Tejo.

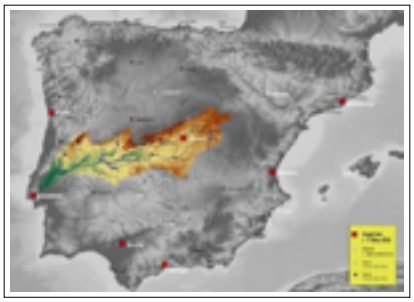


Figura IV-16 · Estuário do rio Tejo

O estuário do Tejo é um sistema mesotidal, sujeito a uma maré com período semidiurno. A cota de águas-vivas média no Terreiro do Paço é de 3.2 m, em maré viva, e 1.5 m em maré morta, aumentando para montante, sendo 3.6 m e 1.6 m em Alcochete, respetivamente, em águas vivas e águas mortas.

No estuário podem identificar-se três sectores principais: sector superior ou montante, desde Muge até ao arco Alcochete - Sacavém, caracterizado por fundos de areia e areia lodosa, com origem no escoamento fluvial; sector médio, entre os arcos Alcochete – Sacavém e Praça do Comércio - Cacilhas, caracterizado por fundos de lodo e lodo arenoso resultantes da maior floculação de sedimentos finos propiciada pelo encontro das águas fluvial e marítima; sector inferior ou canal de saída, desde o arco Praça do Comércio - Cacilhas, até à embocadura, no qual se dá a transição progressiva de fundos de lodo para fundos arenosos. O estuário apresenta uma região interior extensa e pouco profunda, desenvolvendo-se segundo a direção NNE-SSW, e um canal de embocadura, estreito e profundo, orientado a ENE-WSW.

As condições de hidrodinâmica e de geração da vaga de vento, prevalecentes no sector central do estuário, conduzem à diferenciação que se estabelece nos sectores adjacentes à margem direita e esquerda, relativamente aos processos de sedimentação dos finos. A deposição destes tende, assim, a dar-se na margem direita, manifestando-se como fonte de forte assoreamento em toda a faixa, desde o Parque das Nações até à Praça do Co-

mércio, em contraposição com a existência de extensas zonas de espraiados, cortadas por canais de maré, possibilitando o desenvolvimento de importantes áreas de sapal, na margem esquerda.

2.1.3. Jurisdição portuária

A jurisdição portuária de Lisboa estende-se por 42 km ao longo do estuário (Figura IV-17) e confina com onze concelhos, em ambas as margens, a saber: Vila Franca de Xira, Loures, Lisboa, Oeiras, Almada, Seixal, Barreiro, Moita, Montijo, Alcochete e Benavente.

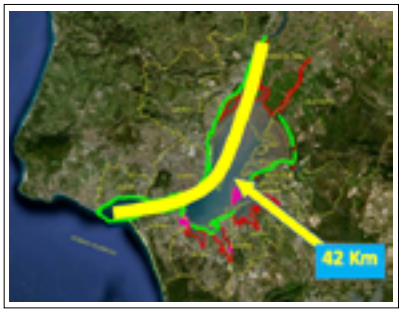


Figura IV-17 · Jurisdição do Porto de Lisboa

2.1.4. Enquadramento ambiental

O Porto de Lisboa situa-se num dos maiores e mais ricos estuários da Europa, no que respeita aos valores naturais. Dos cerca de 320 km^2 de área deste estuário, aproximadamente 40% corresponde a área entre-marés, localizada especialmente nas zonas central e superior do mesmo. A grande diversidade morfológica que o estuário do Tejo apresenta origina uma considerável diversidade de habitats e de espécies. Assim, encontram-se grandes extensões de bancos de vasa e de sapais, consequência dos declives suaves das margens e da elevada amplitude da maré. Nas margens do estuário existem ainda importantes áreas de salinas e de caniçal e na área terrestre envolvente, de montado (Figura IV-18).

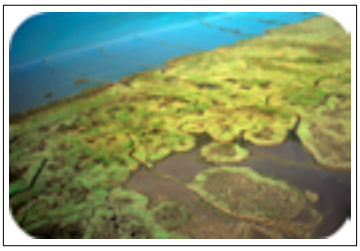


Figura IV-18 · Imagem do rio Tejo e sua margem

No estuário do Tejo e áreas terrestres adjacentes ocorrem 35 espécies de mamíferos, 194 espécies de aves com presença regular, além de 9 espécies de répteis e 11 de anfíbios. Existem, também, referências à ocorrência de 101 espécies de peixes no estuário, muito embora o número de espécies com presença regular não ultrapasse as 40 (ICNB, 2010).
Neste contexto, grande parte deste estuário, e, consequentemente, da área sob jurisdição portuária localizada na parte montante do mesmo, encontra-se abrangida por diversos estatutos de conservação da natureza decorrentes da sua designação:

- a nível nacional, como Área Protegida: Reserva Natural do Estuário do Tejo;
- a nível comunitário, como sítio da Rede Natura 2000, decorrente do seu interesse para a conservação, quer na perspetiva das espécies, dada a elevada ocorrência de espécies listadas nos anexos à Diretiva das Aves (Zona de Proteção Especial do Estuário do Tejo), quer pela ocorrência de Habitats a preservar no âmbito da Diretiva Habitats (Sítio de Importância Comunitária) e, ainda como local integrante da Rede de Reservas Biogenéticas do Conselho da Europa;
- a nível internacional, como local integrado na Lista de Sítios da Convenção de RAMSAR relativa às Zonas Húmidas de Importância Internacional, especialmente como habitat de aves aquáticas.

2.1.5. Canais de navegação

Os portos são constituídos, não apenas por estruturas marítimas de abrigo, terminais, docas e bacias de manobra e de estacionamento, mas também por canais de acesso com características estabelecidas quanto a cotas (referidas ao Z.H.) e dimensões. As cotas e dimensões dependem das funções dos canais e das características das embarcações a receber (comprimento, largura e, principalmente, calado máximo). Desta forma, na área de jurisdição do Porto de Lisboa existem diversos canais de navegação (Figura 4), tendo sido aprovado o Regulamento de Canais, publicado na página da internet da APL, Administração do Porto de Lisboa, que pretende estabelecer um conjunto de definições, classificações e responsabilidades sobre canais navegáveis do Estuário do Tejo, nomeadamente, as responsabilidades quanto à manutenção de fundos.

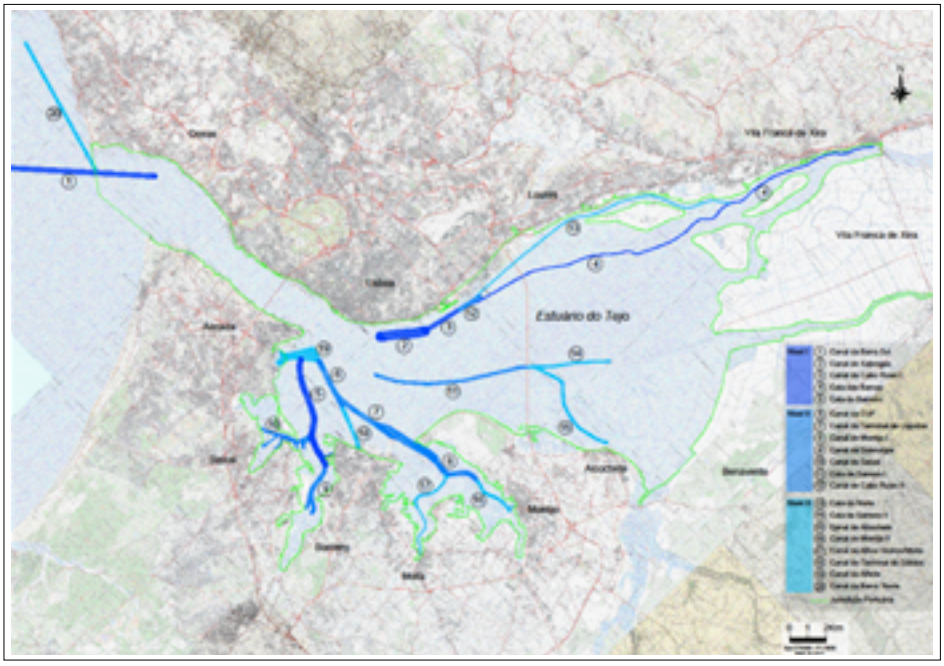


Figura IV-19 · Canais de Navegação no Estuário do Rio Tejo

2.1.6. Assoreamento

Como referido anteriormente, processos de sedimentação dos finos e a sua deposição tendem a dar-se na margem direita, manifestando-se como fonte de forte assoreamento em toda a faixa, desde o Parque das Nações até à Praça do Comércio. Além destas zonas existe, ainda, assoreamento significativo no Canal da Barra Sul, principal entrada no Porto de Lisboa, no Canal navegável de Lisboa para montante e ainda em alguns canais da margem Sul, como expresso na Figura IV-20.

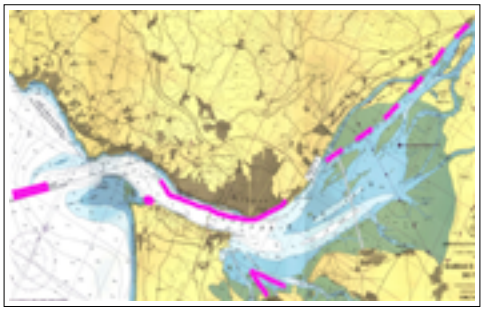


Figura IV-20 · Principais locais de assoreamento no Estuário do Tejo

Todos estes fatores levam à necessidade permanente e regular de promoção de dragagens de manutenção, para que o Porto mantenha a sua normal operacionalidade.

2.2. Gestão de dragagens

Face à localização do Porto de Lisboa num estuário, com as características hidrodinâmicas do Estuário do Tejo, e a fim de disponibilizar infraestruturas marítimas que correspondam às, cada vez mais exigentes, necessidades do tráfego marítimo, é necessário o recurso sistemático e regular de dragagens de manutenção.

O planeamento para a execução de dragagens passa por uma identificação contínua e precisa das zonas a dragar, pela caracterização física e química dos sedimentos a remover, pela identificação dos locais de receção dos sedimentos removidos, pela seleção dos equipamentos de dragagem mais adequados, e, pelas metodologias de monitorização das operações, sempre na procura de soluções mais sustentáveis e tecnologicamente mais desenvolvidas.

2.2.1. Identificação das zonas a dragar

A identificação das zonas alvo de dragagem baseia-se num conhecimento acumulado ao longo de décadas, e confirmado sistematicamente por levantamentos hidrográficos regulares, em muitas zonas com regularidade mensal, ao longo de cada ano.

A APL dispõe da sua própria equipa hidrográfica e um sistema integrado de batimetria multifeixe, constituído por um sondador multifeixe, unidade MRU (*Motion Reference Unit*), sistema de posicionamento e sensor de medição da velocidade de propagação do som integrados. As séries de levantamentos hidrográficos executados permitem conhecer os fundos e também avaliar e perspetivar a sua evolução.

2.2.2. Caracterização físico-química dos sedimentos a dragar

A caracterização prévia da qualidade dos sedimentos a dragar encontra-se regulada, em Portugal, na Portaria n.º 1450/2007, de 12 de novembro. O conhecimento adquirido ao longo de quase três décadas de caracterização de sedimentos, permite afirmar, com alguma segurança que, recentemente, nas zonas que são sujeitas a dragagens de manutenção e até à cota dessas dragagens, os sedimentos depositados entre dragagens, não apresentam grau de contaminação que inviabilize a sua imersão em meio aquático.

As amostragens são efetuadas até à cota de dragagem acrescida de 0.5 m, com recurso a material e equipamento técnico adequados. Os testemunhos recolhidos serão objeto de estratificação, preparando-se amostras características de cada estrato de 1 m a dragar, tendo como objetivo proceder, posteriormente, a uma análise espacial dos resultados, sempre que as classes de sedimento sejam superiores a 2, e possam implicar a dragagem seletiva.
Os parâmetros a analisar sobre fração de granulometria superior a 2 mm, são:
Análises Físicas:

- Densidade;
- Percentagem de sólidos;
- Granulometria.

Análises Químicas:

- Carbono orgânico total (<2 mm);
- Metais pesados: Mercúrio, Cádmio, Arsénio, Chumbo, Cobre, Zinco, Níquel e Crómio;
- Policlorobifenilos (PCB IUPAC: 28, 52, 101, 118, 138, 153 e 180);
- Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH: Benzo(a)pireno; Benzo(ghi)perileno; Fluoranteno; Indeno(1,2,3-cd)pireno; Antraceno; Benzo(a)antraceno; Pireno; Criseno; Fenantreno);
- Hexaclorobenzeno (HCB).

Os resultados dos ensaios químicos são analisados de forma espacial e geoestatística. Os mapas de contaminação com dados georreferenciados são desenhados em plantas e perfis (Figura IV-21). É feita uma estimação de volumes de dragagem por classes de contaminação. Nas zonas cujos sedimentos são não contaminados, a caracterização é feita de 3 em 3 anos. Em zonas cujos sedimentos revelaram contaminação, a caracterização é feita anualmente, ou previamente a uma dragagem.

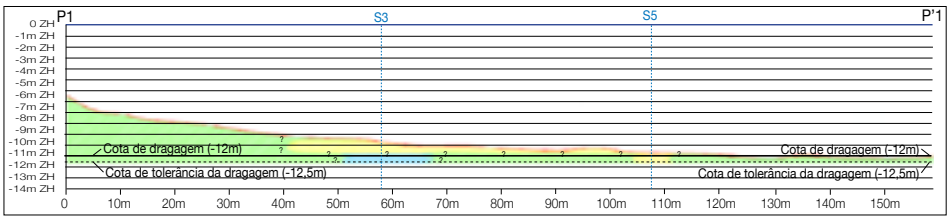


Figura IV-21 · Perfil de um mapa de contaminação

2.2.3. Monitorização ambiental da execução das dragagens

De forma a responder às solicitações da legislação, em termos de minimização de impactes ambientais, a APL, S.A. procede, com base em plano anual da qualidade da água, à monitorização ambiental das operações de dragagem e de imersão de materiais dragados.

Existe implementado um plano anual de monitorização da qualidade da água nas zonas de dragagem e nos locais de imersão de materiais dragados (Figura IV-22). Os locais de amostragem são selecionados, de entre as zonas a dragar nos cais, nas bacias de acesso e manobra, nas docas, e nos locais de imersão no interior do estuário, e suas envolventes. São recolhidas amostras na coluna de água, à superfície, meio e fundo, antes, durante e após as operações de dragagem e de imersão. Serão executadas duas campanhas, uma em tempo húmido (Outono/Inverno) e outra em tempo seco (Primavera/Verão), para permitir avaliar a dimensão e prevalência das plumas daquelas operações. Os parâmetros a monitorizar são os seguintes: Turvação; Oxigénio dissolvido; pH; Sólidos em suspensão totais; CBO5; CQO; Hidrocarbonetos dissolvidos e emulsionados, e Óleos minerais.

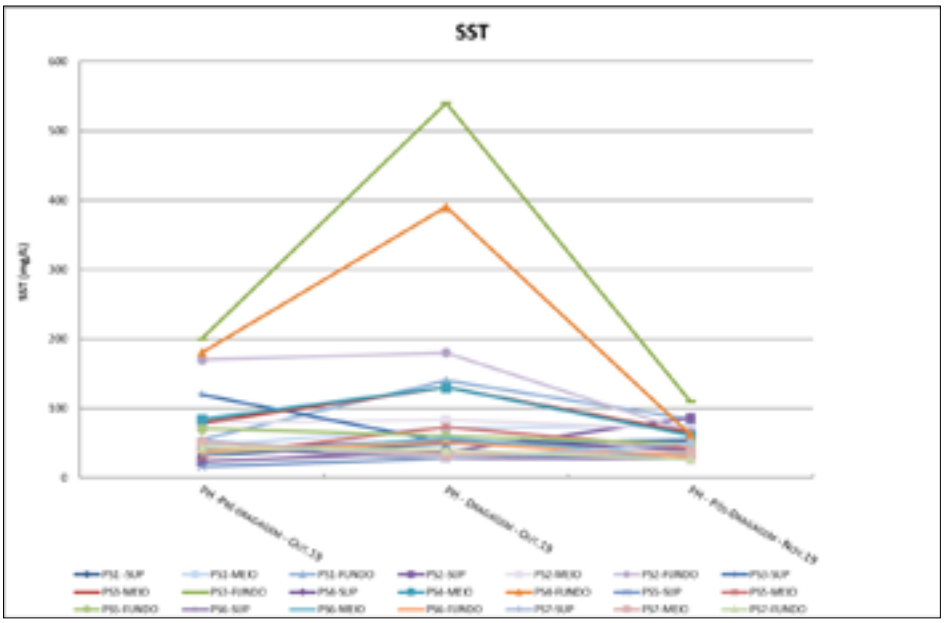


Figura IV-22 · Resultados de uma estação de amostragem da qualidade da água

As principais conclusões, do longo histórico existente sobre esta monitorização efetuada, são:

· Aumento dos sólidos em suspensão, da carga orgânica e microbiológica, durante a dragagem;

· Impacto temporário na qualidade da água, com clara recuperação;

· Influência das condições de maré e das correntes ao longo da coluna de água, na turvação e na concentração de Sólidos Suspensos Totais (SST).

2.2.4. Locais de relocalização/imersão de sedimentos dragados

Sempre que ocorrem dragagens há relocalização dos sedimentos removidos do local de intervenção. Nas dragagens situadas no Estuário do Tejo, e à exceção de sedimentos contaminados, a sua relocalização ocorre no próprio estuário (Figura IV-23), em razão de subordinação aos seguintes princípios de escolhas sustentáveis:

· Conservação da massa sedimentar;

· Privilegiar solução locais;

· Defesa contra a erosão costeira e subida do nível do mar;

· Redução da emissão de CO_2;

· Razões económicas.

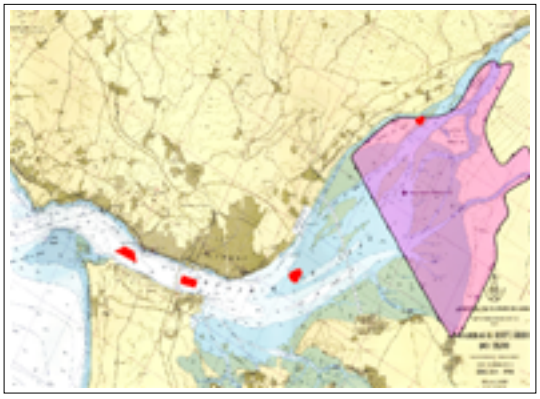


Figura IV-23 · Locais de imersão de sedimentos no Estuário do Tejo

As localizações estão aprovadas pela APA, Agência Portuguesa do Ambiente, sendo que as três de jusante estão suportadas por estudo do LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Além das dragagens que ocorrem, regular e sistematicamente, no interior do estuário, ocor-

rem ainda, por necessidades operacionais, dragagens de manutenção no Canal da Barra Sul. Aqui os sedimentos são arenosos, enquanto no interior do estuário são predominantemente lodos e lodos arenosos.

Assim, sustentado em conclusões de estudo hidrodinâmico na região das Barras do Tejo, promovido pela APL, foi proposto e aprovado, primeiramente, pela Administração Regional Hidrográfica (ARH) do Tejo, em 2011, e posteriormente em 2018, pela DGRM (Direção Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos), através da emissão de um Título de Utilização Privativo do Espaço Marítimo, TUPEM, por 15 anos, um local situado no talude noroeste do Cachopo Norte, para imersão dos sedimentos provenientes das dragagens no Canal da Barra Sul (Figura IV-24).

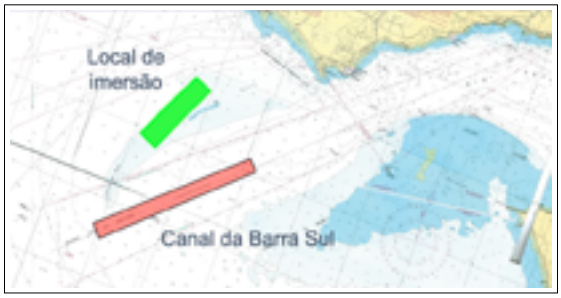


Figura IV-24 · Local de imersão fora do Estuário do Tejo

Além de imersas neste local, estas areias têm também sido utilizadas nas alimentações artificiais das praias da Caparica e de S. João da Caparica, desde 2007.

Existe, ainda, um volume, embora muito reduzido, de sedimentos de classe 3, quanto ao grau de contaminação, provenientes de dragagens no interior do estuário, que é necessário relocalizar. Para a imersão deste tipo de sedimentos, foram identificados dois locais, quase contíguos (Figura IV-25), com base em cruzamento de conclusões de Estudo de Hidrodinâmica e de Estudo de Perspetiva Ecológica.

O Estudo de Hidrodinâmica teve por objetivo a identificação de locais que promovessem:

- A efetiva deposição no fundo, ou efetiva dispersão em direção ao largo;
- O não retorno ao estuário;
- O não encaminhamento para as costas Norte e da Caparica;
- A não interceção de cabos submarinos.

O Estudo de Perspetiva Ecológica teve por linhas orientadoras a manutenção:

· Do estado químico das águas;

· Do interesse ecológico;

· Da distribuição dos recursos da pesca.

Estes dois locais foram aprovados pela ARH do Tejo, em 2011, e em 2017 a DGRM, por TUPEM, por 15 anos.



Figura IV-25 · Locais de imersão de sedimentos de classe 3

Os locais de imersão no Cachopo Norte e o local de imersão de sedimentos de classe 3 têm sido regularmente monitorizados.

2.2.5. Equipamentos de dragagem

Os equipamentos de dragagem predominantemente utilizados são do tipo hidráulico, nomeadamente dragas de sução em marcha, TSHD, e dragas do tipo *Water Injection*, WID. Muito ocasionalmente são ainda utilizadas dragas mecânicas do tipo *Grab* ou *Ploughts*.

A draga de sucção em arrasto (TSHD), é uma embarcação versátil, pois conjuga dragagem, transporte e descarga num único equipamento. Este equipamento realiza a sucção do material e a deposição em porão para que seja realizado o transporte até o local de imersão.

A dragagem realizada por este tipo de equipamento é efetuada enquanto a embarcação navega. Assim, causa menos impacto ao tráfego marítimo durante a sua operação. Outra vantagem da TSHD é que ela é um navio de alto mar, podendo ser operada em qualquer lugar do mundo, mesmo em condições mais adversas de tempo e em áreas desprotegidas.

A dragagem por *water injection* é eficaz em sedimentos finos, não contaminados, recentemente depositados, que consistem em partículas finas de areia, silte e argila. Este método

único de dragagem injeta água no subsolo, a muito baixa pressão, e fluidifica os sedimentos finos criando uma corrente de densidade. Esta corrente de densidade move-se sob a influência de forças naturais para longe da área dragada e leva as partículas de sedimento com ela, quer para áreas mais profundas no mar, ou para ambientes de alta energia onde o sedimento é trazido de volta para a coluna de água, onde se torna parte do sistema natural de erosão, transporte e deposição de sedimentos.

O objetivo da dragagem *water injection* é manter o sedimento fora da coluna de água, movendo o material horizontalmente na parte inferior do curso de água e restringindo-o às proximidades do fundo do mar. Este processo ocorre com um mínimo de perturbação ao equilíbrio do ecossistema. O método resulta numa redução considerável da pegada de CO_2 por metro cúbico dragado de sedimento. A utilização de WID resulta, igualmente, numa economia de custos. No porto de Lisboa já atuaram WID equipadas com baterias e sistemas híbridos de gestão de energia, o que resultou numa redução significativa de consumo de combustíveis e em consequência, de emissões de CO_2 (Figura IV-26).

Os resultados da monitorização à qualidade de água, com utilização de TSHD ou WID, são muito semelhantes.



Figura IV-26 · Draga WID em operação do porto de Lisboa

2.3. Região das barras do Tejo

A região das barras do Tejo, ou Foz do Tejo, é do tipo de delta submerso constituído por um canal principal, Canal da Barra Sul, bordejado por dois bancos de areia, um de menos expressão na margem direita, Cachopo Norte, e outro de muito maior expressão na margem esquerda, Banco do Bugio, e, ainda por dois canais secundários, sendo um o Canal da

Barra Norte, e outro próximo da Cova do Vapor, conforme indicado na Figura IV-27.

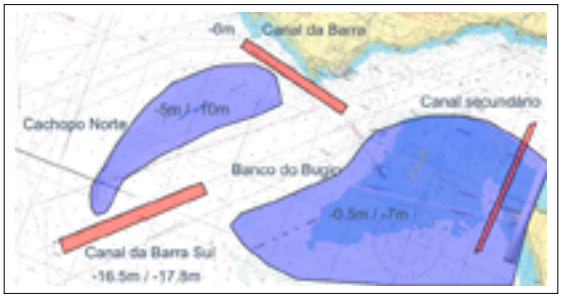


Figura IV-27 · Esquema de bancos e canais na região das barras do Tejo

A interação das correntes de maré com as correntes de onda constitui o fenómeno dominante na região das barras do Tejo. O transporte de sedimentos não coesivos (as areias) e o padrão morfodinâmico dele resultante são determinados por aquele fenómeno de interação. As correntes de maré estão essencialmente associadas ao prisma de maré do estuário, que em marés vivas é da ordem de grandeza de 10^9 metros cúbicos, valor significativo que contribui para explicar a permanência em pleno domínio oceânico de um canal natural assaz profundo e largo. A ondulação está associada à propagação proveniente predominantemente do quadrante de Noroeste, com origem nas depressões que atravessam o Atlântico Norte. A ocorrência de alturas significativas de onda entre 4 e 8 metros é relativamente frequente na fronteira oceânica da região. A manutenção do equilíbrio morfodinâmico na região constitui o fator decisivo da sua gestão, visto que o principal uso instalado é o do acesso ao Porto de Lisboa, através da Barra Grande ou Barra Sul (Teles, 2009).

Consciente da importância do aprofundamento de conhecimento desta região, a fim de as decisões de gestão e intervenções serem tomadas de forma sustentável, a APL tem uma longa série, com mais de meio século, de levantamentos hidrográficos regulares, sendo o do canal da Barra Sul de periodicidade semestral e o dos bancos de periodicidade anual. Nos últimos anos a área dos levantamentos tem vindo a ser alargada para um mais pormenorizado conhecimento da região. A APL dispõe, ainda, de uma boia ondógrafo estacionada na entrada do Canal da Barra Sul, cujos dados podem ser consultados no portal da APL (https://www.portodelisboa.pt/ondulacao).

Igualmente foi promovido um Estudo de Equilíbrio Hidrodinâmico das Barras do Tejo e das

Zonas Marítimas Adjacentes, de que se destacam alguns dados relevantes.

2.3.1. Ondas representativas

O processo de seleção das ondas representativas baseou-se na análise conjunta da distribuição dos parâmetros da agitação e da respetiva frequência de ocorrência, e na opção de seleção das ondas dominantes do ponto de vista do transporte anual de sedimentos, em vez das ondas predominantes de um ponto de vista meramente estatístico (Tabela IV-5).

Tabela IV-5 · Ondas representativas na Região das Barras

CONDIÇÃO	ALTURA (M)	PERÍODO (S)	RUMO (º)	FREQUÊNCIA (%)
1	3.75	12	260	0.50
2	1.75	12	315	50.00
3	2.25	12	303.75	30.02
4	3.75	12	326.25	9.80
5	4.75	15	315	1.64
6	6.25	15	315	0.50
7	3.75	12	281.25	6.54
8	2.75	12	247.5	0.50
9	2.75	12	225	0.50

2.3.2. Padrão de propagação da ondulação

Foram estudados os padrões de propagação da ondulação para as nove ondas representativas. A Figura IV-28 representa o padrão de propagação da ondulação para a ondas 2 e 5.

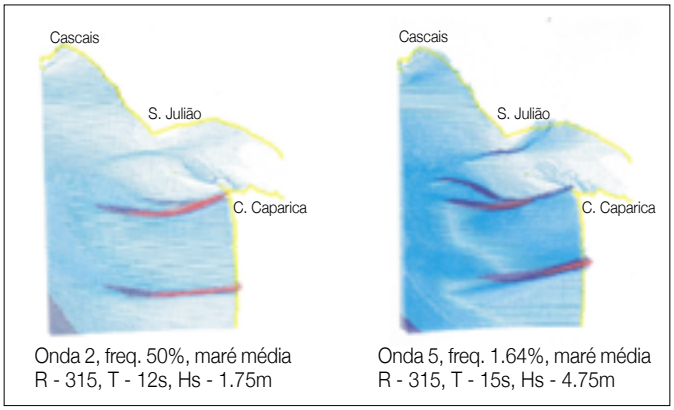


Figura IV-28 · Padrão de propagação da ondulação para as ondas 2 e 5

A análise do estudo das 9 ondas mostra que o setor da Costa da Caparica e, nomeadamente, o esporão da Calha, está exposto sobretudo às ondas 3, 4 e 7, e que, a penetração de ondulação no estuário está associada principalmente às ondas 1, 7, 8 e 9.

2.3.3. Transporte de sedimentos

A Figura IV-29 representa o transporte resultante anual, que se obtém através da extrapolação dos transportes diários calculados para as 9 ondas representativas, referidas na Tabela IV-5. O intenso transporte sobre o Cachopo do Sul e a zona das Goladas em direção ao banco do Bugio, bem como o intenso transporte no canal da barra, na zona entre S. Julião e a Torre do Bugio, constituem os aspetos mais relevantes nestes resultados.

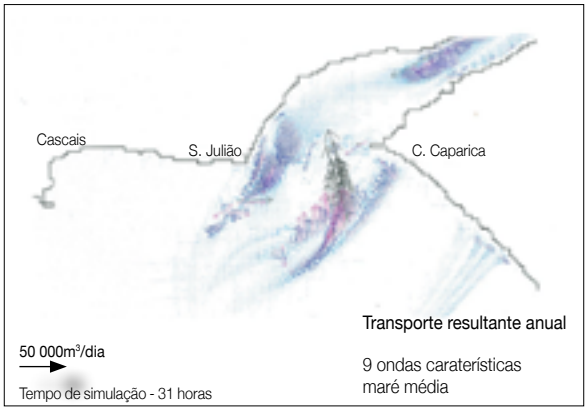


Figura IV-29 · Transporte resultante anual

2.3.4. Tendências anuais de deposição e erosão

Por último apresentam-se os resultados das tendências anuais de deposição e erosão, para uma situação de maré média e para as nove ondas representativas (Figura IV-30).

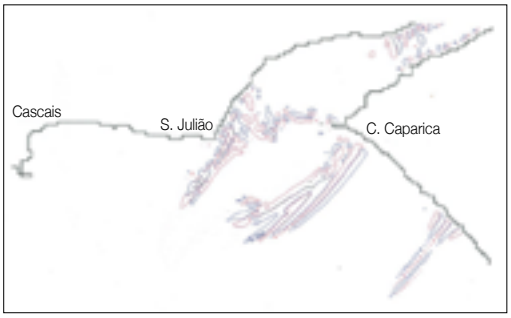


Figura IV-30 · Tendências anuais de deposição e erosão

2.3.5. Conclusões do estudo de hidrodinâmica

Em suma, as principais conclusões do estudo foram:

1. Elevada complexidade do sistema morfodinâmico;
2. Qualquer intervenção necessita de estudos complementares pormenorizados;
3. Monitorização da evolução do sistema.

E dos resultados destaca-se:

1. Maior conhecimento da região das barras;
2. Suporte na identificação do local de deposição de areias no Cachopo Norte;
3. Suporte na identificação do local de deposição de sedimentos Classe 3.

2.4. Alimentação artificial de praias

Os estudos e as monitorizações sobre a região das barras do Tejo, foram ferramentas essenciais para a APL, S.A. acordar com o ex-INAG (Instituto da Água) e posteriormente com a APA, I.P. (Agência Portuguesa do Ambiente), uma colaboração e comparticipação frutuosa para ambas as partes, na alimentação artificial das praias da Caparica e de S. João da Caparica (Figura IV-31). A necessidade de obtenção de areias para a alimentação artificial daquelas praias, levou a APL a apresentar a proposta de recolha das mesmas no Canal da Barra Sul, por execução de projeto de dragagem de manutenção, contribuindo, assim, para a manutenção deste canal. Foi possível, deste modo, repartir custos, cabendo à APL o respeitante à operação de dragagem, e à APA o respeitante ao transporte e deposição em praia.

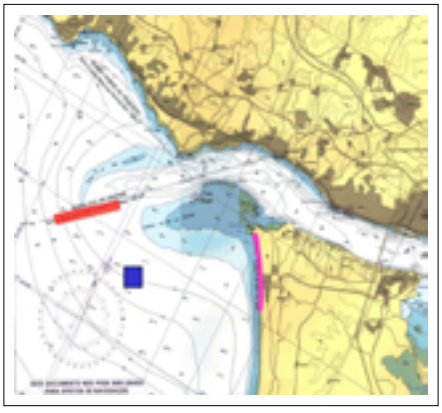


Figura IV-31 · Locais de intervenção na alimentação artificial das praias da Costa da Caparica

As intervenções resultantes destes acordos estão espelhadas no quadro representado na Figura IV-32.



2007 - 1/2 milhão m³ do Canal

2008 - 1 milhão m³ do Banco do Bugio

2009 - 1 milhão m³ do Canal

2014 - 1 milhãom³ do Canal

Custos compartilhados APA/APL
2007, 2008, 2009 e 2019

Figura IV-32 · Intervenções conjuntas APL/APA

2.5. Histórico de dragagens no Canal da Barra Sul do Tejo

Apresenta-se na Tabela IV-6 o histórico das dragagens no Canal da Barra Sul, nos últimos 54 anos.

Tabela IV-6 · Histórico de dragagens no Canal da Barra Sul

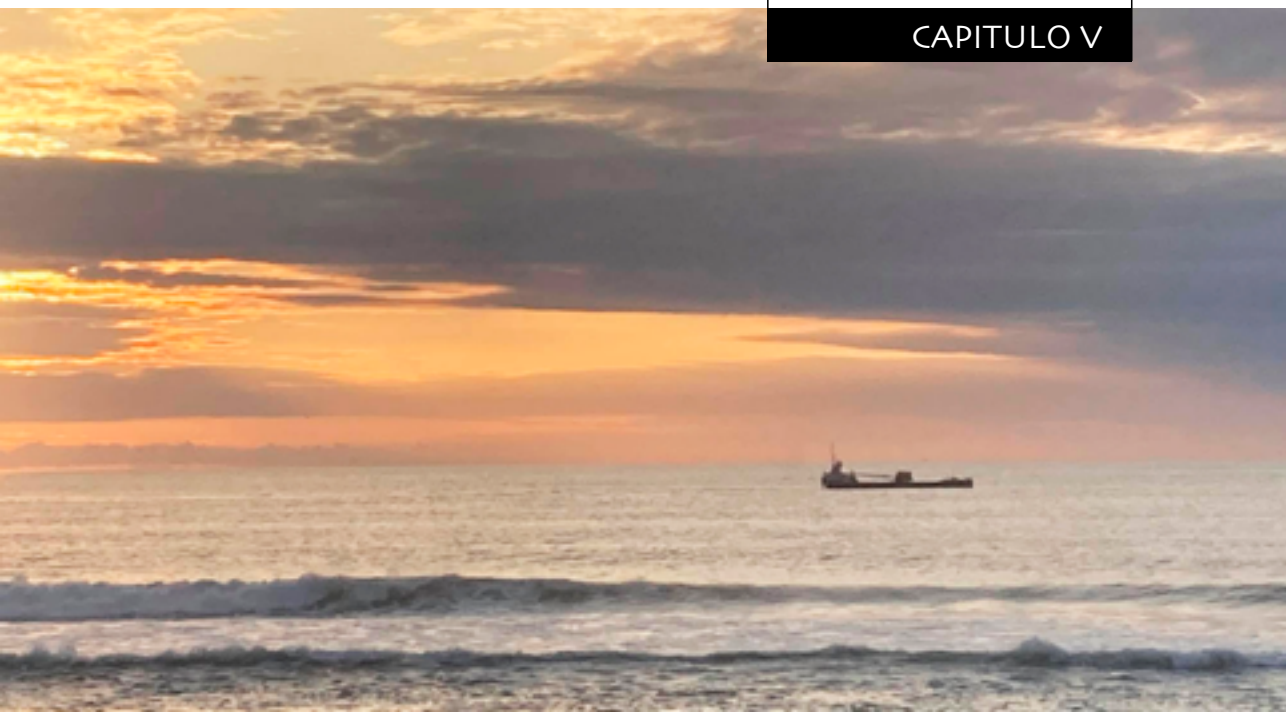
ANO	Volume aproximado (m³)	Destino dos Sedimentos
1969	1 000 000	Parte em aterro do terrapleno dos estaleiros da Margueira e parte imersos offshore sobre a isóbata dos 100m
1972	134 000	Imersos offshore sobre a isóbata dos 100m
19885	1 000 000	Descarga direta do porão em posição muito próxima das praias da Costa da Caparica
1995	1 000 000	Descarga direta do porão em posição muito próxima das praias da Costa da Caparica
1996	400 000	Em torno do farol do Bugio
1999	1 600 000	Aterro para construção do cais de Xabregas
2004	600 000	No talude noroeste do Cachopo Norte para reforço deste banco
2005	10 000	Alimentação artificial das praias do concelho de Cascais
2007	500 000	Alimentação artificial das praias da Costa da Caparica
2008	968 906	No talude noroeste do Cachopo Norte para reforço deste banco
2008	1 000 000	Alimentação artificial das praias da Costa da Caparica
2009	1 000 000	Alimentação artificial das praias da Costa da Caparica
2012	300 000	No talude noroeste do Cachopo Norte para reforço deste banco
2014	1 000 000	Alimentação artificial das praias da Costa da Caparica
2018	1 025 850	No talude noroeste do Cachopo Norte para reforço deste banco
2019	1 000 000	Alimentação artificial das praias da Costa da Caparica
2021	420 000	No talude noroeste do Cachopo Norte para reforço deste banco

2.6. Conclusões

· Um porto que se situa num estuário com alto valor ambiental e insere-se no território de 11 municípios, entre eles a capital do país, enfrenta desafios de natureza muito diversificada;
· As intervenções portuárias devem ser feitas com base em objetivos latos na componente geográfica e multidisciplinares nas componentes técnico/científicas;
· A cooperação entre Instituições responsáveis pelo território é fundamental;
· Monitorizar, monitorizar, monitorizar;
· Os resultados das monitorizações devem suportar uma atitude evolutiva;
· Privilegiar a gestão adaptativa;
· A componente de eficiência energética deve ser um critério cada vez mais prioritário na gestão sustentável do litoral e nas dragagens.

Casos de estudo

CAPITULO V



Rui Santos
Inersel, S.A.
Steven Pickavet
Jan De Nul

1. Dragagem e remoção de inertes da ZALI para reforço do cordão litoral a Sul da Costa Nova - Condicionantes da operacionalização e planeamento

1.1. Introdução

Pretende-se com o presente trabalho efetuar uma apresentação da empreitada de "Dragagem e Remoção de Inertes da ZALI para Reforço do Cordão Litoral a Sul da Costa Nova" e o seu enquadramento, com o objetivo de enumerar e explanar as condicionantes operacionais e de planeamento que uma empreitada deste tipo acarreta.

1.2. Situação da costa a sul de Aveiro

O litoral a sul da barra do Porto de Aveiro é constituído na sua generalidade por praias arenosas e extensos cordões dunares (Figura V-1). Devido a esta morfologia e à sua exposição a regimes de clima e agitação marítima intensos, esta zona costeira está sujeita a constantes erosões e alterações dos seus limites, que terão provocado o recuo de 200 a 250 m nos últimos 60 anos.



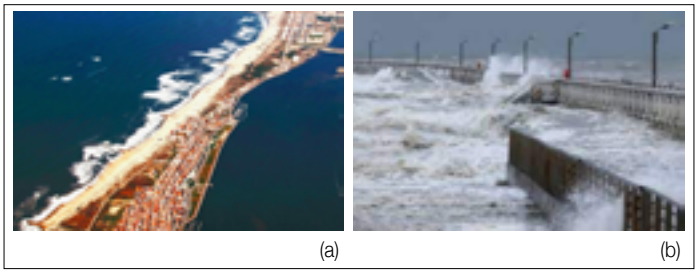
Figura V-1· a) Litoral a sul de Aveiro; b) Agitação marítima.

Para as grandes alterações e erosão da linha litoral ocorridas nesta região nas últimas décadas têm contribuído significativamente diversas ações antropogénicas, como a construção

das diversas barragens nos rios a norte de Aveiro, com especial destaque para o rio Douro, diminuindo significativamente o caudal sólido em circulação; o aumento da população nas áreas costeiras aumentando as construções sobre a linha de costa (Figura V-2a); a impermeabilização dos solos; destruição das proteções naturais do litoral, etc. As alterações climáticas que têm vindo a progredir rapidamente, provocando agitação marítima e tempestades mais intensas, assim como inundações, galgamentos e a subida da água do mar, também têm acelerado a erosão costeira (Figura V-2b).

As áreas costeiras são cada vez mais importantes para o planeta, pois cerca de dois terços da população mundial vive nas suas proximidades. Nestas áreas existem e desenvolvem-se diversos recursos e meios importantes para o desenvolvimento e bem-estar das populações, como é o caso da pesca na sua alimentação, os portos para o comércio cada vez mais intenso e as diversas atividades de lazer.

Esta região enquadra-se neste cenário, pelo que a erosão costeira e a consequente perda de território, são ameaças cada vez mais extremas às populações desta área e ao seu bem-estar.



(a) (b)

Figura V-2 · a) Utilização intensa do litoral de Aveiro; b) Condições climatéricas intensas

1.3. Dragagens no Porto de Aveiro

Durante as várias fases de construção do porto de Aveiro foram executadas dragagens, na sua maioria de grandes dimensões. Tendo em conta a localização do porto, no interior da ria de Aveiro e numa área sedimentar, as dragagens de manutenção são constantes, por forma a permitir a atividade das infraestruturas portuárias.

Parte dos sedimentos dragados na construção dos diversos terminais portuários foram utilizados na construção dos terraplenos desses mesmos terminais.

Nas dragagens de construção mais recentes efetuadas no porto, nomeadamente no pro-

longamento do molhe norte, os sedimentos resultantes das dragagens de fundação foram depositados no plano imerso e emerso da zona frontal às praias da Costa Nova, de modo a alimentar essas praias e as praias a sul através da corrente de deriva litoral (Figura V-3).



Figura V-3 · Prolongamento do molhe Norte

O mesmo procedimento acontece com as dragagens de manutenção realizadas no porto. Nas empreitadas mais antigas, nomeadamente na dragagem das darsenas do terminal Norte e do terminal de granéis sólidos, realizadas em 2004 e 2006, a Administração do Porto de Aveiro depositou os sedimentos dessas dragagens no terrapleno destinado à ZALI - zona de atividades logísticas e industriais do porto (Figura V-4).



Figura V-4 · Dragagem dos Terminais do Porto

1.4. Enquadramento da Empreitada

A importância do mar e do litoral para a região de Aveiro e o aumento da erosão costeira generalizada em todo o território nacional, têm levado as autoridades competentes, nomeadamente a Agência Portuguesa do Ambiente e a Administração do Porto de Aveiro a

dedicar maior importância às intervenções de proteção da costa, com especial relevância para alimentação artificial das praias a sul da barra do Porto de Aveiro.

A Administração do Porto de Aveiro, no sentido de desenvolver a atividade portuária e consequentemente a indústria e economia da região decidiu avançar com ampliação da zona de atividades logísticas e industriais contigua ao terminal de contentores e Ro-Ro, assim como o cais adjacente a esta área.

A área da ZALI encontrava-se ocupada por depósitos de dragados e a bacia de manobras e acostagem para o futuro cais, que servirá esta zona logística, não estava dragada.

No sentido de libertar estas áreas, a Administração do Porto de Aveiro promoveu um concurso publico para a dragagem desta bacia de manobras e para a remoção dos inertes depositados no terrapleno destinado à ZALI.

Tendo em conta a situação critica da erosão da linha de costa da região, a administração Portuária associou-se à Agência Portuguesa do Ambiente, por forma a depositar os sedimentos resultantes das obras a executar na costa a sul da área portuária.

Numa fase inicial foram realizadas diversas empreitadas em que parte dos sedimentos depositados na ZALI foram transportados por via terrestre e depositados nas praias a sul do porto de Aveiro.

Posteriormente, em 2020 realizou-se a empreitada de "Dragagem dos fundos adjacentes e remoção dos inertes da ZALI, para reforço do cordão litoral a sul da Costa Nova"

1.5. Empreitada de "Dragagem dos fundos adjacentes e remoção dos inertes da ZALI, para reforço do cordão litoral a sul da Costa Nova"

1.5.1. Dados da empreitada

· Dono de Obra: Administração Porto Aveiro, S.A./Agência Portuguesa do Ambiente, I.P.
· Fiscalização: Propor, S.A.
· Consórcio Empreiteiro: Inersel S.A./Jan De Nul
· Valor da Empreitada: 9 891 721.00€
· Data Consignação: 20/04/2020
· Receção Provisória: 23/10/2020

1.5.2. Situação inicial

A Zona de Atividades Logísticas e Industriais que a Administração portuária pretende de-

senvolver compreende uma área terrestre de 84 ha e 1080 m de cais acostável com fundos à cota -12 Z.H. (Figura V-5).

Acima da cota + 4.5 Z.H., cota do estabelecimento do terrapleno, existiam 1 550 000 m^3 de inertes, 70 000 m^3 na camada superficial que sofrerá uma despedrega e limpeza, 1 100 000 m^3 de material arenoso e 380 000 m^3 de siltes e material lodoso. A área do terrapleno a intervir e a "ilha" existente na darsena encontravam-se totalmente cobertas por vegetação rasteira. Em diversas áreas com grande extensão existiam arvores (acácias) e vegetação de maior porte.



Figura V-5 · Área da Empreitada - Situação Inicial

O troço costeiro a sul do porto de Aveiro, entre a praia da Barra e a Praia de Mira, de acordo com o Grupo de Trabalho do Litoral 2015, apresenta um défice sedimentar extremamente elevado.

Em consequência desta situação têm-se vindo a verificar recuos consideráveis da linha de costa com a destruição de apoios de praia e estruturas de proteção costeira.

1.5.3. Desenvolvimento dos trabalhos da empreitada

1.5.3.1. Levantamentos topo-hidrográficos

Antes de se iniciarem os trabalhos da empreitada foi necessário efetuar o levantamento topo-hidrográfico da área de intervenção, tanto da área portuária como da área de depósito dos dragados, entre os 3º e 5º esporões da praia da Costa Nova.

O levantamento hidrográfico foi realizado através de um sistema multifeixe de alta resolução apoiado por uma lancha de batimetria.

O levantamento topográfico, tendo em conta a extensa área de intervenção e a vegetação existente, procedeu-se através de um sistema LIDAR, apoiado por drone.

1.5.3.2. Preparação e limpeza da área da obra

Para possibilitar a remoção de inertes, previamente foi necessário desmatar, remover árvores, raízes e vegetação diversa numa área de 84 ha, que foram direcionadas para central de biomassa, assim como o entulho diverso que depois de separado foi transportado a vazadouro apropriado.

Os trabalhos de desmatação e remoção de árvores teve início a 5 de maio de 2020 e foi executado por tratores e escavadoras equipadas para o efeito, tendo-se armazenado temporariamente a vegetação em diversos locais da obra, para posteriormente ser triturada e transportada para centrais de biomassa (Figura V-6).

Após a desmatação e remoção das árvores, procedeu-se primeiro à remoção de enrocamentos e entulhos e posteriormente à limpeza superficial da camada vegetal existente no terreno. Os entulhos e enrocamentos foram carregados com escavadoras para dumpers, procedendo-se à sua seleção conforme o seu destino final. A camada vegetal superficial foi removida por buldozers para vazadouro provisório, onde foi feita a sua separação dos sedimentos ainda existentes para posterior transporte a vazadouro final autorizado.

Os trabalhos de limpeza, desmatação e desflorestação ficaram concluídos a 18 de junho de 2020 e a trituração no final desse mês.

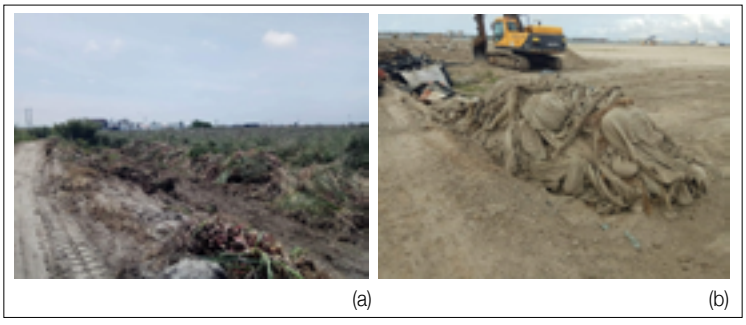


Figura V-6 · a) Desmatação e remoção de árvores; b) Limpeza do terreno

1.5.3.3. Carga e transporte de sedimentos do terrapleno

Logo no início da obra, a 28 de abril de 2020, começaram os trabalhos de transporte dos sedimentos para a "ilha", para posterior dragagem e transporte para o vazadouro imerso previsto no projeto. Estes trabalhos iniciaram-se com a movimentação dos sedimentos do maior depósito existente no terrapleno, onde não existia vegetação ou entulhos. A carga era efetuada por escavadoras e pás carregadoras e o transporte executado por *dumpers* e camiões. No deposito da "Ilha" o espalhamento era efetuado por *buldozzers* (Figura V-7).



Figura V-7 · Carga e transporte de sedimentos

À medida que a limpeza, decapagem e corte de árvores foi avançando foram criadas mais duas frentes de carga e transporte, uma a noroeste da área de trabalho e outra na zona central.

Durante a segunda semana de julho, os 1 550 000 m^3 de sedimentos arenosos existentes no terrapleno tinham sido praticamente todos transportados para a "ilha", faltando somente cerca de 100 000 m^3 que resultariam da modelação final do terreno. Esta modelação ficou concluída no início de setembro de 2020.

O transporte do material silte-lodoso que se encontrava na parte noroeste do terrapleno, somente foi transportado na parte final da empreitada, com início a 30 de julho. Este material foi transportado para o cais norte do terminal de contentores e Ro-Ro e carregado diretamente para batelão através de escavadoras.

1.5.3.4. Dragagem, transporte e depósito no vazadouro imerso

Praticamente do início da empreitada, a 2 de maio, iniciaram-se os trabalhos de dragagem

da “Ilha” através da draga de sucção e arrasto “José Duarte”, que de seguida transportava e depositava os inertes a sul da Costa Nova em vazadouro autorizado, entre o 3º e 5º esporão, entre as batimétricas -7 Z.H. e -3 Z.H.

Posteriormente, no início de junho foram mobilizados mais meios de dragagem e transporte de sedimentos, nomeadamente a draga de corte e sucção “Fernão Magalhães”, a Draga de sucção e arrasto “Pinta” e os Batelões “L´Etoile”, Le Guerrier” e “L´Aigle” que incrementaram de forma decisiva os rendimentos de produção, de modo a cumprir com os prazos estabelecidos em contrato (Figura V-8). Este equipamento iniciou os trabalhos a 11 de Junho quando estavam dragados 180 950 m^3 e finalizou a sua intervenção a 29 de Junho de 2020 com 1 872 992 m^3 de sedimentos dragados.



Figura V-8 · Draga de sucção e corte “Fernão Magalhães” e batelão

Após esta data ficaram em obra as duas dragas de sucção e arrasto “José Duarte” e “Pinta” até serem concluídos os trabalhos de Dragagem a 15 de agosto de 2020 (Figura V-9).



Figura V-9 · Dragas de sucção e arrasto “José Duarte” e “Pinta”

1.5.3.5. Carga, transporte e depósito no vazadouro imerso de material silte-lodoso

A 30 de julho teve início o transporte para vazadouro imerso do material silte-lodoso exis-

tente na área noroeste do terrapleno da ZALI. Estes materiais foram carregados em batelão e transportados para sul da Costa Nova, para vazadouro autorizado, localizado entre o 3º e 5º esporão e descarregados para lá da batimétrica -7 Z.H (Figura V-10). Estes trabalhos ficaram concluídos na primeira semana de setembro.



Figura V-10 · Descarga de batelão no vazadouro imerso

Apresentam-se seguidamente as quantidades de inertes removidos e os diferentes equipamentos e infraestruturas utilizados, alguns deles ilustrados na Figura V-11.

Quantidades:

· Limpeza, despedrega, desmatação e arranque de árvores – 80 ha
· Escavação e transporte terrestre de sedimentos arenosos – 1 100 000 m^3
· Escavação e transporte terrestre de siltes e lodos – 380 000 m^3
· Dragagem e transporte a vazadouro imerso – 2 365 000 m^3
· Carga e transporte em batelão – 380 000 m^3
· Total de sedimentos transportados – 2 745 000 m^3

Equipamentos:

Preparação e limpeza da área da obra

· 2 escavadoras
· 2 *dumpers*
· Escavadora com tesoura
· 1 trator com atrelado

· 1 Trator para corte de vegetação rasteira

· Trituradora de vegetação



Figura V-11· a) Corte de vegetação; b) Transporte de vegetação; c) Equipamento de carga e transporte terrestre

Carga e transporte de sedimentos do terrapleno:

· 1 escavadora 100 ton.

· 1 escavadora 75 ton.

· 5 escavadoras diversas

· 3 pá carregadoras

· 1 *dumper* 25 ton

· 5 *dumpers* 30 ton

· 2 *dumpers* 35 ton

· 8 *dumpers* 40 ton

· 9 camiões

· 1 *buldozzer*
· 1 moto niveladora

Dragagem, transporte e depósito no vazadouro Imerso:
· Draga sucção e corte "Fernão Magalhães"
138.5 m comprimento; 7000 KW de potência de corte
· Draga sucção e arrasto "Pinta"
89.7 m comprimento; 3 400 m^3 de porão
· Draga sucção e arrasto "José Duarte"
73 m comprimento; 1 045 m^3 de porão
· Batelão "L´Étoile"
99.5 m comprimento; 3 700 m^3 de porão
· Batelão "L´Aigle"
99.5 m comprimento; 3 700 m^3 de porão
· Batelão "Le Guerrier"
99.5 m comprimento; 3 700 m^3 de porão
· Batelão "Manuel Oliveira"
80 m comprimento; 1 800 m^3 de porão

1.5.3.6. Rendimentos

Carga e transporte de sedimentos do terrapleno

Inicialmente, na carga e transporte de sedimentos para a "Ilha", foram obtidos rendimentos entre 10 000 m^3 a 15 000 m^3 diários. Com o desenvolvimento da obra, os rendimentos médios diários fixaram-se entre 20 000 m^3 a 25 000 m^3.
No momento de maior intensidade de trabalhos da empreitada atingiu-se o transporte de cerca de 30 000 m^3 diários.

Dragagem, transporte e depósito no vazadouro Imerso

Durante a fase inicial das dragagens, onde somente estava presente em obra a draga "José Duarte", os rendimentos de dragagem situaram-se entre os 8 000 m^3 e 10 000 m^3 diários.
Quando todo o equipamento de dragagem e transporte foi mobilizado, as médias diárias de dragagem e transporte situaram-se entre os 90 000 m^3 e 100 000 m^3.
Na parte final, com a presença da "Pinta" e da "José Duarte" os rendimentos diários foram

entre 20 000 m^3 a 25 000 m^3. Na conclusão dos trabalhos de dragagem, quando se estavam a fazer os acertos finais das cotas do fundo, os rendimentos caíram para cerca de 5 000 m^3 diários.

A Figura V-12 ilustra a área da empreitada após a conclusão dos trabalhos.



Figura V-12 · Área da empreitada após a conclusão dos trabalhos

1.5.5. Condicionantes da operacionalização e planeamento

1.5.5.1. Pandemia

O início da empreitada coincidiu com o início da pandemia do Covid-19, situação anormal e para a qual não havia qualquer tipo de planeamento ou plano B, pelo que as implicações no planeamento e operacionalização da obra foram profundas.

O consórcio tinha na sua constituição uma empresa belga que opera a nível mundial, pelo que os equipamentos previstos para a obra viriam de várias partes do planeta. No início da empreitada as deslocações entre países estavam muito condicionadas, pelo que houve atrasos na mobilização dos equipamentos de dragagem e transporte marítimo com implicações no planeamento previsto. A troca de tripulações das embarcações também foi afetada, com implicações para os trabalhadores e consequente rendimento dos mesmos. Qualquer tipo de intervenção para reparação ou abastecimento das embarcações tinha que ser planeada tendo em conta possíveis infeções nos tripulantes, que poderiam imobilizar os equipamentos e colocar em causa o planeamento previsto.

Devido à pandemia, nos trabalhos terrestres as dificuldades em cumprir o planeado também foram imensas. Com a economia praticamente parada e com as atividades de res-

tauração e hotelaria encerradas, tornou-se difícil planear a instalação e alimentação dos trabalhadores.

Foi também crucial a manutenção do isolamento das equipas da obra de modo a evitar contágios que pudessem paralisar a empreitada.

1.5.5.2. Receção de materiais nas centrais de biomassa

Os 84 ha da área da obra estavam praticamente todos cobertos com vegetação, essencialmente por acácias e erva-das-pampas (Figura V-13).

As centrais de biomassa existentes nas proximidades de Aveiro têm uma capacidade limitada de receção de vegetação. Por outro lado, nem toda a vegetação pode ser recebida pelas centrais de biomassa.



Figura V-13 · Corte de árvores e vegetação para biomassa

A erva-das-pampas, de forma isolada, não é aceite nas centrais de biomassa. Nesta obra teve que ser triturada e misturada em conjunto com as acácias.

Deste modo, por forma a ser possível disponibilizar as áreas para escavação sem colocar em risco os prazos da empreitada foi necessário proceder à remoção da vegetação e armazená-la em diversos locais para posterior trituração e transporte para as centrais de biomassa.

1.5.5.3. Alteração de condições contratuais

O projeto da empreitada disponibilizava o cais norte do terminal de contentores e Ro-Ro para carga dos sedimentos do terrapleno da ZALI. No tempo decorrido entre o concurso público e a consignação da empreitada o acesso ao cais sofreu alterações, tendo sido pavimentado e vedado, passando a fazer parte integrante desta área portuária (Figura V-14).

Para o uso desta infraestrutura foi necessário criar condições de acesso especificas para um cais que estava agora incluído numa área portuária de uso internacional.

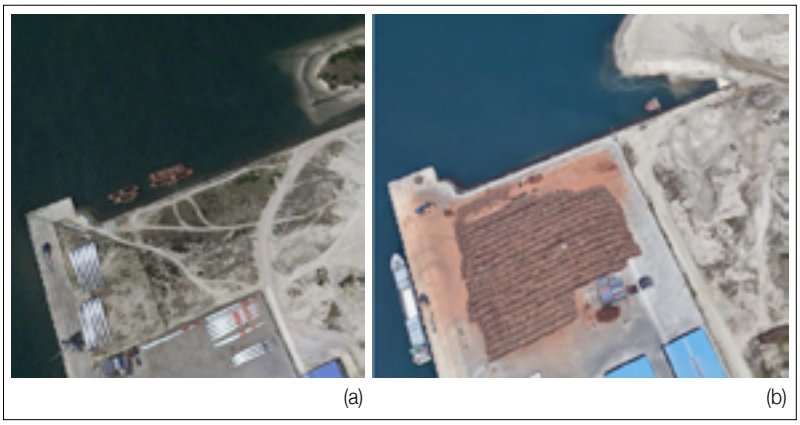


Figura V-14 · Acesso ao cais de carga a) à data do concurso e b) no início da empreitada

1.5.5.4. Disponibilidade de equipamento

Logo após o início da empreitada, o consórcio teve disponível equipamento com capacidade superior ao previsto na proposta apresentada, nomeadamente no que se refere à draga de sucção e corte.

Deste modo, tendo em conta esta disponibilidade, o atraso nas mobilizações provocado pela pandemia e as dificuldades de acesso ao cais norte do terminal de contentores e Ro-Ro, foi alterada a metodologia de execução da obra. O planeamento da proposta apresentada a concurso previa o transporte de sedimentos para este cais e carga em batelões, mas com as alterações acima descritas, passou-se a depositar os sedimentos arenosos na "Ilha" para posterior dragagem.

1.5.5.5. Deposição de sedimentos na ilha

Através da análise da composição granulométrica dos sedimentos depositados no terra-

pleno da ZALI, verifica-se a existência de material bastante fino, que ao ser descarregado diretamente na água iria facilmente espalhar-se pela darsena, assim como formar espumas que se espalhariam pelo porto.

De modo a minimizar estes impactos, foram tomadas as seguintes medidas (Figura V-15):

· Formar dois cordões nos limites da "Ilha" com material mais grosso para definir uma bacia de deposito dos sedimentos;

· Descarga dos sedimentos em cima da "Ilha" e posterior movimentação com *buldozer* para evitar a flutuação do material mais fino;

· Mobilização de equipamento dedicado exclusivamente à recolha de espumas. De realçar que a própria dragagem provocava a formação de espumas.



Figura V-15 · Recolha de espumas resultantes do depósito de sedimentos e dragagem

1.5.5.6. Dragagem suplementar da darsena

Na sequência da metodologia de execução da obra, da velocidade da sua execução e do tipo de sedimentos, existiram alterações nos fundos da darsena, com assoreamento em diversas locais da mesma. No sentido de repor a situação inicial foram executados trabalhos de dragagem. Esta alteração ao planeamento teve que ser enquadrada no prazo contratualmente previsto.

1.5.5.7. Deposição de sedimentos no vazadouro imerso

Os enormes rendimentos diários de dragagem, conforme descrito anteriormente, assim como as dimensões das 5 embarcações que estavam a depositar continuamente os sedimentos no vazadouro imerso, tornaram necessário um planeamento exaustivo da descarga, com a definição de áreas bem coordenadas para a descarga de cada uma das embarcações (Figura V-16). Tendo em conta as diferentes capacidades e rendimentos das

diversas embarcações, assim como as diferenças no fundo ao longo da área de descarga, este planeamento foi sendo atualizado.



Figura V-16 · Plano de descarga dos batelões

A empreitada decorreu entre os meses de maio e setembro de 2020, quando o mar está menos agitado e as correntes têm menor intensidade, diminuindo assim o transporte de deriva litoral. Nestas condições os sedimentos ficam depositados durante mais tempo na área do vazadouro.

Por outro lado, foram depositados 2 745 000 m^3 numa pequena extensão de costa e num intervalo de 4 meses, sendo que mais de metade desse volume foi depositado no período de 1 mês.

Deste modo, foi necessário efetuar um planeamento rigoroso de descarga das embarcações, com a execução de constantes levantamentos hidrográficos para avaliação continua da evolução do vazadouro e consequente evolução desse planeamento.

Diana Gaspar
Luís Bandeira
Polis Litoral Ria de Aveiro, SA

2. Desassoreamento na Ria de Aveiro: reposição do equilíbrio na dinâmica sedimentar

2.1. Introdução

A Ria de Aveiro, sendo uma laguna muito exposta à influência das marés, apresenta diversos problemas tais como uma grande fragilidade da faixa costeira e lagunar. A amplitude de marés tem vindo a intensificar-se nas últimas décadas, fenómeno mais acentuado nas marés vivas, o que provoca a intrusão salina nos terrenos agrícolas e a submersão permanente das zonas húmidas, anteriormente sujeitas apenas a curtos períodos de maré, com a degradação dos valores naturais, entre os quais se destaca as zonas de sapais e juncais. Por outro lado, o aumento do prisma de maré implicou ainda que, na maré baixa, muitos dos canais ficassem praticamente sem água, impossibilitando ou limitando a navegação por barcos de pesca ou de recreio.

Assim, a dragagem nos canais da Ria tem sido, desde há décadas, uma necessidade exigida pelas populações. Com esta intervenção, pretende-se melhorar a navegabilidade nos canais, e simultaneamente aproveitar os dragados para reforçar as margens, protegendo os terrenos, reforçar a zona costeira, contribuindo para reduzir a erosão desta zona tão frágil.

Deste modo, com a criação do Programa Polis Litoral, e concretamente com a constituição da Sociedade Polis Litoral Ria de Aveiro, a intervenção de "Desassoreamento na Ria de Aveiro", foi prevista no seu Plano Estratégico como sendo uma das suas ações principais, não só pelo seu elevado investimento, como pela complexidade e dimensão da sua área de intervenção. A ação "Transposição de Sedimentos para Otimização do Equilíbrio Hidrodinâmico na Ria de Aveiro", também designada de "Desassoreamento na Ria de Aveiro" compreende o conjunto de operações de dragagem dos fundos dos canais da Ria de Aveiro e de deposição dos sedimentos para reforço de margens e motas em zonas baixas ameaçadas pelo avanço das águas, sendo que uma parte dos sedimentos é também depositada

no mar, de forma a reforçar a deriva litoral, contribuindo desta forma para a minimização de riscos, especialmente de erosão costeira. Nesta obra estão ainda previstos o balizamento e a sinalização dos canais de navegação da Ria de Aveiro, bem como a estabilização das condutas de saneamento nas travessias dos canais de Mira e de Ílhavo (rio Boco), para permitir a dragagem nesses troços.

Este artigo contém dois capítulos principais: a identificação dos problemas e a necessidade de dragagem na ria; e as características da empreitada. Este último, por sua vez, subdivide-se em: cronologia da intervenção; características do projeto; dados da empreitada, volume a desassorear e destino final dos sedimentos; tipo de dragas utilizadas; soluções de contenção nos depósitos e balizamento e sinalização dos canais. No quarto capítulo apresentam-se as considerações finais.

2.2. Problemas – necessidade de dragagem na Ria

A obra de "Desassoreamento na Ria de Aveiro" tem como objetivo minimizar vários dos problemas que a ria apresenta, dado que visa a melhoria das condições de navegação dos canais, o reforço das margens em zona baixas ameaçadas pelo avanço das águas, a alimentação de sedimentos no litoral e a melhoria dos valores naturais.

Esta intervenção apresenta-se muito positiva do ponto de vista de impactes socioeconómicos, pois permitirá a criação de condições para o usufruto da zona lagunar pela população, contribuindo para o desenvolvimento sustentável da economia local, nomeadamente pelo estabelecimento de condições mais favoráveis ao desenvolvimento de atividades nas margens da Ria de Aveiro, que ficarão menos sujeitas a galgamentos e inundações por água salgada. Por outro lado, aumenta a atração de embarcações para as infraestruturas de acostagem existentes ao longo da Ria de Aveiro, permitindo assim o incremento do turismo nesta vertente e a criação de melhores condições para o desenvolvimento de atividades marítimo-turísticas em canais mais diversos.

De seguida descreve-se com maior detalhe os principais problemas identificados como base para o encontro de soluções:

- Fragilidade da faixa costeira e lagunar;
- Intrusão salina nos terrenos;
- Aumento do prisma de maré;
- Submersão permanente das zonas húmidas;
- Degradação dos valores naturais;

· Dificuldade de circulação nos canais da Ria.

2.2.1. Fragilidade da faixa costeira e lagunar

Conforme referido no Estudo de Impacte Ambiental (EIA) do Projeto (AGRIPRO, 2015), "com base nos elementos cartográficos disponíveis é possível verificar que, na primeira metade do século XX, o sector entre a foz do rio Douro e o Porto de Aveiro já evidenciava recuos significativos da linha de costa, com taxas a decrescer de norte para sul (Ângelo, 1991). O recuo da linha de costa traduz um deficit de sedimentos, o que quer dizer que o volume de areias realmente transportado pela deriva litoral será significativamente inferior ao volume potencial.

A interpretação desta tendência evolutiva passa por se considerar os sedimentos presentes nas praias e nas dunas como uma importante fonte sedimentar, no decorrer do século XX, para alimentar as correntes de deriva litoral (Pereira & Coelho, 2013).

O recuo da linha de costa nos segmentos mais deficitários em sedimentos, por ocasião de temporais ou marés vivas, e a consequente translação do perfil transversal da praia permitiram a libertação de volumes significativos de areia que, ao integrarem as correntes de deriva litoral, auxiliaram à manutenção de uma estabilidade relativa nos segmentos litorais localizados a sotamar. Estes sedimentos compensaram assim a escassez de sedimentos debitados pelos principais sistemas fluviais que outrora alimentavam este troço costeiro (a redução é particularmente significativa no rio Douro).

Tendo em conta que a resultante anual do transporte sólido associado à deriva é de norte para sul, o processo de erosão dos segmentos costeiros foi sofrendo uma progressão para sul, à medida que os segmentos mais a norte foram perdendo a capacidade de fornecer sedimentos.

No segmento situado entre Espinho e a embocadura do Porto de Aveiro, as intervenções de estabilização da linha de costa começaram a ser realizadas na década de setenta do século passado, estando a fase de maior intervenção centrada na década de oitenta. Estas intervenções permitiram atenuar o processo erosivo a barlamar mas transpuseram-no para sotamar, atualmente com efeitos já visíveis nas praias da Vagueira e Mira (Pereira & Coelho, 2013).

Em termos de eventos de risco, a maioria das ocorrências relacionadas com o recuo da posição da linha de costa, galgamentos oceânicos, destruição dunar, danos em infraestruturas e danos em obras de defesa costeira, identificadas desde 1850, foi observada nos

trechos de Espinho-Furadouro (a norte da Barra) e Barra-Vagueira (a sul da Barra). O trecho Furadouro – S. Jacinto é o que apresenta o número mais reduzido de eventos, já que beneficia da acumulação de sedimentos a norte do quebra-mar do Porto de Aveiro."

Pereira & Coelho (2013) classifica este trecho litoral em termos de três aspetos principais: vulnerabilidade, exposição e risco costeiro.

A vulnerabilidade indica a suscetibilidade da zona costeira às ações energéticas do mar, como uma combinação de vários parâmetros que incluem características naturais e antropogénicas da zona costeira, assim como registos sobre a sua dinâmica e informações relativas à agitação marítima. A exposição é classificada em termos da densidade populacional, atividade económica, património histórico e a ecologia. O risco costeiro é definido a partir de uma matriz que conjuga o grau de vulnerabilidade com o grau de exposição.

Verifica-se assim, pela Figura V-17, que a zona da Ria de Aveiro localiza-se num troço de alta a moderada vulnerabilidade, de exposição moderada a baixa e de risco costeiro elevado a médio."

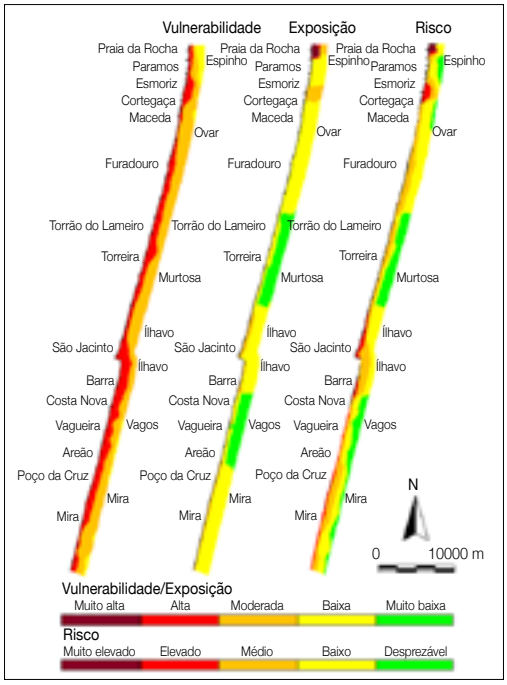


Figura V-17 - Classificação de Vulnerabilidade, Exposição e Risco, na Área de Estudo
(Pereira & Coelho, 2013) · Fonte: EIA (AGRIPRO, 2015)

Na Figura V-18 apresenta-se uma fotografia da Praia da Maceda onde se verificou este efeito erosivo, em 2016.



Figura V-18 · Fenómenos erosivos na Praia da Maceda, Ovar (2016)

2.2.2. Aumento do prisma de maré - inundações das margens da ria

A área ocupada pela laguna tem vindo a variar ao longo do tempo, pelos mais variados motivos, dos quais se destacam o abandono da exploração das salinas, a subida do nível médio do mar e também devido à ausência de manutenção periódica dos muros que delimitam uma grande parte dos seus canais, com especial enfoque para a área do denominado "Salgado de Aveiro". Ao longo dos últimos séculos, verificou-se que a barra assoreou completa ou quase completamente por diversas vezes, tendo-se reaberto posteriormente no mesmo local ou em local distinto.

A intervenção do homem na evolução morfológica da Ria de Aveiro, a par dos processos hidrodinâmicos que intervêm no transporte, erosão e deposição de sedimentos, influenciam as formas que hoje se observam.

As intervenções das últimas décadas traduziram-se numa maior facilidade na propagação da maré para o interior do sistema (Univ. de Aveiro, 2001 in PROMAN, 2014). Essa maior penetração das marés terá contribuído para o aumento do prisma de maré, com o consequente registo de mais fenómenos de galgamentos marginais (Figura V-19), do aumento das áreas de inundação e o desaparecimento de muros das marinhas em progressivo abandono.



Figura V-19 · Estrada de acesso à Tijosa submersa, Ovar, 2018

2.2.3. Dificuldade de navegação nos canais da ria

Segundo SENER (2012), "as condições de navegação na laguna não são suficientemente seguras em baixa-mar e, devido a este facto, muitas das embarcações apenas podem circular em condições favoráveis de maré". Na Figura V-20 a seguir apresentada, comprovam a situação dos acessos aos cais da Ribeira e do Puchadouro, em Ovar, numa situação de baixa-mar, antes da intervenção.



Figura V-20 · Cais da Ribeira e do Puchadouro, em Ovar, em situação de maré baixa

2.2.4. Degradação dos valores naturais / submersão permanente das zonas húmidas

Caso se mantenham as condições de assoreamento dos canais, a intrusão salina dos terrenos e a contínua submersão das zonas húmidas superiores, degradando estas áreas e levando ao seu desaparecimento, nomeadamente das zonas de sapal médio e alto (Figura V-21), é expectável que a laguna evolua para situações ecologicamente menos ricas e interessantes.

Esta situação irá ter sobretudo repercussões a nível dos fatores biológicos, uma vez que a degradação e potencial desaparecimento de áreas como o juncal leva à sucessão das

comunidades palustres para comunidades terrestres e consequente desaparecimento das zonas húmidas e substituição gradual da vegetação autóctone pela vegetação exótica infestante.

Torna-se assim também elevada a probabilidade de afastamento da importante avifauna local, que depende destes biótopos.



Figura V-21 · Degradação das áreas de sapal médio e alto (Estarreja)

2.2.5. Promover a Adaptação às Alterações Climáticas e Prevenção e Gestão de Riscos

São objetivos e compromissos desta intervenção o reforço de margens da Ria de Aveiro, a proteção da Ria e das suas populações, a redução da erosão costeira e a promoção dos usos e vivências, com a melhoria da navegabilidade e acesso aos cais.

Conforme preconiza a análise efetuada no âmbito do Estudo de Impacte Ambiental (AGRIPRO, 2015):

· Nos locais de reforço e/ou alteamento para proteção contra a erosão serão minimizados ou mesmo eliminados aqueles fenómenos sobre as margens.

· Ao nível das salinas, a reconstituição dos seus taludes poderá permitir a manutenção de água, com carácter permanente, nalgumas zonas, contribuindo para a sua valorização e eventual reutilização, com benefícios em termos económicos e ambientais, uma vez que é reconhecida a importância deste habitat para a avifauna.

· No que se refere à proteção dos terrenos agrícolas, o reforço de motas/diques de defesa permitirá a redução dos episódios de invasão pelas águas da Ria, reduzindo os consequentes problemas de intrusão salina e de erosão de margens, com im-

pactes positivos na manutenção e maior distribuição desta classe de uso do solo.

· A ampliação das faixas arenosas lagunares, também sujeitas a problemas de erosão, permitirá a proteção das vias rodoviárias e o seu uso como zonas de estadia e lazer, por parte da população local e turistas, nomeadamente nas margens do canal de Mira e do canal de Ovar.

· As zonas húmidas, especificamente as áreas de sapal, serão favorecidas pela deposição dos dragados e consequente sobrelevação, pela regeneração do juncal e a promoção de uma rápida fixação dos lodos e areias lodosas depositadas.

Já no que se refere aos contributos para a redução da erosão costeira, e tendo em conta as características hidrodinâmicas da costa onde estão a ser depositados os dragados, é expectável que, após a repulsão, ocorra o transporte dos materiais dragados para sul, os quais irão alimentar o transporte sedimentar presente, com a vantagem de os materiais estarem a ser colocados numa zona de grande agitação marítima, onde o seu espraiamento e lavagem é rápido e eficaz.

2.2.6. Potencial ambiental, económico e social da Ria

O território da Ria de Aveiro revela uma multiplicidade de atividades que dela direta ou indiretamente dependem, e que com ela têm de se articular para garantir a sua sustentabilidade. Dessas atividades destacam-se: as atividades piscatórias; a agricultura; a aquacultura; a apanha de bivalves; a exploração de sal; o *birdwatching*; os desportos náuticos e o turismo e lazer.

A execução da dragagem nos canais irá potenciar a melhoria das condições para a realização destas atividades.

2.3. Características da empreitada

2.3.1. Cronologia da intervenção

Em termos cronológicos, esta intervenção, já pensada há vários anos, teve como principais marcos:

· 2008: Plano UNIR@RIA (AMRIA/CIRA), este plano surge da necessidade de estabelecer orientações integradas para o território envolvente ao sistema territorial da Ria de Aveiro e seu prolongamento natural através da Bacia Hidrográfica do Vouga até à Pateira de Fermentelos e ao rio Cértima, contemplando a ação de desassoreamento

de canais e esteiros de forma a evitar o seu desaparecimento;

· 2010: Plano Estratégico da Intervenção de Requalificação e Valorização da Ria de Aveiro (PEIRVRA), plano que serviu de base à estratégia e concretização das ações levadas a cabo pela Sociedade Polis, tendo previsto a ação de "Transposição de sedimentos para otimização do equilíbrio hidrodinâmico na Ria de Aveiro" como sendo uma das mais importantes, integrada no Eixo – Proteção e Defesa da zona costeira e lagunar visando a prevenção de riscos.

· 2015: Estudos Preliminares, dos quais se destacam os Estudos de Evolução e da Dinâmica Costeira e Estuarina, de Mobilidade e Navegabilidade na Laguna e de Reforço de Margens pela Recuperação de Diques e Motas, que serviram para definição dos pressupostos da ação de "Desassoreamento na Ria de Aveiro" e do correspondente Estudo de Impacte Ambiental;

· 2016, abril: Declaração de Impacte Ambiental (DIA) do anteprojeto;

· 2018, maio: Decisão final da Autoridade de AIA (emissão das DCAPE's);

· 2018, maio: lançamento das empreitadas (em dois lotes);

· 2019, abril: consignação das empreitadas;

· 2021 e 2022: conclusão das empreitadas.

2.3.2. Características do projeto

A intervenção de "Desassoreamento da Ria de Aveiro" prevê a dragagem dos seguintes canais: de Ovar até ao Carregal, de Ovar até Pardilhó, da Murtosa, de Mira, de Ílhavo (rio Boco), do Lago do Paraíso e da Zona Central (Salgado). A intervenção contempla ainda a estabilização das condutas de saneamento, nas travessias dos canais de Mira e do rio Boco, para possibilitar a dragagem nesses canais e assim aumentar o período de navegabilidade dos mesmos.

Em termos territoriais, a intervenção abrange os seguintes concelhos: Albergaria-a-Velha, Aveiro, Estarreja, Ílhavo, Murtosa, Ovar e Vagos.

O projeto de execução lançado a concurso estimou um volume a dragar de cerca de 965 000 m^3, sendo que deste cerca de 705 000 m^3 seriam depositados nas margens e 260 000 m^3 na deriva litoral. Na Figura V-22 apresenta-se uma imagem da Ria de Aveiro com a extensão dos canais estudados que seriam alvo de dragagem e os respetivos locais de depósito. Será de referir que existem troços nos canais identificados na figura que não foram alvo de intervenção, uma vez que as suas cotas de fundo já se encontravam abaixo

das previstas dragar.

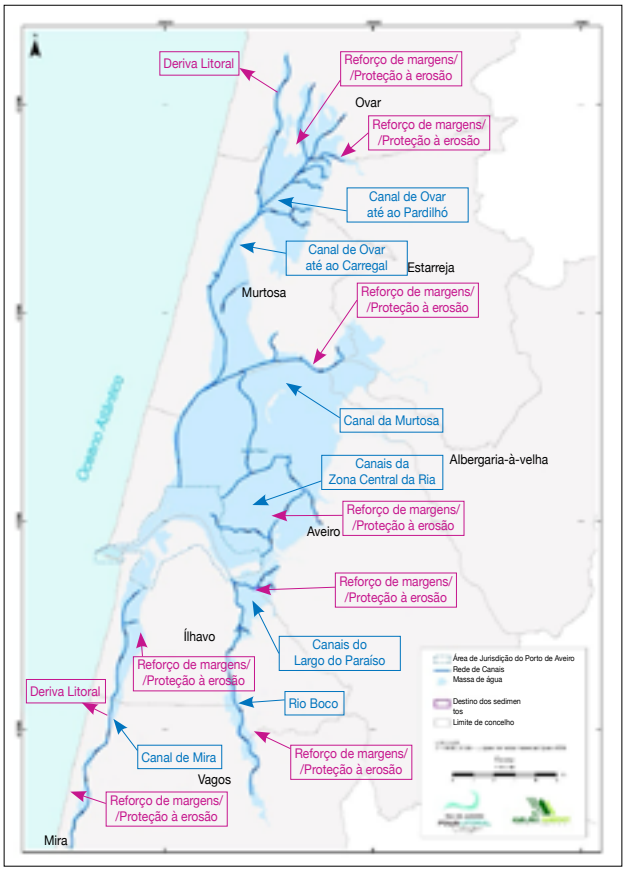


Figura V-22 · Extensão da intervenção, com a rede de canais a dragar e os respetivos destinos finais (AGRIPRO)

Consoante as características geométricas locais, o projetista definiu as larguras de rasto dos canais principais e secundários. Assim, nos canais principais foi definida uma largura de rasto de 50, 40, 30 ou 15 m, tendo sido considerada uma redução gradual dos rastos à medida que nos afastamos da barra, em função do estreitamento natural dos canais. Nas "cales" (canais) da região central da Ria, foi considerada uma largura de rasto de 30 m, e nos esteiros foram considerados rastos de 10, 6 ou 4 m, impostos pela sua própria largura atual.

Relativamente aos taludes, considerou o projetista, sempre que possível, taludes 1:5 (V/H)

no caso de canais com fundos arenosos e 1:10 (V/H) nas áreas de intervenção com fundos siltosos/lodosos.

No que respeita às cotas de dragagem, estas variaram de acordo com a geometria do canal a dragar, nomeadamente a sua largura, bem como com a tipologia de embarcações que utilizam o canal. Assim, para os canais principais, as cotas de dragagem variaram entre os -1m (ZH) e -0.5 m (ZH), exceção feita no canal de Mira a sul da Ponte da Vagueira, cuja cota de dragagem foi de +1.0 m (ZH), uma vez que se pretendia a existência de um caudal de água que garantisse a manutenção do ecossistema neste troço. Para as "cales" da região central da Ria e esteiros, as cotas de dragagem variaram entre os -0.5 m (ZH) e +0.5 m (ZH). Na Figura V-23 apresenta-se um esquema tipo de um canal de navegação.

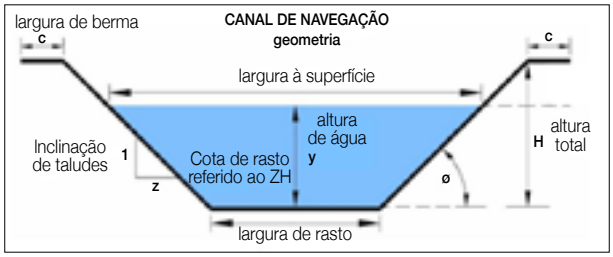


Figura V-23 · Geometria dos canais de navegação (PROMAN)

2.3.3. Dados da empreitada

A empreitada "Transposição de Sedimentos para Otimização do Equilíbrio Hidrodinâmico na Ria de Aveiro" foi adjudicada pela Polis Litoral Ria de Aveiro, pelo valor de 17.5 milhões de euros + IVA, e desenvolvida em 2 lotes, a saber: o Lote 1 - Canal de Ovar até ao Carregal, Canal de Ovar até Pardilhó e Canal da Murtosa e o Lote 2 - Canal de Ílhavo, Canais do Lago do Paraíso, Canais da Zona Central e Canal de Mira.

Esta ação foi financiada pelo POSEUR - Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos, com uma comparticipação inicial de 75% (que durante a execução aumentou para 87%), sendo a contrapartida nacional assegurada pelo capital social proveniente do Estado e pelas Águas do Centro Litoral, S.A., no que respeita à estabilização das suas condutas.

De referir que durante a empreitada, foram efetuadas adaptações ao projeto, tais como alterações de inclinações nos canais a dragar, decorrentes das condicionantes locais, que tinham a ver com a geometria efetiva do canal, ou pelas margens que poderiam tornar-se

instáveis, caso a dragagem ocorresse nas suas proximidades.

2.3.4. Volume a desassorear e destino final dos sedimentos

Tal como referido anteriormente, o projeto de execução lançado a concurso estimou um volume a dragar de 964 917 m^3, sendo que destes, 705 752 m^3 (73%) seriam depositados nas margens e 259 165 m^3 (27%) na deriva litoral. Os depósitos nas margens foram provenientes de dragados de todos os canais intervencionados, enquanto que os dragados depositados no mar foram provenientes dos Canais de Ovar, junto ao Carregal, e de Mira. Quer tenham sido depositados no mar, ou dentro da laguna, os dragados foram colocados para fazer face a 5 objetivos: na deriva litoral, para reforço costeiro; em motas de proteção contra a invasão dos terrenos pela subida das águas e/ou pela invasão da água salgada nos terrenos agrícolas; na ampliação de áreas de sapal; na ampliação de áreas intertidais; e em motas de proteção na zona central da ria – "Salgado de Aveiro", encontrando-se distribuídos pelos municípios, conforme apresentado na Tabela V-1.

Tabela V-1 · Tipologia de deposição dos dragados por município

	Ovar	Estarreja	Murtosa	Aveiro	Ílhavo	Vagos
Motas de proteção contra a invasão de terrenos	x					
Deposição na deriva litoral	x				x	x
Ampliação de áreas de sapal	x	x			x	x
Ampliação de áreas intertidais			x		x	x
Motas de protecção na zona do "Salgado de Aveiro"				x		

2.3.5. Dragas utilizadas

As empreitadas foram executadas com recurso a 5 dragas de corte, sucção e repulsão (DCSR), que repulsaram a uma extensão máxima de 3.3 km, tendo sido apoiadas por equipamentos auxiliares: batelões e giratórias anfíbias, conforme se apresenta nas Figuras V-24, V-25 e V-26.



Figura V-24 · Draga de corte, sucção e repulsão (DCSR)



Figura V-25 · Giratória anfíbia



Figura V-26 · Batelão

O tipo de draga utilizada teve em consideração o disposto na Declaração de Impacte Ambiental, assim como as condicionantes locais, quer seja pela geometria dos canais, quer seja pelo tipo de sedimentos e/ou existência de resíduos nos fundos da ria.

2.3.6. Soluções de contenção nos depósitos

Para colocação de dragados nas margens da ria foram criados depósitos marginais, cuja contenção foi executada com o próprio material existente nas margens, ou com a colocação de paliçadas em madeira ou de bio rolos. A existência de paliçadas de madeira ou de bio rolos servirá para conter os sedimentos, evitando, ou minimizando o seu retorno à ria, contribuindo também para a fixação e reabilitação de margens dos canais. As soluções adotadas são ambientalmente sustentáveis, uma vez que utilizam materiais naturais, integrando-se na paisagem sem a desvirtuar.

As contenções com paliçadas de madeira são soluções ambientalmente sustentáveis, em pinho nacional (marítimo), tratado por impregnação, baixa densidade de defeitos de nós e fissuras e com o tratamento necessário para lhe conferir resistência a agentes físicos, químicos e biológicos e, dado destinar-se a ser aplicado na Ria de Aveiro, sem efeitos nocivos para o ambiente aquático. Na Figura V-27 apresenta-se cortes tipo de contenções em paliçadas, previstos no projeto de execução, e na Figura V-28 uma fotografia com as paliçadas aplicadas em Ovar, a servir de contenção aos dragados.

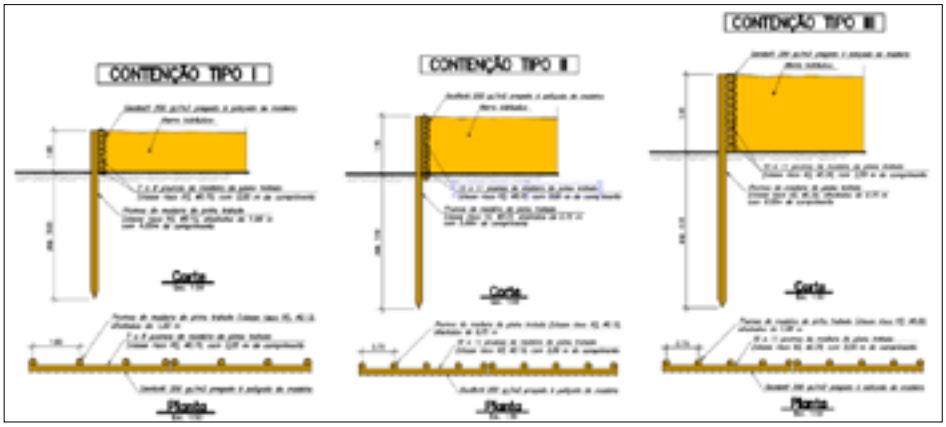


Figura V-27 · Corte tipo de contenções em paliçadas (projeto de execução, PROMAN)



Figura V-28 · Exemplo de paliçadas aplicadas na zona da Marinha, Ovar

Os bio rolos são soluções de engenharia natural, que consistem numa matriz de fibra de coco compacta, com densidade homogénea ao longo de todo o rolo. Externamente são reforçados por uma rede estrutural, em polipropileno ou em fibra de coco, e no seu interior podem ser colocados rizomas ou bolbos de espécies aquáticas. Servem para promover a contenção periférica de zonas sujeitas a erosão, promovendo a sedimentação de material depositado no contexto das dragagens, contribuindo também para a fixação e reabilitação de margens dos canais, para além de poder também servir como substrato à plantação de espécies aquáticas. Nas Figuras V-29 e V-30 apresenta-se um corte esquemático de solução de bio rolo previsto no projeto de execução e fotos da obra deste tipo de solução, respetivamente.

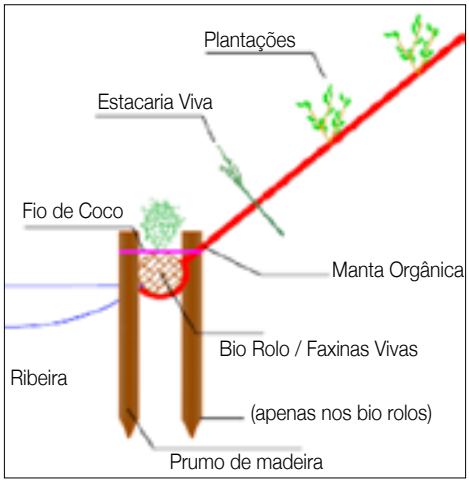


Figura V-29 · Corte esquemático de solução de bio rolo (projeto de execução, PROMAN)



Figura V-30 · Bio rolos aplicados em obra

2.3.7. Balizagem e sinalização dos canais

Com a conclusão da dragagem em cada um dos canais, procurou-se assegurar a sua conveniente utilização através da implantação de marcas, que definem quais os trajetos a seguir para uma navegação em segurança.

Tendo em consideração o sistema lagunar, onde as águas são de baixas profundidades, mas sujeitas a significativas variações de nível, o projetista encontrou uma solução em que são utilizados elementos flutuantes (boias) e estruturas fixas (estacas metálicas aligeiradas cravadas no leito), os quais são identificados pela cor, além de serem encimados pelos alvo, refletor de radar e luz correspondentes. As boias foram colocadas nos locais em que a sonda reduzida seja igual ou superior a 3 m (Sr > 3.0 m) e as estacas nas restantes situações.

Este assinalamento da Ria servirá para indicar os limites laterais dos canais navegáveis, sendo, portanto, fundamental para a segurança dos seus utilizadores. Na Figura V-31 apresenta-se o esquema proposto em projetos para o tipo de estaca e boia a aplicar na obra, sendo que na Figura V-32 apresenta-se fotos das mesmas aplicadas em obra.

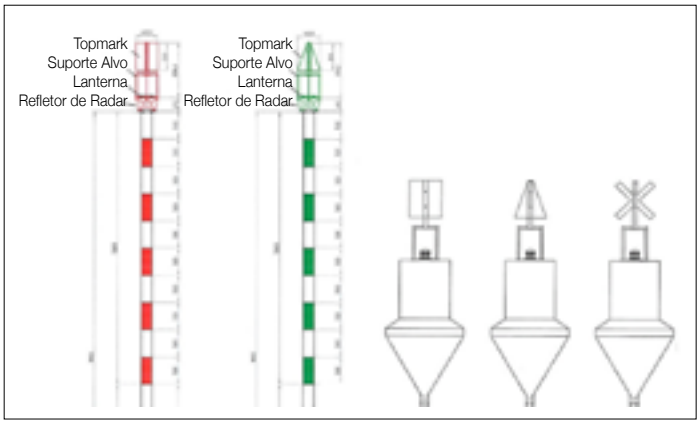


Figura V-31 · Esquema de estaca e boia aplicada



Figura V-32 · Estaca e boia aplicadas em obra

2.4. Considerações finais

O "Desassoreamento na Ria de Aveiro" constituiu a maior operação de dragagem na ria dos últimos 20 anos.

Para concretização deste projeto, sujeito a avaliação de impacte ambiental, foi indispensável a articulação entre entidades das mais variadas áreas, como sejam a Agência Portuguesa do Ambiente (Autoridade de AIA), o Instituto de Conservação da Natureza e Florestas, a Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro, o Laboratório Nacional de Energia e Geologia, a Direção-Geral do Património Cultural e a Capitania do Porto de Aveiro, entre outras, bem como a elaboração de variados estudos de base e complementares bastante específicos. A complexidade e a morosidade deste projeto resultaram assim da necessária conciliação entre o interesse público, as conclusões dos estudos técnicos e as exigências nas mais diversas vertentes, tais como biologia, ecologia, engenharia hidráulica, ambiente, arqueologia, entre outras.

Esta obra veio dar um enorme contributo para a melhoria das condições deste importante ecossistema, nomeadamente a maior navegabilidade dos canais, promovendo as atividades piscatórias, de recreio náutico e o turismo, bem como promoveu o reforço da zona costeira, e das margens e a proteção dos terrenos agrícolas e de marinhas, potenciando a agricultura e a aquicultura, bem como contribuiu para a recuperação dos valores naturais, criando condições para o aumento da biodiversidade e promovendo atividades de turismo de natureza.

Cientes que esta operação não viria a resolver todos os problemas que a ria apresenta, foi assumido que haveria uma solução de compromisso entre a cota de dragagem adotada, que por um lado deveria proporcionar um maior número de horas de navegação na ria e, por outro, tendo a preocupação de não dragar grande profundidade nos canais, por forma

a evitar o aumento de velocidades e correntes, bem como da amplitude de marés, podendo provocar mais inundações nas margens e causar sérios problemas de estabilidade das mesmas.

Com a intervenção agora concluída, aumentou-se consideravelmente o nível de proteção de pessoas e bens, através da constituição e reforço das motas de proteção nas margens da Ria, nomeadamente em Ovar, Estarreja, Murtosa, Aveiro, Ílhavo e Vagos, tendo sido colocados cerca de 220 000 m^3 de sedimentos, numa extensão total de 23 km. Foram ainda depositados mais de 90 000 m^3 de sedimentos para reforço de marinhas, na zona central do "Salgado de Aveiro". Por último, mais de 350 000 m^3 de dragados serviram para recuperação dos valores naturais, com a ampliação das áreas de sapal e intertidais, nas zonas de Ovar, Estarreja, Murtosa, Ílhavo e Vagos.

Apesar deste forte contributo, face à forte hidrodinâmica de um sistema como o da Ria de Aveiro, em que o transporte sedimentar está dependente de múltiplos fatores, é inevitável que alguns dos canais voltem a assorear, com maior incidência nos canais perpendiculares à direção da corrente e sujeitos a grandes velocidades. Importa também relembrar que, em processos de dragagem e deposição, as condições hidrodinâmicas contribuem para a ocorrência de reajustes das condições locais em busca do seu equilíbrio morfo-sedimentar, sendo que estes apresentam um caráter assintótico, isto é, as maiores alterações ocorrem no período imediatamente após as operações de dragagem e deposição, tendendo ao longo do tempo para o atrás referido equilíbrio.

Por último, deixa-se como nota a importância de serem realizadas regularmente dragagens de manutenção nos canais da Ria de Aveiro, e não apenas ocasionalmente uma operação pontual, de forma a garantir a existência de caudal mínimo nos canais, permitindo que haja condições de navegabilidade durante mais tempo.

Referências bibliográficas

Abreu, T. (2013). "Dinâmica hidro-sedimentar: modelação de perfis de praia". 8ªs Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Lisboa, 10-11 de outubro.

Abreu, T., Silva, P.A., Sancho, F., Temperville, A. (2010). "Analytical approximate wave form for asymmetric waves". Coastal Engineering, 57, 656-667.

AGRIPRO (2015). "Estudo de Impacte Ambiental do Projeto de Transposição de Sedimentos para Otimização do Equilíbrio Hidrodinâmico na Ria de Aveiro". AGRIPRO Ambiente Consultores, S.A.

Alves, F. (2021). "Relatório técnico do 1º workshop participativo do projecto INCCA: análise económica das medidas de mitigação e adaptação à erosão costeira no Concelho de Ovar", FCUL-UL, Lisboa. DOI: 10.13140/RG.2.2.29379.12328.

Alves, F., Matos, F., Lima, M., Ferreira, M., Filho, L., Coelho, C., Vizinho, A. (2022). "Relatório técnico do 3º Workshop Participativo: Dos Cenários para o Território aos Caminhos de Adaptação para Ovar", FCUL-UL, Lisboa. DOI: 10.13140/RG.2.2.18431.69284.

Amaru, S.; Chhetri, N.B. (2013). "Climate adaptation: Institutional response to environmental constraints, and the need for increased flexibility, participation, and integration of approaches". Appl. Geogr. 39, 128–139.

Amorim, I. (2008). "Porto de Aveiro,Entre a terra e o Mar".

Andrade, C., Freitas, M.C. (2002). “Coastal zones”. In: Santos, F.D., Forbes, K., Moita, R. (Eds.). Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures. Gradiva, pp. 173-220.

Andrade, C., Marques, F., Freitas, M. C. (2013). “Criação e implementação de um sistema de monitorização no litoral sob jurisdição da ARH Tejo/Agência Portuguesa do Ambiente” Relatório Final. FCUL. 58p.

Andrade, C., Rodrigues, A., Pinto, C.A., Taborda, R., Couto, A., Portela, L.I., Pina, C., Ramos, L., Rodrigues, A., Terrinha, P., Brito, P., Caldeirinha, V., Ferreira, A.S. (2015). “Grupo de Trabalho dos Sedimentos” - Relatório Final. 31p.

Ângelo, C (1991). “Taxas de Variação do Litoral Oeste: Uma Avaliação Temporal e Espacial - A Zona Costeira e os Problemas Ambientais”, Conferências, Comunicações. Associação EUROCOAST – Portugal.

Areia, N., Tavares, A., Mendes, J. (2021). “Environment Actors Confronting a Post Climate--Related Disaster Scenario: A Feasibility Study of an Action-Based Intervention Aiming to Promote Climate Action”. Int. J. Environ. Res. Public Health, 18, 5949.

Bernardes, C., Fernández, S., Santos, F., Baptista, P., Silva, P.A., Abreu, T., Coelho, C., Lima, M., Carvalho, R. (2020). “Estudo de Viabilidade da Transposição Aluvionar das Barras de Aveiro e da Figueira da Foz”. Relatório Intercalar 1. In Tarefa 1. Análise da Evolução Histórica da Embocadura da Laguna de Aveiro; Universidade de Aveiro/Agência Portuguesa do Ambiente. Portugal. 59p.

Bird, E., Lewis, N., (2015). “Beach renourishment”. Springer, Dordrecht.

Campos, I., Vizinho, A., Coelho, C., Alves, F., Truninger, M., Pereira, C., Santos, F.D., Lopes, G.P. (2016). “Participation, scenarios and pathways in long-term planning for climate change adaptation”. Plan. Theory Prcatice, 17, 537–556.

Castanho, J., Gomes, N., Carvalho, J., Vera-Cruz, D., Araújo, O., Teixeira, A. (1974). “Means of controlling littoral drift to protect beaches, dunes, estuaries and harbour entrances. Estabishment of artificial beaches”. Mem. LNEC, 448, Lisboa, 26 p.

Cavalinhos, R., Correia, R., Rosa, P., Lillebo, A.L., Pinheiro, L.M. (2020). "Operacionalização da embarcação científica do CESAM: levantamentos hidrográficos em ambiente costeiro com o sistema Multifeixe EM 2040C". Atas das 6.ªs Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Instituto Hidrográfico, 466 pp. ISBN 978-989-705-144-9

CERC (1984). "Shore Protection Manual"; U.S. Army Corps of Engineers, Coastal Engineering and Research Center, U.S. Government Printing Office: Washington, DC, USA, Volume 1.

Coelho, C. (2005). "Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira". Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, Portugal, 404p.

Coelho, C. (2023). "Sediment Dynamics in Artificial Nourishments". Editorial. Journal of Marine Science and Engineering. MDPI, 11, 1433.

Coelho, C., Pereira, C., Costa, S., Lima, M. (2015). "A Erosão Costeira, as Tempestades e as Intervenções de Defesa Costeira no Litoral do Concelho de Ovar, Portugal", Seção III, Capítulo III, pp. 331-367.

Coelho, C., Ferreira, M., Marinho, B. (2020). "Numerical Modelling of the Artificial Sediment Nourishments Impacts". Journal of Coastal Research (95): 209-213.

Coelho, C., Ferreira, A. M., Pombo, R. (2021a). "Estudo de Evolução da Linha de Costa no Litoral de Quarteira". Relatório Final. Estudo Prévio de Soluções Alternativas de Restruturação dos Molhes de Quarteira. Universidade de Aveiro e R5 Marine Solutions. 70p.

Coelho, C., Afonso, A., Bernardes, C., Silva, P.A., Baptista, P., Roebeling, P., Fernández, S., Abreu, T., Oliveira, T., Ferreira, M., et al. (2021b). "Estudo de Viabilidade da Transposição Aluvionar das Barras de Aveiro e da Figueira da Foz". Sumário Executivo; Universidade de Aveiro/ Agência Portuguesa do Ambiente. Portugal. 26p.

Coelho, C., Lima, M., Alves, F.M., Roebeling, P., Ferreira, A.M., Matos, F., Pais-Barbosa, J., Filho, L.M., Vizinho, A., Duarte-Santos, F. (2023). "INCCA: Adaptação Integrada às Alterações Climáticas para Comunidades Resilientes". Edição/Coordenação: Carlos Coelho, Márcia Lima,

Ana Margarida Ferreira, Joaquim Pais Barbosa, UA Editora, Universidade de Aveiro, 100p. ISBN 978-972-789-837-4.

Cooper, J.A.G., Anfuso, G., Del Río, L. (2009). "Bad beach management: European perspectives". Geol. Soc. Am. Series 460, 167–179.

COSMO (2021). "Coastal monitoring programme of continental Portugal: COSMO. APA" . Portuguese Environment Agency. https://cosmo.apambiente.pt/ (último acesso em Outubro de 2021).

Cruz, T. (2015). "Análise Custo-Benefício de Obras Longitudinais Aderentes". Master thesis, University of Aveiro, Portugal, 140 p.

CUR (1987). "Manual on Artificial Nourishment". In: Pilarczyk, K. W. & Overeem, J. (Eds.). Centre for Civil Engineering Research. Codes and Specifications. Delft Hydraulics. 195p.

De Schipper, M.A., Ludka, B.C., Raubenheimer, B., Luijendijk, A.P., Schlacher, T.A. (2021). "Beach nourishment has complex implications for the future of sandy shores". Nat. Rev. Earth Environ. 2, 70–84.

Dean, R.G. (2002). "Beach Nourishment: Theory and Practice". World Scientific Press, New Jersey, 399p.

DHI (2014). "LITPACK - An integrated modelling system for littoral processes and coastline kinetics". Short introduction and tutorial, Copenhagen, Denmark, 64 p.

Dias, J.A. (1993). "Estudo de avaliação da situação ambiental e propostas de medidas de salvaguarda para a faixa costeira portuguesa". Geologia Costeira. Edição eletrónica de 2005/2007: http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/index_ebooks.html.

Dubarbier, B., Castelle, B., Marieu, V., Ruessink, G. (2015). "Process-based modeling of cross-shore sandbar behavior". Coastal Enginnering, Volume 95.

Fernandes, G.C. (2023). "Caraterização geológica do sector norte do Porto de Setúbal", Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro. 103pp.

Fernández-Fernández, S., Baptista, P., Bernardes, C., Silva, P., Fontán-Bouzas, A., López-Olmedilla, L., Ferreira, C. (2019). "Variação da Linha de Costa em Praias Arenosas: Aveiro (Portugal)". In Livro de resumos do IX Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa; APRH: Lisboa, Portugal.

Ferreira, M. (2016). "Evolução Morfológica do Litoral Após Alimentações Artificiais de Sedimentos". Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro.

Ferreira, M., Coelho, C. (2021). "Artificial Nourishments Effects on Longshore Sediments Transport". Journal of Marine Science and Engineering: 9 3 (2021): 240. http://dx.doi.org/10.3390/jmse9030240.

Ferreira, M., Coelho, C., Silva, P. (2021). "Coastal erosion mitigation based on artificial nourishments and sand bypassing systems: Barra-Vagueira, Portugal". Coastal Dynamics. Delft. 2p.

Ferreira, M., Coelho, C., Silva, P.A. (2022). "Efeito dos Processos Longitudinais e Transversais no Desempenho das Alimentações Artificiais de Sedimentos". Livro de Resumos do X Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, 255-257.

Ferreira, M., Coelho, C., Silva, P.A. (2023). "Artificial Nourishments Potential Impacts on Shoreline Evolution of the Adjacent Areas". Coastal Sediments 2023. The Proceedings of the Coastal Sediments 2023, Editores: Ping Wang, Elizabeth Royer e Julie Rosati, World Scientific, New Orleands, LA, USA, 176-188.

Ferreira, O., Matias, A. (2013). "Portugal". In: Pranzini, E., Williams, A. (Eds.), Coastal Erosion and Protection in Europe. Routledge, London, 457 pp.

Fitton, J.M., Addo, K.A., Jayson-Quashigah, P.-N., Nagy, G.J., Gutiérrez, O., Panario, D., Carro, I., Seijo, L., Segura, C., Verocai, J.E., et al. (2021). "Challenges to climate change adaptation in coastal small towns: Examples from Ghana, Uruguay, Finland, Denmark, and Alaska". Ocean Coast. Manag. 212, 105787.

Gravens, M., Ebersole, B., Walton, T., Wise, R. (2006). “Beach Beach fill design”. In Coastal Engineering Manual. Part V. Coastal Project Planning and Design; Chapter IV. Engineer Manual 1110-2-1100 U.S.;Ward, D., Ed.; Army Corps of Engineers: Washington, DC, USA.

Hamm, L., Capobianco, M., Dette, H.H., Lechuga, A., Spanhoff, R., Stive, M.J.F. (2002). “A summary of European experience with shore nourishment.” Coast. Eng. 47, 237–264.

Hanson, H., Kraus, N. C. (1989). “GENESIS: Generalized model for simulating shoreline change”. Vol 1: Reference Manual and User’s Guide. Technical Report CERC-89-19, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, Ms

Hillyer, T.M. (1996). “Shoreline protection and beach erosion control study, final report: an analysis of the U.S. Army Corps of Engineers shore protection Program”. In: IWR Report 96-PS-1, Shoreline Protection and Beach Erosion Control Task Force, Water Resources Support Center. Institute for Water Resources, U.S. Army Corps of Engineers, Alexandria, VA (prepared for the Office of Management and Budget, Washington, DC.).

Hinkel, J., Nicholls, R., Tol, R., Wang, Z.B., Hamilton, J.M., Boot, G., Vafeidis, A., McFadden, L., Ganopolski, A., Klein, R.J. (2013). “A global analysis of erosion of sandy beaches and sea-level rise: An application of DIVA”. Glob. Planet. Chang. 111, 150–158.

Holthuijsen, L. H. (2007). “Waves in oceanic and coastal waters”. Cambridge: Cambridge University Press, 404 p.

Huisman, B.J.A., Walstra, D.J.R., Radermacher, M., de Schipper, M.A., Ruessink, B.G. (2019). ”Observations and Modelling of Shoreface Nourishment Behaviour.” J. Mar. Sci. Eng. 7, 59.

IADC. (2022). “International Association of Dredging Companies”. Obtido em 2022, de https://www.iadc-dredging.com/subject/equipment

Larson, M., Palalane, J., Fredriksson, C., Hanson, H. (2016). “Simulating Cross-Shore Material Exchange at Decadal Scale”. Theory and Model Component Validation. Coast. Eng. J., 116, 57-66.

Lima, M. (2011). “Programação de Métodos de Pré-Dimensionamento de Obras Costeiras”, Universidade de Aveiro, 131p.

Lima, M. (2018). “Ferramenta Numérica de Análise de Impacto de Intervenções de Defesa Costeira”. Dissertação de Doutoramento, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 294 p.

Lima, M., Coelho, C., Alves, F., Marto, M. (2021a). “Base de Dados #1 - Medidas de Mitigação e Adaptação à Erosão Costeira e às Alterações Climáticas”, Projeto INCCA - Adaptação Integrada às Alterações Climáticas para Comunidades Resilientes (POCI-01-0145-FEDER-030842), Universidade de Aveiro.

Lima, M., Coelho, C., Alves, F., Marto, M. (2021b). “Base de Dados #2 - Impactos de Medidas de Mitigação e Adaptação à Erosão Costeira e às Alterações Climáticas”, Projeto INCCA - Adaptação Integrada às Alterações Climáticas para Comunidades Resilientes (POCI-01-0145-FEDER-030842), Universidade de Aveiro.

Lima, M., Coelho, C., Alves, F., Marto, M. (2021c). “Base de Dados #3 - Custos Diretos de Medidas de Mitigação e Adaptação à Erosão Costeira e às Alterações Climáticas”, Projeto INCCA - Adaptação Integrada às Alterações Climáticas para Comunidades Resilientes (POCI-01-0145-FEDER-030842), Universidade de Aveiro.

Lira, C.P., Silva, A.N., Taborda, R., Andrade, C.F. (2016). “Coastline evolution of Portuguese low-lying sandy coast in the last 50 years: an integrated approach”. Earth Syst. Sci. Data 8 (1), 265–278. https://doi.org/10.5194/essd-8-265-2016.

Lobeto, H., Menendez, M., Losada, I.J. (2021). “Future behavior of wind wave extremes due to climate change”. Sci. Rep. 11, 7868.

Luijendijk, A., Hagenaars, G., Ranasinghe, R., Baart, F., Donchyts. G., Aarninkhof, S. (2018). “The State of the World’s Beaches”. Sci Rep 8, 6641. https://doi.org/10.1038/s41598-018-24630-6.

Marinho, B. (2018). “Alimentações Artificiais como Solução de Defesa Costeira: Abordagens de Monitorização e Modelação”. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro.

Martins, H., Veloso-Gomes, F. (2011). “Alimentação artificial de praias em ambientes energéticos intermédios”. 6as Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, 29-40.

Masselink, G., Russell, P.E. (2013). “Impacts of Climate Change on Coastal Erosion”. MCCIP Annual Report Card 2010-11. MCCIP Sci. Rev. 2013, 71–86.

McKinley, E., Crowe, P., Stori, F., Ballinger, R., Brew, T., Blacklaw-Jones, L., Cameron-Smith, A., Crowley, S., Cocco, C., O’Mahony, C., et al. (2021). “Going digital - Lessons for future coastal community engagement and climate change adaptation”. Ocean Coast. Manag. 208, 105629.

Mendes, D., Pais-Barbosa, J., Baptista, P., Silva, P. A., Bernardes, C., Pinto, C. (2021). “Beach Response to a Shoreface Nourishment (Aveiro, Portugal)”. Journal of Marine Science and Engineering 9 10 (2021): 1112. http://dx.doi.org/10.3390/jmse9101112

Mil-Homens, J., Ranasinghe, R., van Thiel de Vries, J. S. M., Stive, M. J. F. (2013). “Re-evaluation and improvement of three commonly used bulk longshore sediment transport formulas”. Coastal Engineering , 75, 29-39, 10.1016/j.coastaleng.2013.01.004

Mil-Homens, M., Brito, P., Magalhães, V., Rosa, M., Neres, M., Silva, M., Salgueiro, E., Drago, T., Rodrigues, A.I., Guerra, M.T., Gaudencio, M., Almeida, E., Silva, M., Freitas, M., Pinto, C.A., Terrinha, P. (2020). “Integrated geophysical and sedimentological datasets for assessment of offshore borrow areas: the CHIMERA project (western Portuguese Coast)”. Geological Society, London, Special Publications 505.

Moreno, M. (2021). “Libertação Ever Givel”, Journal el Mundo.

Murray, A. (2007). “Reducing model complexity for explanation and prediction”. Geomorphology, 90, 178–191.

Murray, A., Asthon, A. (2013). “Instability and finite-amplitude self-organization of large-scale coastline shapes”. Phil. Trans. R. Soc. A 371, 20120363.

Ng, K., Campos, I., Penha-Lopes, G. (2016). “BASE adaptation inspiration book: 23 European cases of climate change adaptation to inspire European decision-makers, practitioners and citizens”. Lisbon: Faculty of Sciences, University of Lisbon.

Novunga, F. (2021). “Sismoestratigrafia do sector da Marinha das Leitoas, Cale do Espinheiro, Ria de Aveiro”, Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro. 81pp. + Anexos.

Pais, D. Andrade, C., Pinto, C. (2022). “Evolution of a beach-dune system after artificial nourishment: The case of São Joao da Caparica (Portugal)”. Building Coastal Resilience International Conference. Book of Abstracts. KU Leuven. pp. 50-52

Parkinson, R., Ogurcak, D. (2018). “Beach nourishment is not a sustainable strategy to mitigate climate change”. Estuar. Coast Shelf Sci. 212, 203–209.

Pereira, C., Coelho, C. (2013). “Mapas de Risco das Zonas Costeiras por Efeito da Ação Energética do Mar”. Revista de Gestão Costeira Integrada. 13. 27-43. 10.5894/rgci325.

PIANC (2023a). “PIANC - Commissions & Working Groups”. Disponível em: https://www.pianc.org/commissions-working-groups/. Último acesso: dezembro de 2023.

PIANC (2023b). “O que é a PIANC?” Disponível em: https://pianc.pt/o-que-e-a-pianc/. Último acesso: dezembro de 2023.

PIANC (2023c). “PIANC – Junta-te a nós”. Disponível em: https://pianc.pt/junta-te-a-nos/. Último acesso: dezembro de 2023.

PIANC (2023d). “PIANC Portugal”. https://pianc.pt/. Último acesso: dezembro de 2023.

PIANC (2023e). “Webinar #1: Engenharia Costeira e Portuária em Portugal e no Mundo”. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=WULKhdgbd_w&t=. Último acesso: dezembro de 2023.

PIANC (2023f). “Webinar - Grandes Obras em Curso - Engenharia Costeira e Portuária em Portugal”. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=M3ll1ETy2yU. Último acesso: dezembro de 2023.

PIANC (2023g). “PIANC Portugal: Jornadas de Engenharia Costeira e Portuária”. Disponível em: https://pianc.pt/congressos-e-eventos/jornadas/. Último acesso: dezembro de 2023.

PIANC (2023h). “PIANC Portugal: Congressos e Eventos”. Disponível em: https://pianc.pt/congressos-e-eventos/. Último acesso: dezembro de 2023.

PIANC (2023i). “PIANC Portugal: Publicações”. Disponível em: https://pianc.pt/publicacoes-pianc-portugal/. Último acesso: dezembro de 2023.

PIANC (2024). “PIANC Internacional”. Disponível em: https://www.pianc.org/. Último acesso: dezembro de 2023.

Pinheiro, L.M., Teixeira, F.C., Gonçalves, D.S., Azevedo, L., Ribeiro, T. (2011). “Métodos geofísicos na planificação e monitorização de operações de dragagens e na prospecção de agregados na plataforma continental”. In Coelho, Silva, Pinheiro e Gonçalves (Eds.). Dragagens – Fundamentos Técnicas e Impactos. Edição Universidade de Aveiro, 119-150.

Pinheiro, L.M., Correia, R., Azevedo, B. (2017). “Levantamento geofísico FFOZ-2017”. Relatório Técnico Xavisub/Universidade de Aveiro (não publicado), 108 pp.

Pinto, C. A., Silveira, T., Taborda, R., Andrade, C, Freitas, M.C. (2012). “Morfodinâmica e evolução de recente de praias alimentadas artificialmente: O exemplo da Costa da Caparica – Portugal”. Proceedings of the VII Symposium on Iberian Atlantic Margin. Lisbon. p32.

Pinto, C.A., Gomes, E., Rodrigues, A. (2015a). “Dredging and beach nourishment: A sustainable sediment management approach in Costa da Caparica beach (Portugal)”. Dredging 2015 Conference – Managing and Moving Sediments. PIANC. Savannah – Georgia. USA.

Pinto, C.A., Silveira, T., Taborda, R. (2015b). “Alimentação artificial das praias da costa da Caparica: síntese dos resultados de monitorização (2007 a 2014)”. 3.ª Conferência sobre Morfodinâmica Estuarina e Costeira (MEC). Universidade do Algarve. Faro. pp.47-48.

Pinto, C.A., Taborda, R., Silveira, T. (2017). “Alimentação Artificial das Praias da Costa da Caparica: Síntese dos Resultados de Monitorização (2007 a 2014)”. Anexo VI. pp.339-359 in Grupo de Trabalho do Litoral: Gestão da Zona Costeira: O desafio da mudança. Filipe Duarte Santos, Gil Penha-Lopes e António Mota Lopes (Eds). Lisboa. ISBN: 978-989-99962-1-2.

Pinto, C., Silveira, T., Teixeira, S. (2018). “Alimentação artificial de praias na faixa costeira de Portugal continental: Enquadramento e retrospetiva das intervenções realizadas”. (1950 2017). Technical report. APA - Portuguese Environmental Agency, 66 p.

Pinto, C.A., Pires, B., Penacho, N., Silveira, T., Mil-Homens, M., Terrinha, P., Rosa, M.,Brito, P., Neres, M., Magalhães, V. (2019). “Caracterização de manchas de empréstimo para alimentação artificial de praias – projeto CHIMERA. Lisboa - Portugal”. 5ª Conferencia sobre Morfodinâmica Estuarina e Costeira. pp. 75–76, 978-989-20-9612-4.

Pinto, C., Silveira, T., Teixeira, S. (2020). “Beach nourishment practice in mainland Portugal (1950-2017): Overview and retrospective”. Elsevier. Ocean and Coastal Management 192, 105211, 13 p.

Pinto, C., Penacho, N., Pires, B. (2021). “Programa de monitorização da faixa costeira de Portugal Continental (COSMO): da conceção à implementação”. Trabalho apresentado no X Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, Rio de Janeiro. 3p.

Pinto, C., Taborda, R., Andrade, C., Baptista, P., Silva, P.A., Mendes, D., Pais-Barbosa, J. (2022). “Morphological development and behavior of a shoreface nourishment in the Portuguese western coast”, J. Mar. Sci. Eng., 10, 146. doi.org/10.3390/jmse10020146.

Pinto, C.A., Teixeira, S.B. (2022). “Evolução e comportamento das alimentações artificiais de praia em Vale do Lobo (Algarve -Portugal)”. 6ª Conferência Morfodinâmica Estuarina e Costeira (MEC). Lisboa. pp. 23-24.

Pörtner, H.O., Roberts, D.C., Tignor, M., Poloczanska, E.S., Mintenbeck, K., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., Okem, A., Rama, B. (2022). “Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability”. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.

Pranzini, E., Anfuso, G., Botero Saltaren, C. (2017). “Nourishing tourist beaches”. In: Botero, C.M., Cervantes, O.D., Finkl, C.W. (Eds.), Beach Management Tools - Concepts, Methodologies and Case Studies. Springer, Berlin, Germany, pp. 293–318.

PROMAN (2014). “Projeto de Execução - Transposição de Sedimentos para a Otimização do Equilíbrio Hidrodinâmico na Ria de Aveiro”.

Rato, D., Alves, F., Vizinho, A., Lima, M., Coelho, C. (2021). “Relatório técnico do 2º workshop participativo do projecto INCCA: Análise de Cenários e Visões de Futuro para a Gestão Costeira no concelho de Ovar”. FCUL-UL, Lisboa. DOI: 10.13140/RG.2.2.34299.59681.

Roelvink, J.A., Reniers, A., van Dongeren, A., van Thiel de Vries, J., McCall, R.T., Lescinski, J (2009). “Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands”. Coastal Engineering 56:1132–1152.

Romão, S., Silva, P.A., Taborda, R., Cascalho, J., Silva, A.N., Baptista, P. (2024). “Assessing shoreface sediment transport at Costinha beach, Aveiro, Portuguese Northwest coast”. Marine Geology. Marine Geology, Volume 467, 107200 doi.org/10.1016/j.margeo.2023.107200

Rosa-Santos, P., Veloso-Gomes, F., Taveira-Pinto, F., Silva, R., Pais-Barbosa, J. (2009). “Evolution of Coastal Works in Portugal and their Interference with Local Morphodynamics”. Journal of Coastal Research, SI56:757-761.

Santos, F.D., Lopes, A.M., Moniz, G., Ramos, L., Taborda, R. (2017). “Grupo de Trabalho do Litoral: Gestão da Zona Costeira: O desafio da mudança”. Santos, F.D., Penha-Lopes, G., Lopes, A.M., Eds.; FCUL/FCT/CE3C/BASE: Lisboa, Portugal, 396p, ISBN 978-989-99962-1-2.

SENER (2012). “Estudos da Evolução e da Dinâmica Costeira e Estuarina, de Mobilidade e Navegabilidade na Laguna e de Reforço de Margens pela Recuperação de Diques e Motas com Vista à Prevenção de Riscos”. Estudo 2, Relatório 7, Tarefa 3 – Diagnóstico prospetivo em termos de navegabilidade e mobilidade.

Shaeri, S., Etemad-Shahidi, Tomlinson, R. (2020). “Revisiting longshore sediment transport formulas”. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering 146(4): DOI: 10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000557.

Silva, P. A., Temperville, A., Seabra Santos, F. (2006). “Sand transport under combined current and wave conditions: a semi-unsteady, practical model”. Coastal Engineering, 53, 897 - 913 doi:10.1016/j.coastaleng.2006.06.010 .

Silva, P.A., Monteiro, N., Oliveira, T., Abreu, T., Coelho, C., Lima, M., Carvalho, R. (2021). “Estudo de Viabilidade da Transposição Aluvionar das Barras de Aveiro e da Figueira da Foz”. Relatório Intercalar 2. Tarefa 3-Aveiro; Universidade de Aveiro/Agência Portuguesa do Ambiente: Amadora, Portugal. 65p.

Silva, P. A., Pais-Barbosa, J., Taborda, R., Rodrigues, A., Coelho, C. (2022). “SandTrack - Alimentação Artificial das Praias: uma Metodologia Integrada de Suporte à Gestão Litoral” - Relatório de Síntese, UA Editora, ISBN: 978-972-789-757-5. 56 pp. https://ria.ua.pt/handle/10773/34116.

Silver, C. (2021). “Jakarta’s present and future of flood risk management”. In Urban Flood Risk Management; Routledge: London, UK, 2021; pp. 162–191.

Stive, M.J.F., Schipper, M.A., Luijendijk, A.P., Aarninkhof, S.G.J., van Gelder-Maas, C., van Thiel de Vries, J.S.M., Vries, S., Henriquez, M., Marx, S., Ranasinghe, R. (2013). “A new alternative to saving our beaches from Sea-Level rise: The Sand Engine”. J. Coast Res. 29, 1001–1008.

Soulsby, R. L. (1997). “Dynamics of marine sands: A manual for practical applications”, T. Telford, ed., London.

Teixeira, S.B. (1996). “Alimentação artificial entre a praia do Vau e a praia da Rocha”. Direção Regional do Ambiente e dos Recursos Naturais. Relatório, 14p. (não publicado).

Teixeira, S.B. (1999). “Alimentação artificial de praias do Algarve”. Cidades e Municípios. 61:54. 58.

Teixeira, S.B. (2011). “Alimentação artificial de praias com Dragados no Algarve”. In: Dragagens: Fundamentos, Técnicas e Impactos, Eds: Carlos Coelho, Paulo A. Silva, Luis M. Pinheiro, Daniela S. Gonçalves. 221-240.

Teixeira, S.B. (2016). “A alimentação artificial como medida de redução do risco em praias suportadas por arribas rochosas na costa do Barlavento (Algarve, Portugal)”. Journal of Integrated Coastal Zone Management / Revista da Gestão Costeira Integrada, 16(3):327-342.

Teixeira, S.B., Pinto, C.A., Rosa, M. (2019). “Prospeção de manchas de empréstimo para alimentação artificial de praias na costa de Quarteira (Algarve – Portugal)”. 5ª Conferência sobre Morfodinâmica Estuarina e Costeira (MEC2019). Lisboa. pp.85-86.

Teixeira, S.B., Pinto, C. (2022). “Longevidade da Alimentação Artificial em Sete Praias Encaixadas na Costa Sul do Algarve (Portugal)”. 10ªs Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Sines, 12p.

Teles, M. (2009). “Plano de Ordenamento do Estuário do Tejo”. 1.1. Introdução

Thurman, H. V. (1997). “Introductory Oceanography”, 8th edition Prentice Hall, 554 p.

USAID (2009). “Adaptation to Coastal Climate Change - A Guidebook for Development Planners”. U.S. Agency for International Development (USAID), Washington DC, USA, 147p.

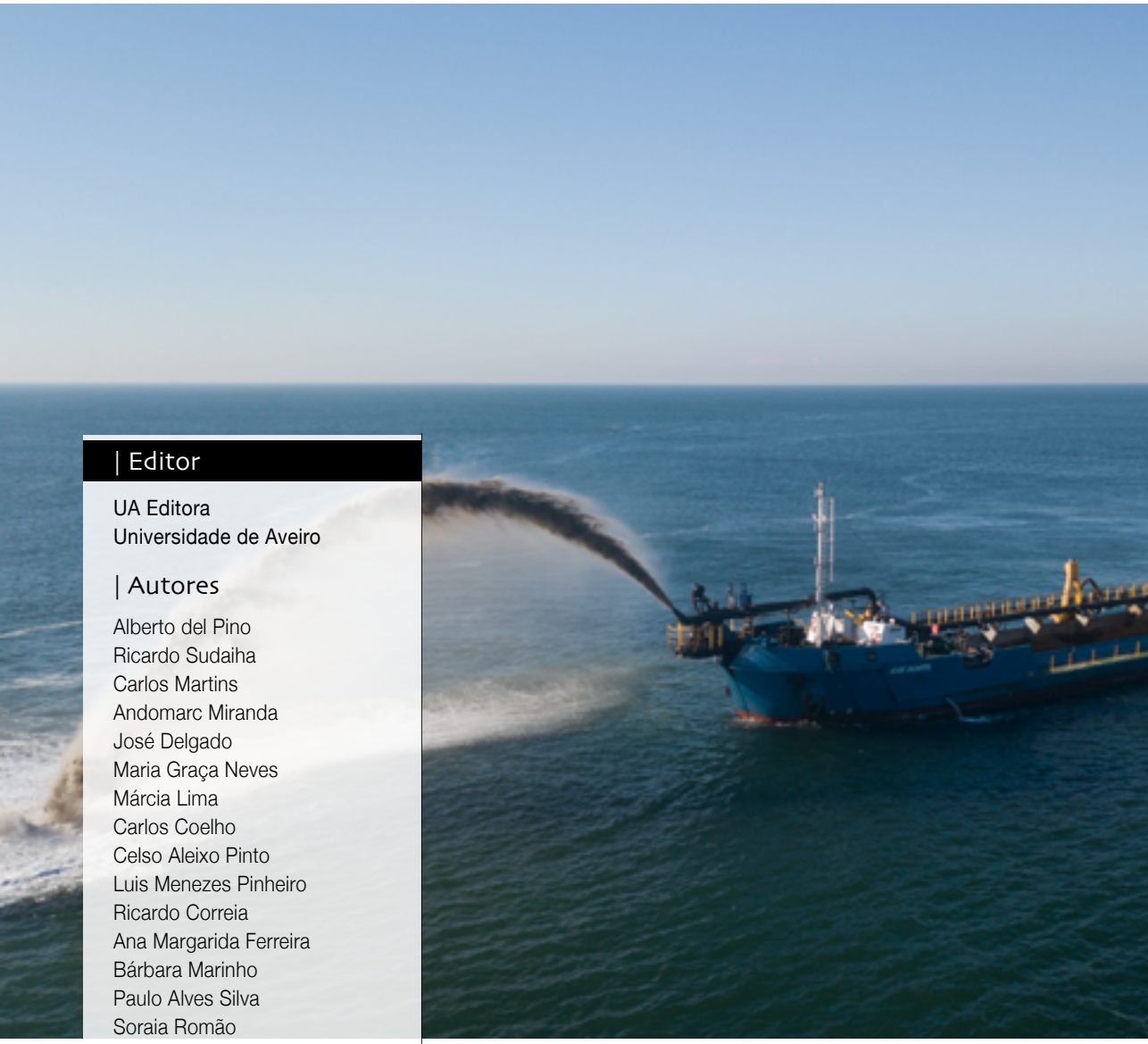
Van der A, D.A., Ribberink, J.S., Van der Werf, J.J., O’Donoghue, T., Buijsrogge, R.H., Kranenburg, W.M. (2013). “Practical sand transport formula for non-breaking waves and currents”, Coastal Engineering, Volume 76, 26-42.

Veloso-Gomes, F. (2007). “A Gestão da Zona Costeira Portuguesa”. Revista da Gestão Costeira Integrada, 7(2):83-95.

Veloso-Gomes, F., Taveira-Pinto, F., das Neves, L., Pais-Barbosa, J. (2006). “EUrosion - A European Initiative for Sustainable Coastal Erosion. Pilot Site of River Douro - Cape Mondego and Case Studies of Estela, Aveiro, Caparica, Vale do Lobo and Azores”, Porto, Portugal, 317p.

Veloso-Gomes, F., Costa, J., Rodrigues, A., Taveira-Pinto, F., Pais-Barbosa, J., das Neves, L. (2009). “Costa da Caparica Artificial Sand Nourishment and Coastal Dynamics”. J. Coast Res. SI56 (1), 678–682.

Warner J.C., Armstrong B., He R., Zambon J.B. (2010). “Development of a coupled ocean-atmosphere-wave-sediment transport (COAWST) modeling system”. Ocean Model., 35 (2010), pp. 230-244, doi:10.1016/j.ocemod.2010.07.010



| Editor

UA Editora
Universidade de Aveiro

| Autores

Alberto del Pino
Ricardo Sudaiha
Carlos Martins
Andomarc Miranda
José Delgado
Maria Graça Neves
Márcia Lima
Carlos Coelho
Celso Aleixo Pinto
Luis Menezes Pinheiro
Ricardo Correia
Ana Margarida Ferreira
Bárbara Marinho
Paulo Alves Silva
Soraia Romão
Carla Garrido
Maria Teresa Sá Pereira
Rita Silveira Ramos
Rui Santos
Steven Pickavet
Jan De Nul
Diana Gaspar
Luís Bandeira