

À descoberta da Ria Formosa

Edição

Jaime Aníbal | Ana Gomes

Isabel Mendes | Delminda Moura



UA Ig

UNIVERSIDADE DO ALGARVE
EDITORA

À descoberta da Ria Formosa

Edição

Jaime Aníbal
Ana Gomes
Isabel Mendes
Delminda Moura

Título: À descoberta da Ria Formosa

Editores: Jaime Aníbal, Ana Gomes, Isabel Mendes, Delminda Moura

Revisores Científicos:

Élio Salvador Vicente, *Zoomarine – Mundo Aquático SA, Albufeira*

Hélder José Rodrigues Pereira, *Escola Secundária de Loulé*

Lúis Pereira, *Serviço de Apoio à Presidência, Município de Albufeira*

Cristina Veiga-Pires, *Universidade do Algarve/Centro de Ciência Viva do Algarve*

Edição: Universidade do Algarve Editora

1ª Edição

Local de Edição: Faro

Data de Edição: 2021

Design Gráfico e Paginação: João Correia

Impressão: Secção de Reprodução Documental da Universidade do Algarve

ISBN: 978-989-9023-64-2 (versão impressa)

Depósito Legal: 490200/21

ISBN: 978-989-9023-65-9 (versão eletrónica)

DOI: <https://doi.org/10.34623/nd9p-3s41>

Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.1/17221>



© Universidade do Algarve

Campus de Gambelas

8005-139 Faro

Portugal

Reservados todos os direitos

Índice

Agradecimentos	5
Preâmbulo	7
Prefácio	9
1. Introdução	13
2. No âmago da Ria Formosa: praias lagunares e sapal	19
3. Qual a importância das trocas entre a Ria Formosa e o oceano adjacente para a produtividade biológica destes sistemas?	27
4. O destino das águas residuais humanas – o exemplo Algarvio da Ria Formosa	35
5. A importância do mundo invisível dos micróbios na Ria Formosa	47
6. De cliques a exuberâncias, de macroalgas a nutrientes: histórias de ritmos, equilíbrios e fotografias na Ria Formosa	57
7. Importância das plantas do sapal para reter os metais que chegam à Ria Formosa devido às atividades humanas	67
8. Os efeitos adversos da atividade humana na Ria Formosa	75
9. Energias limpas na Ria Formosa, o caminho da sustentabilidade	87
10. Os satélites como instrumentos de aprendizagem e auxílio da Ria Formosa	95
Glossário	105

Agradecimentos

Este livro resultou da investigação realizada no CIMA – Centro de Investigação Marinha e Ambiental, financiado pela FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia [UID/00350/2020]

REVISORES

Élio Salvador Vicente

Zoomarine – Mundo Aquático SA, Albufeira, Portugal

Natural da Marinha Grande (1971), mudou-se para Faro em janeiro de 1990, aquando do início do ano letivo de Biologia Marinha e Pescas.

A sua ligação à Universidade do Algarve passa, entre outros, pela licenciatura, pelo Programa de Bolsas de Excelência (desde 2013), Programa de Mentoria (desde 2019), e, honra maior, o Prémio Carreira *Alumni* (2018).

Exerce funções no Zoomarine desde 1991, onde já assumiu distintas responsabilidades, incluindo Educador, Diretor Zoológico e Diretor de Ciência e Educação. Atualmente, é Diretor de Relações Externas (desde 2013) e Diretor do Centro de Reabilitação – Porto d'Abrigo do Zoomarine (desde 2002).

Vive em São Brás de Alportel, pela primeira vez longe do mar, mas em muito maior comunhão com a Natureza.

Hélder José Rodrigues Pereira

Escola Secundária de Loulé, Loulé, Portugal

Natural de Lisboa, onde nasceu em 1974, fixou-se no Algarve em 1992. Concluiu a licenciatura em Ensino de Biologia e Geologia e o mestrado em Gestão e Conservação da Natureza na Universidade do Algarve, respetivamente em 1997 e 2004.

Ao longo da sua carreira profissional tem participado como professor e investigador em vários projetos nacionais e internacionais, sendo de destacar os seus contributos na área da comunicação de ciência e do ensino experimental das ciências. Tem ainda dinamizado diversas ações de formação para professores e desenvolvido materiais didáticos baseados na utilização de dados científicos reais.

Em dezembro de 2018, foi distinguido como Professor do Ano pela Comissão Editorial da Casa das Ciências – projeto associado à iniciativa EDULOG da Fundação Belmiro de Azevedo – em reconhecimento do seu mérito como docente de ciências e da sua disponibilidade de partilhar a sua experiência com os colegas.

Luís Pereira

Serviço de Apoio à Presidência, Município de Albufeira, Albufeira, Portugal

Natural de Albufeira, frequentou a Universidade do Algarve, onde se formou em Gestão Hoteleira com o grau de bacharel em 1995, tendo-se posteriormente licenciado em Marketing na vertente de Turismo (1999). Em 2004 frequentou o Mestrado em Gestão e Desenvolvimento em Turismo, também na Universidade do Algarve. Após breve passagem pelo setor privado da hotelaria em 1995, ingressou em 1996 na carreira técnica de turismo no Município de Albufeira, onde desempenhou funções até 2008, quando obteve uma licença de interesse municipal para assumir funções de Gestor de Marketing na Agência de Promoção de Albufeira. Em 2012 passou a Coordenador Geral da referida Agência.

Regressou ao Município de Albufeira em abril de 2019, como Técnico Superior, ficando afeto ao Serviço de Apoio à Presidência, onde desde essa altura, assumiu a Coordenação pelo Município de Albufeira da candidatura do aspirante Geoparque Algarvensis Loulé–Silves–Albufeira à rede Mundial de Geoparques da UNESCO.

Cristina Veiga-Pires

Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, Portugal

Centro de Ciência Viva do Algarve, Faro, Portugal

Nascida na França, Cristina Veiga-Pires formou-se em Geologia pela Université Paris–XI Orsay (França), e doutorou-se em Ciências Ambientais pela Université du Québec em Montreal (Canadá). Desde 2005 é Professora Auxiliar no Departamento de Ciências da Terra, do Mar e do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade do Algarve. Desenvolve a sua investigação nas áreas de paleoceanografia e paleoclimatologia, sedimentologia, descargas subterrâneas submarinas e sistemas cársticos, sendo a Diretora Científica do Aspirante Geoparque Algarvensis desde 2019. Em dezembro de 2014, assumiu o cargo de Diretora Executiva do Centro de Ciência do Algarve, em Faro, onde tem vindo a promover vários projetos STEAM e mão-na-massa como forma de Mediação da Ciência, Ciência Participativa e Inclusão. Organizou e dinamizou cafés científicos intitulados “Café Oceano”, por quase uma década, continuando a colaborar em várias iniciativas de comunicação e mediação da ciência.

Preâmbulo

Porque é que o Centro de Investigação Marinha e Ambiental (CIMA) decidiu publicar este livro sobre a Ria Formosa? A resposta é simples. O principal objetivo deste livro é divulgar a investigação científica sobre a Ria Formosa, realizada nos últimos 20 anos pelo CIMA, de uma forma que seja acessível ao público em geral.

O CIMA é um centro de investigação multidisciplinar da Universidade do Algarve. Além da investigação científica e inovação tecnológica, o CIMA está envolvido na prestação de serviços, pós-graduações e transferência de conhecimento para a sociedade. Do seu vasto portefólio de publicações, mais de 60 títulos de artigos científicos publicados contêm a designação de Ria Formosa. Muitas outras dezenas de artigos científicos também se dedicam ao estudo do sistema de ilhas barreira da Ria Formosa, sem incluir esta designação no título. Dezenas de teses de mestrado e doutoramento de várias universidades nacionais e estrangeiras têm investigado a ecologia, biologia, morfologia, hidrodinâmica, evolução e socioeconomia da Ria Formosa.

Recentemente, o CIMA foi abordado por vários autarcas, membros de organizações locais e regionais, e *stakeholders* da região algarvia, os quais gostariam de ter uma publicação, que pudessem consultar aquando da tomada de posições/decisões sobre questões ambientais costeiras. O produto desse desafio é este livro, o qual se destaca pela sua facilidade de leitura e adequação à divulgação científica da investigação realizada no CIMA. Deste modo, não é um livro monotemático, pretendendo pelo contrário uma abordagem sistémica a um alvo territorial, que neste caso é o sistema lagunar da Ria Formosa.

Este livro visa transmitir conhecimentos científicos, em uma linguagem simples, mas cientificamente correta. Esse compromisso às vezes é difícil de alcançar. Portanto, cada capítulo contém caixas de texto que explicam os conceitos menos comuns e também um glossário no final do livro.

Esperamos que este livro possa contribuir para a divulgação do conhecimento científico, objetivo comum da Universidade do Algarve e do Centro de Investigação Marinha e Ambiental (<https://www.cima.ualg.pt/pt/>).

Os Editores

Prefácio

Um Amor para Sempre

Certos nomes têm o condão de elevar imenso as expectativas. Mais ainda, quando o nome é "Formosa"... Mas se há coisa a que a "nossa" Ria faz perfeito jus, é ao seu nome. E nesse aspecto, se pecar por algo, será sempre por defeito.

Conheci a "minha" Ria no verão de 1976. E na família ficou famosa, até hoje, a frase "Élio, komm her", dita por uma senhora turca, casada com um português residente na Alemanha [ambos a passar férias, como nós, nas mágicas margens da Ria Formosa], que todos os dias, durante uma semana, me ia buscar para, ela e eu, irmos procurar bivalves. Dizia eu, quando me perguntavam como é que um rapazinho português no raiar dos seus cinco anos comunicava com uma adulta que me falava em alemão: "eu não compreendo o que ela diz, mas a gente entende-se...".

Ora esse é um dos encantos da nossa formosa ria: é denominador comum de linguagens e de motivações, de profissões e de tempos, de sensibilidades e de nacionalidades, de artes e de profissões, de conquistas e de memórias. E de ciências! É transversal e inesquecível esta Ria, que é Formosa e que une distintas admirações, que cativa, que incentiva. E que também é muito frágil...

E é por tudo isso que desde muito cedo me tem como um dos seus irredutíveis admiradores – muito antes de, também graças a ela, me licenciar como biólogo marinho, pela mui nobre Universidade do Algarve.

Claro está que não há apenas uma Ria Formosa... Há milhares de rias numa só. A da preia-mar e da baixa-mar; a da manhã, a do final da tarde, a da noite... A Ria de quem a visita no verão, e a de quem dela desfruta o ano inteiro. A Ria dos postais turísticos e a das transgressões ambientais. A de quem a admira nos céus, quando

levanta voo ou aterra, e a de quem dela retira sustento e/ou inspiração, lançando redes ou caminhando na vasa... A Ria de quem a protege e a vigia, e a de quem sobre ela legisla. Há a Ria das telenovelas e do cinema, a Ria dos passeios, e a dos *birdwatchers*. Há a Ria daquelas centenas de milhões de pequenos organismos que nela nascem, vivem e/ou por ela passam e nunca disso terão consciência. E, é claro, há a Ria de quem a ela dedica a sua investigação, a sua muito especializada atenção e energia, e a incessante e nobre busca pelo conhecimento técnico-científico.

Ora esta deliciosa publicação é, manifestamente, isso mesmo: muitas rias numa só. "À descoberta da Ria Formosa" é uma importante contribuição científica em temáticas tão diversas como biodiversidade e bio-remediação, produtividade biológica e economia, energia e tecnologia, gestão ambiental e educação, poluição e saúde pública, ecologia e monitorização, geologia e hidrodinamismo, entre muitas outras – e é também uma dedicatória colectiva ao amor que nos instiga uma única Ria. Tal como o amor e devoção do saudoso Martin Sprung, cuja memória tão justamente aqui é honrada...

Para este trabalho cooperativo, 24 autores e 4 editores juntaram esforços para estudar o passado, registar o presente, e perspectivar o futuro – e em muito boa hora o fizeram. "À descoberta da Ria Formosa" é uma leitura séria mas nunca hermética, tão transversal nas temáticas como a Ria Formosa o é nas suas valências e tonalidades; é um inspirador resumo de vários trabalhos cientificamente interessantes e pedagogicamente inspiradores, cuja leitura nunca cansa. É uma obra didáctica e inspiradora, e, como se pretendia, é um motivo de orgulho para os autores, os editores e a Academia, um digno legado para as gentes do Algarve, e para o colectivo histórico das ciências naturais portuguesas, congregando notáveis especialistas e distintas temáticas numa luminosa contribuição para o património (ambiental, biológico e cultural) de séculos.

E se esta publicação muito nos ensina, inspira e motiva em relação à ria onde se mergulha e onde se pesca, onde se passeia e se trabalha, onde se nasce, se vive, se aprende e se morre, então a sua missão maior está claramente cumprida – e quem para ela contribuiu está claramente de parabéns!

Através de "À descoberta da Ria Formosa", a Ria que nos induz um amor difuso mas forte, desde o primeiro momento em que nos entregamos, como cidadãos, como profissionais, como educadores e como cientistas, ano após ano, geração após geração, é convenientemente honrada – e por isso ficamos gratos.

Entretanto, se, 45 anos volvidos sobre o meu primeiro deslumbramento com a Ria Formosa, sei que já não precisarei de mais algum "komm her" (porque o apelo ao meu regresso há muito se tornou constante), também sei que esta publicação

(que de uma forma tão feliz voltou a incorporar várias rias numa só) conseguirá ser o feliz catalisador para que muitos outros se apaixonem pela formosa ria, como aquele menino de quase cinco anos, em 1976.

E, se "À descoberta da Ria Formosa" tem o feliz mérito de nos ajudar a conhecer e melhor compreender uma das jóias da região, do país e da Europa, também é uma das triunfais contribuições para melhor percebermos a importância e justiça de um nome tão digno e feliz como... "Formosa".

Élio Vicente, *biólogo marinho*

São Brás de Alportel, 10 de janeiro de 2021

1. Introdução

Delminda Moura¹, Isabel Mendes¹, Ana Gomes² & Jaime Anibal¹

¹ CIMA – Centro de Investigação Marinha e Ambiental,
Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal

² ICAREHB – Centro Interdisciplinar de Arqueologia e Evolução do Comportamento Humano,
Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal
dmoura@ualg.pt; imendes@ualg.pt; aisgomes@ualg.pt; janibal@ualg.pt

A Ria Formosa localiza-se na região mais meridional de Portugal, no litoral sul do Algarve e é uma das zonas húmidas socioeconómica e ecologicamente mais importantes de Portugal continental. Em 1978, a importância ecológica da Ria Formosa foi consagrada através do Decreto-lei 45/78 de 2 de maio, com o estatuto de Reserva Natural. No entanto, quase uma década depois, o estatuto foi alterado para Parque Natural da Ria Formosa (PNRF) pelo Decreto-lei 373/87 de 9 de dezembro. Esta alteração teve como objetivo compatibilizar a proteção deste importante sistema lagunar, com as atividades socioeconómicas que aí se desenvolvem. Os reconhecidos méritos de raridade, valor científico, ecológico e social da Ria Formosa, fazem com que esteja integrada na Rede Nacional de Áreas Protegidas, que lhe concede o estatuto legal de proteção para garantir a preservação da biodiversidade e serviços ecossistémicos bem como do seu património geológico e paisagístico.

A Ria Formosa é, do ponto de vista geomorfológico, um sistema de ilhas barreira que limita pelo lado do oceano, uma laguna costeira. O sistema é constituído por cinco ilhas e duas penínsulas que se unem ao continente nos extremos nascente e poente, pelas penínsulas de Cacela e Ancão, respetivamente. A extensão total deste rosário de ilhas e penínsulas em forma de cunha com o bico no Cabo de Sta. Maria, é de cerca de cinquenta quilómetros (Figura 1.1A).

As ilhas barreira são separadas umas das outras, por barras de maré (Figura 1.1B), através das quais, duas vezes em cada 24 horas, a água oceânica penetra na laguna (preia-mar) e outras duas vezes, percorre o sentido oposto durante a baixa-mar. Esta periodicidade das marés, chama-se regime mareal

semi-diurno. A conexão entre a laguna e o oceano através das barras de maré, é fundamental para garantir a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos (bens e serviços que obtemos direta ou indiretamente dos ecossistemas).

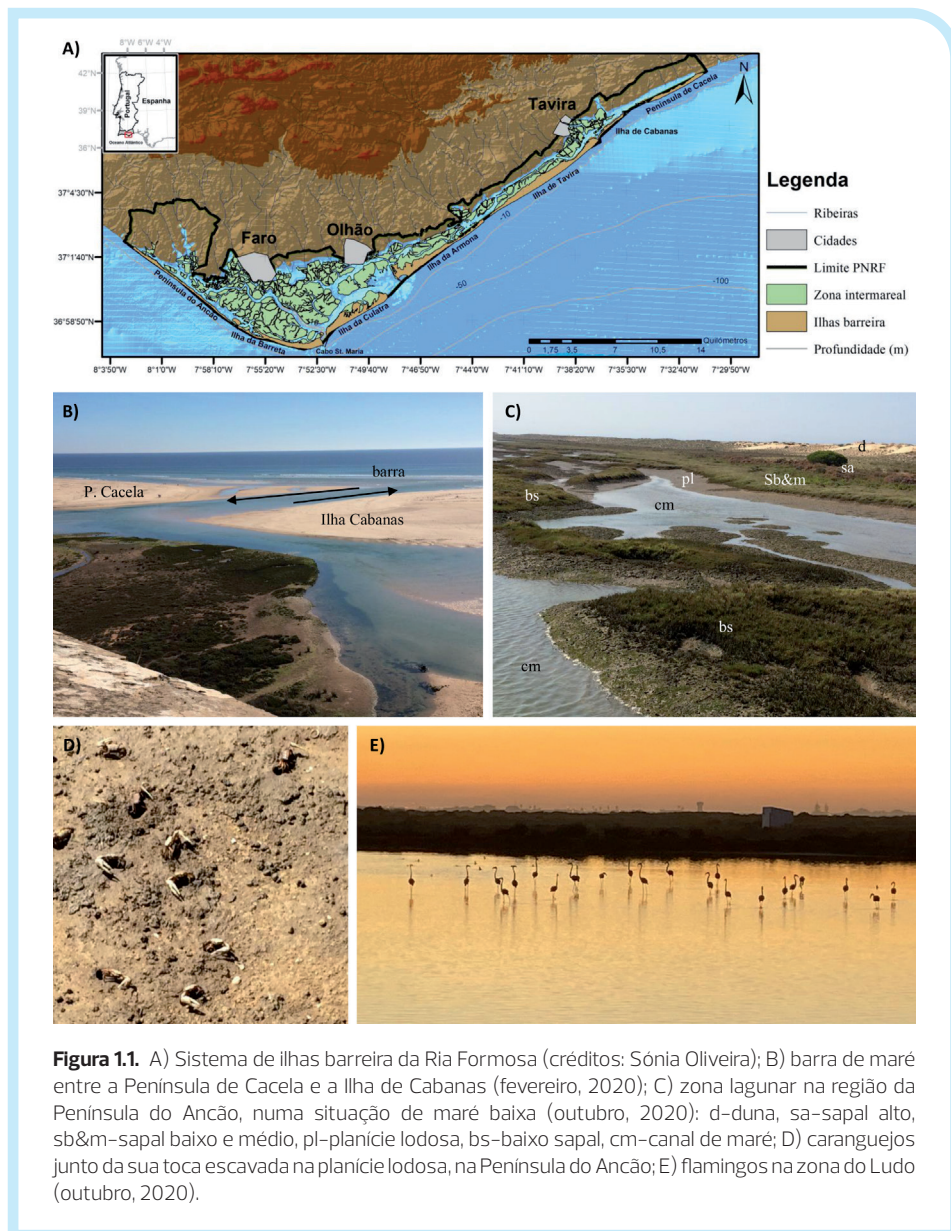


Figura 1.1. A) Sistema de ilhas barreira da Ria Formosa (créditos: Sónia Oliveira); B) barra de maré entre a Península de Cacela e a Ilha de Cabanas (fevereiro, 2020); C) zona lagunar na região da Península do Ancão, numa situação de maré baixa (outubro, 2020): d-duna, sa-sapal alto, sb&m-sapal baixo e médio, pl-planície lodosa, bs-baixo sapal, cm-canal de maré; D) caranguejos junto da sua toca escavada na planície lodosa, na Península do Ancão; E) flamingos na zona do Ludo (outubro, 2020).

Devido à extraordinária dinâmica hidro-sedimentar, as barras de maré e as próprias ilhas barreira, migram de oeste para este, que é o sentido predominante da deriva longilitoral. Por este motivo, as barras do Ancão e da Fuseta foram já realocizadas, e as barras de Faro-Olhão e de Tavira foram artificialmente fixas, para reduzir a perturbação das atividades socioeconómicas, causadas pela sua deslocação, nomeadamente a navegabilidade. Mas, as ilhas barreira não se deslocam apenas ao longo da costa. Elas também estão a migrar para o continente, reduzindo sucessivamente a área lagunar. As dunas são estruturas morfo-sedimentares cuja dinâmica é um dos principais mecanismos para a evolução do sistema de ilhas barreira.

As ilhas barreira, abrigam um sistema lagunar formado por sapais e por canais de diversas dimensões, que asseguram a propagação das marés (Figura 1.1C). No fundo dos canais principais, o sedimento é, em geral, mais grosseiro, que nos bancos de sapal, onde o sedimento é mais fino, composto por lodo negro. Esta cor negra deve-se à elevada quantidade de matéria orgânica no sedimento. Os extensos sapais (zonas intermareais formadas por sedimento fino) da Ria Formosa, suportam vegetação halófitas (vegetação adaptada a substratos salgados). Esta vegetação, é importante para a atenuação da energia das ondas e correntes de modo a que os sapais não sejam erodidos. Nestes, vivem tanto macro como microrganismos, adaptados a ambientes stressantes, com variações frequentes de temperatura e salinidade (Figura 1.1D).

O ecossistema da Ria Formosa alberga uma notável diversidade de habitats (praias, sapais, canais de maré e planícies lodosas) que suportam elevada diversidade faunística e florística. É aqui que uma das maiores comunidades de aves de Portugal encontra as condições ótimas para viver (Figura 1.1E). A Ria Formosa é um local de acolhimento fundamental para algumas aves migratórias e também para algumas espécies em declínio que aqui encontram condições para a nidificação. Mas não são apenas as aves que usufruem de excelentes condições para viver na Ria Formosa. Várias espécies de mamíferos, répteis, anfíbios e peixes são hóspedes da Ria.

A questão da fonte sedimentar para fornecimento de tão elevada quantidade de areia para a formação das ilhas barreira, é surpreendente e suscita ainda dúvidas. Presentemente, a origem fluvial dos sedimentos é remota, já que, não existem vias fluviais de envergadura. O maior contributo para o sistema lagunar é o Rio Gilão que desagua na zona de Tavira cujo caudal sólido máximo é de setenta e sete metros cúbicos por ano. Por contraste, os sedimentos marinhos que entram para o interior da laguna, através das barras, são várias ordens de grandeza superior. Por exemplo,

estima-se que através da barra da Armona entrem na laguna, 780 000 metros cúbicos por ano, de sedimento marinho.

A explicação mais consensual para a génese das ilhas barreira, é a subida do nível médio do mar. Há 18 000 anos atrás, o nível médio do mar encontrava-se entre 120 e 140 m abaixo do presente. A Europa era então, 40% mais vasta que atualmente, pois as plataformas continentais não estavam submersas. Estas, eram cruzadas por rios ou glaciares e colonizadas por florestas, pradarias ou estepes dependendo da latitude. Foram habitadas pelos nossos antepassados pré-históricos, que aí deixaram os seus testemunhos (p. ex., poços e grutas com pinturas rupestres) agora submergidos.

Quando, há cerca de 10 000 anos, o Planeta e em particular o Hemisfério Norte começaram a aquecer, o gelo ancorado sobre os continentes começou a fundir, libertando para o oceano grandes quantidades de água doce. As plataformas continentais foram inundadas selando paisagens e testemunhos da "Idade do Gelo", muitas ainda por descobrir. As areias depositadas na plataforma continental, anteriormente transportadas por rios e também pela deriva longilitoral migraram para o continente, empurradas pela aceleração da subida do nível médio do mar até cerca de 7 000 anos atrás. Estima-se que foi neste período que estabilizaram na forma de ilhas barreira já próximas da sua posição atual (Figura 1.2).

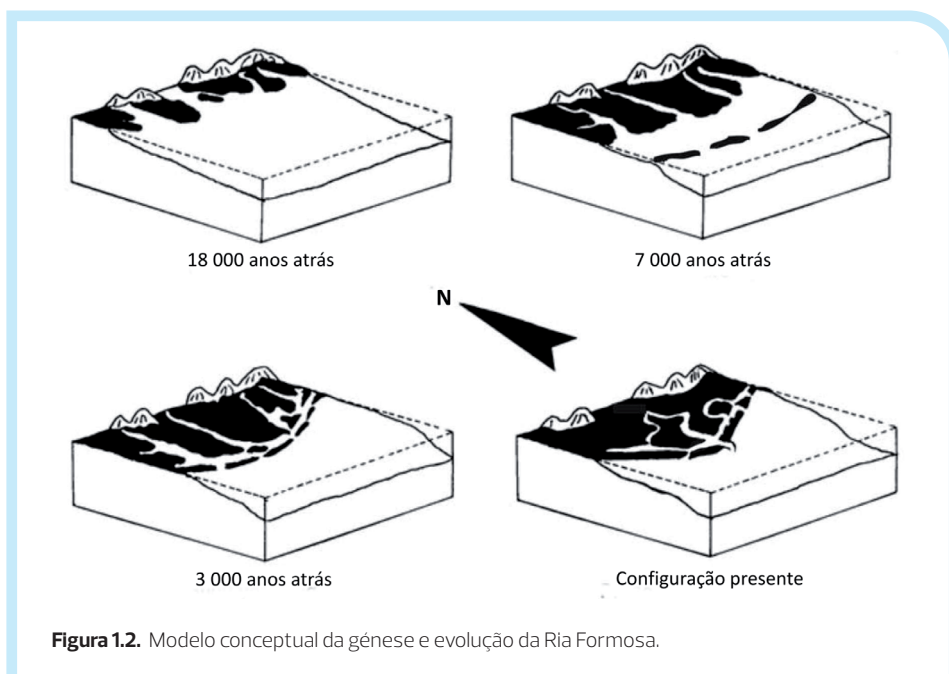


Figura 1.2. Modelo conceptual da génese e evolução da Ria Formosa.

Os sistemas de ilha barreira, tal como todos os sistemas de fronteira continente – oceano, estão entre os mais frágeis do planeta. É por isso fundamental, para garantir a nossa sobrevivência, que sejam protegidos.

Agradecimentos

Isabel Mendes e Ana Gomes agradecem à FCT pelos seus respetivos contratos de investigação DL57/2016/CP1361/CT0009 e CEECINST/00146/2018/CP1493/CT0002.

Referências para leitura adicional

- Andrade, C., Freitas, M.C., Moreno, J. & Craveiro, S.C., 2004. Stratigraphical evidence of Late Holocene barrier breaching and extreme storms in lagoonal sediments of Ria Formosa, Algarve, Portugal. *Marine Geology* 210 (1-4): 339-362.
<https://doi.org/10.1016/j.margeo.2004.05.016>
- Arnaud-Fassetta, G., Bertrand, F., Costa, S. & Davidson, R., 2006. The western lagoon marshes of the Ria Formosa (Southern Portugal): Sediment-vegetation dynamics, long-term to short-term changes and perspective. *Continental Shelf Research* 26: 363-384.
<https://doi.org/10.1016/j.csr.2005.12.008>
- Moura, D., Gomes, A. & Horta, J., 2017. The Iberian Atlantic Margin. In: N. Flemming, J. Harff, D. Moura, A. Burgess & G. N. Bailey (eds). *Submerged Landscapes of the European Continental Shelf-Quaternary Paleoenvironments*. John Wiley & Sons, Lda (Publisher), pp. 281-300.
- Oliveira, S., 2014. Incorporação de software multimédia e de informação em sistema de informação geográfica: o exemplo da aplicação didática ForDid (Ria Formosa). Trabalho de Projecto do Mestrado em Geomática, Ramo-Análise de Sistemas Ambientais, Universidade do Algarve, 114 p.
<http://hdl.handle.net/10400.1/8332>
- Sousa, C., Boski, T. & Pereira, L., 2018. Holocene evolution of a barrier island system, Ria Formosa, South Portugal. *The Holocene*, 1-13.
<https://dx.doi.org/10.1177/0959683618804639>

2. No âmago da Ria Formosa: praias lagunares e sapal

A. Rita Carrasco¹ & Ana Matias¹

¹ CIMA – Centro de Investigação Marinha e Ambiental, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal
azarcos@ualg.pt; ammatias@ualg.pt

Resumo

As praias lagunares encontram-se na zona entremarés do interior da Ria Formosa, em locais protegidos da ondulação. São ambientes onde há acumulação de sedimentos finos e areia, essencialmente sujeitos à ação das correntes de maré. As suas margens comunicam com sapais e canais de maré. Tanto as praias lagunares como os sapais detêm elevada importância ecológica e albergam inúmeras atividades económicas. As praias lagunares são naturalmente vulneráveis a intervenções humanas e naturais, porque têm uma reduzida capacidade de recuperação quando comparadas com as praias oceânicas. Um conhecimento mais aprofundado acerca da sua dinâmica atual e futura enriquece a sua conservação.

2.1. Características e localização das praias lagunares da Ria Formosa

Em todo o mundo, as praias de baixa energia ou praias lagunares localizam-se em ambientes protegidos da ondulação, nomeadamente em estuários (por exemplo, em Chesapeake Bay, EUA), baías, na retaguarda de ilhas barreira (por exemplo, em Pamlico Sound, EUA), junto a entradas de barras de maré (por exemplo, em Tabora Bank, Nova Zelândia), na foz de rios (por exemplo, em Menderes River, Turquia), ou até noutros locais de acumulação sedimentar na desembocadura de canais

marinhos (por exemplo, no Canal Baker, Chile). A condição basilar é a ausência de agitação forte, que assume apenas um papel diminuto nas mudanças de forma das praias. Podemos encontrar praias lagunares na Ria Formosa, nos locais que reúnem as condições abrigadas necessárias para o seu desenvolvimento (Figura 2.1A). A Ria Formosa localiza-se no sul de Portugal continental e é um sistema de ilhas barreira divididas por várias barras de maré. As praias lagunares, também frequentemente designadas por praias internas, localizam-se na retaguarda das ilhas, na interface com a laguna, formando um contínuo maioritariamente arenoso, em posição oposta às praias oceânicas (Figura 2.1A). São, na maioria, estreitas e pouco inclinadas (com inclinação muito inferior a um grau), terminando numa zona extensa e aplanada – a planície de maré. A parte superior das praias lagunares é composta maioritariamente por areia com grãos de tamanho médio (até 0,5 milímetros de diâmetro), enquanto que a planície de maré é maioritariamente lodosa. Em alguns locais da ria, as praias lagunares são também interrompidas por canais de maré, que são as zonas permanentemente submersas da Ria Formosa, e por sapais (Figura 2.1B). Os sapais são ambientes sedimentares essencialmente constituídos por depósitos argilosos, colonizados no topo por plantas halófitas (isto é, plantas terrestres adaptadas a condições marinhas; Figura 2.2A) e são periodicamente alagados pela maré. Os sapais estão entre os ecossistemas com maior taxa de produtividade ecológica da Terra (isto é, maior capacidade de produzir e armazenar matéria orgânica, nomeadamente o carbono, azoto e fósforo que fazem parte da composição das plantas, Caixa 2.1).

A zona lagunar da Ria Formosa ocupa uma área total de aproximadamente 18 400 hectares que inclui: (a) uma extensa área de sapais, compostos essencialmente por areia fina ou lodo; (b) depósitos de areia que são inundados só durante marés muito altas; e (c) uma vasta e complexa rede de canais de maré de origem natural, embora sujeitos a intervenções humanas de dragagem. No interior da laguna, as praias lagunares recebem pouca influência da ondulação gerada no oceano e são basicamente alimentadas por areias que entram pelas barras de maré (por exemplo, pela Barra do Ancão, Figura 2.1A).

Do ponto de vista da conservação da natureza, a zona lagunar da Ria Formosa foi designada Reserva Natural em 1978, Parque Natural em 1987 e faz parte da rede Natura 2000, com o objetivo de alcançar uma exploração racional e sustentável dos seus recursos. O sistema lagunar é caracterizado por elevada diversidade faunística, e tem importância nacional como zona de nidificação para inúmeras aves. Além disso, a zona lagunar da Ria Formosa é protegida pelas convenções de Ramsar e Berna.

Uma vez que evoluem mais lentamente e são locais onde decorrem muitas atividades económicas (Figura 2.2B), as praias lagunares possuem uma elevada

vulnerabilidade natural/ecológica face a intervenções físicas, quer humanas, quer naturais (Caixa 2.2). A gestão destas frágeis praias e de toda a zona lagunar, é uma tarefa complexa, envolvendo considerações acerca dos seus valores culturais, bem como da viabilidade e necessidade de restrições legais às atividades económicas (Caixa 2.2).

(A) Sistema lagunar da Ria Formosa



(B) Ambientes nas praias lagunares



Figura 2.1. (A) Vista do sistema lagunar da Ria Formosa, com localização dos sapais, barras de maré e exemplo de localização das praias lagunares na Ilha da Culatra, linha a amarelo (imagem Google Earth, extraída dezembro 2019); (B) Vista de uma praia lagunar arenosa (à esquerda) e uma zona de sapal a desenvolver-se sobre uma praia lagunar (à direita).

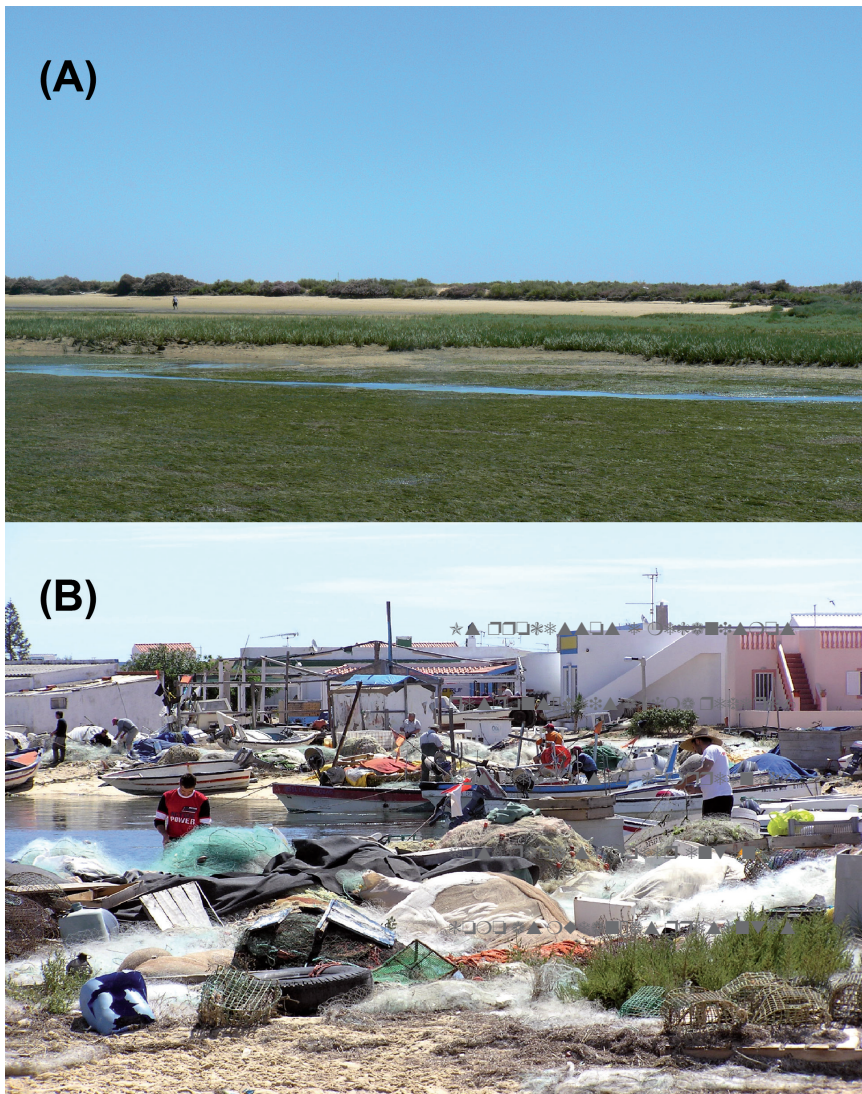


Figura 2.2. (A) Vista da sucessão ecológica entre a planície de maré dominada por ervas marinhas, (*Zostera noltii*, à frente na fotografia), o baixo sapal dominado pela vegetação comumente designada por Morraça (*Spartina maritima*, zona intermédia da fotografia), e a zona não vegetada e arenosa mais ao fundo numa praia lagunar da Ilha da Culatra (foto de A. Rita Carrasco); (B) Exemplo de ocupação humana e atividades económicas numa praia lagunar da Ilha da Culatra (foto A. Rita Carrasco).

Caixa 2.1 – O sapal nas praias lagunares

Os sapais estão entre os ambientes com maior produtividade ecológica da Terra, proporcionando elevados benefícios ecológicos, nomeadamente na regulação da qualidade da água, no suporte a espécies e habitats, na minimização das inundações costeiras e na regulação do ciclo dos nutrientes, o qual está ligado à quantidade de matéria orgânica produzida, absorvida e armazenada no solo.

As zonas de sapais e as planícies de maré vegetadas por ervas marinhas (que formam o que se chama pradarias marinhas; Figura 2.2A) desempenham um papel muito importante na captura de dióxido de carbono da atmosfera. A fixação de carbono no solo é altamente benéfica como estratégia para minimizar os efeitos das alterações climáticas. Porém, quando as zonas de sapal, em especial as pradarias marinhas, são destruídas, muitas vezes em resultado de atividades antrópicas, o carbono que foi absorvido e armazenado no ecossistema é liberado de volta para a atmosfera como dióxido de carbono.

2.2. Evolução natural das praias lagunares da Ria Formosa

Os principais mecanismos físicos naturais que promovem a variação e evolução da morfologia das praias lagunares são as correntes de maré e com menor importância o vento e ondas (geralmente de poucos centímetros de altura), assim como a disponibilidade de areia na praia. As ondas que se observam nas praias são maioritariamente geradas pelo vento, no entanto, para que as ondas possam crescer, é necessário que estas viagem sobre grandes extensões de água. No meio lagunar da Ria Formosa, a extensão de água é relativamente pequena quando comparada com mares e o oceano, daí que as ondas que se geram sob influência do vento sejam muito pequenas. Também em comparação com as praias oceânicas, as praias lagunares têm uma evolução morfológica bastante lenta (na ordem dos centímetros a poucos metros de acumulação ou erosão por ano).

Dada a sua relação com os canais de maré, a mobilização e transporte de sedimentos nas praias lagunares da Ria Formosa fica maioritariamente a cargo das correntes de maré. As correntes locais apresentam velocidades médias na ordem

dos 0,3 metros por segundo, com velocidades máximas a atingir os 0,5 metros por segundo. As correntes que se observam nas praias lagunares são variáveis, não só ao longo do dia, mas também de acordo com a sua localização. A velocidade da corrente está intimamente dependente da distância entre a praia e as barras de maré mais próximas (Caixa 2.2).

Caixa 2.2 – ‘A importância das ilhas barreira e da zona lagunar da Ria Formosa’

O desenvolvimento urbano nas ilhas barreira está atualmente concentrado em cinco povoações: Praia de Faro, Farol, Hangares, Culatra e Armona (Figura 2.2B). No entanto, a pressão antrópica não se resume ao desenvolvimento urbano. A zona lagunar da Ria Formosa serve como ‘motor’ para diversas atividades económicas como a aquicultura, pesca, navegação e turismo. A colheita de amêijoas (e outros moluscos), que ocorre na maioria das praias lagunares e zona lagunar, é uma importante componente da economia local, uma colheita de ‘elevado valor’, representando mais de 90 por cento da colheita nacional de moluscos. Números recentes sugerem que mais de mil pessoas vivem da apanha de amêijoas na Ria Formosa. Na realidade, há famílias que vivem apenas do rendimento da apanha de bivalves.

O crescente ecoturismo ou turismo de natureza na ria, por exemplo a observação de aves migratórias, têm vindo a afirmar-se como um dos principais impulsionadores económicos regionais, mas também motivo de esforços de conservação.

2.3. Evolução das praias lagunares da Ria Formosa face às intervenções humanas e à subida do nível médio do mar

Há vários impactes ambientais causados pelas intervenções humanas em diferentes praias lagunares de todo o mundo e que estão quantificados pela investigação científica. Desde os impactes de construção humana, dragagens de canais vizinhos, até à poluição oriunda da ocupação humana. As intervenções artificiais que promovem a redução do balanço sedimentar das praias lagunares acarretam sempre modificações morfológicas e erosão que perduram no tempo, dado que estas praias têm

taxas de recuperação sedimentar muito inferiores às praias oceânicas. Ou seja, não conseguem recuperar facilmente o seu perfil de praia original. As operações como as dragagens de canais ou a remoção de depósitos sedimentares anexos às praias lagunares, são um dos principais responsáveis pela alteração morfológica neste tipo de praias, ao longo de vários anos. Esse foi o caso do perfil da praia lagunar na metade Este da Península do Ancão, que terá sido completamente alterado devido a dragagens recorrentes, destinadas a operacionalizar o Canal do Ancão e a Barra do Ancão, na década 70 do século XX. Esta e outras atividades humanas, como a ocupação/edificação humana nas ilhas, dilatadas no passado na Ria Formosa deixaram um forte legado na morfologia das praias lagunares, sem capacidade de reversão durante os anos seguintes.

No passado, e em resposta à subida do nível médio do mar, a zona lagunar da Ria Formosa diminuiu em área, em resultado de uma lenta migração da posição da linha de costa lagunar (e ilhas barreira) para terra. Num contexto de aceleração da subida do nível, o sistema irá continuar a responder e a modificar-se. As principais variáveis que determinam esta resposta são as taxas de subida do nível médio do mar e a disponibilidade sedimentar existente no sistema. A literatura científica antecipa que as ilhas barreira diminuirão de área e que iremos assistir a uma alteração na geometria das barras de maré e modificações nos padrões de circulação interna das massas de água (por exemplo, a alteração na forma como a maré se propaga dentro da laguna e o aumento das velocidades das correntes). O tempo de inundação dos sapais e planícies de maré irá aumentar e poderemos assistir a uma alteração na área dos habitats vegetados, caso os ambientes que integram os sapais não respondam atempadamente (a nível sedimentar e ecológico) à subida do nível médio do mar.

No futuro residem as maiores dúvidas, não só porque ainda não existem conclusões científicas suficientes acerca da previsão de evolução deste sistema, mas também, porque existem incertezas nas atuais projeções de subida do nível médio do mar. Prevê-se, no entanto, que o sistema lagunar responda como um todo, praias oceânicas, praias lagunares, canais de maré, sapais, e conseqüentemente, a zona urbanizada.

Mesmo num contexto de parque natural, até ao momento, ainda não existe um conjunto específico de políticas dedicadas à gestão das praias lagunares da Ria Formosa. Estes locais são locais de extrema importância ecológica (Caixa 2.1) e, portanto, a sua gestão deverá assentar em estudos integrados e na aplicação de estratégias de gestão que abordem a biodiversidade e a conservação, mas também a evolução do sistema. Isso significa que, pelo menos a influência direta das intervenções antrópicas sobre estes ambientes menos resilientes (e a capacidade

destas praias para acomodar as alterações no sistema), deve ser sempre equacionada. Os sistemas naturais fornecem serviços ao Homem, que são indispensáveis à sua sobrevivência ou estão associados à qualidade de vida e bem-estar da sociedade – os serviços ecossistémicos. O reconhecimento e avaliação dos impactes das alterações climáticas nos serviços ecossistémicos providenciados pelas praias lagunares e sapais são também essenciais para o desenho de abordagens adaptativas que garantam a conservação.

Apesar da baixa mutabilidade que as praias lagunares da Ria Formosa aparentam, elas são importantes pelos seus valores naturais, culturais, económicos e sociais. Sem enquadramento legal dedicado, a sua preservação passa também pelo acréscimo de conhecimento científico acerca da dinâmica sedimentar, mas também da capacidade destes ecossistemas preservarem as suas funções para benefício das gerações presentes e futuras.

Agradecimentos

A. R. Carrasco foi financiada através do contrato DL 57/2016/CP1361/CT0002; A. Matias foi financiada através do contrato CEECIND/00021/2018, ambos Fundação para a Ciência e Tecnologia. Este trabalho está enquadrado nas atividades do Laboratório de Comunicação de Ciência da Universidade do Algarve.

Referências para leitura adicional

- Andrade, C., 1990. O ambiente barreira da Ria Formosa, Algarve–Portugal. Tese Doutorado, Universidade de Lisboa, Portugal, 626 p.
- Carrasco, A.R., 2012. Morphodynamic Evolution of Fetch-limited Beaches' University of Algarve (Portugal). Tese Doutorado, Universidade do Algarve, Faro, 210p.
<http://hdl.handle.net/10400.1/3423>
- Carrasco, A. R., Ferreira, O., & Roelvink, D. 2016. Coastal lagoons and rising sea level: A review. *Earth–Science Reviews*, 154: 356–368.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.11.007>
- Nordstrom, K.F., & Jackson, N.L., 1992. Two–dimensional change on sandy beaches in meso-tidal estuaries. *Zeitschrift fur Geomorphologie*, 36(4): 465–478.

3. Qual a importância das trocas entre a Ria Formosa e o oceano adjacente para a produtividade biológica destes sistemas?

Alexandra Cravo¹ & José Jacob¹

¹ CIMA – Centro de Investigação Marinha e Ambiental,
Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal
acravo@ualg.pt; jjacob@ualg.pt

Resumo

A Ria Formosa é a lagoa costeira mais importante do sul de Portugal, com grande influência nas trocas de água e de matéria com o oceano adjacente, as quais controlam a produtividade biológica destes ecossistemas intimamente ligados. Neste capítulo são apresentadas as características geomorfológicas da Ria Formosa e as características dinâmicas que a tornam um sistema bastante produtivo e peculiar, com forte impacto no oceano adjacente. São ainda apresentadas, pela primeira vez, as trocas através das três barras do setor oeste da Ria Formosa, em condições de maior produtividade biológica, típicas de primavera, evidenciando a importância da interligação entre estes dois sistemas, particularmente num período sob afloramento costeiro.

3.1. Introdução

Uma lagoa costeira é um “corpo de água pouco profundo, ligado pelo menos intermitentemente ao oceano por uma ou mais barras restritas”. Estes são ecossistemas complexos e importantes, pois fornecem bens de alto valor para a sociedade,

nomeadamente alimentos, proteção contra tempestades e turismo, entre outros. Além disso, contribuem para a produtividade geral das águas costeiras, sustentando uma variedade de *habitats*, incluindo sapais, pradarias de ervas marinhas e/ou mangais, particularmente importantes para muitas espécies de peixes e moluscos (organismos de corpo mole, tais como chocos, polvos, amêijoas, berbigões).

Numa lagoa, a quantidade e a qualidade da água são influenciadas pelo volume que a lagoa perde ou ganha devido às trocas com o oceano, escoamento superficial, evaporação, precipitação e águas subterrâneas. A troca lagoa-oceano é promovida principalmente pelas marés, responsáveis pelo balanço hídrico da lagoa. (Caixa 3.1). A magnitude da entrada de água devido às marés e os padrões de circulação/hidrodinâmica são propriedades físicas essenciais que controlam o tempo de permanência da água e a sua composição química dentro da lagoa. As zonas interiores das lagoas geralmente apresentam baixas descargas, devido às trocas restritas com o oceano. No entanto, a renovação da água aumenta perto das barras, dependendo da dimensão e forma da lagoa, das características da ligação com o oceano, da altura das marés e do fluxo de água doce.

Caixa 3.1 – Sabe o que são as marés?

A maré é um movimento periódico de subida e descida da água, resultante da combinação de forças de atração gravitacional exercidas pela Lua e pelo Sol sobre a Terra em rotação, e das forças centrífugas geradas na rotação da Terra em torno do centro de massa do sistema Terra-Lua-Sol. Além das forças gravitacionais e centrífugas, quando queremos entender e estudar a maré, devemos considerar duas forças adicionais, que atuam sobre os corpos em movimento na Terra: a força de Coriolis, que é uma força inercial devido à rotação da Terra em torno de seu eixo, e a força de atrito devido ao movimento da água em relação às suas fronteiras.

As lagoas e os oceanos adjacentes são ecossistemas intimamente ligados, onde os processos de interação com o oceano aberto, ao nível físico, químico e biológico, são fundamentais para o funcionamento de ambos os ecossistemas. As características da água não são controladas apenas pelos ciclos das marés, mas também por outros processos relevantes em águas costeiras, como o afloramento costeiro (Caixa 3.2). remineralização na coluna de água, interação entre a água e os

sedimentos no fundo, escoamento terrestre e descargas pontuais de águas residuais. A disponibilidade de nutrientes, o tempo de permanência da água dentro da Ria Formosa relativamente elevado e a penetração da luz nesta lagoa pouco profunda proporcionam uma elevada produtividade biológica na coluna de água, especialmente na primavera e no outono, e suporta taxas de produção biológica elevadas em comparação com outros ecossistemas aquáticos. Nos sistemas onde a influência das marés é relevante, ocorre uma elevada renovação e circulação da água na lagoa, contribuindo para evitar processos de enriquecimento de nutrientes.

Caixa 3.2 – Sabe o que é afloramento costeiro e porque é importante?

O afloramento costeiro é um fenómeno oceanográfico que envolve o movimento de água de níveis mais profundos, mais fria, em direção à superfície do oceano, em resposta a ventos que sopram paralelamente à costa, mais frequentemente em direção ao equador, substituindo a água de superfície mais quente, geralmente pobre em nutrientes. O movimento das águas de superfície dirigido para o largo leva ao abaixamento do nível do mar ao longo da costa. A água aflorada, rica em nutrientes, estimula o crescimento de produtores primários, como o fitoplâncton. Assim, as zonas de afloramento podem ser identificadas por temperaturas mais baixas e concentrações de clorofila *a* (pigmento fotossintético presente em todos os produtores primários indicador de biomassa fitoplanctónica) mais elevadas na superfície do mar.

Os processos e mecanismos acima referidos devem ser compreendidos, para se poder entender como as mudanças presentes e futuras afetarão o comportamento das lagoas costeiras, que em última análise afetarão a sociedade. Independentemente dos avanços da observação dedicada aos processos que ocorrem nas lagoas costeiras, ainda existe uma grande lacuna na quantificação das trocas de matéria (água, compostos dissolvidos e particulados) entre a lagoa e o oceano adjacente, o que é fundamental para entender melhor o funcionamento desses ecossistemas.

Na Ria Formosa, a lagoa costeira mais importante do sul de Portugal, as trocas de água e de compostos dependem principalmente da interação com o oceano, através da influência das marés, e da morfologia dos canais dentro da Ria. Na secção 3.2 apresentam-se as características geomorfológicas da Ria Formosa.

Na secção 3.3 enfatizam-se as características dinâmicas que fazem da Ria Formosa um sistema produtivo peculiar e uma das lagoas mais importantes de Portugal, apresentando pela primeira vez as trocas através das três barras do setor ocidental, representativas de condições de primavera em 2012, em maré viva e sob afloramento costeiro.

3.2. Características morfológicas da Ria Formosa

A Ria Formosa é um sistema lagunar costeiro pouco profundo, localizado na costa sul de Portugal (Figura 3.1), com a forma de um triângulo invertido, com cerca de 100 quilómetros quadrados, 55 quilómetros de comprimento, 6 quilómetros de largura máxima e uma profundidade média inferior a 2 m. É um sistema meso-mareal, isto é, com uma altura de maré média de aproximadamente 2 m, variando entre 1,5 e 3,5 m. É dominada pela componente semi-diurna da maré e possui seis ligações permanentes com o oceano (Ancão, Faro-Olhão, Armona, Fuseta, Tavira e Cacela), que proporcionam uma grande renovação da água. Essas seis barras delimitam três setores, do ponto de vista hidrodinâmico: o setor oriental, que inclui a barra de Cacela; o setor central que inclui as barras da Fuseta e de Tavira; e o setor ocidental, que é o mais importante em termos de circulação de água, abrangendo as barras do Ancão, de Faro-Olhão e da Armona. A Ria Formosa é bem misturada verticalmente devido à reduzida entrada de água doce e à predominância do forçamento da maré na circulação da água no seu interior.

O setor ocidental da Ria Formosa representa aproximadamente 90% do prisma de maré (volume de água que entra na Ria durante a maré enchente) de toda a lagoa. Este setor inclui três barras (Figura 3.1), a barra do Ancão no flanco oeste deste setor e as barras de Faro-Olhão e Armona no flanco leste, e vários canais e riachos. Os dois principais canais deste setor são o canal de Faro, que liga a barra de Faro-Olhão à cidade de Faro, e o canal de Olhão que liga a mesma barra à cidade de Olhão.

A barra do Ancão é uma pequena barra com um comportamento de migração cíclica para leste. A barra de Faro-Olhão foi aberta artificialmente e estabilizada com molhes no período 1929-1955, tendo capturado uma grande parte do prisma de maré da barra da Armona. A barra da Armona é a única barra estabilizada de forma natural da Ria Formosa, que tem vindo a estreitar ao longo do tempo e ainda não há evidências de que esta evolução tenha parado. Era a barra natural dominante no sistema, mas a evolução da barra de Faro-Olhão reduziu bastante o escoamento através da barra da Armona, resultando num deslocamento da dominância do prisma de maré da barra da Armona para a barra de Faro-Olhão.

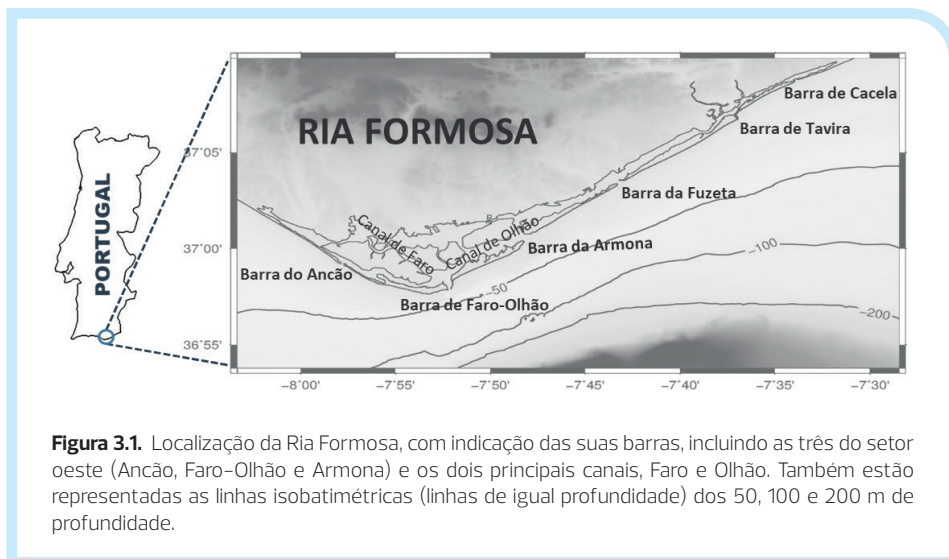


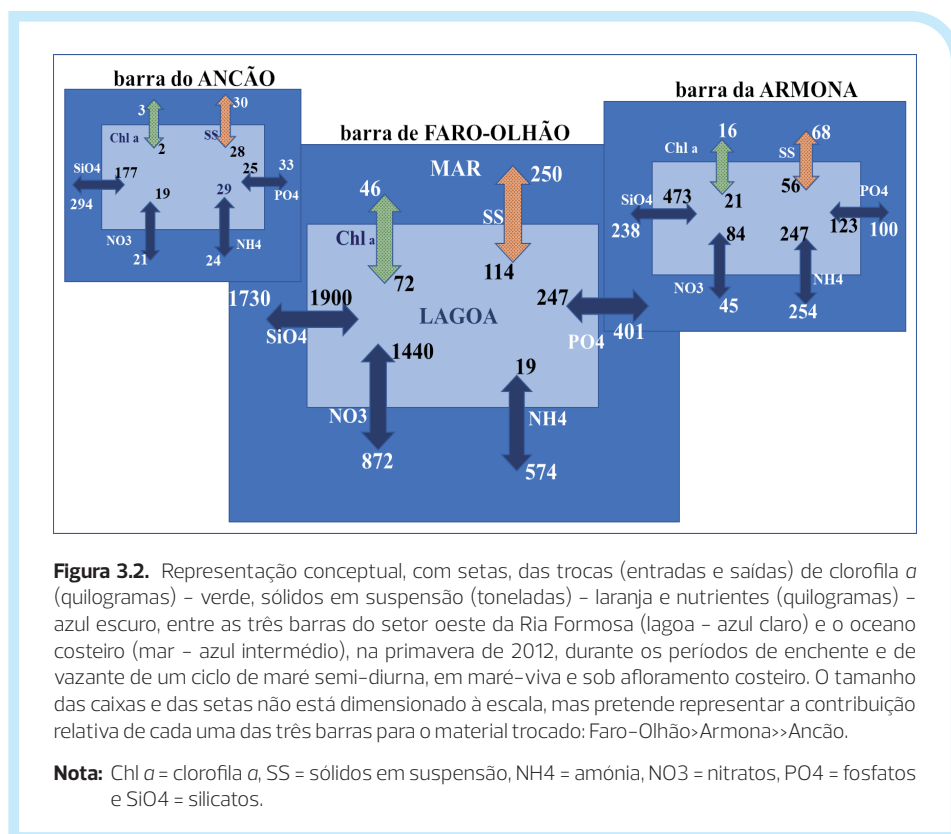
Figura 3.1. Localização da Ria Formosa, com indicação das suas barras, incluindo as três do setor oeste (Ancão, Faro-Olhão e Armona) e os dois principais canais, Faro e Olhão. Também estão representadas as linhas isobatimétricas (linhas de igual profundidade) dos 50, 100 e 200 m de profundidade.

3.3. Quantificação das trocas de massa através das principais barras da Ria Formosa na primavera de 2012, em maré viva e sob afloramento costeiro

Para ilustrar a magnitude das trocas de água, nutrientes, clorofila *a* e sólidos em suspensão nas três barras do setor oeste da Ria Formosa, foi selecionado o período da primavera, como representativo da estação mais produtiva em termos biológicos. Aqui, apresentamos o caso da primavera de 2012, considerando apenas as condições de maré viva, quando as trocas são máximas, sob o efeito de um evento de afloramento costeiro. As quantidades trocadas de nutrientes, clorofila *a* e sólidos em suspensão através dessas barras, observados durante os períodos de enchente e vazante, estão representados esquematicamente na Figura 3.2.

O balanço de massa de nutrientes, clorofila *a* e sólidos em suspensão estimado com base nas suas concentrações e no caudal de água trocada durante a enchente e a vazante, reflete o ritmo das marés a que está sujeito o volume de água que transporta esses compostos através das três barras (Ancão, Faro-Olhão e Armona). É importante salientar que esse período de amostragem foi realizado após um evento de afloramento costeiro, quando a água no oceano costeiro adjacente está, geralmente, enriquecida em nutrientes e clorofila *a*. Isso pode explicar os valores desses compostos transportados, muito mais elevados durante o período de enchente do que durante a vazante, principalmente na barra de Faro-Olhão. Durante esse

período, foram estimadas grandes quantidades de importação de nitrato (1,4 toneladas), revelando a ocorrência de um processo de nitrificação nas águas costeiras bem misturadas e oxigenadas, juntamente com a importação de clorofila *a* (72 quilogramas). Após eventos de afloramento costeiro ocorrem aumentos do crescimento do fitoplâncton, expressos pelo aumento de concentrações de clorofila *a*. No entanto, a quantidade de amónia, fosfato e sólidos em suspensão foi maior no período de vazante do que durante a enchente, sugerindo que os processos que ocorrem dentro da lagoa (decomposição de matéria orgânica, atividade biológica de organismos bentónicos, transporte de substâncias a partir dos sedimentos) prevalecem mesmo durante a ocorrência do afloramento, proporcionando a exportação desses compostos para o oceano costeiro adjacente.



Comparando as três barras, as trocas de nutrientes, clorofila *a* e sólidos em suspensão foram 10 a 100 vezes mais elevadas na barra de Faro-Olhão do que nas

outras duas barras. Este facto pode ser explicado pela secção mais larga e mais profunda da barra de Faro–Olhão, traduzida numa maior área. O volume de água transportado através da barra de Faro–Olhão é cerca de 2 vezes maior que o volume transportado através da barra da Armona e cerca de 20 vezes maior que o transportado através da barra do Ancão, a barra mais estreita e menos profunda do setor ocidental da lagoa.

As situações de afloramento costeiro ocorrem episodicamente e, como tal, pode-se prever uma importação de nutrientes e clorofila *a* do oceano costeiro para o interior da Ria Formosa durante esses períodos, o que contribuirá para estimular a produtividade biológica ao longo de toda a cadeia trófica.

3.4. Importância das barras da Ria Formosa nas trocas com o oceano adjacente

A Ria Formosa é um sistema complexo, cujas trocas através das três barras pode mudar ao longo do tempo, devido à variabilidade das alturas das marés, alterações nos padrões de circulação e hidrodinâmicos, interconetividade entre as barras e seus canais principais, mudanças nas condições meteorológicas e ambientais e aos processos oceanográficos que ocorrem na zona costeira adjacente, como os eventos episódicos de afloramento costeiro referidos.

Os efeitos das marés sentidos no interior da Ria Formosa, acoplados aos eventos de afloramento, podem importar material do oceano costeiro capaz de fertilizar ainda mais este sistema, aumentando a sua produtividade biológica, particularmente na primavera. No entanto, devido a processos internos acoplado interações entre a água e os sedimentos, a Ria Formosa geralmente exporta material (nutrientes e sólidos em suspensão que incluem matéria orgânica), principalmente através da barra de Faro–Olhão, contribuindo também para fertilizar e aumentar a produtividade biológica do oceano.

3.5. Lições aprendidas sobre o papel das barras da Ria Formosa nas trocas com o oceano adjacente

A Ria Formosa é um ecossistema lagunar bastante produtivo, cuja dinâmica depende das trocas com o oceano ao longo dos ciclos de maré. As trocas que são estabelecidas entre a Ria Formosa e o oceano adjacente, através das principais barras, são extremamente importantes, controlando a produtividade biológica destes dois sistemas intimamente ligados. A Ria Formosa é responsável pela fertilização da

zona costeira adjacente através da exportação de material dissolvido e particulado. Contudo, pode também ser fertilizada a partir da importação do mesmo tipo de material do oceano, particularmente quando ocorrem eventos episódicos de afloramento costeiro, que enriquecem as águas em nutrientes.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a toda a equipa técnica e colaboradores das campanhas do projeto COALA, bem como o apoio logístico dos Capitães dos Portos de Faro e de Olhão.

Este trabalho foi financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) através do projeto ref. PTDC/MAR/114217/2009-COALA.

Referências para leitura adicional

Barbosa, A.B., 2010. Seasonal and inter-annual variability of planktonic microbes in a mesotidal coastal lagoon (Ria Formosa, SE Portugal): impact of climatic changes and local-human influences, in: H. Paerl, M. Kennish, Eds., Coastal Lagoons: critical habitats of environmental change, CRC Press, Taylor & Francis Group, Marine Science Book Series, Boca Raton, pp. 335–366.

Cravo, A., Cardeira, S., Pereira, C., Rosa, M., Alcântara, P., Madureira, M., Rita, F., Correia, C., Rosa, A. & Jacob, J., 2019. Nutrients and chlorophyll-a exchanges through an inlet of the Ria Formosa Lagoon, SW Iberia during the productive season – unravelling the role of the driving forces. *Journal of Sea Research*, Vol. 144, 133–141, <https://doi.org/10.1016/j.seares.2018.12.001>

Fabião, J., Rodrigues, M., Fortunato, A.B., Jacob, J. & Cravo, A. 2016. Water exchanges between a multi-inlet lagoon and the ocean: the role of forcing mechanisms. *Ocean Dynamics* 66 (2), 173–194. <http://dx.doi.org/10.1007/s10236-015-0918-7>

4. O destino das águas residuais humanas – o exemplo Algarvio da Ria Formosa

Filipe Veríssimo¹, Flávio Martins² & João Janeiro²

¹ Águas do Algarve, S.A.

² CIMA – Centro de Investigação Marinha e Ambiental,
Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005–139 Faro, Portugal
f.verissimo@adp.pt; fmartins@ualg.pt; janeiro.jm@gmail.com

Resumo

O presente capítulo resume vários trabalhos realizados pela Universidade do Algarve no âmbito de estudos técnicos da qualidade da água do meio recetor de ETAR tendo como destino final a Ria Formosa para a empresa Águas do Algarve, S.A. Teve como principal objetivo a aplicação do modelo matemático MOHID para simular os processos de transporte e de inativação das propriedades microbiológicas dos efluentes e nos processos de acumulação nos bivalves.

4.1. Ria Formosa e as Estações de Tratamento de Águas Residuais

A Ria Formosa é um sistema de ilhas barreira, situada no Algarve, que engloba os concelhos de Loulé, Faro, Olhão, Tavira e Vila Real de Santo António, abrangendo uma área de cerca de 18 400 hectares ao longo de 55 quilómetros desde a praia do Ancão à praia da Manta Rota (Figura 4.1). É uma área protegida pelo estatuto de Parque Natural, concedido pelo Decreto-lei 373/87 de 9 de dezembro de 1987 e está classificada como área sensível de acordo com o Decreto-lei 152/97 de 19 de junho de 1997 relativa à descarga de águas residuais urbanas, de forma a assegurar padrões de qualidade da água para a produção de bivalves (p. ex. amêijoas).

A Ria Formosa é o meio recetor de cinco Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) (Caixa 4.1) na região: Quinta do Lago, Faro Noroeste, Faro/Olhão, Olhão Nascente e Almargem. Estas ETAR são geridas pela Águas do Algarve, S.A., concessionária do Sistema Multimunicipal de Saneamento do Algarve. O sistema possui 480 quilómetros de redes de drenagem, 192 Estações Elevatórias de Águas Residuais (EE) e 76 ETAR.

Caixa 4.1 – O que é uma ETAR?

As ETAR são infraestruturas compostas por um conjunto de processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem em vários órgãos de tratamento (equipamentos e instalações), tendo como objetivo principal a remoção das cargas contaminantes das águas residuais. A principal fase do tratamento de águas residuais é o tratamento secundário e consiste num processo biológico, onde a matéria orgânica (poluente) é consumida por microrganismos. Existem diferentes tipos de tratamentos biológicos, sendo que o processo de tratamento escolhido deve ser adequado à qualidade exigida das águas residuais tratadas e descarregadas no meio recetor. A dimensão e a disposição da ETAR depende do caudal e carga de contaminantes das águas residuais.

A contaminação das águas superficiais por resíduos fecais humanos presente nas águas residuais é um perigo generalizado para a saúde humana e no caso da Ria Formosa, uma zona de elevada produção biológica, com forte impacto na economia local devido à produção e captura de inúmeras espécies para consumo humano (p. ex. amêijoa, berbigão, robalo, dourada, etc.), é fundamental o estudo e monitorização do impacte das descargas de águas residuais tratadas neste meio recetor sensível. Este capítulo detalha resumidamente o impacte das plumas das descargas de águas residuais tratadas de três ETAR (Almargem, Faro Noroeste e Faro/Olhão) pela utilização de modelação matemática para simulação de variáveis hidrodinâmicas, qualidade da água e traçadores bacteriológicos (Caixa 4.2).

Caixa 4.2 – O que são traçadores bacteriológicos?

Os Coliformes fecais são os organismos mais comumente usados para monitorizar a remoção de microrganismos patogénicos presentes em águas residuais. As Bactérias coliformes geralmente têm origem no intestino de animais de sangue quente. Grandes quantidades de bactérias coliformes fecais na água indicam um risco maior de agentes patogénicos presentes na água. O Número Mais Provável (NMP) é um método usado para estimar a concentração de microrganismos viáveis numa amostra por meio de crescimento de caldo líquido replicado em diluições de dez vezes. É usado principalmente para estimar a contagem microbiana no solo, água, produtos agrícolas, etc. É um dos métodos comuns de testes de qualidade da água para garantir a sua segurança.

4.2. Modelação da dispersão de águas residuais

A modelação matemática de plumas de águas residuais (Caixa 4.3) é uma ferramenta que permite a previsão da qualidade da água, permite o ajuste do local de descarga de uma nova ETAR e auxilia na tomada de decisão em ações de mitigação do impacto no meio receptor devido a avarias em EEAR ou ETAR. O *MOHID Water Modeling System* foi utilizado como uma ferramenta de modelação integrada, capaz de simular processos físicos e biogeoquímicos em sistemas costeiros. O MOHID é responsável pela modelação de processos hidrodinâmicos, simulação de fenómenos de dispersão, transporte de sedimentos, qualidade da água/processos biogeoquímicos na coluna de água e trocas com o fundo. O modelo permite simular os principais processos físicos, como gradientes de densidade, maré, vento e fluxos água doce.

Os principais forçamentos (processos físicos que influenciam a circulação e transporte na Ria Formosa tais como vento, maré, fluxos de água doce, etc.) na Ria Formosa são o fluxo das marés e de água doce. As propriedades microbiológicas das descargas variam devido à diluição e taxa de declínio bacteriológica que considera os efeitos da radiação solar, temperatura e salinidade.

Caixa 4.3 – O que é modelação matemática?

Em hidrodinâmica, uma pluma é uma coluna de um fluido movendo-se através de outro. Por exemplo, o comportamento e propriedades de uma pluma de águas residuais tratadas, descarregadas num corpo de água salgada, pode ser simulado ao longo do tempo por meio de modelação matemática. A modelação é uma ferramenta experimental para testar teorias e avaliar conjecturas quantitativas. Um modelo matemático geralmente descreve um sistema por um conjunto de variáveis e um conjunto de equações que estabelecem relações entre as variáveis. As variáveis representam algumas propriedades do sistema, por exemplo, saídas do sistema medido, muitas vezes na forma de sinais, dados de tempo, contadores, etc. A modelação matemática tem muitas aplicações nas ciências, pode ser usada para simular marés, o clima, simulações de túneis de vento, simulações de acidentes de carro, etc.

4.3. ETAR de Almargem

A ETAR de Almargem está localizada na margem esquerda da ribeira de Almargem, em Tavira. O efluente tratado é descarregado na ribeira de Almargem. Esta instalação foi concebida para servir uma população de 48 200 habitantes equivalentes, 12 200 000 litros por dia no ano de 2025. O sistema de tratamento implementado é de nível secundário por lamas ativadas e desinfecção por radiação ultravioleta. A ETAR de Almargem entrou ao serviço em maio de 2007, levando à desativação da ETAR de Tavira e 5 outras ETAR de menor dimensão e baixa tecnologia.

4.3.1. Hidrodinâmica do sistema

A hidrodinâmica da Ria Formosa subdivide-se em duas regiões: a oeste, que vai desde o início da Península do Ancão ao Canal de Marim, e a leste que se estende desde o Canal de Marim até ao fim da Península de Cacela, cobrindo a margem do Rio Almargem. A região leste é caracterizada por zonas húmidas menos extensas e um único canal principal, responsável pelo transporte, na direção paralela às ilhas barreira. A hidrodinâmica das duas regiões é praticamente independente, uma vez que são conectadas apenas pelo Canal de Marim, que possui capacidade de

transporte reduzida. As velocidades máximas ocorrem principalmente nos canais mais profundos como é o caso da Barra de Tavira e o Canal de Cabanas. As velocidades no Rio Gilão são mais pequenas durante a vazante do que na enchente em ambas as situações de maré. A Ribeira de Almargin apresenta velocidades baixas na enchente e vazante tanto em maré viva como em maré morta.

4.3.2. Plumas associadas à ETAR

Para o domínio de Almargin foram simulados três cenários diferentes de uma descarga contínua com uma concentração de 2 000 NMP/100 ml de coliformes fecais (Caixa 4.2):

1. Cenário I: Descarga efetuada a meio do canal de Almargin;
2. Cenário II: Descarga efetuada na região de jusante do canal de Almargin;
3. Cenário III: Descarga é efetuada no canal de Cabanas.

A Figura 4.1 mostra os resultados obtidos para cada cenário, nas várias situações de maré.

Os resultados permitiram apurar que as descargas mais a montante produzem uma contaminação maior dentro do Canal de Almargin mas as concentrações no Canal de Cabanas e especialmente na região costeira exterior são baixas. Com as descargas no Canal de Cabanas a concentração na Ribeira de Almargin é substancialmente menor, mas as concentrações no interior da Ria Formosa estendem-se a uma área bastante superior e existe também algum impacte na região costeira exterior.

4.4. ETAR de Faro Noroeste

A ETAR Intermunicipal de Faro Noroeste entrou em funcionamento em agosto de 2009, tendo o antigo sistema lagunar sido abandonado. O sistema de tratamento implementado é de nível secundário, por lamas ativadas e desinfecção ultravioletas. A nova ETAR tem uma capacidade de tratamento de 44 530 habitantes equivalentes, 13 221 000 litros por dia no ano de 2033. O efluente final da ETAR de Faro Noroeste é descarregado no Esteiro do Ramalhete.

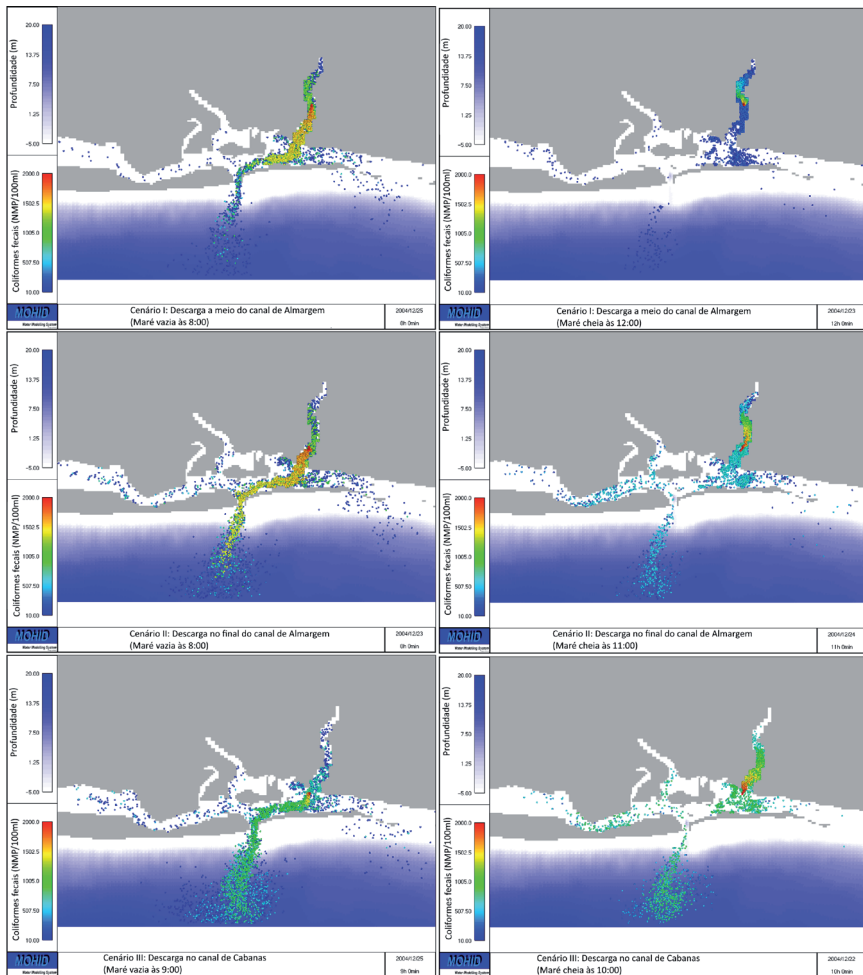
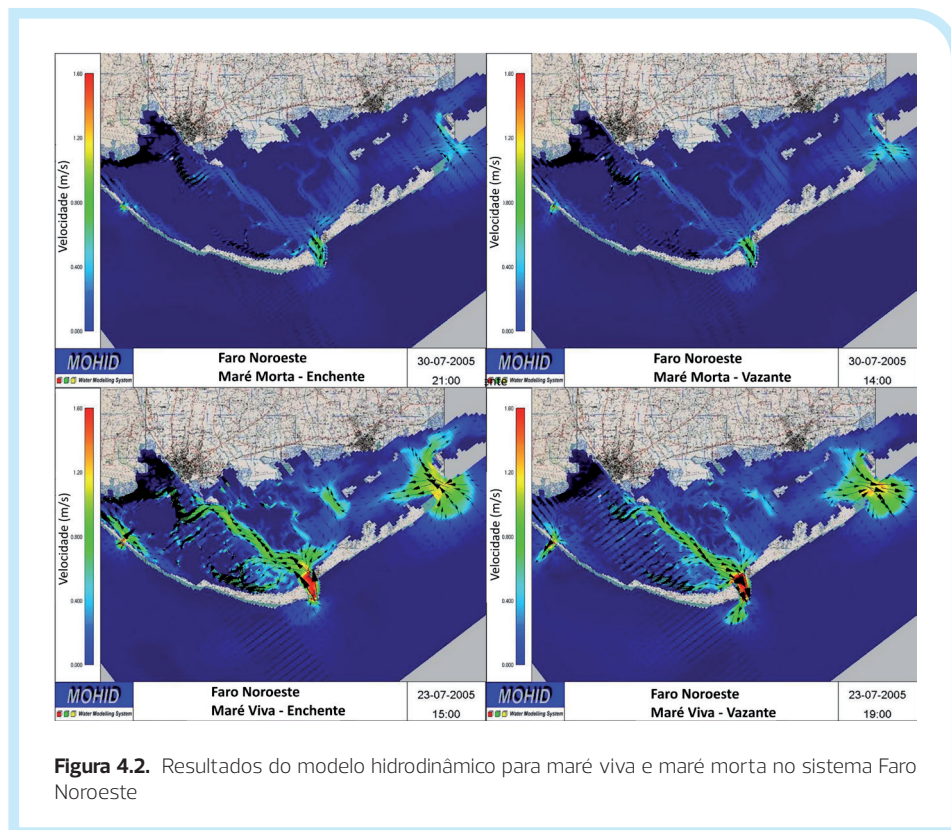


Figura 4.1. Resultados esperados para três diferentes locais de descarga da ETAR de Almargem.

4.4.1. Hidrodinâmica do sistema

A região de Faro Noroeste está incluída na Região Ocidental da Ria Formosa, que se pode considerar desde o início da Península do Ancão até ao Canal de Marim. Esta região é pouco profunda e a hidrodinâmica depende essencialmente da maré.

O prisma de marés nesta zona (diferença entre o volume de água em maré alta e em maré baixa) é superior ao volume de água em baixa-mar. Por esse motivo o tempo de residência médio é reduzido. Este facto explica a boa capacidade de dispersão desta região. Verifica-se também uma diferença de velocidades generalizada entre a situação de maré viva e de maré morta, como é esperado, mantendo-se o mesmo padrão de escoamento (Figura 4.2).



4.4.2. Plumas associadas à ETAR

A simulação de plumas de coliformes foi efetuada para uma descarga de 10 000 NMP/100 ml de coliformes fecais. Este valor, corresponde ao valor limite imposto pela licença da descarga da antiga ETAR e que foi alterado para 300 NMP/100 ml de forma a respeitar os objetivos mínimos de qualidade das águas favoráveis à criação de moluscos. Na ETAR de Faro NW comparou-se a situação atual com a de uma

descarga localizada 400 metros a jusante da ribeira de Gambelas. Verificou-se que essa opção produziria concentrações ligeiramente menores junto da região de descarga, mas influenciaria de uma forma mais significativa o canal do Ancão. Os resultados da modelação permitem identificar o padrão da circulação nessa região. Mostra-se que durante a vazante o escoamento se dá principalmente pelo canal de Faro e durante a enchente a água do canal de Faro escoar-se para a região do Montenegro pelo Esteiro Largo e para a região oeste pelo Esteiro do Ramalhete. Esta circulação faz com que a pluma da ETAR influencie mais o canal de Faro durante a vazante e o Esteiro do Ramalhete e o Esteiro Largo durante a enchente.

4.5. ETAR Intermunicipal de Faro/Olhão

A nova ETAR Faro/Olhão foi construída no local da atual ETAR Faro Nascente, inserida na zona da Ria Formosa. A capacidade máxima de tratamento é de 28 149 000 litros por dia, equivalente a uma população de 113 200 habitantes, prevista para o ano de 2033. Esta ETAR trata grande parte das águas residuais geradas na cidade de Faro, anteriormente tratadas na existente ETAR de Faro Nascente, e as águas residuais geradas na cidade de Olhão, anteriormente tratadas na ETAR de Olhão Poente. A construção da nova ETAR possibilitou a desativação dos sistemas lagunares existentes em ambas as instalações, inadequados em relação aos níveis de qualidade exigidos para o efluente tratado, e que também estavam subdimensionadas para atuais condições de volumes afluentes. O sistema de tratamento implementado é de nível secundário e desinfecção ultravioletas.

4.5.1. Hidrodinâmica do sistema

Neste sistema as velocidades mais elevadas encontram-se nas barras, no canal de Faro e no canal de Olhão. Nestes locais o transporte é mais eficiente, originando tempos de residência curtos. No canal onde se situa a descarga da ETAR de Faro/Olhão verifica-se que o escoamento na situação de maré viva apresenta velocidades próximas de 0,2 metros por segundo quer na enchente quer vazante. Já em situação de maré morta as velocidades no canal são muito baixas o que sugere tempos de residência elevados nesta zona durante esta situação de maré. De uma forma global verifica-se uma diferença de velocidades generalizada entre a situação de maré viva e de maré morta, como é esperado, mantendo-se, no entanto, o mesmo padrão de escoamento.

4.5.2. *Plumas associadas à ETAR*

Para a simulação das águas residuais descarregadas, foram considerados vários cenários com três concentrações de coliformes fecais de 10 000, 2 000 e 300 NMP/100 ml. Foram analisados os resultados obtidos para cada um dos cenários em situação de maré viva e maré morta, e para uma situação de maré vazia durante a noite e maré cheia durante o dia. Estes períodos são, respetivamente, onde se verificam as concentrações mais altas e mais baixas nos cenários simulados devido as condições hidrodinâmicas e variação da taxa de mortalidade dos coliformes com a radiação solar.

Observando os resultados obtidos para a situação de maré morta sobressai o facto de a pluma de coliformes associada a ETAR de Faro Nascente se encontrar limitada ao canal no qual é feita a descarga, sendo inativada antes de ser transportada para fora desse canal. Os resultados obtidos para a situação de maré viva diferem dos acima observados em maré morta, principalmente ao nível da extensão da pluma de coliformes, a qual como seria expectável se estende por uma área maior devido ao aumento das zonas submersas na Ria. Nesta situação a pluma da ETAR de Faro Nascente já não se encontra confinada, saindo quer pelo canal onde é localizada a descarga, quer pelo canal a sul da descarga, entrando pelo canal de Olhão e, em alguns cenários pelo canal de Faro. De forma geral as concentrações máximas são também menores devido à maior dispersão.

Em síntese os resultados mostram que existe um compromisso entre valor de concentração e área afetada: no cenário 4 (toda a descarga em Faro/Olhão) as concentrações são mais altas, mas a pluma mantém-se confinada às imediações da zona de descarga (especialmente em maré morta) não afetando por isso de forma significativa os viveiros de bivalves identificados (todos na região de Olhão). De uma forma geral pode dizer-se que os fatores que afetam as concentrações associadas às plumas de coliformes fecais simuladas são, por ordem de importância, as concentrações iniciais da descarga, a radiação solar disponível, que por sua vez depende da altura do ano e do dia, e o local da descarga. No que respeita às concentrações de coliformes fecais na água, dependendo do local da descarga e da situação de maré, existem zonas cujo tempo de residência é significativo, visto as velocidades serem muito baixas.

4.6. Conclusões

Ao contrário da salinidade, a contaminação microbiológica não é uma propriedade conservativa, ou seja, uma propriedade cuja massa permanece constante durante a sua movimentação, mesmo quando sujeita a diluição. A concentração de coliformes fecais utilizada como indicador desta contaminação depende não só da diluição do sistema, mas também da inativação, que se deve principalmente ao efeito da radiação solar, bem como ao choque salino e ao efeito da temperatura. Isto mostra que as regiões com maior capacidade de diluição nem sempre correspondem àquelas em que o impacto da descarga microbiológica é melhor. Este facto é notório nestes estudos, onde se obtiveram regiões mais confinadas de plumas microbiológicas, embora com valores máximos de concentração superiores, no caso da descarga em Faro/Olhão em comparação com o que ocorre na descarga no Canal de Faro.

Na região associada à ETAR de Almagem, o modelo matemático permitiu prever que com a entrada em serviço da ETAR de Almagem e desativação da antiga ETAR de Tavira as concentrações de coliformes fecais no Rio Gilão diminuiriam substancialmente. As simulações com diversos locais alternativos para a descarga no Rio Almagem e no Canal de Cabanas mostraram que a descarga no meio do Canal de Almagem é mais vantajosa, estando a pluma confinada à região do interior do Canal de Almagem e não afetando a barra ou as zonas de águas balneares. Os locais de descarga a jusante agravam progressivamente a concentração bacteriana nas áreas mais próximas das águas balneares.

Na região de Faro/Olhão, relativamente à hidrodinâmica do sistema, existem diferenças significativas de velocidades quando se considera uma situação de maré morta ou de maré viva, mas o padrão de escoamento é o mesmo. As velocidades mais elevadas encontram-se nas barras, no canal principal de Faro e no canal principal de Olhão, resultando em menores tempos de residência nestas zonas, contudo, no canal onde se encontra a descarga da ETAR Faro/Olhão, o escoamento na situação de maré morta apresenta velocidades de canal muito baixas, o que sugere altos tempos de residência nesta área durante esta situação de maré. Esse facto condiciona o impacto em termos de salinidade produzido pelo lançamento de água doce.

Os estudos realizados na Ria Formosa nos últimos anos sobre as descargas das ETAR permitiram a caracterização global do ecossistema em termos da influência antropogénica (resultante da atividade humana) e da atividade trófica (cadeia alimentar) das áreas de estudo e no desenvolvimento de modelos que descrevem os processos que impactam a qualidade da água nestes locais. Os estudos deram

resposta a questões de curto prazo – apoio à remodelação / construção de ETAR e avaliação do seu impacto ambiental no meio recetor – e questões esperadas a médio prazo, nomeadamente as decorrentes das obrigações das autoridades portuguesas para com União Europeia devido à aplicação de diretivas relacionadas com águas residuais (Diretiva Água, Diretiva Águas Balneares e Diretiva Tratamento de Águas Residuais Urbanas e Diretivas Água para Produção Conquícola).

Referências para leitura adicional

- Allen C.M., 1982. Numerical simulation of contaminant dispersion in estuary flows. Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 381(1780):179-194
- Davis, M., 2010. Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice. McGraw-Hill Education, New York.
- MARETEC, 2018. MOHID. Online available at: <http://www.mohid.com>
- Martins, F., Pina, P., Calado, S., Delgado, S. & Neves, R., 2003. A coupled hydrodynamic and ecological model to manage water quality in Ria Formosa coastal lagoon. Advances in Ecological Sciences 18:93-100.
- Martins, F., Reis, M., Neves, R., Cravo, A., Brito, A. & Venâncio, A., 2006. Molluscan Shellfish bacterial contamination in Ria Formosa coastal lagoon: A modelling approach. Journal of Coastal Research 39:1551-1555.

5. A importância do mundo invisível dos micróbios na Ria Formosa

Pedro J. Mendes¹, Helena M. Galvão¹, Sandra M. Caetano¹, John D. Icely¹ & Alice Newton¹

¹ CIMA – Centro de Investigação Marinha e Ambiental, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005–139 Faro, Portugal
pamendes@ualg.pt; hgalvao@ualg.pt; smcaetano@ualg.pt; jicely@ualg.pt; anewton@ualg.pt

5.1. Qual o papel dos micróbios nos fluxos de energia no mar?

Com o desenvolvimento da microscopia de epifluorescência e técnicas sensíveis de radioisótopos na década de 1970, a abundância e atividade de microrganismos pôde ser observada e estudada em águas marinhas. Estas observações resultaram num novo conceito de rápida transferência e reciclagem de matéria orgânica através de um ciclo microbiano, o "microbial loop", ilustrado na Figura 5.1.

O carbono (C) entra nesse ciclo ao ser convertido em matéria orgânica por microrganismos fotossintéticos (a chamada produção primária), com perdas por exsudação de matéria orgânica dissolvida (MOD), que é incorporada por bactérias heterotróficas. Os organismos heterotróficos necessitam de consumir matéria orgânica, ao contrário dos organismos autotróficos, que a produzem através da fotossíntese ou da quimiossíntese. Os protistas fagotróficos (microrganismos compostos de uma única célula sem núcleo, que devoram as suas presas inteiras), por sua vez, ingerem protistas autotróficos e bactérias. Quando um organismo devora outro, o processo leva necessariamente a perdas de matéria orgânica dissolvida, que retorna ao ciclo. A isto chama-se "alimentação desleixada". A matéria orgânica dissolvida é remineralizada por todos os microrganismos, transformando-se em nutrientes inorgânicos dissolvidos, que são absorvidos por microrganismos

autotróficos e heterotróficos. Assim, todo este ciclo microbiano funciona como um coletor dinâmico de carbono, sendo responsável por mais de 90% do carbono fixado por produção primária nas águas da Ria Formosa.

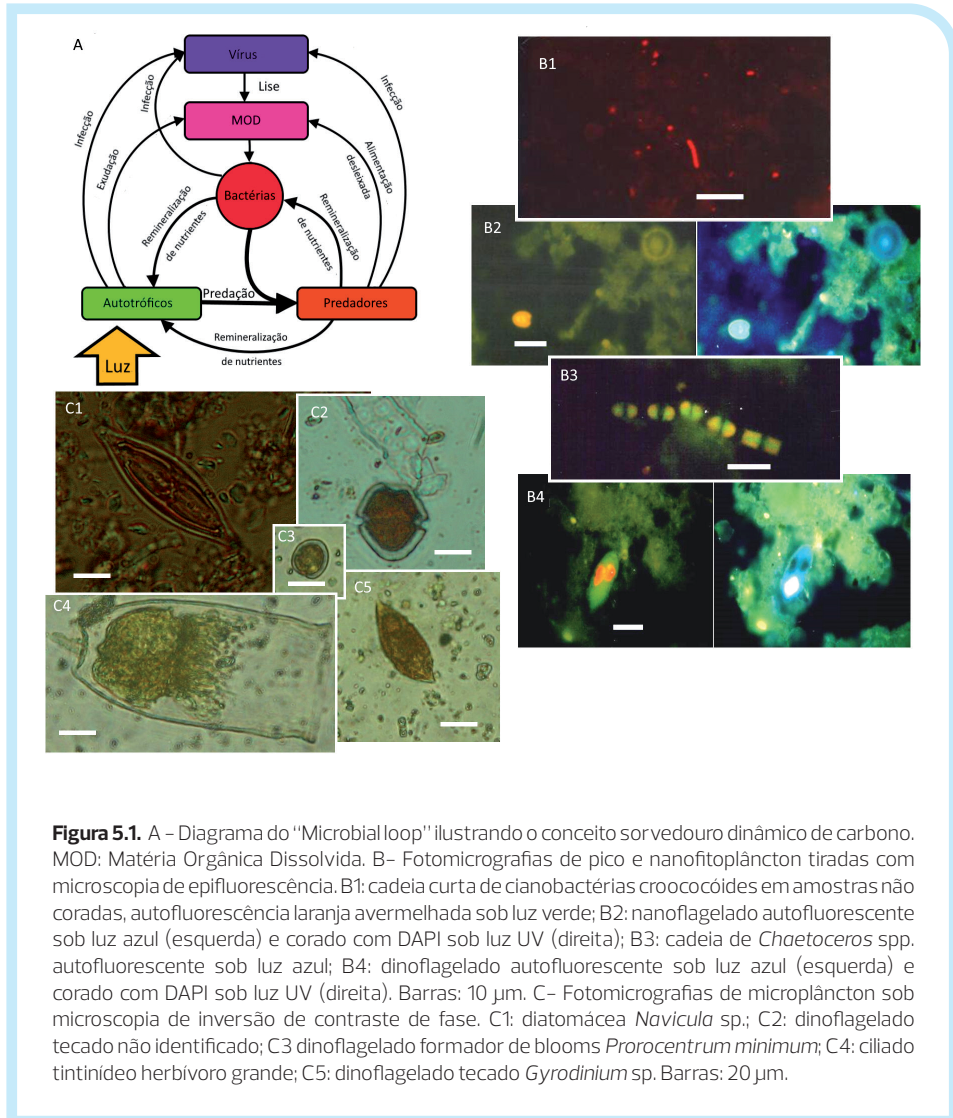


Figura 5.1. A - Diagrama do "Microbial loop" ilustrando o conceito sorvedouro dinâmico de carbono. MOD: Matéria Orgânica Dissolvida. B- Fotomicrografias de pico e nanofitoplâncton tiradas com microscopia de epifluorescência. B1: cadeia curta de cianobactérias crococóides em amostras não coradas, autofluorescência laranja avermelhada sob luz verde; B2: nanoflagelado autofluorescente sob luz azul (esquerda) e corado com DAPI sob luz UV (direita); B3: cadeia de *Chaetoceros* spp. autofluorescente sob luz azul; B4: dinoflagelado autofluorescente sob luz azul (esquerda) e corado com DAPI sob luz UV (direita). Barras: 10 µm. C- Fotomicrografias de microplâncton sob microscopia de inversão de contraste de fase. C1: diatomácea *Navicula* sp.; C2: dinoflagelado tecado não identificado; C3: dinoflagelado formador de blooms *Prorocentrum minimum*; C4: ciliado tintinídeo herbívoro grande; C5: dinoflagelado tecado *Gyrodinium* sp. Barras: 20 µm.

O papel dos vírus marinhos não está ainda completamente compreendido, embora se saiba que as lises virais (a destruição de uma célula infectada por um

vírus) promovem fluxos biogeoquímicos (fluxos de elementos químicos entre a água, sedimento e atmosfera, mediados por organismos) libertando tanto MOD como matéria orgânica particulada.

5.2. Comunidade fitoplanctónica

Fitoplâncton é um termo generalista para a comunidade de microrganismos fotossintéticos que habitam as águas superficiais e varia em tamanho entre 0,2 e 230 micrómetros, ou milésimos de milímetro (Caixa 5.1). Produz mais de metade do oxigénio contido na atmosfera e constitui a base de todas as teias alimentares em águas superficiais.

O sistema lagunar da Ria Formosa (Figura 5.2), no Algarve, fazendo fronteira com o Oceano Atlântico, é o mais sudoeste dos sistemas lagunares europeus. Tem uma amplitude de maré que varia entre 1,3 metros nas marés mortas e 3,4 metros nas marés vivas, ou seja, um regime mesomareal. Com uma rede de sapais, areais, e canais de maré de importância ecológica reconhecida internacionalmente, a Ria Formosa é também de importância nacional para a indústria pesqueira e da aquacultura.

Este estudo apresenta dados sobre a produção primária e bacteriana na Ria Formosa, assim como informação sobre a estrutura da comunidade fitoplanctónica, em três estações de amostragem, representando diferentes zonas do sistema lagunar: a barra artificial aberta em 1997, antes deste estudo (B na Figura 5.2), um canal de maré principal (P na Figura 5.2) e um canal de maré secundário (R na Figura 5.2), que drena uma zona de sapal e o efluente da Estação de Tratamento de Água Urbana de Faro.

Caixa 5.1 – Quais são as gamas de tamanhos de plâncton microbiano?

Existem 4 classes de tamanho de plâncton microscópico:

1. Ultra ou virioplâncton (<0,2 micrómetro): vírus e bactérias muito pequenas
2. Picoplâncton (0,2 – 2 micrómetro): bactérias heterotróficas e autotróficas (fotossintéticas)
3. Nanoplâncton (2 – 20 micrómetro): nanoflagelados heterotróficos e autotróficos, pequenas diatomáceas
4. Microplâncton (20 – 200 micrómetro): diatomáceas, dinoflagelados, cílios.

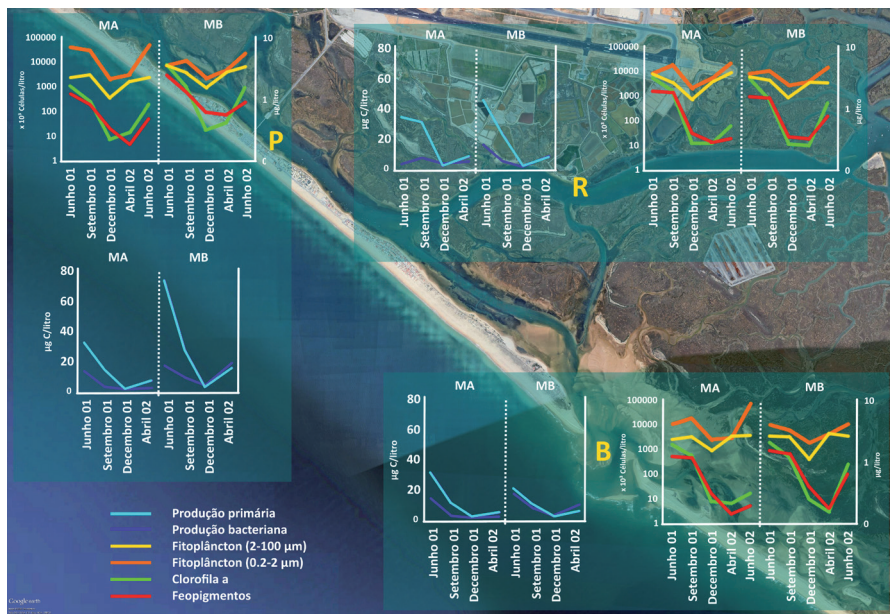


Figura 5.2. Localização das estações de amostragem (P- Ponte, B- Barra, R- Ramalhete) e respetiva variação sazonal de fitoplâncton de duas frações de tamanho diferentes (0,2-2 micrômetros e 2-100 micrômetros), Pigmentos fotossintéticos (clorofila e feopigmentos), produção bacteriana (PB), produção primária (PP).

A estratégia de amostragem visou avaliar a dinâmica microbiana durante condições extremas de maré ao longo do ano: as marés mortas próximas ao solstício de verão (junho) e inverno (dezembro) e as marés vivas durante os equinócios do outono (setembro) e da primavera (abril), entre 2001 e 2002. As amostras de água foram colhidas durante o dia na maré alta, vazante média, maré baixa e enchente média das estações Barra, Ponte e Ramalhete (B, P e R na Figura 5.2).

Nas contagens microscópicas, as células fitoplânctónicas foram separadas em duas frações de tamanho medidas em micrómetros, ou milésimos de milímetro: 0,2-2 micrómetros - picoplâncton (cianobactérias e picoflagelados); 2-200 micrómetros - nanoplâncton e micropoplâncton pequeno (nanoflagelados, dinoflagelados, diatomáceas e alguns ciliados autotróficos (ver fotomicrografias na Figura 5.1B). Os volumes celulares para determinação de biomassa, foram medidos seguindo as fórmulas da Caixa 5.2.

Caixa 5.2 – Como é determinado o volume e conteúdo de carbono das células fitoplanctônicas?

Os biovolumes são calculados com base em formas tridimensionais predefinidas e respectivas fórmulas geométricas. As medidas das dimensões lineares são feitas com uma escala micrométrica calibrada na ocular do microscópio. O conteúdo de carbono (CC) é estimado a partir do volume celular médio usando equações não lineares. A biomassa total é calculada multiplicando o CC pela abundância.

Para determinar o número total de bactérias e biomassa bacteriana um mínimo de 300 bactérias heterotróficas (sem a presença de pigmentos fotossintéticos) e 25 campos de visão foram contados. As dimensões celulares de 50 bactérias selecionadas aleatoriamente, foram medidas em cada amostra.

A abundância de fitoplâncton, mostrou diferenças significativas entre a maré alta e a maré baixa. A Figura 5.2 mostra que as flutuações sazonais na abundância de fitoplâncton não foram tão acentuadas como com a clorofila e feopigmento (dois grupos de pigmentos fotossintéticos estudados) com concentrações no inverno abaixo da metade das concentrações de verão.

Relativamente às variações na abundância de diferentes grupos fitoplanctônicos, as cianobactérias (bactérias fotossintéticas) foram os organismos mais numerosos em todas as estações de amostragem, tanto na maré alta como na maré baixa; os picoflagelados (tamanho menor que 2 micrómetros) foram mais numerosos que os nanoflagelados (menores que 20 micrómetros) na Ponte, mas menos numerosos na Barra e Ramalhete; os dinoflagelados (protistas fotossintéticos ou heterotróficos) e os ciliados (protozoários revestidos de cílios) foram os grupos menos abundantes. A variabilidade geral foi maior na maré alta que na maré baixa para cianobactérias, picoflagelados, dinoflagelados e ciliados. Pelo contrário, os nanoflagelados e as diatomáceas, variaram mais na maré baixa.

Relativamente às flutuações sazonais, típicas nos grupos fitoplanctônicos, os números baixaram no inverno e aumentaram durante a primavera-verão, principalmente para cianobactérias e picoflagelados; dinoflagelados e ciliados apareceram geralmente em números baixos, sem qualquer padrão sazonal ou espacial evidente. Uma comparação de abundância sazonal de grupos fitoplanctônicos e clorofila

mostrou correlações nas três estações de amostragem, enquanto as diatomáceas pareceram ter uma correlação mais significativa com feopigmentos.

Relativamente à biomassa dos diferentes grupos fitoplanctónicos, as diatomáceas (protistas fotossintéticos com frústulas de sílica) exibiram a maior biomassa média em todas as estações de amostragem; a biomassa média de dinoflagelados e nanoflagelados foi semelhante entre si; as cianobactérias foram sempre o grupo mais abundante, mas, devido ao pequeno tamanho das células, apresentaram baixa biomassa; os picoflagelados apresentaram a menor biomassa.

Várias tendências podem ser verificadas com base na análise microscópica da comunidade fitoplanctónica:

- a) Geralmente, a abundância de fitoplâncton foi maior durante a maré alta do que durante a maré baixa, mas a biomassa total média foi, durante a maré alta, metade do valor durante a maré baixa. Isto foi devido à alta variabilidade abundância de picofitoplâncton e explica a falta de correlação entre a biomassa derivada da clorofila e a biomassa derivada da análise microscópica, resultando numa sobrestimação do teor de carbono na fração de menor tamanho (0,2–2 micrómetros). De facto, a biomassa observada foi 5,5 vezes maior que a biomassa calculada, resultando numa proporção C:Chl (razão entre carbono e clorofila) de 275 em vez da proporção clássica de 50;
- b) Os padrões sazonais na estrutura da comunidade fitoplanctónica incluíram uma florescência (ou "bloom") de verão, de cianobactérias oceânicas, na Barra. Houve também uma predominância de diatomáceas bentónicas durante o verão. Espécies de dinoflagelados e ciliados (principalmente *Myrionecta rubra*) que ocorrem durante os "blooms" de verão na Barra, foram tipicamente oceânicas e pareciam ter sido transportadas para a costa;
- c) Houve uma correlação significativa entre os padrões sazonais de clorofila e abundância e biomassa de diatomáceas. De facto, as diatomáceas contribuíram com uma média geral de 53% da biomassa fitoplanctónica e 35% da biomassa total durante a maré baixa;
- d) Os dinoflagelados grandes, foram geralmente mais abundantes durante a maré alta nas 3 estações de amostragem, contribuindo com uma média geral de 35% para a biomassa total durante a maré alta e apenas 16% durante a maré baixa. Os nanoflagelados (2–20 micrómetros) contribuíram com uma média geral de 25% para a biomassa total do fitoplâncton, independentemente da maré.

Estas tendências são explicadas pelo regime hidrodinâmico da Ria Formosa. Na área ocidental do sistema lagunar, que inclui todas as estações de amostragem, 80% da troca de água ocorre através das barras de Faro–Olhão e Armona. A influência da barra artificial aberta em 1997 (estação Barra) é evidente. Água da enchente parece reduzir a entrada de água do canal do Ramalhete no canal principal, permitindo uma troca rápida e substancial de água entre as estações da Barra e Ponte durante o ciclo de maré. Isto reduz a troca de água entre a estação Ramalhete e as outras estações de amostragem. Esse hidrodinamismo explica a diferença entre a comunidade fitoplanctónica no Ramalhete, no canal secundário, e na Ponte e na Barra mais expostas à influência oceânica.

5.3. Fluxos de energia ou carbono

A produção primária de fitoplâncton e a produção bacteriana foram determinadas usando traçadores radioativos. A produção bacteriana foi determinada usando a incorporação pela comunidade bacteriana de um aminoácido (leucina) marcado com carbono-14. A produção primária foi determinada pela incorporação durante a fotossíntese de bicarbonato marcado com carbono-14.

A Figura 5.2 mostra a variação de indicadores típicos para análise de fluxos de carbono: o número total de bactérias, biomassa bacteriana, biomassa fitoplanctónica, produção bacteriana e produção primária fitoplanctónica. O crescimento bacteriano é calculado pela razão entre a produção e a biomassa bacterianas. O crescimento fitoplanctónico é calculado pela razão entre a produção e a biomassa fitoplanctónica. Foi também calculada a demanda bacteriana de carbono e a quantidade de carbono necessária para sustentar a comunidade bacteriana.

O número total de bactérias, biomassa bacteriana, produção bacteriana e demanda bacteriana de carbono foram consistentemente maiores ao longo do ano na maré baixa na Barra, com um padrão semelhante na Ponte, mas não no Ramalhete. Estes resultados indicam uma exportação constante da comunidade e atividade bacterianas dos canais de maré secundários para os canais de maré principais e zona costeira.

No verão e outono, a produção bacteriana no sistema lagunar foi superior à maioria dos valores publicados para outros estuários e sapais, e a comunidade bacteriana não parece estar limitada por alimento.

A produção e biomassa fitoplanctónicas foram consistentemente mais baixas na maré alta do que na maré baixa.

Na primavera, houve um aumento na produção primária e produção bacteriana, mas sem correlação significativa (Figura 5.2), sugerindo não haver acoplamento

entre produção primária e produção bacteriana na primavera. No entanto, a comunidade bacteriana parece estar fortemente limitada pela disponibilidade de carbono orgânico dissolvido.

A produção primária supriu quase 90% da demanda bacteriana de carbono no verão, cerca de 46% no outono, cerca de 12% no inverno e 18% na primavera. O restante carbono dissolvido teve que ser fornecido pela "alimentação desleixada" dos protistas, ou por fontes de origem terrestre, como esgotos não tratados ou escoamentos agrícolas. Em águas costeiras produtivas, 49% a 65% da produção bacteriana é consumida por protistas, e mais de 50% da biomassa das presas é perdida pela "alimentação desleixada", fornecendo o restante carbono dissolvido necessário para a demanda bacteriana de carbono. O papel das bactérias como consumidores de matéria orgânica dissolvida de origem terrestre só foi significativo durante as estações frias.

As variações anuais na razão entre a demanda bacteriana de carbono e a produção primária indicam que a Ria Formosa muda de um estado fortemente autotrófico no verão e outono para um estado heterotrófico no inverno e primavera, explicado pela limitação do fitoplâncton pela luz durante o inverno, enquanto no verão há um aumento da luz e da temperatura.

As diferenças na comunidade fitoplanctônica explicam as variações de produção primária na maré alta e maré baixa entre Ramalhete e outras estações. Além disso, a renovação da água é maior na Barra e Ponte do que no Ramalhete que, escoando uma ETAR (Figura 5.2), é consideravelmente mais vulnerável ao impacto humano. Quando o sistema lagunar muda de autotrófico para heterotrófico durante a estação fria, aumenta o papel das bactérias como consumidores de matéria orgânica dissolvida e remineralizadores, um importante processo de autodepuração em águas naturais.

5.4. Avaliação do estado trófico

Relatórios anteriores de eutrofização (medida de poluição por nutrientes e matéria orgânica) atribuíram à Ria Formosa um estado mau ou excelente, dependendo dos critérios de classificação.

Para reconciliar diferenças na avaliação do estado trófico em águas interiores e sistemas lagunares, foi proposta a medição da contribuição relativa dos componentes autotróficos e heterotróficos do pico-nano e microplâncton (0,2–200 micrômetros) para a produção aquática, que pode ser estimada através da comparação da produção bacteriana e da produção fitoplanctônica.

Usando a produção fitoplanctónica anual estimada na Ria Formosa, assumindo uma coluna de água bem misturada e eufótica, a Ria Formosa pode ser considerada eutrófica, um resultado que indica um elevado impacto humano.

Usando o Índice de Estado Trófico, baseado na concentração de clorofila, a Ria Formosa pode ser classificada como mesotrófica, atingindo um valor de 47 numa escala de 1-100, um resultado que indica pouco impacto humano.

Para a implementação da Diretiva-Quadro Água da União Europeia, foram determinadas condições de referências e valores de fronteira nas águas costeiras e de transição portuguesas, bem como em sistemas lagunares em locais de referência selecionados. O Estado Ecológico da Ria Formosa conforme o definido pela Diretiva-Quadro Água pode ser considerado "bom", ou pouco impactado.

Em conclusão, a avaliação da eutrofização, ou estado ecológico, no sistema lagunar da Ria Formosa produziu resultados ambíguos, se não contraditórios, ao utilizar diferentes índices e sistemas de classificação. Idealmente, a eutrofização deve ser determinada a partir de processos microbianos, em vez de stocks permanentes (valores pontuais de números ou biomassas).

Referências para leitura adicional

- Barbosa, A. B., 2010. Seasonal and interannual variability of planktonic microbes in a mesotidal coastal lagoon (Ria Formosa, SE Portugal) – Impact of climatic changes and local human influences. In: Kennish, M.J., Paerl, H.W. (Eds.) Coastal Lagoons: Critical Habitats of Environmental Change. CRC Press, pp. 334–366.
- Domingues, R.B., Guerra, C.C., Barbosa, A.B. & Galvão, H.M., 2015. Are nutrients and light limiting summer phytoplankton in a temperate coastal lagoon? *Aquatic Ecology* 49: 127–146.
<https://dx.doi.org/10.1007/s10452-015-9512-9>
- Domingues, R.B., Guerra, C.C., Barbosa, A.B., & Galvão, H.M., 2017. Will nutrient and light limitation prevent eutrophication in an anthropogenically-impacted coastal lagoon? *Continental Shelf Research* 141: 11–25.
<https://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2017.05.003>
- Fenchel, T., 2008. The microbial loop – 25 years later. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 366: 99–103.
<https://doi.org/10.1016/j.jembe.2008.07.013>
- Newton, A., Icely, J.D., Falcão, M., Nobre, A., Nunes, J.P., Ferreira, J.G. & Vale, C., 2003. Evaluation of eutrophication in the Ria Formosa coastal lagoon, Portugal. *Continental Shelf Research* 23: 1945–1961.
<https://doi.org/10.1016/j.csr.2003.06.008>

6. De cliques a exuberâncias, de macroalgas a nutrientes: histórias de ritmos, equilíbrios e fotografias na Ria Formosa

Jaime Anibal^{1,2}

¹ CIMA – Centro de Investigação Marinha e Ambiental,
Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005–139 Faro, Portugal

² Departamento de Engenharia Alimentar, Instituto Superior de Engenharia,
Universidade do Algarve, Campus da Penha, 8005–139 Faro, Portugal
janibal@ualg.pt

6.1. Começando com um clique...

A História da Ciência é a soma das histórias dos homens e mulheres que para ela contribuíram. Eles passaram as suas vidas angariando Informação, que uma vez tratada transforma-se em Conhecimento, o qual é compilado em artigos e livros. Muitas histórias da Ciência começam com um grande estrondo, mas esta história começou com um humilde clique.

Numa fria manhã de inverno de 1988, um homem muito alto permanecia imóvel e sozinho numa estrada ventosa, tirando fotografias durante a maré baixa, aparentemente a nada de especial, tendo como pano de fundo uma zona lamosa de sapal na Ria Formosa. Esse homem, chamado Martin Sprung, repetiu esse singular ritual mensal, durante vários anos, sempre no mesmo local. Martin era um zoólogo alemão, que veio para o Algarve nos anos 80, para implementar um projeto luso-alemão com o objetivo de estudar a biologia da Ria Formosa. Esse projeto foi muito importante no desenvolvimento da licenciatura em Biologia Marinha e Pescas, na recém-criada Universidade do Algarve.

Ao fim de dois anos de fotografias mensais, um padrão inesperado e desconcertante começou a emergir: depois das primeiras chuvas de outono ocorria um “bloom” de mantos de macroalgas verdes (Caixa 6.1), que atingiam o seu máximo durante o inverno e que desapareciam gradualmente durante a primavera seguinte, sendo quase inexistentes durante os meses de verão.

Caixa 6.1 – Macroalgas e “blooms”

Macroalgas são organismos pluricelulares e que realizam a fotossíntese, visíveis a olho nu, mas que não têm diferenciação de tecidos, tais como raízes, caules ou folhas.

“Bloom” é uma expressão inglesa que define uma proliferação rápida e abundante de material biológico, que em Português tem um sinónimo na palavra “exuberância”.

Infelizmente, todas as fotografias que foram tiradas entre 1988 e 1994 perderam-se após o trágico acidente que vitimou Martin Sprung em 2003. Este capítulo apresenta a investigação que foi realizada posteriormente, de forma a encontrar as peças perdidas que permitem resolver o puzzle do incomum padrão das macroalgas verdes da Ria Formosa. Tal como uma Ópera, esta história também está dividida em três atos: *Qual* é a dinâmica anual das macroalgas verdes na Ria Formosa; *Onde* ocorrem as exuberâncias das macroalgas; *Porque* ocorrem estes fenómenos...

Ato 1: *Qual é a dinâmica anual das macroalgas verdes na Ria Formosa?*

De forma a entender as questões relacionadas com esta incomum exuberância de macroalgas verdes, durante o inverno, na região oeste da Ria Formosa (ao longo da praia de Faro), vários estudos científicos foram realizados durante um período de mais de 20 anos, de 1996 a 2018.

Num estudo realizado entre fevereiro de 1996 e fevereiro de 1997, a dinâmica das macroalgas, observada empiricamente em 1990, foi pela primeira vez quantificada. A cobertura do sedimento pelas macroalgas verdes atingiu o pico nos meses de inverno, diminuiu durante a primavera, quase desapareceu no verão e voltou a florescer no outono. No mesmo estudo, as macroalgas verdes foram identificadas

como pertencentes à Ordem Ulvales e aos Géneros *Ulva* e *Enteromorpha*. Embora morfológicamente distintos, ambos os géneros de macroalgas verdes coexistiram nos mesmos habitats. A alga *Ulva* tem aparência de um leque, enquanto a alga *Enteromorpha* apresenta uma forma filamentosa, semelhante a um emaranhado de cabelos (Figura 6.1).

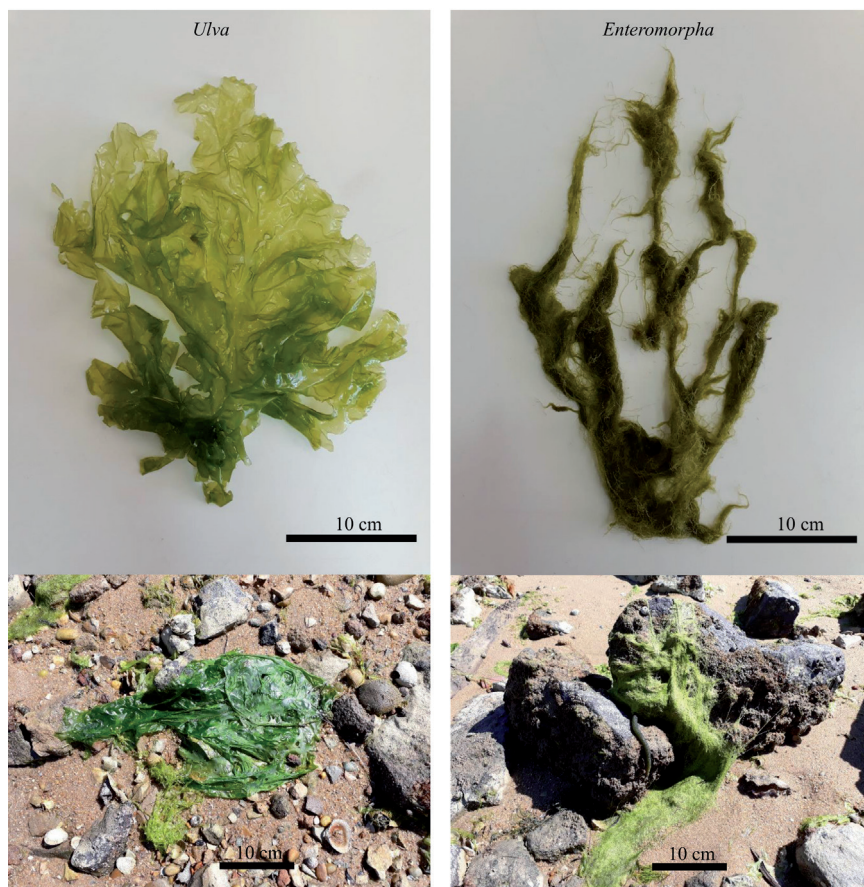


Figura 6.1. Macroalgas verdes dos géneros *Ulva* e *Enteromorpha*. A barra de escala corresponde a 10 centímetros (Fotografias por Jaime Anibal, 2018).

A biomassa das macroalgas acompanhou a dinâmica da cobertura sedimentar, com valores mais altos nos meses de inverno e outono e valores mais baixos no final da primavera e início do verão. Após valores mínimos de biomassa durante os meses de verão, a nova exuberância de algas Ulvales ocorreu no final de setembro, após as primeiras fortes chuvas de outono. Embora a biomassa média anual da alga *Enteromorpha* tenha exibido uma dominância clara sobre a alga *Ulva*, ambas seguiram uma dinâmica temporal semelhante.

Em outro estudo de campo realizado entre 1999 e 2001 foi observada a mesma dinâmica das algas Ulvales, quer em relação aos gêneros de macroalgas envolvidos, quer em relação às suas biomassas observadas.

Ato 2: Onde ocorrem as exuberâncias das macroalgas?

Embora as lamas e areias adjacentes à praia de Faro pareçam relativamente planas e rasas, um olhar mais atento revela outra realidade geomorfológica. Os rasos, inundados periodicamente pelas marés, são uma sucessão de zonas côncavas e convexas, especialmente nas áreas lamosas.

Uma pesquisa realizada na mesma área de estudo, em 2001, mostrou uma clara distinção sedimentológica entre zonas convexas e côncavas. As zonas côncavas apresentaram maior percentagem de sedimentos lamosos, conteúdo de água e matéria orgânica. Por outro lado, as zonas convexas apresentaram maior composição em sedimentos argilosos. Estes resultados apoiaram o desenho experimental dos estudos implementados para resolver a pergunta que se segue.

Ato 3: Porque ocorrem estes fenómenos?

A partir do momento em que o fenómeno invulgar relacionado com as macroalgas verdes foi caracterizado, foram criadas as bases para a realização de estudos mais detalhados e específicos.

Organismos fotossintéticos, como as macroalgas verdes, vivem na superfície dos sedimentos. Os seus ciclos de vida e dinâmicas podem ser limitados por dois tipos de fenómenos: "controlo de cima para baixo" feito por herbívoros, *versus* "controlo de baixo para cima" realizado pela disponibilidade de nutrientes e outros fatores abióticos.

Como Martin Sprung era um zoólogo de formação, a hipótese inicial concentrou-se obviamente no potencial herbívoro da macroepifauna (Caixa 6.2) sobre as macroalgas verdes ("controlo de cima para baixo").

O estudo do potencial controlo realizado pela macroepifauna sobre as macroalgas verdes foi baseado na seguinte hipótese: normalmente o ciclo de vida dos animais está relacionado com as estações do ano; as espécies animais começam a aumentar em número durante a primavera, atingem o máximo de abundância e biomassa durante o verão e começam a diminuir durante o outono; se esses animais alimentarem-se das macroalgas, o único período do ano em que as macroalgas podem florescer é durante o período de inverno, porque corresponde aos mínimos de abundância e biomassa da macroepifauna.

Caixa 6.2 – Macroepifauna

Organismos visíveis a olho nu e maiores que 0,5 milímetros (macro), que vivem na superfície dos sedimentos (epi) e que pertencem ao Reino Animal (fauna).

O objetivo deste estudo foi avaliar o impacto da herbivoria, realizada pela macroepifauna, sobre as macroalgas verdes presentes nas zonas entremarés da região oeste da Ria Formosa. O levantamento anual realizado em 1996–1997 permitiu identificar e quantificar, além dos géneros de algas Ulvales, 44 espécies de macroepifauna.

Nas regiões lamosas, havia uma clara distinção entre as zonas convexa e côncava. As zonas convexas foram caracterizadas por maior biomassa de algas Ulvales, mas menos espécies de macroepifauna e menor biomassa faunística, e com uma clara dominância de uma espécie de um pequeno búzio (*Hydrobia ulvae*). Por outro lado, as zonas côncavas do sedimento apresentaram menor biomassa de algas Ulvales, mas uma macroepifauna mais diversa, dominada por búzios de maiores dimensões (p. ex. *Gibbula umbilicalis*, *Cerithium vulgatum*, *Nassarius pfeifferi*, *Haminoea navicula*), caranguejos (*Carcinus maenas*) e outros crustáceos (*Melita palmata*).

O facto mais interessante foi que a dinâmica das macroalgas e da macroepifauna não era complementar, como esperado na nossa hipótese original, mas quase concordante nas dinâmicas de biomassa e abundância ao longo das várias estações do ano. Quase todas as espécies de macroepifauna apresentaram tendências semelhantes às das macroalgas verdes, mas por razões diferentes. Das espécies de macroepifauna associadas às algas, quase todas são detritívoras, possivelmente porque o detrito de algas é mais facilmente assimilado pelo sistema gástrico dos

organismos, uma vez que já é condicionado por microrganismos. Algumas espécies não se alimentam propriamente das macroalgas, mas sim das microalgas que vivem na superfície nos seus tecidos (p. ex. *Hydrobia ulvae*), e outras espécies de macroepifauna apenas buscam refúgio de seus predadores (p. ex. peixes juvenis), ou de condições abióticas adversas (p. ex. desidratação e altas temperatura durante a baixa-mar).

Para confirmar essas evidências, foi realizado um estudo laboratorial de herbivoria em 1999. Os principais potenciais herbívoros (as sete espécies mencionadas anteriormente que dominavam a macroepifauna) foram escolhidos entre as 44 espécies identificadas, levando em consideração seus altos valores de biomassa ou abundância. Curiosamente, nenhuma dessas espécies apresentou grande interesse em consumir macroalgas verdes.

Concluindo, as áreas entremarés da Ria Formosa são sistemas com baixa taxa de herbivoria sobre Ulvales, o que significa que estas macroalgas não são controladas de "cima para baixo". Estes resultados são semelhantes aos obtidos em outros sistemas ecológicos similares, como o estuário do Mondego ou a lagoa de Veneza. Nestes sistemas a produção primária de macroalgas verdes é controlada pela disponibilidade de nutrientes e condições climáticas favoráveis, que corresponde ao paradigma do "controlo de baixo para cima".

Entre 1999 e 2001, outro estudo realizado na mesma área da Ria Formosa permitiu avaliar quais fatores abióticos eram dominantes no controlo da dinâmica de algas Ulvales: temperatura (água, sedimentos e ar), chuva, radiação solar, características sedimentares (matéria orgânica, teor de água e porosidade) e nutrientes da água intersticial (nitratos, amónia e fosfatos). Após recolher e analisar todos os dados de campo e de laboratório, a dinâmica das macroalgas verdes parecia ser controlada por dois momentos-chave: 1) o início da exuberância e 2) o decaimento da exuberância. O ponto de partida da exuberância de Ulvales parece ser originado pela conjugação de redução de temperatura, redução do fotoperíodo, chuvas intensas e altas concentrações de nutrientes no sedimento. Por outro lado, o decaimento da exuberância parece estar relacionado com o aumento da temperatura (que origina dessecação), o aumento da radiação solar e fotoperíodo (provoca fotoinibição) e a diminuição da humidade relativa do ar (agrava a dessecação). É importante notar que o fósforo foi o nutriente limitante quando comparado ao azoto, tornando diminuta a concentração de fosfato na água intersticial dos sedimentos, um recurso nutritivo primordial para os produtores primários. Outra observação marcante foi o facto dos nitratos parecerem ter concentrações mais altas nas camadas mais profundas dos sedimentos, o que pode indicar a presença de descargas submarinas de águas subterrâneas.

Nesse tipo de ambiente entremarés, as macroalgas não são os únicos organismos fotossintéticos, com estratégias de vida oportunistas. Juntamente com as macroalgas verdes, os microfitobentos (Caixa 6.3) estão competindo pelos mesmos recursos abióticos e nutricionais.

Caixa 6.3 – Microfitobentos

Organismos menores que 0,5 milímetros (micro), que realizam fotossíntese (fito) e que vivem nos sedimentos (bentos).

Na Ria Formosa, a principal fonte de nutrientes para os produtores primários bentônicos é a remineralização sedimentar, o que significa que os nutrientes vêm de baixo e não da coluna de água, por cima dos sedimentos. Como o microfitobentos vive nos primeiros milímetros do sedimento, está numa posição privilegiada para absorver os nutrientes antes dos outros organismos fotossintéticos (por exemplo as macroalgas), que vivem apenas na superfície do sedimento.

Resumindo, a partir das conclusões do trabalho de campo, realizado em 1996–1997, foi possível deixar de considerar a herbivoria como um fator controlador da dinâmica de Ulvales. A pesquisa de 1999–2001 permitiu reconhecer que, quando o aumento da remineralização bacteriana leva a uma rápida assimilação de nutrientes pelo microfitobentos, criando condições para o seu rápido desenvolvimento, as macroalgas verdes são impedidas de assimilar nutrientes e aumentar a sua biomassa. Conforme o microfitobentos prolifera, também aumenta a sua necessidade por mais nutrientes, até o ponto em que eles começam a diminuir, levando ao colapso do microfitobentos e ao seu posterior enterro. Esta nova fonte de matéria orgânica pode rapidamente ser remineralizada, aumentando as reservas de nutrientes no sedimento, criando finalmente disponibilidade de nutrientes para as macroalgas verdes e condições para o início da sua exuberância.

6.2. Terminando com um clique...

Esta história de exuberâncias e macroalgas começou com um clique e também acaba com um clique. De forma a atingir este objetivo, fotografias mensais foram tiradas de dezembro de 2016 a junho de 2018, perto da ponte que dá acesso à Praia de Faro (Figura 6.2).

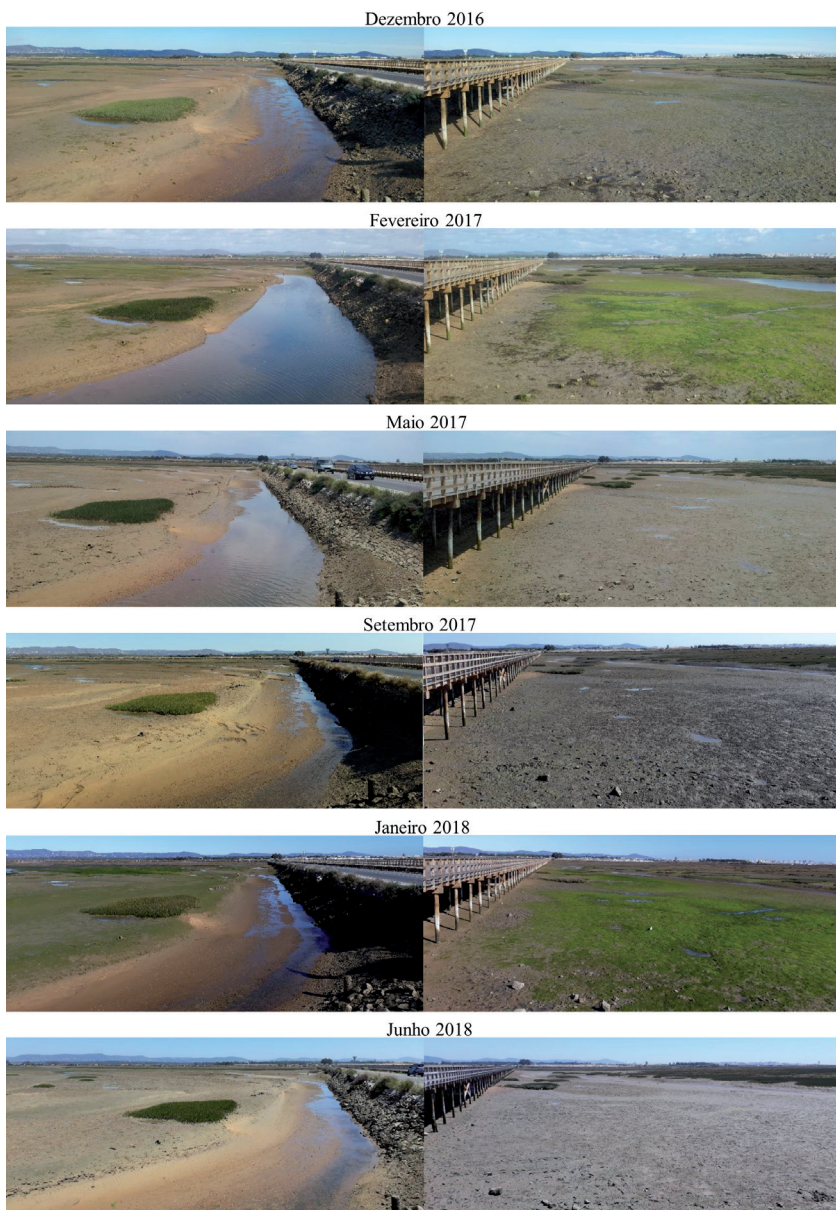


Figura 6.2. Cobertura sedimentar de macroalgas verdes desde dezembro de 2016 a junho de 2018. Fotografias tiradas nos lados oeste (esquerda) e este (direita) da estrada que dá acesso à ponte da Praia de Faro (Fotografias por Jaime Anibal, 2018).

Como esperado, a dinâmica das algas Ulvales seguiu uma variação sazonal muito marcada, com exuberâncias durante o inverno e verões quase sem biomassa de macroalgas. Uma vez mais, o início da exuberância de algas Ulvales ocorreu a seguir às primeiras chuvas intensas de outono ou inverno. Esta dinâmica foi especialmente evidente na última exuberância apresentada na figura anterior. O outono de 2017 foi particularmente seco e as primeiras chuvas apenas ocorreram durante o mês de janeiro de 2018; passadas duas semanas, a exuberância de algas Ulvales materializou-se. No mês de março seguinte, a precipitação foi muito intensa e abundante, e uma semana depois a exuberância aumentou ainda mais.

A registo visual da dinâmica captada nas fotografias mostra claramente que a dinâmica das macroalgas verdes observada pela primeira vez em 1988, ainda ocorre atualmente, e provavelmente continuará a ocorrer no futuro.

Com um clique inicial, um puzzle foi inesperadamente revelado, e com um clique final, mais algumas peças foram adicionadas a um puzzle quase resolvido. Normalmente na Ciência, as questões que são levantadas depois de um trabalho concluído são mais numerosas do que aquelas que são objetivamente respondidas. Por conseguinte, este capítulo pode ser a base para uma série de futuros trabalhos, que poderão revelar explicações para as questões que estão ainda por responder.

6.3. Epílogo

Numa quente manhã de verão de 2018, um homem não muito alto permanecia imóvel numa estrada ventosa, tirando fotografias durante a maré baixa, aparentemente a nada de especial, tendo como pano de fundo uma zona lamosa de sapal na Ria Formosa. Esse homem manteve viva a curiosidade que levou Martin Sprung, 30 anos antes, ao mesmo local.

Muitas histórias da Ciência acabam com um grande estrondo, mas esta longa história de persistência e continuidade acabou com um humilde clique.

Referências para leitura adicional

- Aníbal, J., 1998. Impacte da macroepifauna sobre as macroalgas Ulvales (Chlorophyta) na Ria Formosa. Dissertação de Mestrado em Ecologia. Universidade de Coimbra, Coimbra, 73 p.
<http://hdl.handle.net/10400.1/2769>
- Aníbal, J., 2004. Processos ecológicos que controlam a dinâmica das macroalgas Ulvales (Chlorophyta) na Ria Formosa. Tese de Doutoramento em Ecologia. Universidade do Algarve, Faro, 151 p.
<http://hdl.handle.net/10400.1/1702>
- Aníbal J., 2019. Ecological dynamics of green macroalgae Ulvales in Ria Formosa: a tale of blooms and shapes. In: Aníbal, J., Gomes, A., Mendes, I. & Moura, D. (Eds.), Ria Formosa: Challenges of a coastal lagoon in a changing environment. Universidade do Algarve Editora, Faro, pp 83–98.
<http://hdl.handle.net/10400.1/14028>
- Aníbal, J., Rocha, C. & Sprung, M., 2007. Mudflat surface morphology as a structuring agent of algae and associated macroepifauna communities: a case study in Ria Formosa. *Journal of Sea Research* 57: 36–46.
<http://hdl.handle.net/10400.1/3494>
- Schories, D., Aníbal, J., Chapman, A.S., Herre, E., Isaksson, I., Lillebo, A.I., Pihl, L., Reise, K., Sprung, M. & Thiel, M., 2000. Flagging greens: hydrobiid snails as substrata for the development of green algal mats (*Enteromorpha* spp.) on tidal flats of North Atlantic coasts. *Marine Ecology Progress Series* 199: 127–136.
<http://www.int-res.com/articles/meps/199/m199p127.pdf>

7. Importância das plantas do sapal para reter os metais que chegam à Ria Formosa devido às atividades humanas

Manuela Moreira da Silva^{1,2,4}, Duarte Duarte^{1,3,4} & Luís Chicharo^{1,3,4}

¹ CIMA – Centro de Investigação Marinha e Ambiental, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal

² Instituto Superior de Engenharia, Universidade do Algarve, Campus Penha, 8005-139 Faro, Portugal

³ Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve, Campus Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal

⁴ Cátedra UNESCO-UALG em eco-hidrologia: água para os ecossistemas e sociedades
msanti@ualg.pt; dduarte@ualg.pt; lichichar@ualg.pt

7.1. Vegetação do sapal da Ria Formosa

Os sapais são ecossistemas costeiros, na transição entre a terra e o mar, que se caracterizam por ser colonizados por plantas vasculares superiores, herbáceas e arbustivas, que apresentam grande resistência à salinidade, e que por isso se designam de halófitas. Estas plantas desenvolveram ao longo do tempo estratégias de adaptação, que lhes permitem resistir a períodos de submersão, mais ou menos longos, consoante se localizam em baixo, médio ou alto sapal.

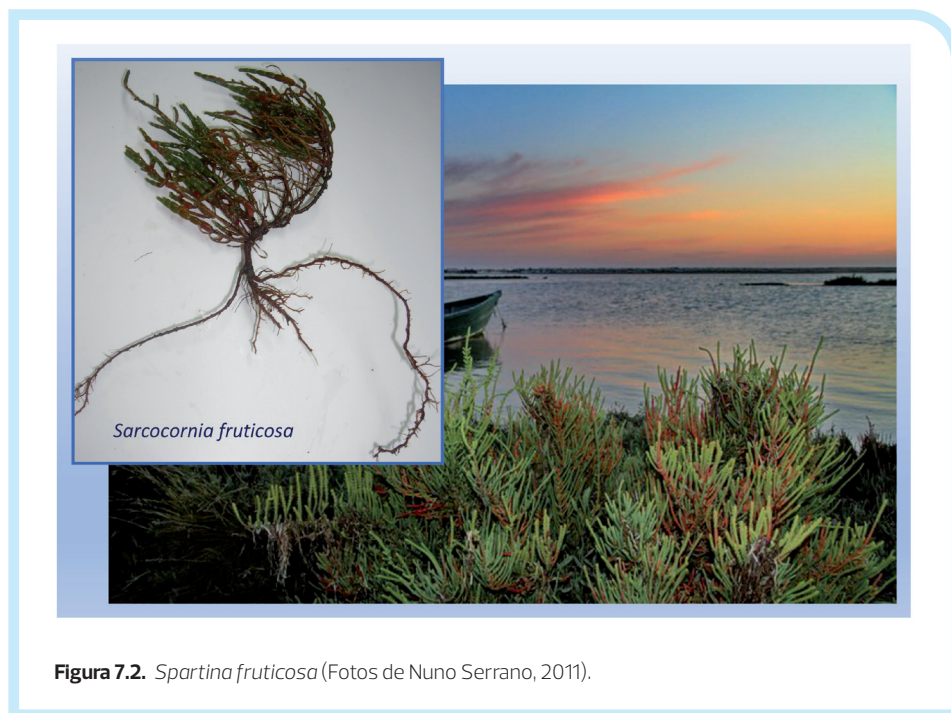
A halófito *Spartina maritima*, conhecida localmente como morraça, é uma espécie herbácea de origem Europeia, dominante e pioneira na colonização da zona intertidal do sapal da Ria Formosa, onde estabiliza os sedimentos e forma verdadeiros prados (Figura 7.1). Os prados de *Spartina*, caracterizados por apresentarem sedimentos pobres em oxigénio (anóxicos) e sujeitos a longos períodos de inundação, são considerados entre os ecossistemas costeiros mais produtivos do planeta, nomeadamente em termos de fixação de nitrogénio.



Figura 7.1. *Spartina maritima* (Fotos de Nuno Serrano, 2011).

No alto sapal da Ria formosa encontram-se grandes áreas exclusivamente colonizadas por *Sarcocornia fruticosa* (Caryophyllales: Chenopodiaceae), em sedimentos tipicamente menos redutores (Figura 7.2), embora esta espécie também apareça frequentemente associada a *Halimione* sp. e a *Atriplex* sp. vulgarmente conhecida como salgadeira. Esta associação é característica de sistemas lagunares com elevada salinidade durante todo o ano (35 grama por quilograma), com regimes de precipitação semiáridos e com taxas de renovação elevadas em todos os ciclos de maré. A família Chenopodiaceae desenvolveu órgãos aéreos suculentos como mecanismo de tolerância a grandes quantidades de sal. Retendo a água nos tecidos, promove o aumento do volume das células, permitindo acumulação intracelular de sais sem que haja aumento da sua concentração, diminuindo assim a toxicidade iónica causada pela elevada salinidade. Esta suculência caracteriza-se pelo aumento do tamanho das células, diminuição do crescimento em extensão, e redução da área superficial por volume de tecido. Embora existam espécies halófitas com sistema fotossintético C_3 (que abrem os estomas de dia para permitirem entrada de CO_2 e por consequência perdem água para a atmosfera), as plantas suculentas apresentam um sistema fotossintético designado de Metabolismo Ácido das Crassuláceas (CAM),

que lhes permite manter os estomas fechados durante o dia e abertos no período noturno. Desta forma, evitam a perda de água durante o dia e a entrada de sal, fixam o dióxido de carbono durante a noite, reduzem as trocas gasosas com a atmosfera e continuam a realizar a fotossíntese mesmo quando estão submersas pelas marés.



7.2. Metais provenientes das atividades humanas

Atualmente as cidades das zonas costeiras concentram 60% da população mundial. Assim, os sapais recebem frequentemente muitos poluentes oriundos das atividades humanas nas áreas que lhes são adjacentes, como é o caso de metais vestigiais resultantes da indústria, agricultura e urbanização.

Estes metais atingem os sapais através de descargas de efluentes urbanos e industriais indevidamente tratados, lixiviação de tintas anti-incrustantes usadas na pintura das embarcações, descargas de materiais resultantes de dragagens, combustíveis de origens fósseis, atividades mineiras, refinarias, fundições, produção de ligas metálicas anti-corrosivas, fabrico de tintas, tinturarias têxteis, pinturas cerâmicas, etc. A inundação periódica das marés, contribui para uma grande dispersão

dos metais pelo sapal, sendo que a sua distribuição e comportamento irão depender de complexos processos biológicos e geoquímicos que aí ocorrem, alguns dos quais condicionados pela presença das halófitas. De um modo geral, a contaminação por metais vestigiais, é mais persistente nos solos do que na água ou na atmosfera, e é especialmente problemática em sedimentos costeiros. Nestes, os metais de origem antrópica associam-se às partículas, sofrem deposição e acumulam-se nos sedimentos mais finos, podendo permanecer aí armazenados por longos períodos de tempo, o que pode significar vários anos. No entanto, a qualquer momento, de acordo com as condições existentes, nomeadamente, granulometria do sedimento, teores de matéria orgânica, potencial redox e pH, estes metais podem ser remobilizados para a coluna de água e entrar na cadeia trófica. Os metais vestigiais constituem uma ameaça para os organismos, porque não sendo biodegradáveis tendem a acumular-se (Caixa 7.1). Quando presentes em quantidades superiores a certos limites, funcionam como inibidores enzimáticos, provocando graves alterações fisiológicas, reprodutivas e de desenvolvimento, podendo muitas vezes em causa a sobrevivência dos organismos.

Caixa 7.1 – O que se entende por metais vestigiais?

São um grupo de metais que inclui elementos de transição e pesados, presentes nas células animais e vegetais em quantidades muito reduzidas. Existem dois tipos, os micronutrientes essenciais aos organismos, e outros para os quais não se conhece nenhuma função biológica. Todos os metais vestigiais podem ser tóxicos quando presentes em concentrações excessivas.

7.3. Influência da vegetação e das características dos sedimentos no destino dos metais

É reconhecida às espécies halófitas uma grande importância ecológica, nomeadamente, no sequestro de metais de origem antrópica. De um modo geral, apresentam sistemas aerenquimatosos bem desenvolvidos, que transportam de forma muito eficiente o oxigénio atmosférico desde as folhas até às raízes (Caixa 7.2).

O oxigénio que não é consumido na respiração das células das raízes, difunde-se pelo sedimento que as circunda, promovendo alterações de potencial redox e de pH, que mudam a disponibilidade dos metais que aí possam existir, de acordo com as

sua concentrações e respetiva especiação. As características dos sedimentos, como a granulometria e os teores de matéria orgânica, a concentração de substâncias libertadas pelas raízes das plantas, entre outros, também afetam o comportamento dos metais, e a sua biodisponibilidade. Assim sendo, as interações mútuas entre as plantas e o sedimento envolvente são muito complexas e determinantes para o papel que as halófitas desempenham na distribuição e sequestro dos metais no sapal. Diferentes espécies terão comportamentos distintos perante os mesmos metais, a mesma espécie poderá reagir de forma diversa para metais diferentes, sendo que para cada metal o seu comportamento é condicionado pelas características dos sedimentos.

Caixa 7.2 – O que é o sistema aerenquimatoso?

É constituído por tecido esponjoso com espaços e canais por onde o ar flui, localizado nas folhas, caules e raízes de algumas plantas. Permite trocas gasosas entre órgãos vegetais aéreos e subterrâneos.

7.4. Caso de estudo na Ria Formosa – Sapal de Marim

Em março de 2007, foi realizado um estudo para se avaliar a influência da *S. marítima* e da *S. fruticosa* no comportamento dos metais que chegam ao sapal de Marim, Olhão – Faro (37° 1' 54.83" N; 7° 48' 44.52" W), nomeadamente, cádmio (Cd), crómio (Cr), cobre (Cu), chumbo (Pb), níquel (Ni), prata (Ag), zinco (Zn), alumínio (Al), ferro (Fe), molibdénio (Mo) e manganês (Mn). Para isso foram selecionadas três zonas de sapal próximas, uma sem plantas e as outras duas exclusivamente colonizadas por *S. marítima* ou por *S. fruticosa*. Em cada zona, foram feitas recolhas representativas para caracterização dos sedimentos, utilizando-se cilindros com 45,36 cm² de área e 30 cm de profundidade (correspondente à zona sob a influência das raízes), dividindo-se em amostras de 5 em 5 cm. O pH e o potencial redox dos sedimentos foram medidos *in situ*, e matéria orgânica e granulometria posteriormente determinadas em laboratório. Nos sedimentos colonizados pelas duas halófitas, cortaram-se as plantas rentes ao respetivo sedimento. Todas as amostras foram colocadas em sacos plásticos, conservadas em caixas térmicas e imediatamente transportadas até ao laboratório para análise posterior. As metodologias analíticas utilizadas foram validadas por mecanismos de controlo de qualidade internos e externos.

Os resultados obtidos mostram que, a presença das halófitas no sapal altera significativamente as características dos sedimentos, e que cada espécie interage com o sedimento que rodeia as suas raízes (rizosedimento) de forma diferente, e específica para cada metal estudado. Os sedimentos sem plantas, são mais arenosos e mais pobres em argila e em matéria orgânica do que os rizosedimentos. Apesar de ambas as espécies oxidarem o rizosedimento, a *S. fruticosa* apresentou valores de potencial redox muito superiores aos da *S. maritima*. De um modo geral, os sedimentos sem plantas, têm teores significativamente mais baixos de metais do que os sedimentos colonizados por plantas. Isto significa que os metais que os atingem não ficam aí retidos, mas que permanecem na coluna de água e continuam disponíveis para os organismos vivos. Ambas as halófitas fixaram os metais na sua rizosfera (rizosedimento + raízes), sendo que Ni e Cr foram apenas retidos por *S. fruticosa*. As diferenças nas concentrações dos metais estudados em profundidade, não foram significativas, exceto para o Pb, mais concentrado nos sedimentos superficiais. Possivelmente denunciando uma contaminação recente, associada ao aumento do trânsito rodoviário ou contaminação oriunda da zona industrial nas imediações deste sapal. As raízes corresponderam ao órgão vegetal onde se acumulou maior quantidade (mais de 90%) de todos os metais estudados, em ambas as espécies. Mas, quando se comparam as duas plantas entre si, a *S. fruticosa* revelou uma capacidade maior do que a *S. maritima* para transportar os metais para os órgãos aéreos, isto é, para a translocação de metais. Assim, em períodos de senescência (ou envelhecimento) da *S. fruticosa*, a morte dos tecidos vegetais aéreos pode levar à remobilização de metais, novamente para o sapal. No caso da *S. maritima*, grande parte dos metais acumulados nas raízes, encontravam-se ligados exteriormente às paredes celulares (adsorvidos), não atingindo o interior das células e não sendo translocados para os órgãos aéreos (caules e folhas), permanecendo fixos na rizosfera. Conclui-se, portanto, que *S. maritima* e *S. fruticosa* têm ambas papéis relevantes, mas diferentes na fitoremediação de metais de origem antrópica no sapal de Marim (Caixa 7.3).

Caixa 7.3 – O que é a fitoremediação de poluentes?

É o processo de fixação de poluentes pelas plantas, através da sua incorporação em diversos tecidos vegetais, ou da sua estabilização nos rizosedimentos devido à libertação de certas substâncias químicas pelo sistema radicular.

Ambas as espécies, remediaram os metais estudados, impedindo a sua mobilização para a coluna de água e assim a sua entrada na complexa cadeia trófica deste sistema lagunar. Deste modo, são acautelados os danos ambientais para a Ria Formosa, que a biodisponibilidade destes metais (sobretudo dos mais tóxicos, como por exemplo o chumbo) poderia representar. De notar que, para além destes aspetos ecológicos associados à proteção dos habitats e da biodiversidade, a presença destas halófitas também tem vantagens para a saúde pública, uma vez que, a Ria Formosa assegura para a alimentação humana muitos recursos biológicos, oriundos da pesca e/ou aquacultura, como é o caso dos moluscos bivalves. À escala global, a conservação das áreas colonizadas por halófitas é indispensável, para que os sapais continuem a assegurar os seus múltiplos serviços ecossistémicos, contribuindo ativamente para melhorar a qualidade de vida das populações costeiras.

Referências para leitura adicional

- Ben Said, O., Moreira da Silva, M., Hannier, F., Beyrem, H., & Chícharo, L., 2019. Using *Sarcocornia fruticosa* and *Saccharomyces cerevisiae* to remediate metal contaminated Sediments of the Ria Formosa lagoon (SE Portugal). *Ecohydrology and Hydrobiology*, 19(4), 588–597. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2018.10.002>
- Moreira da Silva, M., J. Anibal, D. Duarte & L. Chícharo, 2015. *Sarcocornia fruticosa* and *Spartina maritima* as heavy metals remediators in Southwestern European saltmarsh (Ria Formosa, Portugal). *Journal of Environmental Protection and Ecology* 16 (4): 1468–1477.
- Vardhan, K. H., Kumar, P. S., & Panda, R. C., 2019. A review on heavy metal pollution, toxicity and remedial measures: Current trends and future perspectives. *Journal of Molecular Liquids*, 290, 111197. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111197>

8. Os efeitos adversos da atividade humana na Ria Formosa

Maria João Bebianno¹, Patrícia Pedro¹, Ângela Serafim¹, Belisandra Lopes¹ & Alice Newton¹

¹ CIMA – Centro de Investigação Marinha e Ambiental, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005–139 Faro, Portugal
mbebian@ualg.pt; aserafim@ualg.pt; blopes@ualg.pt; anewton@ualg.pt

8.1. O que aborda este capítulo?

A Ria Formosa é um sistema lagunar que apresenta uma grande diversidade e complexidade estrutural, fornecendo serviços e benefícios valiosos para a região. No entanto, a presença de substâncias perigosas constitui um motivo de preocupação, pois pode colocar em perigo este sistema, sendo necessário uma gestão adequada, que permita a redução de pressões derivadas das atividades humanas, para uma melhor sustentabilidade futura deste ecossistema.

8.2. Impacto da atividade humana na Ria Formosa

A Ria Formosa caracteriza-se por uma vasta riqueza e diversidade biológica e ecológica, mas é também um espaço fortemente humanizado, pelo que a componente social e económica é muito importante para a população residente e visitante.

Algumas atividades humanas efetuadas no interior e em volta da Ria Formosa introduzem contaminantes (Caixa 8.1) e substâncias perigosas (Caixa 8.2) no sistema lagunar, degradando o estado ambiental e ecológico deste importante ecossistema.

Caixa 8.1

Contaminação: Introdução de qualquer substância na água diminui a sua pureza. Colocar sumo de limão num copo de água é uma contaminação, mesmo que seja inofensivo.

Poluição: Se a substância que é introduzida na água é prejudicial, como um veneno, isso é considerado poluição.

Caixa 8.2 – Substâncias perigosas e substâncias prioritárias

Qual é a diferença entre Substâncias Prioritárias, Substâncias Perigosas e Substâncias Perigosas Prioritárias? Contaminantes e poluentes são agrupados em várias categorias como Substâncias Perigosas (<https://www.ospar.org/work-areas/hasec/chemicals>); Substâncias prioritárias e substâncias perigosas prioritárias (Diretiva 2008/105/CE).

Substâncias perigosas: substâncias ou grupos de substâncias tóxicas, persistentes e suscetíveis de bioacumulação (assimilação e retenção de substâncias químicas pelos organismos), e ainda outras substâncias ou grupos de substâncias que suscitem preocupações da mesma ordem. Exemplos: organoclorados, amianto, bifenilos policlorados (PCB).

Substâncias prioritárias: 33 substâncias ou grupos de substâncias cujas normas de qualidade ambiental foram estabelecidas na Diretiva 2008/105/CE. Exemplos: benzeno, diclorometano, chumbo e compostos de chumbo.

Substâncias perigosas prioritárias: Subconjunto de substâncias prioritárias mais perigosas, caracterizadas pela sua persistência, bioacumulação e toxicidade, ou por um nível equivalente de preocupação. Exemplos: nonilfenóis, hidrocarbonetos poliaromáticos, mercúrio e composto de mercúrio.

Relativamente às atividades humanas, destaca-se o setor alimentar. De facto, a área circundante conhecida como “Campina de Faro”, apesar de se encontrar cada vez mais urbanizada, apresenta uma importante atividade agrícola em que dominam as culturas permanentes de carácter intensivo, tais como pomares de citrinos e culturas hortícolas em estufa e ao ar livre. A criação de animais, tanto em terra (aves e porcos) como no interior da laguna (peixes, bivalves) também assume uma importante componente no setor alimentar. Em particular, a colheita de mariscos representa 80–90% da produção total de bivalves em Portugal. De destacar também a extração de sal, uma indústria importante nesta zona, bem como as grandes extensões dedicadas ao lazer, nomeadamente os campos de golfe. De uma maneira geral, os principais setores económicos incluem a extração de areia e sal, agricultura, criação de animais, aquicultura, pesca, processamento de alimentos, golfe, turismo e setor imobiliário.

O aumento da produção de resíduos, a partir das atividades económicas mencionadas, resulta em pressões constantes no interior deste sistema lagunar. Estas substâncias chegam por diversos meios: através do transporte atmosférico, descargas fluviais, escoamento agrícola, rodoviário e de campos de golfe, efluentes domésticos e industriais, efluentes de criação animal e aquicultura, emissões de portos, marinas e barcos, bem como lixo marinho resultante da pesca e do turismo.

Devido à circulação restrita na parte interna do sistema lagunar (apenas cerca de 70% da água é trocada diariamente com o Oceano Atlântico), muitas das substâncias perigosas lançadas de terra ou a partir da atmosfera concentram-se neste sistema, onde as extremidades são particularmente afetadas. Somente as áreas com acesso direto ao mar, como os principais canais de navegação (canais de Faro e Olhão), são totalmente renovadas, apesar de receberem óleo e outros contaminantes resultantes das atividades de navegação.

8.3. Quais são os contaminantes e de onde provêm?

Os contaminantes encontrados na Ria Formosa incluem nutrientes, especialmente fertilizantes contendo azoto e fósforo (Caixa 8.3). O enriquecimento do meio aquático com estes compostos provoca o crescimento acelerado de algas, perturbando o equilíbrio biológico e a qualidade das águas em causa. Este processo é conhecido como eutrofização, o qual pode ser responsável pela redução da transparência, alteração na cor e odor da água e pela diminuição do oxigénio dissolvido, podendo resultar em hipoxia (carência de oxigénio) ou anoxia (ausência de oxigénio).

Caixa 8.3 – Que tipos de substâncias contaminam e poluem a Ria Formosa?

Nutrientes e matéria orgânica: São provenientes de fertilizantes e resíduos de animais, incluindo esgotos e processamento de alimentos. Estes compostos não são tóxicos, mas promovem proliferação de algas e bactérias que podem afetar a qualidade da água, principalmente a transparência e os níveis de oxigênio.

Metais: Ocorrem naturalmente no ambiente marinho. Alguns como o cádmio (Cd), mercúrio (Hg) e chumbo (Pb) são altamente tóxicos e, portanto, são considerados substâncias prioritárias na Diretiva-Quadro da Água. Outros como o cobre (Cu) e zinco (Zn) são essenciais para os organismos, mas em quantidades excessivas podem ser tóxicos. Estes elementos têm uma ampla aplicação, por exemplo na fabricação de baterias, tintas, instalações de combustão, galvanoplastia e incineradoras.

Tributilestanho (TBT): Composto tóxico com uso em diversos setores da indústria, desde biocida em cascos de navios, a estabilizador em artigos de plásticos de PVC. No ambiente marinho, o TBT pode encontrar-se dissolvido ou adsorvido em partículas em suspensão, as quais se depositam em sedimentos, tornando-se disponível para os organismos. Os efeitos incluem malformação da concha nas ostras, o que reduz o seu crescimento; imposex em búzios, ou seja, a transformação de fêmeas em machos, causando um declínio populacional destas espécies.

Poluentes orgânicos persistentes (POP): Ao contrário dos metais, os POP não são compostos naturais e são produzidos por seres humanos. Estes compostos são altamente estáveis e persistem no ambiente. Têm a capacidade de se acumular em organismos, sendo tóxicos para estes, incluindo o homem. As consequências são ao nível do sistema reprodutivo, imunitário e endócrino, sendo também apontados como carcinogénicos. Alguns são usados na agricultura para controlo de insetos (p. ex. DDT, Aldrina, Heptacloro, etc.), enquanto outros são usados em processos industriais (p. ex. PCB e hexaclorobenzeno). Estes compostos encontram-se incluídos na Convenção de Estocolmo

sobre Poluentes Orgânicos Persistentes, um mecanismo legal estabelecido para controlar a produção e o uso de POP. Entre eles, uma lista de 12 POP foram proibidos ou estritamente controlados e outros 10 POP foram posteriormente incluídos.

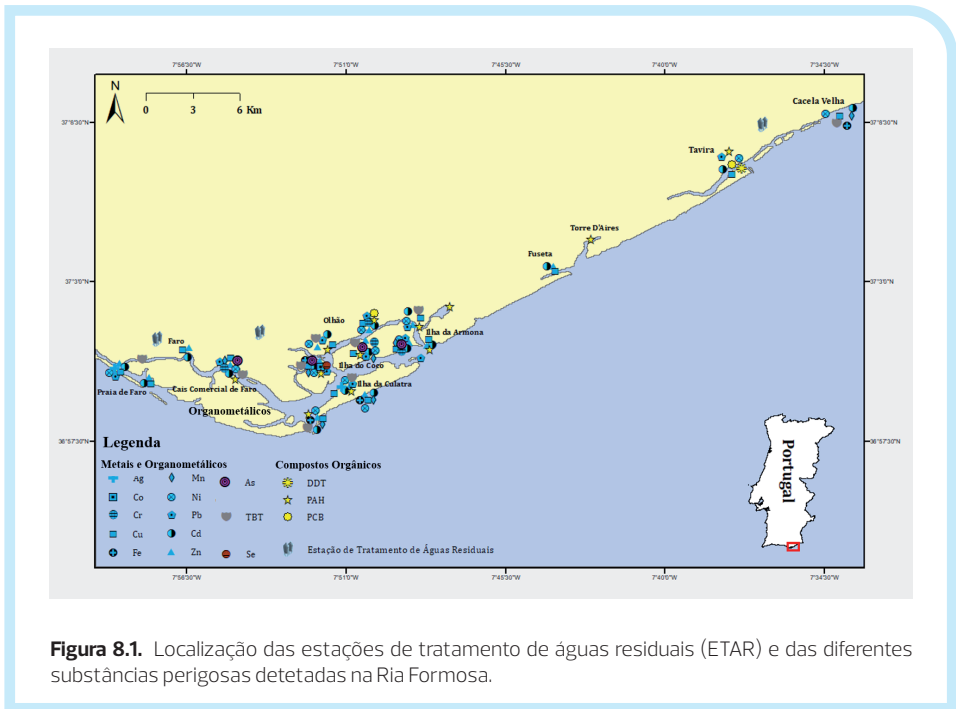
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH): São libertados no meio ambiente a partir de processos antropogénicos (por combustão incompleta ou pirólise de matéria orgânica) ou por processos naturais (incêndios florestais, erupções vulcânicas e síntese e degradação biológica de biomassa). Este grupo de compostos apresentam propriedades mutagénicas e/ou cancerígenas.

Contaminantes emergentes: Correspondem a um amplo conjunto de compostos que não são comumente monitorizados, mas que podem causar efeitos adversos ao meio ambiente e nos seres humanos. Nesta categoria estão incluídos Produtos de Higiene Pessoal, compostos farmacêuticos e micro e nanopartículas (partículas cujo tamanho varia de 1-100 nm).

Disruptores endócrinos: Substâncias não produzidas pelos organismos que interferem na síntese, secreção, transporte, metabolismo ou eliminação das diferentes hormonas, ou seja, podem alterar o sistema endócrino e consequentemente causar efeitos adversos. Neste grupo encontram-se uma grande variedade de substâncias e com diferentes utilidades como pesticidas (p. ex. DDT, atrazina), recipientes de alimentos (p. ex. bisfenol A, ftalatos, fenol), materiais eletrónicos e de construção (p. ex. retardadores de chama bromados, PCB), produtos de higiene pessoal (p. ex. ftalatos), antibacterianos (p. ex. triclosan), vestuário têxtil (p. ex. perfluoroquímicos), entre outros.

O aparecimento destes nutrientes nas águas da Ria Formosa acontece de diversos modos. No entanto, quando provocado pelo ser humano, pode ter origem em esgotos domésticos, onde são encontrados nas fezes, urina, restos de alimentos e detergentes.

O sistema lagunar da Ria Formosa recebe a descarga de efluentes de 28 estações de tratamento de águas residuais domésticas e industriais (ETAR), das quais doze são libertados diretamente para o interior deste sistema (Figura 8.1).



O tratamento dos esgotos domésticos nesta área foi insuficiente até meados dos anos 90. Atualmente, é realizado em estações de tratamento com um nível de tratamento secundário (p. ex. lamas ativadas + radiação Ultravioleta, lagunagem), atendendo uma população equivalente a cerca de 300 000 habitantes (consultar Capítulo 4 para melhor entendimento do funcionamento das Estações de Tratamento de Águas Residuais).

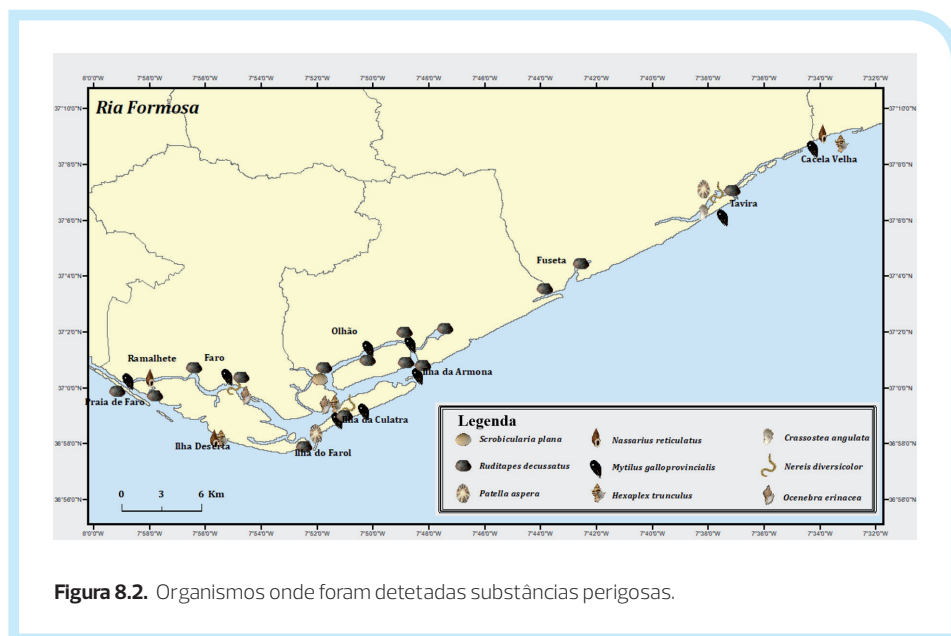
8.4. O que são substâncias perigosas e qual o seu impacto nos recursos vivos?

As substâncias perigosas incluem metais, compostos organometálicos (compostos orgânicos que possuem pelo menos um átomo de metal, p. ex. tributilestano e tetraetil chumbo), compostos orgânicos persistentes (substâncias químicas orgânicas sintéticas, que são altamente estáveis e por isso persistem no ambiente, p. ex. pesticidas), hidrocarbonetos (p. ex. gasolina), produtos de higiene pessoal (p. ex. protetores solares), produtos farmacêuticos (p. ex. antibióticos) e plásticos (Caixa 8.3). Todos estes compostos já foram detetados na água, sedimentos e em

diferentes organismos existentes na Ria Formosa, apresentando sérios riscos à biodiversidade, ao desenvolvimento económico e à saúde humana. Os efeitos adversos incluem toxicidade aguda, ameaça à segurança alimentar e aumento de doenças cancerígenas, alterações do sistema imunológico e reprodutivo e mutações nas gerações futuras.

Para avaliar o impacto dessas substâncias, são utilizadas espécies sentinela ou bioindicadoras como mexilhões *Mytilus galloprovincialis*, amêijoas *Ruditapes decussatus* e ostras *Crassostrea gigas*, porque são espécies que concentram estas substâncias e fornecem uma medida de sua biodisponibilidade. A Figura 8.2 mostra as diferentes espécies da Ria Formosa utilizadas como espécies bioindicadoras. Do mesmo modo, é essencial determinar o efeito destas substâncias nos organismos, sendo para isso utilizados biomarcadores, que fornecem informação de como determinados compostos atuam a nível molecular, celular e tecidual.

Na Ria Formosa têm sido detetadas diferentes substâncias perigosas (Figura 8.1). A presença de metais foi revelada pela primeira vez na década de 70, mas a sua monitorização mais regular só se iniciou a partir dos anos 90. Também têm vindo a ser detetados compostos organometálicos, como o Tributilestanho, devido à utilização de tintas anti-incrustantes nos cascos dos barcos, as quais têm na sua composição este tipo de compostos embora a utilização deste composto já tenha sido proibida.



A monitorização de poluentes orgânicos persistentes (POP) mostrou a presença de 56 pesticidas na água e em partículas em suspensão. Dos pesticidas detetados, 31% excederam os níveis indicados pelas diretivas europeias (2008/105/EC e 98/83/EC). De destacar a presença dos inseticidas diclorvos e heptacloro com valores de cerca de 35 e 80 000 vezes superior aos definidos na diretiva 2013/39/EU. Igualmente, o inseticida diclorodifeniltricloroetano (DDT) e o principal composto originário da sua degradação (DDE), foram detetados neste sistema lagunar, apesar do DDT ter sido banido da Europa na década de 70. Outros dos poluentes orgânicos persistentes identificados foram os compostos organoclorados, os quais têm aplicações industriais e são altamente tóxicos, tendo sido proibidos ou severamente restringidos desde os anos 70 na Europa, como é o caso dos bifenilos policlorados (PCB). Os hidrocarbonetos aromáticos (PAH) são outro grupo pertencente aos POP, os quais são considerados substâncias orgânicas "prioritárias", devido a serem cancerígenos e tóxicos para a vida aquática. Os níveis de PAH estão relacionados com a libertação de gasolina, óleos de motor e substâncias associadas ao transporte, no entanto os níveis detetados nos sedimentos foram inferiores aos critérios de avaliação ecotoxicológica. Portanto, os sedimentos são considerados levemente contaminados (PAH<250 nanograma por grama).

Outros compostos presentes na Ria Formosa com um nível de preocupação crescente são os Disruptores Endócrinos (DE). Estes compostos podem ser definidos como "substâncias químicas exógenas (não-naturais), que interferem com a atividade hormonal". Existem milhares de substâncias classificadas como disruptores endócrinos, incluem várias classes de substâncias com diferentes utilizações, como pesticidas (p. ex. DDT, atrazina), recipientes de alimentos (p. ex. bisfenol A, ftalatos, fenol), materiais eletrónicos e de construção (p. ex. retardadores de chama bromados e PCB), produtos de higiene pessoal (p. ex. ftalatos), antibacterianos (p. ex. triclosan), vestuário têxtil (p. ex. perfluoroquímicos), entre outros.

Desta forma, estes compostos incluem um grupo de substâncias "prioritárias" relacionadas com vários distúrbios endócrinos nos organismos, incluindo os seres humanos. De facto, algumas destas substâncias, como o bisfenol A (BPA), foram proibidas na Europa em 2003. No entanto, a ocorrência do BPA no sistema lagunar é geral, com níveis sempre superiores ao máximo estabelecido na legislação europeia para águas superficiais (10 nanograma por litro).

Recentemente, os Produtos de Higiene Pessoal (PCP, do inglês Personal Care Product) têm atraído atenção devido ao seu amplo uso e ao impacto negativo que provocam no ambiente aquático. Estes compostos, incluem filtros que atenuam a transmissão da radiação ultravioleta (UV) usados em cosméticos e protetores

solares, ingredientes de fragrâncias e agentes de limpeza e já foram detetados em mexilhões.

No Quadro 8.1, encontra-se a tendência da evolução temporal de substâncias perigosas encontradas na água, sedimentos e bivalves da Ria Formosa nas últimas décadas, bem os locais que causam mais preocupação devido aos níveis de contaminação.

Quadro 8.1. Evolução temporal de substâncias perigosas encontradas na água, sedimentos e bivalves da Ria Formosa nas últimas décadas e locais com teores mais elevados. (↘ níveis decresceram nas últimas décadas; ↗ níveis aumentaram nas últimas décadas; ↔ níveis mantiveram-se nas últimas décadas)

Grupo de compostos	Substâncias	Água	Sedimento	Bivalves	Locais com teores mais elevados
Metais	Cd (Cádmio)	↘	↘		Faro, Olhão
	Cu (Cobre)	↘	↘	↗	Olhão
	Hg (Mercúrio)	↔			
	Pb (Chumbo)	↔	↘	↘	Interior da Ria
	Zn (Zinco)	↔	↘	↘	Olhão, Tavira
Organometálicos	TBT (Tributilestanho)	↘	↘	↔	Olhão
Poluentes Orgânicos Persistentes (POP)	Pesticidas	Herbicidas	↘		
		Fungicidas	↘		
		Inseticidas (DDT, diclorvos e heptacloro)	↔	↔	↔
	PCB (bifenilos policlorados)	↔	↔	↔	Tavira, Armona
	PAHs (Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos)	↔	↔	↔	Olhão
Disruptores Endócrinos (DE)	BPA (Bisfenol A)	↔	↔	↔	Geral
Produtos de Higiene Pessoal (PCP)	Filtros de radiação ultravioleta (UV)			↗	Geral

8.5. Impacto na saúde humana

Os seres humanos são expostos a várias substâncias que podem ter efeitos perigosos para a saúde. Numerosas substâncias perigosas podem ser transportadas pela cadeia alimentar e contaminar as fontes de alimentos para consumo humano. Nesse contexto, os metais, os PCB, os PAH e os pesticidas organoclorados estão entre os contaminantes mais relevantes. Embora várias substâncias perigosas tenham sido detetadas na Ria Formosa, é amplamente desconhecido o seu impacto na saúde das populações humanas locais. A exposição a estes poluentes é avaliada pelos níveis existentes no sangue, urina, tecido adiposo, leite materno, placenta, cabelos e unhas. Nas últimas duas décadas, numerosos estudos relacionaram a exposição de mães grávidas a substâncias perigosas com várias doenças nos recém-nascidos. Essas substâncias perigosas podem passar através da placenta para o cordão umbilical e atingir os recém-nascidos. A vulnerabilidade dos recém-nascidos deriva do desenvolvimento rápido e dos sistemas de defesa incompletos. As crianças enfrentam riscos ampliados ao longo da vida, decorrentes da carga corporal dessas substâncias. Nesse sentido, as consequências podem surgir não apenas na infância, mas também na idade adulta.

Um estudo realizado em mulheres grávidas residentes nas principais cidades da Ria Formosa (Projeto IN-Health – Saúde Materno-Infantil relacionada a fatores ambientais (PTDC/SAU-SAP/121684/2010) identificou várias substâncias perigosas no sangue das mães e do cordão umbilical dos recém-nascidos (Quadro 8.2), demonstrando que estas substâncias têm capacidade de circular na corrente sanguínea, atravessar a placenta e atingir o feto.

Embora a Ria Formosa não seja uma área fortemente industrializada, os níveis de contaminantes encontrados na população apresentam-se preocupantes, pois são da mesma ordem de magnitude da encontrada noutros países europeus, com níveis de contaminação reconhecida.

8.6. Conclusões

A partir dos dados apresentados e da hidrodinâmica da Ria Formosa, pode concluir-se que o sistema lagunar está sujeito a múltiplas pressões de contaminantes e substâncias perigosas, algumas das quais foram proibidas há décadas, como o caso do pesticida DDT e PCB que foram banidos na década 70. Medidas de gestão e de correção, necessitam de ser implementadas para reduzir as descargas com o intuito de diminuir o impacto das misturas destas substâncias perigosas e proteger a segurança alimentar e importantes recursos naturais, como os mariscos, bem

como a saúde da população, especialmente de grávidas e recém-nascidos. Algumas destas medidas passam pela formação e sensibilização ambiental da população em geral, assim como a identificação dos destinos finais mais adequados para os diferentes fluxos de resíduos. É importante neste contexto não esquecer a importância da gestão de produtos, efluentes e resíduos de grandes instituições ao redor da Ria Formosa, como Hospitais, Universidade e o Aeroporto de Faro. Essas medidas de gestão devem ser complementadas com um programa de monitorização toxicológica, estabelecido pela Diretiva-Quadro Estratégia Marinha.

Quadro 8.2. Concentração média de substâncias perigosas em mães e recém-nascidos de três concelhos que circundam a Ria Formosa (valores expressos em: micrograma por litro ($\mu\text{g/l}$); micrograma por decilitro ($\mu\text{g/dl}$); nanograma por mililitro (ng/ml)).

Substâncias perigosas		CONCELHOS						Valores limites	
		Faro		Olhão		Tavira			
		Mães	RN	Mães	RN	Mães	RN		
Metais	Cd ($\mu\text{g/l}$)	0,58	0,43	0,64	0,32	0,38	0,30	$5 \mu\text{g/l}^{(b)}$	
	Hg ($\mu\text{g/l}$)	0,44	0,42	0,38	0,36	0,54	0,40	$5 \mu\text{g/l}^{(b)}$	
	Pb ($\mu\text{g/dl}$)	0,39	0,35	0,47	0,44	0,47	0,48	$5 \mu\text{g/dl}^{(b)}$	
POP	Pesticidas	DDE (ng/ml)	0,98	0,76	1,06	0,79	1,61	1,17	$^{(c)}$
		Σ drinas (ng/ml) ^(a)	9,37	8,89	9,56	9,12	8,79	9,00	$^{(c)}$
		HCB (ng/ml)	0,29	0,22	0,20	0,20	0,11	0,10	$^{(c)}$
		Σ Endosulfanos (ng/ml) ^(a)	12,50	11,62	12,73	12,51	12,88	13,17	$^{(c)}$
		Vinclozolina (ng/ml)	2,02	1,75	2,00	1,61	1,50	1,89	$^{(c)}$
		Σ PCBs (ng/ml) ^(a)	1,50	1,33	1,58	1,46	1,78	1,54	$^{(c)}$

(a) Σ drinas=aldrina+dieldrina+endrina; Σ Endosulfanos=eter+lactona+alfa+beta; Σ PCBs=138+153+180

(b) Segundo a Agência de Substâncias Tóxicas e de Registro Doenças (ATSDR do inglês Agency for Toxic Substances and Disease Registry)

(c) Para este tipo de compostos não existem limites recomendados no sangue, mas sim concentrações de exposição a que as pessoas possam estar expostas com níveis de risco mínimo.

Agradecimentos

Este trabalho é uma contribuição ao Projeto TOSCI - "Ambiente Participativo de Realidade Virtual 3D como ferramenta para o Turismo Científico na Ria Formosa", financiado pelo CRES Algarve 2020, PORTUGAL 2020 e FEDER (Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional). Os autores agradecem o financiamento atribuído ao CIMA (UID/00350/2020) pela Fundação da Ciência e da Tecnologia.

Referências para leitura adicional

Bebiano, M.J., 1995. Effects of pollutants in the Ria Formosa Lagoon, Portugal. *Science of the Total Environment* 171(1-3):107-115.

[https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04672-9](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04672-9)

Lopes, B., Arrebola, J.P., Serafim, A., Company, R., Rosa, J. & Olea, N., 2014. Polychlorinated biphenyls (PCBs) and p,p'-dichlorodiphenyldichloroethylene (DDE) concentrations in maternal and umbilical cord serum in a human cohort from South Portugal. *Chemosphere* 114:291-302.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.04.111>

Newton, A., Icely, J.D., Cristina, S., Brito, A., Cardoso, A. C., Colijn, F., Riva, S.D., Gertz, F., Hansen, J.W., Holmer, M., Ivanova, K., Leppakoski, E., Canu, D.M., Mocenni, C., Mudge, S., Murray, N., Pejrup, M., Razinkovas, S., Reizopoulou, S., Pérez-Ruzafa, A., Schernewski, G., Schuber, H., Carr, L. C., Solidoro, C., Viaroli, P. & Zaldivar, J.M., 2013. An overview of ecological status, vulnerability and future perspectives of European large shallow, semi-enclosed coastal systems, lagoons and transitional waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 140:95-122.

<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.05.023>

Serafim, A., Company, R., Lopes, B., Rosa, J., Cavaco, A., Castela, G., Castela, E., Olea, N. & Bebianno, M.J., 2012. Assessment of essential and non-essential metals and different metal exposure biomarkers in the human placenta in a population from the South of Portugal. *Journal of Toxicology and Environmental Health* 75(13-15): 867-877.

<https://doi.org/10.1080/15287394.2012.690704>

9. Energias limpas na Ria Formosa, o caminho da sustentabilidade

André Pacheco¹, Eduardo Gorbeña¹ & Cláudia Sequeira¹

¹ CIMA – Centro de Investigação Marinha e Ambiental,
Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal
ampacheco@ualg.pt; egeisenmann@ualg.pt; cdsequeira@ualg.pt

9.1. Energias renováveis, uma necessidade mundial urgente

O crescimento económico e populacional está entre os fatores mais importantes para o aumento do consumo energético mundial. Atualmente, a forma de energia que o Homem mais utiliza é a energia química (cerca de 80%), nomeadamente, combustíveis fósseis, como o petróleo, o carvão e o gás natural. No entanto, essas fontes são muito poluentes, pois a sua utilização é responsável pela emissão de substâncias nocivas para o ambiente e para a saúde pública. Um exemplo disso, é o aumento da concentração de gases com efeito estufa na atmosfera, como o dióxido de carbono (CO₂), que é uma das principais causas do aquecimento global. Além da emissão de poluentes, essas fontes de energia não são renováveis, o que significa que estão sendo consumidas a uma taxa mais rápida do que a necessária para sua produção e, portanto, a sua disponibilidade é limitada e diminuirá ao longo do tempo.

Os oceanos cobrem 70% do planeta Terra e são compostos por enormes massas de água com diferentes características, em constante movimento, resultado da interação oceano-atmosfera. Esse movimento constante pode produzir energia praticamente inesgotável, hoje denominadas energias renováveis marinhas (ERM). Os recursos de ERM são categorizados com base nas propriedades do oceano usadas na sua produção, isto é, movimento, calor ou salinidade. Existem 6 formas de ERM: a energia do vento em alto mar (*offshore*), a energia potencial das marés

(por exemplo, barragens / lagoas), a energia cinética das marés (por exemplo, as correntes oceânicas), a energia das ondas e a energia produzida por gradientes térmicos ou de salinidade (Figura 9.1).

De todas as fontes de ERM, a energia das marés é porventura o maior recurso energético da Terra, com vasto potencial como principal fonte renovável, podendo desempenhar um papel fundamental na produção global de energia num futuro próximo. A energia das marés é a energia dissipada pelos movimentos das marés, que deriva diretamente das forças gravitacionais e centrífugas entre a Terra, a Lua e o Sol. A energia das marés pode ser prevista, tanto do ponto de vista do tempo de ocorrência quanto da magnitude, é limpa e não se esgota, em contraste com a imprevisibilidade de outras energias renováveis, tais como eólica, solar e das ondas. Tem, portanto, vantagens comparativas para o dimensionamento das redes de distribuição.

O recurso de energia das marés mundial, isto é, o recurso potencial/cinético das marés, é estimado em 3 TW, com 1 TW¹ localizado em águas relativamente pouco profundas. No entanto, em termos práticos, e devido aos condicionantes geográficos, técnicos e ambientais, apenas uma fração desse recurso pode ser explorado. Na prática, os locais adequados precisam de correntes médias de maré entre 2–2.5 metros por segundo, valores teóricos para fornecer uma densidade de energia que permita a um projeto ser economicamente viável. Por exemplo, na Europa, foram identificados 106 locais com forte potencial de corrente de marés, totalizando um recurso estimado de 48 terawatt por hora e por ano.

Os sistemas de conversão de energia das marés podem ser agrupados em sistemas de 1ª geração, sistemas que convertem energia potencial em energia elétrica devido à interação de dois corpos de água durante a maré (por exemplo, barragens de maré, Figura 9.1); e sistemas de 2ª geração, que convertem a energia cinética do movimento do fluxo de água em energia elétrica (por exemplo, turbinas de maré, Figura 9.1). Os sistemas de 1ª geração, requerem locais com uma amplitude de maré superior a 5 m, sendo que, existem somente 40 locais no Mundo com essas características. A extração de energia com recurso a sistemas de 2ª geração, encontra-se em estado inicial de desenvolvimento e, atualmente, não há nenhuma tecnologia dominante no mercado.

Apesar do potencial emergente desta fonte renovável, ser capaz de suprimir no futuro as necessidades energéticas mundiais, as tecnologias associadas à extra-

¹1 TW = 1000 000 000 000 watt

ção de energia de marés não são economicamente viáveis em larga escala, estando ainda num estado prematuro de desenvolvimento. Foram já vários os dispositivos testados, subjacentes a diferentes conceitos físicos, mas só alguns se tornaram protótipos à escala real. Isto porque o desenvolvimento comercial de energia marinha depende em grande parte da capacidade de os projetos piloto demonstrarem viabilidade técnica, económica e ambiental.



Figura 9.1. Diferentes formas de extrair energia dos processos oceânicos: barragens / lagoas de maré, dispositivos de ondas, turbinas de maré, gradientes de temperatura / salinidade e plataformas eólicas offshore (por exemplo, Windfloat Project, Portugal). Esses recursos energéticos têm o potencial de ser uma alternativa para a produção global de energia, comparável aos recursos de petróleo e centrais de produção de energia nuclear. Apesar do alto potencial para resolver alguns dos requisitos de energia do mundo, as tecnologias para extração de energia marinha estão ainda num estado inicial de desenvolvimento e, portanto, o seu uso ainda não é economicamente viável.

A fraca implementação de conversores de energia das marés na costa europeia deve-se também à falta de perceção das interações ambientais, quer em termos do impacto do dispositivo no meio ambiente (importante para os órgãos responsáveis pelo licenciamento) quer no impacto adverso do ambiente no dispositivo (aumento de desgaste dos equipamentos no meio marinho, incrustação biológica nos componentes e consequente limitação da potência real, entre outros fatores), elementos essenciais para aumentar a confiança dos investidores e o apoio financeiro do setor privado a esta tipologia de projetos. A maioria da investigação

científica tem-se concentrado na avaliação hidrodinâmica do recurso energético, ou seja, quanta energia cinética derivada da circulação das correntes de maré pode ser convertida em energia elétrica. Essa avaliação é fundamentada por modelos numéricos que estabelecem cenários futuros de exploração, sem validação, o que é recebido com baixa confiança pelos órgãos reguladores e potenciais investidores. Nos poucos casos em que os dispositivos foram instalados e monitorizados, os dados industriais são confidenciais e, portanto, não são de domínio público e não permitem uma compreensão mais ampla dos impactos positivos/negativos da exploração.

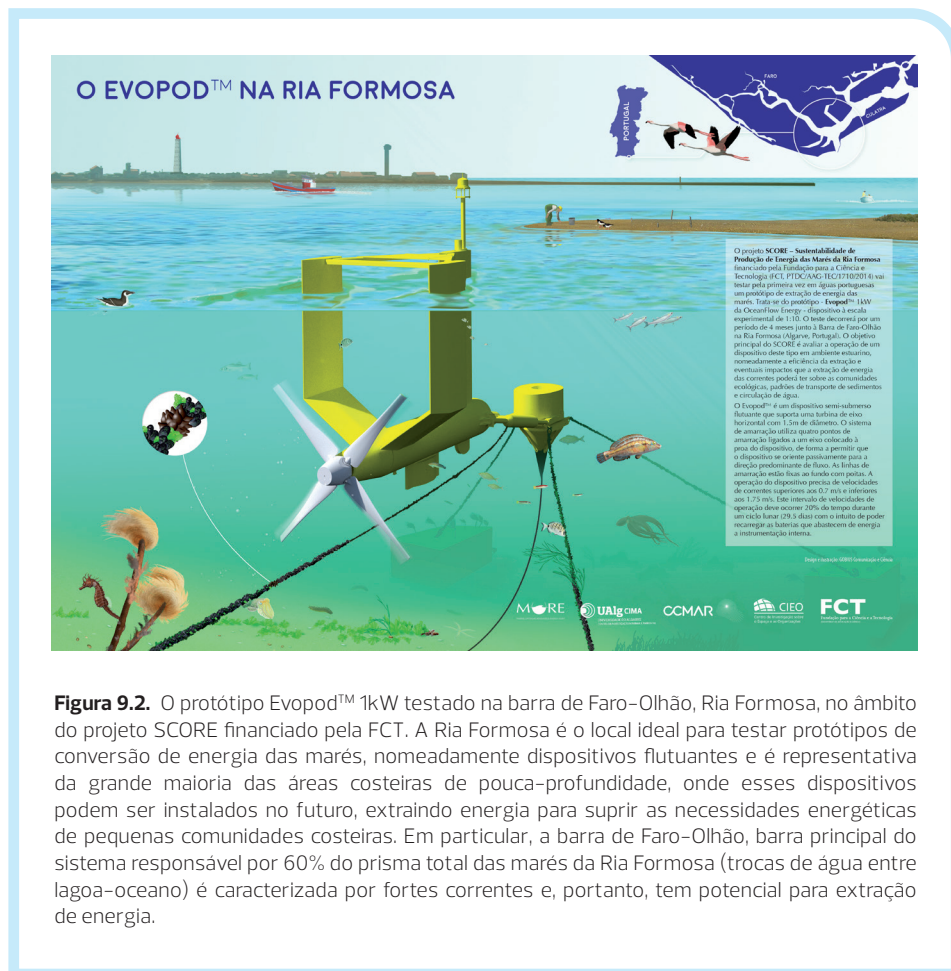
De acordo com dados científicos existentes, a extração de energia das marés à escala comercial, pode ter vários impactos no meio ambiente, nomeadamente: ao reduzir a amplitude das marés alteram-se padrões de fluxo hidrodinâmico e, consequentemente, modifica-se o transporte e a deposição de sedimentos, afeta a distribuição populacional e a dinâmica dos organismos marinhos, modifica a qualidade da água e habitats marinhos, aumenta o ruído subaquático e altera gradientes de salinidade / temperatura. O acesso a dados de monitorização reais recolhidos por entidades competentes e obtidos/disponibilizados de forma transparente é fundamental de forma a catalogar os potenciais impactos da implementação/operação/retirada de qualquer instalação de extração de energia marinha.

9.2. O teste de um conversor de energia de marés flutuante na Ria Formosa

O primeiro teste de um protótipo de energias de marés em águas portuguesas (Figura 9.2) foi realizado no âmbito do projeto SCORE - *Sustainability of using Ria Formosa Currents On Renewable Energy production*, financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT - PTDC/AAG-TEC/1710/2014). O objetivo principal do SCORE foi avaliar a operação de um dispositivo de extração de energia de maré em ambiente estuarino, nomeadamente a eficiência da extração e eventuais impactos que a extração de energia das correntes poderá ter sobre as comunidades biológicas, padrões de transporte de sedimentos e circulação de água. O projeto reuniu uma equipa multidisciplinar de investigadores, incluindo físicos, oceanógrafos, geólogos, biólogos marinhos, modeladores, engenheiros e economistas, e representou uma oportunidade única para entender o desempenho de uma turbina flutuante a diferentes escalas e sobre diferentes perspetivas.

O aspeto inovador do projeto SCORE encontra-se precisamente nas características únicas do local de teste: a Ria Formosa, sistema lagunar protegido por um

sistema de ilhas barreira localizado no sul de Portugal no Algarve. É um local pouco profundo e representativo da maioria das zonas costeiras mundiais de baixa profundidade onde dispositivos de extração podem ser instalados no futuro. É, portanto, ideal para analisar a eficiência de extração de energia e os eventuais impactos que a extração de energia terá sobre as comunidades marinhas e as componentes físicas destes sistemas.



A Evopod™ (Figura 9.2) é um dispositivo flutuante para a geração de eletricidade a partir de correntes costeiras, estuários, rios e correntes oceânicas. Trata-se de um equipamento que utiliza quatro pontos de amarração de forma a se orientar

passivamente para a direção predominante de fluxo. Esta movimentação realiza-se em torno de um eixo de rotação colocado à proa do dispositivo. As linhas de amarração estão fixas ao fundo com poitas ou âncoras. A turbina é de passo fixo e de baixa rotação e possui um gerador que é controlado por um sistema que aciona um inversor para suavizar a potência de saída.

O protótipo foi instalado com sucesso no dia 8 de junho de 2017 pela equipa do SCORE, em colaboração com uma empresa local, que foi subcontratada para fornecer uma embarcação equipada com um guincho, essencial para baixar os pesos de ancoragem na posição exata planeada. O dispositivo foi amarrado ao fundo do mar utilizando um sistema de ancoragem catenário de quatro linhas. O dispositivo pode, desta forma, orientar-se passivamente à direção de corrente predominante. O protótipo esteve em funcionamento entre o dia 8 de junho e o dia 21 de novembro de 2017, data em que foi rebocado para o porto e removido da água. Durante o período anterior, durante e posterior à operação de instalação, operação e recolha do dispositivo, respetivamente, a equipa do SCORE desenvolveu um programa de monitorização contínuo incluindo geofísica, hidrodinâmica e caracterização ecológica, dados essenciais para entender as interações ambiente-dispositivo. A turbina de maré também foi instrumentada para monitorizar continuamente vários parâmetros de performance na extração de energia.

A análise dos dados obtidos no decurso do projeto SCORE permitiu definir as melhores localizações na zona da barra de Faro-Olhão para a instalação de turbinas de extração (capacidade de geração de energia, área de captura e proporção energia/fluxo), bem como estimar o recurso energético associado às correntes para diferentes amplitudes de maré, com valores potenciais de geração na ordem dos 5.7 kilowatt por metro quadrado. Os dados hidrodinâmicos permitiram igualmente validar um modelo hidrodinâmico da Ria Formosa, essencial para desenhar um parque de turbinas para a Ria Formosa, definindo o espaçamento ótimo entre dispositivos para uma instalação comercial. Este modelo foi validado com recurso aos dados reais de extração do protótipo que operou durante 4 meses da Ria Formosa, e, portanto, inclui o funcionamento operacional das referidas turbinas. A validação deste modelo com dados reais foi essencial para quantificar os impactos nos padrões de circulação de água e sedimentos, derivados da extração energética, e fazer o mapeamento do ruído submarino associado à instalação comercial das referidas turbinas, permitindo avaliar com maior exatidão o impacto que o funcionamento destes dispositivos pode ter na ecologia.

Os resultados do projeto SCORE foram publicados e apresentados nas principais revistas e conferências internacionais da área científica, e estão disponíveis

numa base de dados² de acesso livre para investigadores e potenciais investidores. Permitem hoje ter um maior conhecimento operacional desta tecnologia de produção de energia das marés no que diz respeito à eficiência, impactos ambientais e interações dispositivo/ambiente. Por fim, importa salientar que os dados de otimização de extração da energia de marés foram utilizados para avaliar a capacidade de produção elétrica de energia na Ria Formosa utilizando o caso de estudo da Ilha da Culatra na Ria Formosa, que constitui a base do estudo socioeconómico sobre a análise custo-benefício do investimento nesta tecnologia de extração. Este estudo visa propor instrumentos, medidas e diretrizes que apoiarão a futura instalação de dispositivos de extração de energia das marés, respeitando os valores de proteção ambiental e adaptados a cenários socioeconómicos reais.

Mais informações sobre o protótipo em:

<http://www.oceanflowenergy.com/Evopod-Technology.html>

Página Facebook:

<https://www.facebook.com/CIMAMORE/>

O vídeo da instalação da Evopod E1 na Ria Formosa em:

<https://vimeo.com/220929358>

² https://tethys.pnnl.gov/project-sites/score-project-sustainability-using-ria-formosa-currents-renewable-energy-production?fbclid=IwAR3_tfkcZLNQJm4XsLJQV_AcRgpJnZNdR1Q7mDNK9wiY-f8asRq97Poznmo

10. Os satélites como instrumentos de aprendizagem e auxílio da Ria Formosa

Sónia Cristina¹, John Icely^{1,2} & Alice Newton¹

¹ CIMA – Centro de Investigação Marinha e Ambiental, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal

² Sagremarisco, apartado 21, Vila do Bispo, 8650-999, Portugal
scristina@ualg.pt; john.icely@gmail.com; anewton@ualg.pt

A aprendizagem e a compreensão de como um sistema dinâmico como a Ria Formosa evolui ao longo do tempo é imprescindível para a sua preservação. Os satélites de Observação da Terra do programa Europeu Copernicus levam a bordo sensores que permitem medir parâmetros essenciais para o conhecimento da Ria Formosa, tais como: a temperatura, a topografia da superfície do oceano, a cor do mar, a cobertura vegetal e as mudanças no uso e cobertura da terra ao longo dos anos. O contributo dos satélites é fundamental para um conhecimento mais abrangente do sistema lagunar, de modo a complementar os sistemas de monitorização no habitat natural.

10.1. A importância dos satélites da Observação da Terra para observar a Ria Formosa

A Ria Formosa é uma laguna costeira composta por duas penínsulas e cinco ilhas barreira, separadas por seis barras, que permitem trocas de água, sedimentos, nutrientes e outros químicos entre o sistema lagunar e o oceano. A Ria Formosa reúne habitats importantes, tais como: sapais, dunas, ilhas barreira, zonas entremarés, salinas, áreas agrícolas e mata. Este é um sistema lagunar, que apoia uma diversidade de atividades humanas, onde se incluem, setores económicos, tais como:

a pesca, aquacultura, turismo, ecoturismo, atividades de navegação, portos, extração de sal e de sedimentos. Estas atividades económicas dependem essencialmente dos serviços ecossistémicos da laguna que incluem o fornecimento de alimentos (marisco e peixe), o equilíbrio hidrológico, regulação climática, proteção contra tempestades, purificação da água, produção de oxigénio, produção biológica, atividades de recreio e ecoturismo. Devido à sua importância ambiental, a Ria Formosa tornou-se Parque Natural em 1987, faz parte da rede Natura 2000 e encontra-se protegida pela Convenção de Ramsar (Caixa 10.1).

Caixa 10.1 – Sabe o que é a Convenção de Ramsar?

A Convenção sobre Zonas Húmidas de Importância Internacional Especialmente Enquanto Habitat de Aves Aquáticas, também conhecida como Convenção de Ramsar é o mais antigo dos acordos inter governamentais modernos sobre meio ambiente. O tratado foi negociado na década de 1960 entre países e organizações não governamentais preocupadas com a crescente perda e degradação dos habitats das zonas húmidas para as aves aquáticas migratórias. Foi adotado na cidade iraniana de Ramsar em 1971 e entrou em vigor em 1975 e em Portugal entrou em vigor em março de 1981. Atualmente a missão da Convenção cobre todos os aspetos de conservação das zonas húmidas, reconhecendo as zonas húmidas como ecossistemas extremamente importantes para a conservação da biodiversidade e para o bem-estar das comunidades humanas. Para mais informações sobre a convenção aceda ao website da Convenção de Ramsar em <https://www.ramsar.org/>

A Ria Formosa é um sistema vulnerável, complexo e dinâmico que se encontra em constante mudança devido às influências naturais e humanas. De acordo, com as leis nacionais e europeias, existe obrigação legal de monitorizar continuamente este sistema. A Observação da Terra por satélites é uma ferramenta económica para monitorizar e avaliar sistemas ambientais em diferentes escalas espaciais (local a global), e temporais (diária a multianual) complementando assim os sistemas de monitorização no habitat natural, com limitações no espaço e no tempo, que por vezes, tem elevados custos associados. Nas últimas décadas, uma grande variedade de satélites de Observação da Terra (Caixa 10.2) foram colocados em órbita, pelas agências espaciais, com uma ampla gama de sensores com diferentes

características espectrais e espaciais que têm fornecido um grande volume de dados com aplicações em todo o mundo. A Ria Formosa localizada na interface entre a terra e o oceano, pode beneficiar dos dados fornecidos pelos satélites de Observação da Terra. Deste modo, os dados de Observação da Terra com diferentes resoluções espaciais, temporais e espectrais (Caixa 10.3) poderem ser usados para monitorizar o uso e cobertura da terra, a área das águas superficiais, as mudanças de maré, o tipo de vegetação, a humidade do solo, o nível do mar e as propriedades da qualidade da água no sistema lagunar.

Caixa 10.2 – Observação da Terra por deteção remota

Permite a interpretação e o conhecimento dos fenómenos na superfície da Terra através da análise e interpretação das medições da radiação eletromagnética refletida ou emitida por objetos que se encontram na terra, mar ou atmosfera do nosso planeta, e adquiridas por sensores a bordo de aviões ou em órbita (satélites).

Caixa 10.3 – O que são resoluções espaciais, temporais e espectrais?

Resolução espacial – quantificação da superfície terrestre que é representada por cada célula ou pixel da imagem.

Resolução temporal – intervalo de tempo entre aquisições consecutivas de informação no mesmo local (também designado tempo de revisitação); frequência de passagem do sensor no mesmo local.

Resolução espectral – a capacidade de um sensor distinguir entre os diferentes intervalos do espectro eletromagnético define a sua resolução espectral, que é tanto maior quanto maior for o número de bandas abrangido.

10.2. Alguns dos Satélites Sentinel que observam a Ria Formosa

A Estação Espacial Europeia desenvolveu satélites de Observação da Terra (as chamadas missões Sentinel), no âmbito do programa Europeu Copernicus. O objetivo das missões Sentinel é garantir a monitorização dos três domínios do sistema terrestre: atmosfera, água e terra. Estas missões de satélite fornecerão observações multidisciplinares de rotina com cobertura global, transportando uma variedade de sensores com diferentes características.

A missão **Sentinel-1** é composta por uma constelação de dois satélites de órbita polar que funcionam continuamente, para a obtenção de imagens de Radar, independentemente das condições climáticas, com 9–40 metros de resolução e com 6 dias de tempo de revisita no equador. A missão obtém imagens a nível global que podem ser utilizadas para vários fins, como para a monitorização da agricultura, florestas e zonas urbanas, derrames de petróleo nas zonas costeiras e rotas marítimas com alta resolução temporal e espacial.

O par **Sentinel-2** suporta o sensor multiespectral de grande resolução que opera numa órbita polar com 5 dias de tempo de revisita no equador, fornecendo uma aquisição global sistemática de imagens óticas multiespectrais de 10, 20 e 60 metros de resolução. Esta missão fornece dados para serviços de gestão de risco, estado e mudanças no uso e cobertura da terra, monitorização de florestas, segurança alimentar / sistemas de alerta precoce, gestão de água, proteção do solo, mapeamento urbano e monitorização de riscos naturais.

Os dois satélites **Sentinel-3** operam numa órbita polar com menos de 2 dias de revisita no equador e suporta sensores de Observação da Terra dos quais destacamos o altímetro e o sensor ótico. Os dois objetivos principais da missão são as observações topográficas das águas interiores e oceânicas, e as medições óticas de temperatura e cor do oceano. Estas medições são usadas para apoiar sistemas de previsão no oceano, bem como na monitorização ambiental e climática.

10.3. As aplicações dos satélites das missões Sentinel para observar a Ria Formosa

Qualidade da água

A qualidade da água da Ria Formosa é afetada por processos naturais e por processos induzidos pelo homem, que são modificados rapidamente pelas mudanças dinâmicas dentro do sistema ao longo do dia. Essas alterações podem ser avaliadas ao longo do tempo e numa cobertura espacial maior pelos dados adquiridos pelos

sensores da cor do oceano, (a bordo das missões Sentinel-2 e Sentinel-3), que complementam as medições no habitat natural. Os dados adquiridos pelos sensores da cor do oceano que podem ser utilizados como indicadores da qualidade da água são: a concentração da clorofila *a* (indicador de biomassa fitoplanctônica) que pode ser usada para avaliar a eutrofização e identificar a ocorrência de florescência de algas; a matéria particulada em suspensão que permite avaliar a transparência da água e reflete o grau em que a luz pode penetrar verticalmente.

Zonas húmidas

As áreas húmidas são ecossistemas essenciais para manter e melhorar a qualidade da água, mitigar e prevenir inundações, fornecer habitat para peixes e outra vida selvagem, proteger o litoral e fornecer um local para captura de carbono. A Ria Formosa, no entanto, devido ao aumento da pressão causada por uma expansão urbana, mudanças no uso do solo e pelas alterações climáticas neste ecossistema, tem de ser monitorizada a fim de identificar as pressões que induzem impacto neste sistema da Convenção de Ramsar. As missões Sentinel-1 e Sentinel-2 providenciam mapas em intervalos regulares possibilitando assim monitorização das zonas húmidas ao longo dos anos e cobrindo todo o sistema lagunar. A Figura 10.1 mostra as imagens do satélite Sentinel-2 onde podemos observar a distribuição da água através do Índice de Água por Diferença Normalizada e a cobertura vegetal dentro da laguna, através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada para ajudar a distinguir entre as águas superficiais e os tipos de vegetação.

Monitorização da linha de costa

A linha de costa da Ria Formosa estende-se por 55 quilómetros. Embora tenha alta importância ecológica, económica e social, encontra-se exposta a inundações, ondas, ventos, correntes costeiras e à erosão. A monitorização das pressões naturais e humanas nesta linha de costa extremamente dinâmica requer o uso de escalas apropriadas que permitam avaliar o sistema no seu todo e ao longo dos anos. A avaliação das mudanças da linha de costa é usualmente monitorizada por perfis de praia que são obtidas no local, mapas, fotografias aéreas e veículos aéreos não tripulados. Contudo, estas ferramentas têm limitações para estudar as tendências e mudanças sazonais ao longo do tempo, do espaço e são dispendiosas. A deteção remota por satélite fornece dados de Observação da Terra que superam estas limitações, fornecendo aquisição de dados sequencialmente ao longo do tempo que possibilitam monitorizar a evolução da linha de costa e sua dinâmica.

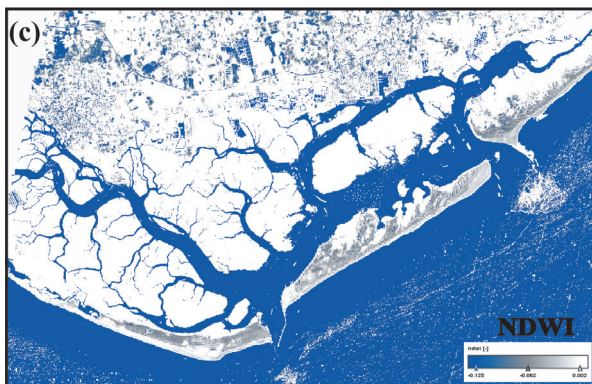
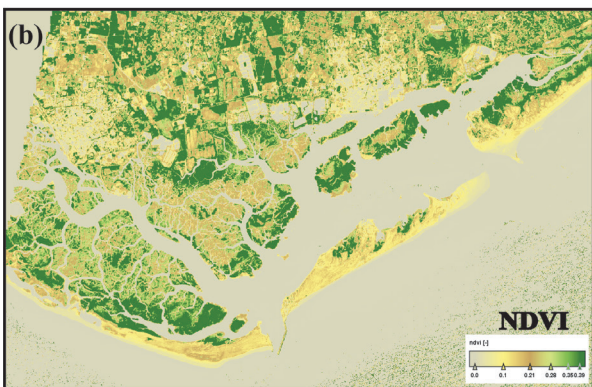


Figura 10.1. Imagem do satélite Sentinel-2A na Ria Formosa a 6 de julho de 2018, imagem RGB (a) processada com o índice de vegetação (NDVI- Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) (b), onde o valor entre -1 (bege) corresponde à água e os valores próximos de 1 (verde escuro) correspondem a áreas com vegetação elevada, e com o índice de água (NDWI- Índice de Água por Diferença Normalizada) (c), onde os valores maiores que zero são assumidos por serem valores que representam a água (azul), enquanto valores menores ou iguais a zero, são considerados superfícies terrestres (branco) (Copernicus Sentinel data (2018)/ESA).

Serviços ecossistémicos

Os habitats como os sapais, as pradarias marinhas, as dunas e zonas intertidais são essenciais para os bivalves, crustáceos, peixes e aves que contribuem para a biodiversidade da Ria Formosa, apoiando os serviços ecossistémicos com importância ecológica, económica e benefícios sociais. Os dados de radar do Sentinel-1 e os dados óticos do Sentinel-2 e Sentinel-3 podem ser usados, de diferentes maneiras, para avaliar e analisar os serviços ecossistémicos fornecidos pela Ria Formosa. Um dos principais serviços ecossistémicos da Ria Formosa é o aprovisionamento alimentar que é responsável por 90% da produção nacional de bivalves em Portugal. O mapeamento da localização, das atividades de aquacultura, através de imagens do Sentinel-2 e o uso de produtos adquiridos pelos Sentinel-2 e Sentinel-3 permite monitorizar a qualidade da água nas aquaculturas na Ria Formosa. A elevada densidade populacional em redor deste sistema lagunar também afeta a qualidade da água, bem como em outros serviços ecossistémicos da Ria Formosa, como recreação e ecoturismo. A evolução da ocupação humana na Ria Formosa pode também ser monitorizada e mapeada através das imagens do Sentinel-2. A Figura 10.2 mostra imagens de satélite onde é possível identificar várias atividades económicas na Ria Formosa. Estes são alguns exemplos de como os dados de Observação da Terra, podem ser usados para estimar os serviços ecossistémicos da Ria Formosa e como os dados de Observação da Terra podem ser usados para complementar as informações socioeconómicas.

10.4. Os prós e os contras do seu uso

O uso de dados de Observação da Terra para avaliar e monitorizar a Ria Formosa é uma ferramenta eficaz para gerir e proteger um sistema extremamente dinâmico, contudo é necessário ter em conta não só as suas vantagens como as suas limitações. A capacidade dos satélites possibilitam monitorizar toda a extensão da Ria Formosa e permitem um estudo da evolução das condições ao longo do tempo (possibilitando aplicações sazonais, anuais e até à escala de poucas décadas), ao contrário das medições feitas no habitat, que muitas vezes são medições pontuais que cobrem áreas pouco extensas e limitadas no tempo. No entanto, existem limitações que o utilizador tem de perceber sobre o uso dos satélites de Observação da Terra, destas salientamos a presença de nuvens, em particular para os satélites, com sensores óticos como é o caso do Sentinel-2 e Sentinel-3, a contaminação causada pelo fundo do sistema lagunar e pela atmosfera na radiação que chega aos sensores presentes nos satélites e a limitação de obter informação somente da superfície do mar.



Figura 10.2. Imagens de satélite da missão Sentinel-2 na Ria Formosa, (a) secção central onde podemos localizar as várias infraestruturas ligadas às várias atividades económicas, tais como a marina de Olhão (1) a porto de pesca de Olhão (2) e estruturas para atracação de embarcações na Ilha da Culatra (3) e (b) secção a este com a localização de uma aquacultura de ostras (Copernicus Sentinel data (2018)/ESA).

Para conhecimento de todos ficam alguns exemplos de aplicações diferentes das imagens de satélite e dos dados extraídos das mesmas, para auxílio de monitorização e da gestão deste sistema lagunar. A deteção remota por satélites de Observação da Terra não só possibilita compreender o sistema ao longo dos anos, como permite um estudo em grandes áreas, complementando assim as medições feitas no habitat natural. Mas são inúmeras as potencialidades do uso de imagens de satélite, que poderão levar ao desenvolvimento de novas ideias e encontrar novas aplicações para sistemas lagunares como a Ria Formosa.

Referências para leitura adicional

Copernicus, 2020. Serviços Copernicus.

Disponível online:

<https://www.copernicus.eu/pt-pt>

European Space Agency (ESA), 2020. Applications overview.

Disponível online:

https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Overview4

IOCCG, 2008. Para que serve a cor do oceano?

Disponível online:

<https://ioccg.org/wp-content/uploads/2015/10/woc-brochure-pt.pdf>

Cristina, S., Icelly, J., Goela, P.C., DelValls, T.A. & Newton, A., 2015.

Using remote sensing as a support to the implementation of the European Marine Strategy Framework Directive in SW Portugal. *Continental Shelf Research* 108:169–177.

Disponível online:

<https://doi.org/10.1016/j.csr.2015.03.011>

Glossário

Águas residuais: Qualquer água que tenha sido afetada pelo uso humano. Água residual é água usada de qualquer combinação de atividades domésticas, industriais, comerciais ou agrícolas, escoamento superficial ou águas pluviais e qualquer fluxo de esgoto ou infiltração de esgoto.

Autotróficos: Seres vivos que possuem a capacidade de produzir a sua própria alimentação através de compostos inorgânicos e uma fonte de energia externa.

Deriva longilitoral: Transporte de sedimento paralelamente à linha de costa, induzido por correntes litorais resultantes da incidência oblíqua das ondas.

Desinfecção ultra violeta: Método de desinfecção que usa luz ultravioleta de comprimento de onda curto (UV-C) para matar ou inativar microrganismos.

Dragagem: Operação que visa a remoção de sedimentos do fundo de canais, mar, barragens ou lagos.

Elementos de transição: Elementos que na Tabela Periódica se localizam entre os elementos metálicos e os não metálicos.

Estomas: Estruturas constituídas por uma câmara e por uma abertura, que permitem trocas gasosas e que se situam nas folhas e, em algumas plantas, também nos caules.

Eufótica: Zona de um ecossistema aquático que recebe suficiente luz solar para a ocorrência de fotossíntese.

Eutrófico: Ecossistema aquático que apresenta uma concentração de nutrientes elevada, podendo dar origem a florescências nocivas de organismos autotróficos.

Eutrofização: Enriquecimento da água em nutrientes, especialmente nitratos e fosfatos, causando um crescimento acelerado de algas, produzindo uma perturbação indesejável no equilíbrio dos organismos presentes na água e na qualidade da água.

Exsudação: A passagem de um fluido do interior de um organismo para o exterior, através das suas membranas.

Florescência de algas: Proliferação no ambiente aquático de microalgas. A sua proliferação conduz ao rápido crescimento da biomassa contida na coluna de água, levando, entre outros efeitos, a uma acentuada redução na transparência das águas e alteração da sua cor. O fenómeno em geral é consequência do enriquecimento de nutrientes.

Fotoinibição: Fenómeno que ocorre quando a incidência luminosa tem uma elevada intensidade e prolongado tempo de exposição, acabando por inibir a realização da fotossíntese.

Fotoperíodo: Período de tempo de incidência luminosa conducente à realização da fotossíntese.

Granulometria do sedimento: Dimensão das partículas que constituem o sedimento.

Habitantes equivalentes: No tratamento de águas residuais é o número que expressa a relação entre a soma da carga poluente produzida durante 24 horas pelas instalações industriais e serviços e a carga poluente individual no esgoto doméstico produzida por uma pessoa no mesmo tempo.

Heterotróficos: Os seres vivos que não possuem a capacidade de produzir a sua própria alimentação, pelo que, necessitam ingerir compostos orgânicos.

Hidrodinâmica: Ramo da Física que estuda as propriedades do movimento dos fluidos, ou seja, o fluxo de líquidos. Refere-se, sobretudo, às variáveis que atuam sobre os líquidos em movimento como força, velocidade e aceleração.

Índice de Estado Trófico: Sistema de classificação de corpos de água, baseado na sua produtividade biológica. Os corpos de água são indexados numa escala de 1 a 100, e podem ser considerados oligotróficos, mesotróficos ou eutróficos.

Lamas ativadas: Tipo de processo de tratamento de águas residuais usando arejamento. O processo aproveita os microrganismos aeróbios que podem digerir a matéria orgânica das águas residuais e aglutinar-se (por floculação) enquanto o fazem.

Mesotróficos: Ecossistemas aquáticos que apresentam uma concentração de nutrientes intermédio entre as situações de baixa concentração de nutrientes (oligotróficos) e de alta concentração de nutrientes (eutróficos).

Metal pesado: Designação pouco específica que tem vindo a ser alterada nos últimos anos. Surgiu para designar os elementos metálicos com massas mais elevadas.

Microscopia de epifluorescência: Microscopia que usa a fluorescência de corantes e/ou de pigmentos naturais para criar imagens mais detalhadas dos organismos ou objetos a observar.

Oligotrófico: Ecossistema aquático que apresenta uma baixa concentração de nutrientes, levando a baixa produtividade biológica.

Potencial redox: Facilidade para perder ou captar electrões

Processos biogeoquímicos: Processos naturais em que os elementos químicos circulam entre os organismos e o ambiente envolvente.

Radioisótopos: Átomos de um elemento químico (ex: carbono) com um excesso de energia nuclear, pelo que, são instáveis e emitem radioatividade.

Regime mareal semi-diurno: ciclo de maré com duração de 24 horas e 50 minutos que inclui duas baixa-mar e duas preia-mar.

Sedimento redutor: Sedimento pouco oxigenado.

CIMA – Centro de Investigação Marinha e Ambiental é um dos centros de investigação da Universidade do Algarve. É uma Unidade de Investigação multidisciplinar que desenvolve a sua atividade científica em áreas de vanguarda, assumindo a literacia científica e a disseminação do conhecimento como missões de extrema importância. O CIMA é membro do Laboratório Associado ARNET e do Laboratório Colaborativo S₂AQUACOLAB. Este livro expressa o comprometimento da equipa na transferência do conhecimento científico para a sociedade.