

MARIA JOÃO FEIO
VERÓNICA FERREIRA
(EDS.)

IMPRESA DA
UNIVERSIDADE
DE COIMBRA
COIMBRA
UNIVERSITY
PRESS

RIOS DE PORTUGAL

COMUNIDADES,
PROCESSOS E ALTERAÇÕES

CAPÍTULO 16

ESTUÁRIOS

João M. Neto¹, Isabel Caçador², Miguel Caetano³, Paula Cháinho⁴, Lino Costa⁵, Ana M.M. Gonçalves⁶, Leonel Pereira⁷, Lígia Pinto⁸, Jaime Ramos⁹ & Sónia Seixas¹⁰

¹MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, Departamento de Ciências da Vida, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Portugal e Escola Superior de Turismo e Tecnologia do Mar, Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, jneto@ci.uc.pt

²MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Portugal, micacador@fc.ul.pt

³IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera, Division of Environmental Oceanography and Bioprospection, Portugal, mcaetano@ipma.pt

⁴MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Portugal, pmchainho@fc.ul.pt

⁵MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Portugal, jlcosta@fc.ul.pt

⁶MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, Departamento de Ciências da Vida, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Portugal e CESAM – Centro de Estudos do Ambiente e do Mar e Departamento de Biologia, Universidade de Aveiro, Portugal, anamartagoncalves@gmail.com, anamartagoncalves@ua.pt

⁷MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, Departamento de Ciências da Vida, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Portugal, leonel.pereira@uc.pt

⁸MARETEC – IST, Secção de Ambiente e Energia, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal, ligia.pinto@tecnico.ulisboa.pt

⁹MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, Departamento de Ciências da Vida, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Portugal, jramos@uc.pt

¹⁰Departamento de Ciências e Tecnologia, Universidade Aberta, Portugal, soniabseixas@gmail.com

Resumo: Os estuários são corpos de água costeiros que se encontram na zona de confluência do rio com o mar, onde a salinidade se dilui gradualmente mas onde as oscilações

ambientais diárias podem variar de forma bastante drástica. São áreas muito produtivas mas onde, por serem de transição entre aqueles ambientes aquáticos, apenas um número restrito de espécies bem adaptadas se consegue apresentar de forma numerosa. São áreas apetecíveis que, pela proteção que proporcionam a quem utiliza o mar como forma de subsistência ou devido às condições únicas de exploração dos produtos de origem marinha, têm levado as populações humanas a aí se fixarem. Como consequência, estas áreas apresentam atualmente dos maiores índices de pressão antropogénica de que há registo, tornando-as vulneráveis e com uma necessidade urgente de intervenção e implementação de medidas de conservação de espécies e do habitat.

Palavras-chave: mistura salina, oscilação de maré, osmoregulação, pressão antropogénica, sistema costeiro, transição

1. Definição de estuário

De uma forma simplificada, um estuário é um *“corpo de água costeiro, parcialmente fechado, com uma ligação livre ao oceano, situado na parte terminal de uma bacia hidrográfica, onde no seu interior a água salgada marinha se dilui de forma mensurável com a água doce fluvial”*¹. Mas, de forma mais elaborada, um estuário é *“um ecossistema instalado numa reentrância costeira profunda, com uma comunicação restrita com o mar, permanente ou intermitentemente aberta, caracterizada por três zonas distintas: (i) zona de maré fluvial, caracterizada pela ausência de salinidade, mas afectada pelo efeito do ciclo de maré; (ii) zona de mistura, onde as massas fluviais e marinhas se encontram e que se caracteriza pela existência de fortes gradientes físicos, químicos e biológicos.*

Estuário propriamente dito, situado entre a zona de maré fluvial e a embocadura do rio; e (iii) zona de turbidez no mar aberto, situado a jusante da zona de mistura e até onde se faz sentir a pluma de maré no pico da baixa-mar"². Os seus gradientes físico e químico dependem, em grande parte, do caudal de água doce descarregado pelo rio, da própria morfologia do leito junto à foz da bacia hidrográfica e da evaporação à superfície. A circulação hidráulica gerada pelos dois primeiros fatores é determinante para a dispersão horizontal das partículas transportadas em suspensão (incluindo a salinidade), gerando estuários homogêneos ou parcialmente misturados, quando a descarga fluvial é semelhante ao fluxo de maré, ou estratificados, quando a descarga de água doce é consideravelmente superior à maré. Por outro lado, a evaporação pode ditar o aparecimento de estuários positivos, negativos ou neutros, dependendo, respetivamente, se a entrada de água doce é superior, inferior ou equivalente à evaporação registada à superfície do sistema.

Atendendo à distribuição média da salinidade ao longo do percurso descendente³, temos mais a montante a zona fluvial (rio, conhecida por alguns como limnética), com uma salinidade característica inferior a 0,5; a zona oligohalina (topo do estuário), onde os valores de salinidade oscilam entre os 0,5 e os 5; a zona mesohalina (secção superior do estuário), com salinidades a variarem entre os 5 e os 18; a zona polihalina (secções média e inferior do estuário), com variações entre os 18 e os 25 na secção média e os 25 e os 30 na secção inferior; e mais a jusante a zona euhalina (barra), com a salinidade a registar valores superiores a 30. O confronto das massas de água fluvial e marinha dentro do estuário, além de ditar a salinidade devido aos fenómenos de difusão e mistura mecânica das substâncias que carregam, permite a ocorrência do processo de floculação de outras partículas que transportam. Ao ganharem lastro, as partículas acabam por ficar depositadas maioritariamente nos setores mais interiores (meso- e polihalino), em zonas onde

a circulação hidrodinâmica é mais reduzida, junto às margens, em zonas com vegetação ou pouco profundas do estuário.

Juntamente com a oscilação do nível das marés, e as correntes assim geradas, o vento é outro dos fatores com responsabilidade na dinâmica sedimentar observada no interior do estuário. A ondulação gerada nas zonas menos profundas pode igualmente promover a ressuspensão dos sedimentos mais finos que, acabando por se acumular noutras zonas do estuário, contribuem para as alterações constantes da morfologia dos seus fundos.

Embora sujeitos a grandes variações diárias, condicionadas pelos sucessivos ciclos de maré, os ambientes aquáticos estuarinos, que incluem os bancos de macroalgas e de ervas marinhas e os sapais, são áreas que apresentam uma grande produtividade biológica⁴, comparável à das florestas tropicais. Em termos ecológicos, os estuários mantêm uma complexa interação entre as espécies presentes e, embora a sua diversidade seja menor do que em muitos outros ecossistemas, as que conseguem lidar com as adversidades estuarinas apresentam aqui grandes densidades. São organismos bem adaptados às exigentes variações ambientais, que sustentam uma complexa rede trófica e contribuem para a construção do próprio estuário, para a diversificação de habitats, para a produção primária e secundária, para o fornecimento de serviços de ecossistema e, em última instância, para a preservação ou melhoria da saúde ambiental do próprio sistema.

Os estuários, pela sua natureza e localização, são desde há muito utilizados pelo Homem como locais de abrigo e sustento. Implementaram-se estruturas portuárias de suporte à economia do mar e desenvolveram-se continuamente atividades ligadas à pesca ou extração, aquacultura, comércio ou controlo sobre a troca de produtos, bem como à prática de atividades de lazer ou recreativas. Por tudo isso e pela sua fragilidade natural, são zonas também muito vulneráveis, onde as pressões antropogénicas se fazem sentir

de forma muito intensa. A ocupação e alteração física das margens e do leito, o lançamento de efluentes domésticos e industriais, as atividades dentro e nas imediações do estuário, a alteração da conectividade e sazonalidade do caudal natural do rio, bem como a introdução de espécies não indígenas, são algumas das pressões que promovem a degradação hidromorfológica do sistema, aumentam a carga orgânica ou a concentração de substâncias contaminantes biodisponíveis, restringem o acesso a determinadas áreas da bacia hidrográfica e representam uma pressão biológica séria, difícil de mitigar, que pode ditar a redução ou mesmo conduzir ao desaparecimento de espécies locais.

2. Tipologia dos estuários portugueses

Do ponto de vista das características físicas e químicas, os estuários portugueses são muito diversos, apresentam grande variação quanto à forma, às dimensões, ou mesmo quanto ao regime fluvial que os influencia. Para a implementação da Diretiva Quadro da Água (DQA⁵) em Portugal, que visa manter ou melhorar a qualidade ecológica de todas as massas de água subterrâneas e de superfície, esta diversidade foi resumida em dois tipos de estuários (designados massas de água de transição⁶). Baseado no sistema B de caracterização alternativa, determinado oficialmente pela DQA (latitude, longitude, amplitude de maré, salinidade, velocidade da corrente, ondulação, temperatura média da água, mistura da água, turbidez, composição média do substrato, amplitude térmica da água, tempo de residência, profundidade e forma), definiram-se os tipos A1, que inclui os estuários mesotidais estratificados do norte do país (Minho, Lima e Douro), e A2 com os estuários mesotidais bem misturados do centro e sul de Portugal (Ria de Aveiro, Mondego, Tejo, Sado, Mira, Arade e Guadiana). Posteriormente, atendendo às propostas e solicitações emanadas dos

trabalhos inseridos no exercício de intercalibração, desenvolvido pelos parceiros europeus envolvidos na implementação da DQA, e usando um conjunto de parâmetros considerado mais ajustado (estratificação, forma do canal, área total, área intertidal, caudal modal, rácio caudal modal/área da bacia, média temperatura diária, rácio dos valores de temperatura média e amplitude), foram adicionados novos sistemas estuarinos ao conjunto considerado anteriormente. Como resultado obteve-se um agrupamento ligeiramente diferente dos estuários nacionais, com (i) o tipo A1.1 (basicamente o tipo A1⁶) a acolher os estuários mesotidais do norte, com estratificação variável da coluna de água, mas com menos de 50% de área intertidal e em forma de canal (Minho, Lima, Neiva, Cávado, Ave, Leça, Douro, Modego e Lis), (ii) o tipo A1.2 a considerar unicamente o Vouga (Ria de Aveiro), com forma mais espraçada, bem misturado e com uma área intertidal disponível de aproximadamente 50%, (iii) o tipo A2.1 (basicamente os estuários estreitos do tipo A2⁶) que inclui os estuários mesotidais estreitos do sul, em forma de canal, com uma coluna de água bem misturada e com menos de 50% de área intertidal (Mira, Arade e Guadiana), e (iv) o tipo A2.2 que engloba os estuários mesotidais mais espraçados do sul, bem misturados mas com uma área intertidal inferior a 50% da sua área total (Tejo e Sado).

3. Características hidromorfológicas

Apesar das tipologias anteriormente definidas, a diversidade dos estuários portugueses é grande. A sua extensão linear média situa-se nos 31 km (não incluindo o Leça que é mais pequeno e muito modificado), tendo os estuários com forma de canal um comprimento médio que varia entre os 23 km (norte) e os 32 km (sul), e os espraçados entre os 21 km (Vouga) e os 68 km (Tejo e Sado) (Tabela 16.1). Estas variações ficam a dever-se às condições hidráulicas e à

própria morfologia de cada sistema, que acabam por condicionar a propagação da maré dentro do sistema (desigual em canais ou áreas do mesmo estuário, p.ex., Vouga, Mondego) e influenciar outros parâmetros, como o tempo de residência ou a temperatura média da água. Embora todos os estuários portugueses estejam sujeitos a ciclos semidiurnos de maré, o tempo de residência é tendencialmente maior nos sistemas do sul, sempre superior a 12 dias enquanto no norte é de apenas alguns dias. Verifica-se, também, uma diferença clara nos valores típicos da temperatura média da água e das amplitudes térmicas entre os estuários do norte e os do sul, variando entre 14,7 e 15,4°C para os primeiros (tipologia A1) e entre 15,9 e 18,3°C para os últimos (tipologia A2). No geral, devido aos caudais que apresentam, os estuários do norte têm maior tendência para experimentar alguma estratificação da coluna de água (pelo menos durante o período de inverno), ao passo que os do sul apresentam uma coluna de água caracteristicamente bem misturada. Estas diferenças tendem a ser cada vez mais esbatidas ao longo dos anos pois, devido à construção de barragens ao longo dos cursos de água, o regime hidrológico natural dos rios tem sofrido alterações substanciais. Como consequência tem-se observado nos últimos anos uma diminuição da magnitude dos episódios de cheia que normalmente ocorriam no inverno⁷.

Tabela 16.1.
Características hidromorfológicas dos principais estuários portugueses.

Características	Mínho	Lima	Neiva	Cávado	Ave	Leça	Douro	Ria de Aveiro	Mondego	Lis	Tejo	Sado	Mira	Arade	Guadiana
	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Estratificação coluna de água	Estreito	Estreito	Estreito	Estreito	Estreito	Estreito	Estreito	Largo	Estreito	Estreito	Largo	Largo	Estreito	Largo	Estreito
Configuração do canal	17,1	2,5	1,0	1,0	1,0	1,0	97,6	3,4	6,7	1,0	80	7,7	1,6	2,0	66,8
Profundidade na foz (m)					6				10				13		14
Área bacia hidrográfica (x10 ³ km ²)	24,5	11,3	0,3	4,3	1,8	1,5	7,3	120,8	8,6	0,4	367,5	212,4	4,7	8,7	37,5
Dimensão estuário (área total, km ²)	2	1					2	58	5		110	60			4
Área intertidal estuário (km ²)	8,2	8,8					25,9	48,0	58,3		29,9	28,3			10,7
Área intertidal em % área total	37,2	37,8	13,6	25,0	12,5	3,5	20,4	20,4	21,0	16,5	64,3	71,5	20,5	15,0	60,3
Extensão linear estuário (km)	70	19					59	84	21		2200	500	17		96
Volume maré média (x10 ⁶ m ³)	2,0	2					3,8	2	3		2,6	2,7	2,4		2,2
Amplitude de maré média (m)	55	9					21	119	22						
Prisma de maré (x10 ⁶ m ³)	1,5	1-7a					1-9 ^a	4-20	2-9 ^b		19	21	14		12
Tempo residência (dias)	409,8	58,9	2,8	67,1	31,9	2,5	487,7	72,1	91,1	8,0	355,4	12,8	6,8	7,8	77,8
QMOD (m ³ /s)	14,9	14,9	14,7	15,0	15,0	15,0	15,0	15,2	15,4	14,8	16,2	15,9	16,8	16,3	18,3
Temperatura média diária (°C)															

a, inverno – verão; b, canal norte – canal sul

4. Características físico-químicas

A nível físico-químico, embora as condições naturais dos sedimentos sejam variáveis e, em parte, reguladas por aspetos morfológicos e hidrológicos particulares de cada sistema, sabe-se que as suas características dependem muito de causas antropogénicas. A concentração dos diferentes elementos (p.ex., nutrientes, metais) no sedimento pode variar e afastar-se de modo significativo dos seus limites naturais e contribuir, pela sua persistência, para um desequilíbrio ecológico de difícil resolução (p.ex., eutrofização). Os níveis de substâncias naturais ou produzidas pelo Homem têm aumentado na maioria dos sistemas estuarinos em consequência de atividades humanas ou fenómenos naturais, o que acaba por se traduzir num agravamento das pressões ambientais e químicas existentes nesses sistemas. Neste sentido, para perceber o efeito que os nutrientes e outros compostos presentes nos sedimentos têm sobre os organismos estuarinos (ou que destes dependem), tem havido um investimento grande no estudo e compreensão dos seus ciclos biogeoquímicos, investigando-se sobretudo as suas concentrações naturais, biodisponibilidade ou oscilações temporais características de cada sistema.

A entrada daquelas substâncias, nomeadamente compostos orgânicos persistentes e metais, ocorre de forma direta ou difusa (através de efluentes ou através do vento e da chuva), acabando por integrar de forma eficiente as cadeias tróficas estuarinas através da assimilação inicial feita, em grande parte, pelo fitoplâncton e outros produtores primários.

Os fertilizantes (compostos de azoto e fósforo), resultantes de atividades agrícolas e desenvolvimento urbano, são exemplos de substâncias que entram diretamente no meio aquático através de drenagens ou outras práticas ligadas à gestão da água. A erosão das bacias hidrográficas dos rios, feita pela chuva e vento, é tam-

bém um fator de introdução destes nutrientes nos estuários. Nos principais estuários de Portugal continental (Minho, Lima, Cávado, Ave, Douro, Ria de Aveiro, Mondego, Tejo, Sado, Mira, Arade e Guadiana), a salinidade, acidez e quantidade de partículas em suspensão na água apresentam intervalos de variação muito amplos e ciclos temporais rápidos, o que dificulta a avaliação de alterações dos equilíbrios naturais. No entanto, nos estuários do Cávado, Ave, Douro, Mondego, Arade e Guadiana, observou-se que a saturação de oxigénio na água foi inferior a 75% em algumas situações de maré, o que sugere o desequilíbrio das suas condições ambientais⁸. As altas concentrações em compostos de azoto na água, dos estuários do Lima, Cávado, Tejo e Guadiana, estão provavelmente relacionadas com atividades agrícolas, urbanas e industriais praticadas dentro das suas bacias hidrográficas⁹⁻¹¹. Apesar da coexistência de processos naturais e antropogénicos tornar difícil identificar a origem dos teores de azoto e fósforo na água, Caetano et al.⁸ estabeleceram limites máximos de referência para estes compostos nos estuários portugueses, permitindo, assim, classificar o estado químico destas massas de água com base nas suas concentrações. Este estudo, pela sua abrangência territorial e aplicação de uma metodologia uniforme, mostrou que a água dos estuários do Minho, Ria de Aveiro, Mira e Guadiana, tem "boa qualidade" relativamente a compostos de azoto e fósforo. Contrariamente, os estuários do Cávado, Ave, Douro, Tejo e Sado apresentaram "Baixa qualidade" da água devido a elevadas concentrações de compostos de azoto.

Outros elementos presentes nos estuários devido a processos naturais e antropogénicos são os metais. A Comissão Europeia estabeleceu "Normas de Qualidade Ambiental"^{5,12} que determinam os limites máximos de concentração de metais dissolvidos a partir dos quais ocorrem efeitos nefastos nos organismos marinhos. A quantificação da concentração de níquel, chumbo, cádmio e mercúrio em amostras da coluna de água mostrou que os estuários

do Minho, Lima Cávado, Ave, Douro, Ria de Aveiro, Tejo, Sado, Mira e Guadiana não apresentam contaminação da água¹³. No entanto, no Leça, Mondego e Arade foi evidente a contaminação por níquel e chumbo.

A água dá informação sobre a contaminação no momento, enquanto os sedimentos dos estuários permitem avaliar o grau de contaminação por metais integrado no tempo. Por tal razão, foram estabelecidas as condições de referência para a concentração de metais nos sedimentos dos principais estuários portugueses (Minho, Lima, Neiva, Cávado, Ave, Leça, Douro, Ria de Aveiro, Mondego, Lis, Tejo, Sado, Mira, Arade e Guadiana). A concentração de arsénio, cádmio, cobalto, crómio, cobre, níquel, chumbo, zinco e mercúrio no sedimento variou de acordo com a sua abundância na natureza e com as fontes de contaminação¹⁴. A natureza geológica das partículas de sedimento foi o fator dominante na retenção destes metais. Com base nas condições de referência verificou-se que, nos estuários do Minho, Lima, Neiva, Cávado, Douro, Ria de Aveiro, Mondego, Lis, Mira, Arade e Guadiana, as concentrações refletem, de um modo geral, os valores naturais, embora algumas zonas confinadas possam evidenciar maior contaminação. Em contrapartida, foi observado o aumento das concentrações de cobre, cádmio, chumbo, zinco e mercúrio nos sedimentos dos estuários do Leça, Ave, Tejo e Sado, o que aponta para a existência de fontes antropogénicas nas proximidades desses sistemas⁸.

5. Pressões antropogénicas

As atividades portuárias e de navegação, a agricultura, a aquicultura, as indústrias transformadoras e de construção constituem algumas das atividades mais comuns desenvolvidas nos estuários ou nas suas imediações e podem representar uma pressão eviden-

te para o ecossistema. A descarga de efluentes, com o aumento da concentração de nutrientes e outras substâncias nos estuários, poderá conduzir à multiplicação rápida e colonização por espécies oportunistas (eutrofização), que leva muitas vezes à total ocupação do espaço disponível¹⁵. Mas, muitas das práticas com impacto aparentemente menor podem, ainda assim, constituir uma causa de perturbação significativa para o meio ambiente e suas comunidades, nomeadamente pela ocupação e utilização diferencial que fazem do território estuarino ou envolvente. A pesca, a salicultura e as atividades ligadas ao turismo e lazer, embora não sejam responsáveis pela emissão de nenhum efluente direto para o meio, podem constituir igualmente uma fonte considerável de pressão ambiental para os estuários.

Estas e outras fontes de perturbação são atualmente usadas com frequência para caracterizar e quantificar as pressões existentes em cada sistema (Tabela 16.2). Sabe-se que os diferentes elementos biológicos são afetados de forma distinta pelas várias pressões atuantes e que, para intensidades comparáveis de uma determinada pressão, deverão corresponder respostas relativamente consensuais por parte de cada elemento.

Tabela 16.2.
Pressões antropogénicas registadas nos principais estuários portugueses.

Categoria de pressão	Indicador de pressão	Minho	Lima	Neiva	Cavado	Ave	Leça	Douro	Ria Aveiro	Mondego	Lis	Tejo	Sado	Mira	Arade	Guadiana
Alterações hidromorfológicas	Ocupação do solo (ha)	Baixa	Média	Alta	Média	Muito baixa	Muito alta	Média	Média	Muito alta	Muito alta	Média	Baixa	Muito baixa	Baixa	Muito baixa
	Reforço artificial da margem (%)	Baixa	Média	Muito baixa	Baixa	Alta	Muito alta	Muito alta	Alta	Baixa	Baixa	Média	Média	Baixa	Baixa	Baixa
Alterações no uso dos recursos	Área de dragagem de manutenção (ha)	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa	Alta	Muito alta	Alta	Média	Baixa	Baixa	Média	Média	Muito baixa	Média	Muito baixa
	Perturbações por outra pesca costeira	Baixa	Baixa	Baixa	Alta	Muito baixa	Média	Média	Muito alta	Média	Média	Média	Baixa	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa
Desenvolvimento de marinas	Desenvolvimento de marinas	Baixa	Baixa	Muito baixa	Baixa	Muito baixa	Média	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Muito baixa	Muito alta	Baixa
	Turismo e recreação	Baixa	Baixa	Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Alta	Baixa	Baixa	Baixa	Média	Média	Média	Baixa	Baixa
Descargas diretas	Descargas diretas	Muito baixa	Baixa	Baixa	Alta	Alta	Média	Alta	Baixa	Muito baixa	Muito baixa	Média	Média	Baixa	Baixa	Baixa
	Agricultura	Alta	Alta	Alta	Alta	Média	Muito baixa	Baixa	Muito alta	Alta	Alta	Média	Média	Alta	Baixa	Baixa
Aquacultura	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa	Baixa	Baixa	Muito baixa	Muito baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Muito baixa

Categoria de pressão	Indicador de pressão	Mínho	Lima	Neiva	Cavado	Ave	Leça	Douro	Ria Aveiro	Mondégo	Lis	Tejo	Sado	Mira	Arade	Guadiana
Qualidade ambiental e sua percepção	Desenvolvimento de área portuária	Muito baixa	Média	Muito baixa	Baixa	Baixa	Alta	Baixa	Baixa	Baixa	Média	Média	Média	Muito baixa	Média	Baixa
	Área coberta por pipelines, cabos, explorações de gás	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa
Qualidade ambiental e sua percepção	Qualidade química da água	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Alta	Alta	Média	Média	Média	Média	Média	Alta	Muito baixa	Baixa	Baixa
	Qualidade química do sedimento	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Média	Média	Média	Muito baixa	Muito baixa	Alta	Média	Baixa	Baixa	Média
Qualidade ambiental e sua percepção	Qualidade da água -efeito biológico (bioacumulação e qualidade do marisco)	Muito baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Muito baixa	Baixa	Média	Muito baixa	Muito alta	Muito baixa	Muito baixa	Baixa	Muito baixa
	Interferência com rotas de peixes migradores - barreiras físicas (estuários)	Baixa	Baixa	Muito baixa	Baixa	Muito alta	Média	Média	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa
Qualidade ambiental e sua percepção	Oxigénio dissolvido (saturação ao longo do tempo)	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Média	Média	Muito baixa	Média	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa	Baixa	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa
		Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Média	Média	Muito baixa	Média	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa	Baixa	Muito baixa	Muito baixa	Muito baixa

O aparecimento desmesurado de espécies oportunistas, essencialmente macro- e microalgas, levantam problemas estéticos, económicos, mas, também, ao equilíbrio das comunidades que integram o ecossistema¹⁵. Normalmente, os *blooms* de macroalgas levam à redução da qualidade do habitat das águas de transição, onde as alterações da concentração de oxigénio dissolvido podem conduzir, em casos extremos, à formação de um ambiente anóxico¹⁶. Este tipo de ambiente leva à eliminação de muitos organismos afetando também as populações que deles dependem direta ou indiretamente¹⁷. Estes fenómenos de enriquecimento orgânico e conseqüente processo de eutrofização e degradação do ambiente foram abundantemente estudados no estuário do Mondego, com impactos diversos ao nível das aves¹⁸⁻²⁰, dos macroinvertebrados bentónicos²¹⁻²³ e do coberto de macroalgas e ervas marinhas^{22,24,25}.

6. Fauna e flora estuarinas

6.1. Macroalgas

A salinidade, a turbidez e a disponibilidade de substrato, depois da temperatura e ambiente luminoso, são dos fatores naturais locais que maior responsabilidade têm na determinação das características ecológicas dos estuários. Sendo espécies marinhas, é normal que as suas diversidade e abundância variem de forma paralela à da salinidade, como é o caso das macroalgas que apresentam valores mais elevados para aqueles parâmetros na zona mais perto do mar, onde a salinidade também é maior²⁶. À medida que nos afastamos desta zona de influência, e nos dirigimos para montante, ocorre uma diminuição no número

de espécies. Esta diminuição deve-se sobretudo à redução no número de Rhodophyta (algas vermelhas), seguida pela redução no número de Phaeophyceae (algas castanhas). As Chlorophyta (algas verdes) são encontradas mais a montante, mas a sua riqueza específica também diminui²⁶. O padrão de distribuição das diferentes macroalgas nos estuários foi sugerido por Wilkinson et al.²⁶ (Figura 16.1), sendo a zona A, mais próxima do mar, o local de maior diversidade, apresentando elevado número de algas perenes e anuais, dominadas por espécies do género *Fucus* (Phaeophyceae) (Figura 16.2); a zona B, com salinidade inferior à anterior, onde ocorre uma diminuição no número de espécies, apresentando, contudo, uma dominância do género *Fucus*; e a zona C, de salinidades mais baixas típicas do estuário superior, que apresenta uma flora dominada por algas oportunistas²⁷. Nesta zona o número de espécies é muito baixo e, em certas ocasiões, pode estar reduzido a duas ou três espécies¹⁷.

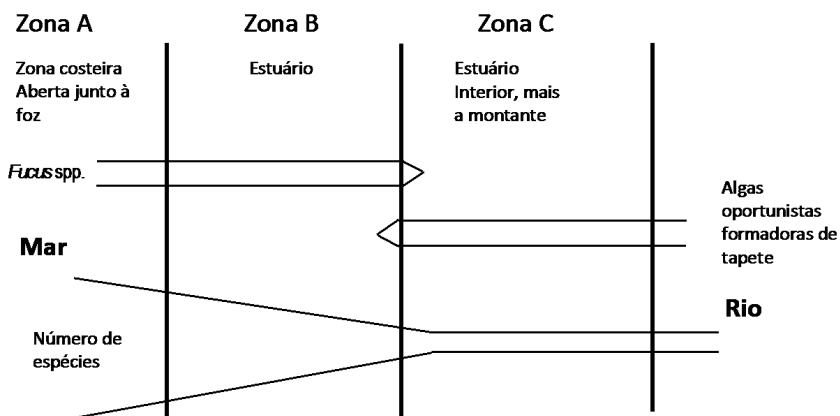


Figura 16.1. Três zonas nas quais a flora macroalgal se distribui num estuário.

A utilização histórica das macrófitas estuarinas como fertilizante agrícola corresponde a outra forma de pressão antropogénica

a que alguns destes sistemas podem estar sujeitos mas mostra, também, de um modo inequívoco, a estreita ligação entre estes organismos estuarinos e o modo de vida das populações circundantes. A mistura de algas e plantas marinhas tradicionalmente usada como fertilizante agrícola – o moliço – é normalmente constituída por macroalgas verdes dos géneros *Rhizoclonium* e *Ulva* (Chlorophyta), macroalgas vermelhas do género *Gracilaria* (Rhodophyta) (Figura 16.3) e ervas marinhas (plantas angiospérmicas, i.e., plantas com flor) pertencentes aos géneros *Zostera*, *Ruppia* e *Potamogeton*, colhidas no passado, sobretudo no estuário da Ria de Aveiro²⁸. A coexistência das macroalgas e das ervas marinhas nas plataformas intertidais ou de pouca profundidade do interior dos estuários faz com que a apanha seja feita de forma indiferenciada, o que põe em perigo a sobrevivência das ervas marinhas, que apresentam um ritmo de crescimento mais lento do que o das macroalgas.

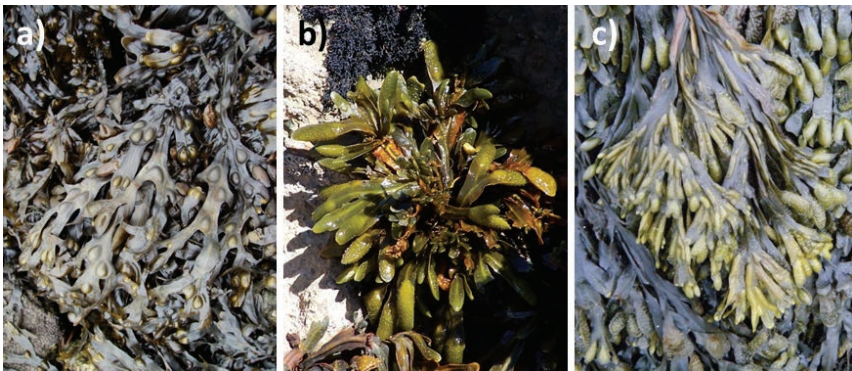


Figura 16.2. Espécies do género *Fucus* (Phaeophyceae, algas castanhas) presentes no estuário do Mondego: a) *Fucus vesiculosus*; b) *Fucus Spiralis*; c) *Fucus ceranoides*. Fotografias: Leonel Pereira.

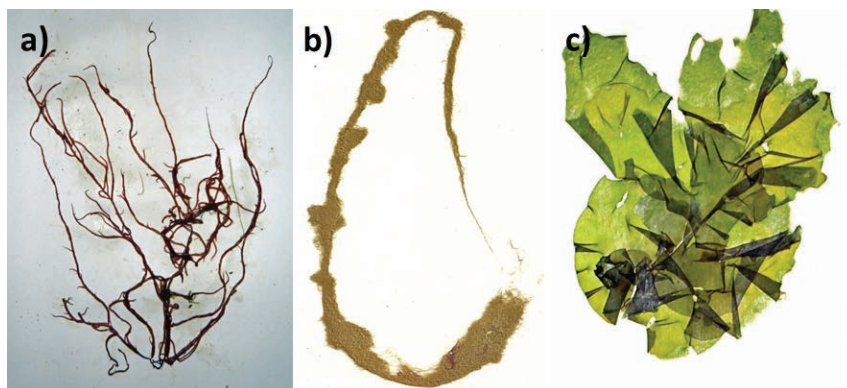


Figura 16.3. Algas tradicionalmente usadas, em conjunto com ervas marinhas, como fertilizante agrícola – o moliço: a) *Gracilaria* sp. (Rhodophyta); b) *Rhizoclonium* sp. (Chlorophyta); c) *Ulva* sp. (Chlorophyta). Fotografias: Leonel Pereira

6.2. Ervas marinhas

A deposição de espessos mantos de macroalgas nas plataformas intertidais promove o sombreamento e o consumo elevado do oxigénio da coluna de água (podendo esgotar-se nas noites mais quentes de verão), o que pode conduzir ao desaparecimento das ervas marinhas²². Quando esta situação se torna persistente, verifica-se um contínuo e gradual decaimento das pradarias de *Zostera*, que não conseguindo recuperar em anos sucessivos provocam uma mudança radical ao nível dos produtores primários do sistema. Uma presença intermitente de coberto vegetal, quando os produtores primários perenes (ervas marinhas) dão lugar ao domínio por anuais (macroalgas), promove alterações profundas nas comunidades (e inter-relações) de macroinvertebrados, peixes, e outros organismos estuarinos. As mudanças profundas, que ocorrem no funcionamento e estrutura do próprio ecossistema, fazem com que passem a dominar as comunidades menos estáveis de detrití-

voros²², contribuindo para a diminuição da resiliência e qualidade ecológica geral do ecossistema²⁹. As ervas marinhas são habitats vulneráveis, em risco permanente, capazes de desempenhar de forma contínua funções importantes do ecossistema (p.ex., alimento, abrigo, proteção contra a erosão, sequestrador de carbono) e, por isso, tidos em conta pelas recentes Diretivas Ambientais Europeias (p.ex., DQA) na avaliação da qualidade dos sistemas estuarinos³⁰. Os estudos feitos em Portugal sobre angiospérmicas marinhas têm sido maioritariamente realizados no Mondego, Ria Formosa, Ria de Aveiro, Sado e Mira, embora mais tradicionalmente nos dois primeiros sistemas³¹. Surgem muitas vezes coligados à dinâmica das comunidades associadas à vegetação^{23,24,32,33} e menos à resposta dos próprios organismos numa perspectiva de gestão ambiental³⁴.

6.3. Plantas de sapal

Os sapais desenvolvem-se nas margens dos estuários e em zonas costeiras, em condições de baixo hidrodinamismo. Apesar de serem estruturas dinâmicas influenciadas pela ação da maré, os passos envolvidos na formação de um sapal estão intimamente ligados à dinâmica da vegetação. O estabelecimento e crescimento dos sapais é consequência de interações mais ou menos complexas entre a topografia e a batimetria, regimes de maré, processos de sedimentação, grau de proteção e ecofisiologia da vegetação halófito, tendo aqui a vegetação pioneira um papel crucial para a retenção das partículas em suspensão arrastadas pela maré. A sua sedimentação permite a colonização dos solos imaturos e instáveis, elevando deste modo o substrato e permitindo a sucessão das espécies de sapal. Até meados do século XX, estas áreas eram frequentemente drenadas, para obtenção de terrenos agrícolas e para instalar cidades e zonas industriais. Só a partir da década de 1970

é que a sociedade começa a reconhecer o valor ecológico destes ecossistemas e a legislar no sentido da sua proteção e conservação.

A frequência e duração do período de submersão são fatores determinantes para a composição florística das comunidades que vivem nas zonas entre marés. A altura da maré determina a distribuição das plantas no sapal. Tipicamente, nos sapais distinguem-se três zonas de plantas superiores com as suas comunidades associadas. Nas cotas mais baixas, onde apenas poucas espécies podem crescer, encontra-se a zona pioneira ou sapal baixo. Avançando no sentido das cotas crescentes surge uma zona mais consolidada, com uma flora mais rica, que constitui o sapal do meio ou o sapal mais maduro. Finalmente, as espécies da zona mais estruturada do sapal são parcialmente substituídas, na zona alta do sapal, por espécies características de habitats não salgados ou por halófitas facultativas que apenas suportam curtos e não frequentes períodos de submersão³⁵.

Os sapais têm larga distribuição geográfica e grande variabilidade ecológica e, com as comunidades que suportam, integram-se em ecossistemas mais complexos, como estuários e em zonas costeiras. Uma vez que uma grande parte da produção primária dos sapais é devida à biomassa subterrânea, a morte e a decomposição desta componente das plantas superiores reveste-se da maior importância para as funções de sequestro (*sink*) do sapal³⁶. A produção primária e os processos de decomposição do sistema radicular das plantas superiores são fatores determinantes para o ciclo dos metais e para a reciclagem dos nutrientes. Por outro lado, a interação entre as raízes e o sedimento é de elevada complexidade (absorção de nutrientes, libertação de oxidantes, exsudados e gases), ressaltando-se o transporte de oxigénio atmosférico da parte aérea das plantas para as raízes, que modificam o perfil químico dos sedimentos envolventes, tornando muitos dos elementos tóxicos (p.ex., metais) inacessíveis aos demais organismos estuarinos³⁷.

Os sapais são considerados fontes, reservatórios e transformadores de uma grande variedade de materiais químicos, biológicos e gené-

ticos. Além de desempenharem importantes funções como sistema de filtração, de suporte de uma extensa cadeia alimentar, de biodiversidade e como sequestradores de contaminantes metálicos e de dióxido de carbono, os sapais podem, ainda, constituir um elemento importante em programas de monitorização ambiental^{38,39}. A avaliação estrutural e funcional das áreas de sapal, usando indicadores físico-químicos e biológicos apropriados (p.ex., elenco florístico, razão biomassa da parte aérea/biomassa da parte subterrânea), pode identificar as causas e os processos de degradação e as funções que estão a ser afetadas. Conhecendo a resposta das plantas aos fatores físico-químicos e as relações de competitividade entre as diferentes espécies, podemos ter indicações úteis sobre a saúde de um ecossistema (p.ex., eutrofização, aumento de temperatura, alterações de salinidade ou de encharcamento), devidas a aumento de nutrientes, a variações de temperatura, alterações na taxa de sedimentação, ou subida do nível do mar. Métricas adequadas, para avaliar a saúde do sapal, têm sido desenvolvidas em vários países da Europa e incluem parâmetros como a extensão do sapal, a estrutura da vegetação (zonação do sapal) e composição de espécies (diversidade dentro de cada zona e percentagem relativa de cobertura)⁴⁰. No entanto, a generalização de conceitos e conclusões nos sapais são difíceis, visto que são ecossistemas com grande variabilidade, onde podem ocorrer grandes variações, quer espaciais, quer mesmo temporais.

6.4. Plâncton

6.4.1. Fitoplâncton

As comunidades fitoplanctónicas (microorganismos aquáticos com capacidade fotossintética, que vivem dispersos na coluna de

água, responsáveis pela produção primária que sustenta grande parte da biodiversidade) integram organismos que, pela sua resposta rápida a alterações ambientais e a contaminantes, assumem um papel importante nos meios estuarinos e, como tal, são considerados chave nestes ecossistemas. Para os sistemas estuarinos portugueses, em geral, o fitoplâncton regista um aumento da sua biomassa a partir do mês de abril, condicionado pelas condições de temperatura, luz e disponibilidade de nutrientes, e apresenta menores valores no outono e inverno.

Os grupos taxonómicos dominantes no fitoplâncton estuarino são as diatomáceas (Figura 16.4a) e os dinoflagelados (Figura 16.4b), embora também possam ocorrer elevadas densidades das classes Chlorophyceae (Clorófitas), Cryptophyceae (Criptófitas), Cyanobacteria (Cianobactérias), Euglenophyceae (Euglenófitas) e Prasinophyceae (Prasinófitas), como acontece nos estuários do Tejo e do Sado⁴¹. No geral, a concentração de nutrientes na coluna de água não é fator limitante para o crescimento do fitoplâncton (exceto a sílica para as diatomáceas), mas a sua concentração decresce de montante para jusante de modo paralelo à dos nutrientes. O caudal, como no Tejo, e a salinidade, no caso do Sado⁴¹, são fatores que, além da temperatura do ar e da radiação fotossintética atmosférica, podem influenciar a produção do fitoplâncton nos estuários. No entanto, as elevadas concentrações de nutrientes provenientes, principalmente de suiniculturas localizadas na sub-bacia hidrográfica do rio Arade mas, também, de dragagens, atividades desportivas e da construção de barragens, podem estar na base da intensa produtividade do fitoplâncton observada neste estuário⁴². No estuário do Guadiana, uma significativa redução sazonal do caudal do rio na primavera e no verão, através do controlo feito pelas barragens, conduz a um ambiente com baixos rácios de sílica:azoto e de azoto:fósforo biodisponíveis, contribuindo para a ocorrência e domínio de cianobactérias, em detrimento de outros grupos de fitoplâncton⁴³.

Pontualmente têm-se detetado espécies nocivas/tóxicas em alguns estuários portugueses, como no estuário do Tejo (p.ex., *Ceratium fusus* (Figura 16.4b), *Pseudonitzschia cf. seriata*, *Scrippsiella trochoidea*, *Thalassiosira gravida*), no estuário do Sado (p.ex., *Dinophysis acuta*, *D. acuminata* e *Gymnodinium catenatum*)⁴¹, e no estuário do Guadiana (*Microcystis* sp. e *Anabaena* sp.)⁴², no entanto, nunca em abundâncias consideradas alarmantes.

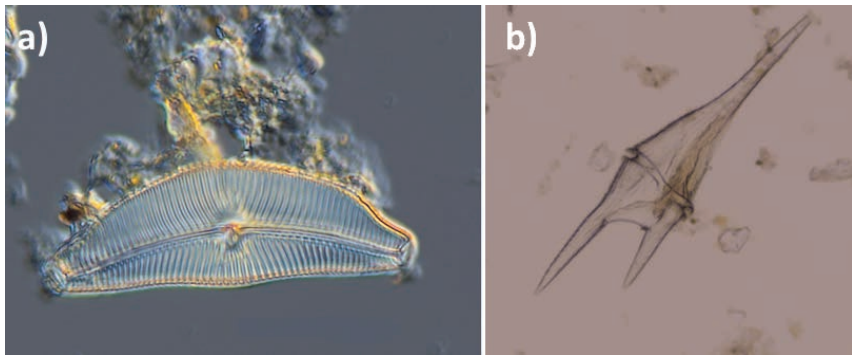


Figura 16.4. Fitoplâncton: a) *Cymbella cymbiformis* (diatomácea); b) *Ceratium furca* (dinoflagelado). Fotografias: Gorete Batista.

6.4.2. Zooplâncton

Relativamente ao zooplâncton (comunidade de organismos aquáticos sem capacidade fotossintética, com pouca capacidade de locomoção e que vivem dispersos na coluna de água), os grupos mais frequentes nos estuários portugueses são Copepoda, Cladocera, Appendicularia e Chaetognata^{43,44}. Na maioria dos casos, os Copepoda são o grupo taxonómico mais abundante (Figura 16.5a, b), com o género *Acartia* a apresentar maiores densidades, como ocorre no estuário do Mondego (*Acartia tonsa* e *A. clausi*) e na Ria de Aveiro (*A. tonsa*)^{43,44}. Amphipoda,

Isopoda, Cumacea, Mysidacea e Euphausiacea são grupos de organismos ocasionalmente também observados, tal como as larvas de Decapoda (zoea e megalopa; Figura 16.5c), Mollusca (veligera e post-veligera de Gastropoda e de Bivalvia), Polychaeta, Cirripedia (Cypris e Nauplius), Bryozoa e Echinodermata (pluteus)⁴³. No entanto, há estados larvares de algumas espécies de decápodes que são observados apenas nas áreas interiores dos estuários, como referido por Gonçalves⁴⁵ para o estuário do Mondego, Paula⁴⁶ para o estuário do Mira, Queiroga et al.⁴⁷ e Morgado⁴⁴ para a Ria de Aveiro. Embora o estuário do Lima possa apresentar uma maior diversidade na comunidade de zooplâncton, corroborada por uma maior contribuição de espécies marinhas, a biomassa total de zooplâncton é significativamente maior no estuário do Minho⁴⁸.

Em zonas adjacentes aos estuários do Sado e do Tejo os grupos de zooplâncton dominantes são Copepoda e Tintinnida. No estuário do Tejo, esta abundância deve-se principalmente a uma predominância de nauplii e espécies de Cyclopoida (Copepoda), e de *Stenosemella nivalis* (Tintinnida). Tunicata e Cladocera apresentam uma maior ocorrência, de um modo geral, nas zonas adjacentes ao estuário do Sado. Embora se observe um maior desenvolvimento e uma maior amplitude nas variações sazonais na abundância do zooplâncton nas áreas adjacentes ao estuário do Tejo, relativamente às áreas adjacentes ao estuário do Sado, é nas áreas junto ao Tejo que se verifica uma maior quebra na diversidade do zooplâncton, evidenciando o forte impacto que os elevados caudais do Tejo poderão ter para a comunidade de zooplâncton⁴⁹. Embora os zooplânctontes também dependam da salinidade, temperatura e turbidez da água, no geral, regista-se uma maior abundância destes organismos nos meses de primavera e de verão-outono, quando a disponibilidade de alimento/abundância do fitoplâncton é igualmente maior.



Figura 16.5. Zooplâncton: a) *Acartia clausi* (Copepoda); b) *Calanus helgolandicus* (Copepoda); c) *Carcinus maenas* (Decapoda). Fotografias: Leonardo Santos.

6.5. Invertebrados bentônicos

As comunidades de macroinvertebrados estão relativamente bem caracterizadas para muitos dos sistemas estuarinos nacionais. São comunidades importantes para a cadeia trófica destes sistemas, suportando as frequentes investidas que se verificam com a entrada nos estuários de peixes, a paragem de aves limícolas ou, embora em menor abundância, de alguns mamíferos marinhos, em busca de alimento. A razão prende-se com o facto de serem áreas muito produtivas, que suportam cadeias tróficas complexas que chegam, frequentemente, aos predadores de topo. Estas comunidades são normalmente dominadas por crustáceos, moluscos e poliquetas, de onde se destacam Amphipoda (p.ex., *Corophium* sp.) e Isopoda (p.ex., *Cyathura carinata*, *Lekanesphaera levii*) para os primeiros, Gastropoda (p.ex., *Peringia ulvae*) e Bivalvia (p.ex., *Abra alba*, *Corbula gibba*, *Kurtiella bidentata*) para os segundos, e Nereididae (p.ex., *Hediste diversicolor*), Capitellidae (p.ex., *Mediomastus fragilis*), Cirratulidae (p.ex., *Aphelochaeta marioni*) e Spionidae (p.ex., *Aonides oxycephala*) para os últimos. A grande abundância de algumas destas espécies torna os estuários atrativos a algumas atividades exploratórias por parte das comunidades humanas limítrofes (p.ex., *Hediste diversicolor* apanhado e usado como isco vivo na pesca; *Cerastoderma edule*

(berbigão) ou *Solen marginatus* (lingueirão) consumido na gastronomia tradicional local de muitas zonas). É cada vez mais frequente encontrar a espécie exótica *Corbicula fluminea* nas zonas subtidaais das cabeceiras dos estuários, onde a salinidade apresenta valores mais baixos já que se trata de um organismo de água doce⁵⁰.

Pela sua importância, este grupo de organismos constitui um elemento biológico imprescindível à avaliação da qualidade dos sistemas costeiros e estuarinos, como requerida pela DQA. Tal como para outros elementos, os macroinvertebrados mereceram também o desenvolvimento de uma ferramenta de avaliação dedicada e exclusiva, o BAT – *Benthic Assessment Tool*⁵¹. Este é um índice multimétrico que articula os resultados de três indicadores ecológicos, que avaliam a diversidade de espécies presentes no sistema (número de espécies), a proporção relativa dessas espécies (heterogeneidade) e a sua sensibilidade/tolerância à poluição. Pelo próprio conceito subjacente à DQA, o BAT (tal como muitos outros métodos de avaliação) deve ser aplicado a amostras recolhidas durante uma estação do ano específica, para a qual foram determinadas as suas condições de referência e relativamente às quais se mede o afastamento da comunidade em estudo. Desta forma, embora o índice responda não apenas às pressões causadas pelas pressões antropogénicas mas, também, às pressões naturais (p.ex., cheias e secas)^{52,53}, minimizam-se as incertezas provenientes da sazonalidade. A sua integração no exercício de intercalibração que envolveu diversos estados membros Europeus permitiu a sua validação e adoção oficial por Portugal, estando o seu resultado aceite e atualmente em fase de publicação pela Comissão Europeia (JRC – *Joint Research Centre*).

6.6. Peixes

Tal como acontece com a maioria dos organismos aquáticos, no caso dos peixes também não são muitas as espécies capazes de

sobreviver em ambientes salobros. Nos estuários, devido à grande instabilidade do meio resultante das constantes variações na salinidade que ocorrem ao longo do dia (dois ciclos diários de maré), só as espécies com maior plasticidade salina são capazes de sobreviver e colonizar estes habitats. Nas lagoas costeiras fechadas, a situação é particularmente crítica nos períodos de maior pluviosidade, quando a salinidade atinge valores muito baixos para espécies que precisam de viver em águas com alguma salinidade, e na época estival, quando a temperatura sobe notoriamente e as massas de água sofrem uma depleção de oxigénio, sobretudo em zonas de reduzida profundidade. No entanto, precisamente devido ao restrito número de espécies piscícolas que consegue sobreviver e proliferar neste tipo de ecossistemas, aquelas que o conseguem fazer surgem normalmente com densidades bastante elevadas, devido à menor competição com outras espécies e às boas condições tróficas típicas destes sistemas salobros.

Não são muitas as espécies piscícolas residentes em sistemas salobros, ou seja, que conseguem completar o seu ciclo de vida nestes ecossistemas. Entre os peixes residentes mais característicos dos sistemas salobros portugueses, contam-se alguns cabozes (família Gobiidae), bodiões (família Labridae) e cavalos-marinhos (*Hippocampus* spp., família Syngnathidae) e marinhas (família Syngnathidae), os primeiros mais frequentemente em fundos sem vegetação e os restantes sobretudo associados a povoamentos de algas ou de fanerogâmicas aquáticas, sendo, por isso, mais frequentes nas zonas estuarinas ou lagunares inferiores. Nos estuários mais meridionais (do Tejo para sul) domina esta fração piscícola o xarroco (*Halobatrachus didactylus*, família Batrachoididae; Figura 16.6a), cujos machos, tal como os dos cabozes, constroem ninho e dispensam cuidados parentais à prole. No domínio pelágico, os peixes residentes mais comuns nos sistemas salobros portugueses são o biqueirão (*Engraulis encrasicolus*, família Engraulidae) e os peixes-rei (*Atherina* spp., família Atherinidae)^{54,55}.

Uma fração normalmente muito relevante da ictiofauna das zonas salobras é a dos peixes que as usam como zona de viveiro, isto é, espécies que se reproduzem no mar e que entram nestes sistemas nas fases de larva ou juvenil, aí se desenvolvendo (ao abrigo de predadores e com excelentes condições tróficas e térmicas, essenciais para um crescimento rápido) até atingirem um tamanho que lhes permita retornar ao ambiente marinho com menores riscos de serem predados⁵⁶. Acontece, principalmente, nas rias de Aveiro e Formosa e nos estuários do Tejo e do Sado, devido às suas grandes dimensões e diversidade de habitats que encerram. Em Portugal, existem inúmeras espécies que exibem este padrão comportamental, destacando-se os robalos (*Dicentrarchus labrax*, família Moronidae) e vários sargos (*Diplodus* spp.) e afins (família Sparidae) principalmente nos sistemas salobros mais meridionais, e alguns linguados (*Solea solea*) e afins (peixes chatos, ordem Pleuronectiformes), sobretudo na região mais setentrional.

Uma componente piscícola muito importante dos sistemas salobros é a dos peixes migradores diádromos, ou seja, que migram entre dois ambientes distintos. Distinguem-se os peixes anádromos, que se reproduzem nos rios ou porções superiores estuarinas e completam o seu desenvolvimento no mar, e os peixes catádromos, que se reproduzem no mar e crescem nos estuários ou nos rios. Em Portugal, os principais peixes catádromos são a enguia (*Anguilla anguilla*, família Anguillidae), a tainha-fataça (*Liza ramada*, família Mugilidae) e a solha-das-pedras (*Platichthys marinus*, família Pleuronectidae), e os anádromos são a lampreia-marinha (*Petromyzon marinus*, família Petromizonidae), o salmão (*Salmo salar*) e a truta-marisca (*S. trutta*) (família Salmonidae) e o sável e a savelha (família Clupeidae), estando os salmonídeos circunscritos ao extremo norte do país devido a constrangimentos térmicos (necessitam de baixas temperaturas)⁵⁷. O estuário do Minho é especialmente relevante, uma vez que alberga populações significativas

das principais espécies de migradores diádromos, incluindo dos salmonídeos, principalmente devido aos maiores caudais de água doce e elevados níveis de oxigenação que apresenta.

Nos últimos anos, especialmente a partir da década de 1990 e devido ao fenómeno das alterações climáticas, tem-se verificado uma crescente “tropicalização” da ictiofauna estuarina portuguesa, com o desaparecimento ou decréscimo populacional de espécies típicas de zonas mais setentrionais e o aparecimento ou reforço populacional de espécies características de regiões mais meridionais (p.ex., estuário do Tejo).

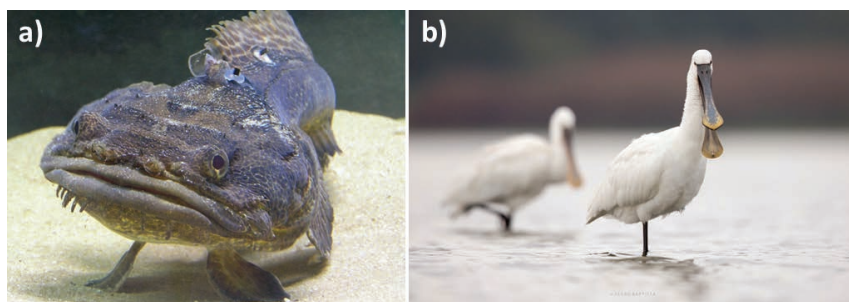


Figura 16.6. Macrofauna: a) xarroco *Halobatrachus didactylus*); b) colhereiro *Platalea leucorodia*. Fotografias: a, Tadeu Pereira; b, Pedro Batista.

6.7. Aves aquáticas

Apesar da sobrepesca e poluição, da artificialização das margens e dos leitos dos cursos de água e da abstração de caudais dulciaquícolas a montante, os estuários continuam a ser áreas muito importantes também para as aves. As suas plataformas intertidais desempenham papéis importantes para as espécies residentes, migradoras de passagem e invernantes, nomeadamente durante a maré baixa. Nesta altura, os substratos de vasa e areia, normalmente

ricos em populações de invertebrados, que constituem a base da alimentação de aves vulgarmente designadas como limícolas (como os borrelhos *Charadrius* spp. e pilritos *Calidris* spp.), ficam a descoberto e são ocupados por bandos de indivíduos destes grupos. Conjuntamente com as áreas de sapal e/ou caniçal que existem a montante dos estuários, aquelas plataformas constituem um dos ecossistemas mais importantes para aves aquáticas. As aves limícolas são predadores que localizam os invertebrados, visualmente ou pelo tato, e inserem o bico no sedimento para recolher poliquetas, bivalves ou gastrópodes.

A maioria dos estuários portugueses são particularmente importantes para estas espécies durante os períodos de migração pré- e pós-nupcial e durante o inverno. Os efetivos de limícolas recenseados em Portugal concentram-se quase exclusivamente nos estuários. No que respeita á presença de outras espécies, para além dos anatídeos e limícolas, observa-se também uma crescente concentração nos estuários, de garças (Pelecaniformes), colhereiros (*Platalea leucorodia*, Figura 16.6b), corvos-marinhos (*Phalacrocorax* spp.), cegonhas (*Ciconia* spp.) e íbis (*Plegadis falcinellus*) durante o inverno, como demonstram as contagens efetuadas ao abrigo do programa nacional de monitorização das aves aquáticas invernantes (<http://www.icnf.pt/portal/pn/biodiversidade/ei/cempa/pp-monit/pnmaai>).

O estuário do Tejo é a zona húmida de Portugal mais importante para aves⁵⁸, sendo um dos dez mais importantes da Europa, para as aves migradoras. Isto é sobretudo verdade para aquelas que na sua passagem, quer para as áreas de invernada em África, quer no regresso aos locais de reprodução no norte da Europa, efetuam paragens para descanso e reposição de energia, contando para isso com a grande biomassa de invertebrados aí existente. Para além do estuário do Tejo, existem ainda outros estuários e rias de grandes dimensões e, por isso, muito importantes para as aves aquáticas. São disso exemplo a Ria de Faro-Olhão e o estuário do Sado, usa-

dos por espécies como o ostraceiro (*Haematopus ostralegus*), que procura sobretudo áreas com substrato mais arenoso (<http://www.icnf.pt/portal/pn/biodiversidade/ei/cempa/pp-monit/pnmaai>). Desde os anos 1990 que a ecologia e conservação das aves limícolas têm sido alvo de muitos estudos, nomeadamente nos estuários do Tejo e do Mondego. A maioria dos estudos tem abordado a ecologia alimentar das aves limícolas e as suas necessidades energéticas durante os períodos de migração e invernada, bem como aspetos mais práticos ligados à conservação das aves, tais como a perturbação e competição com os mariscadores, que podem impedir o acesso das aves aos seus locais de alimentação⁵⁹.

As zonas húmidas portuguesas, incluindo os estuários, foram alvo de um inventário⁶⁰ sendo notório que as populações de aves aquáticas constituem um dos pilares para a sua caracterização e conservação. A maioria dos estuários portugueses está classificado como área protegida, quer ao abrigo de legislação nacional, quer ao abrigo de legislação Europeia, como a Rede Natura 2000, quer ainda ao abrigo de convenções internacionais como a Convenção sobre zonas húmidas ou Convenção de Ramsar, para a proteção das zonas húmidas (<http://www.icnf.pt/portal/pn/biodiversidade/ei/ramsar>). Dois dos critérios desta convenção, e que classificam a maioria dos principais estuários portugueses como zonas húmidas de importância internacional, são específicos para aves aquáticas e permitem designar uma zona húmida como área de importância internacional se esta sustentar regularmente uma população de, pelo menos, 20000 aves aquáticas (critério 5) ou se sustentar, regularmente, 1% dos indivíduos da população de uma espécie ou subespécie de aves aquáticas (critério 6)⁶¹.

Do ponto de vista das aves, os estuários registam vários problemas de conservação, nomeadamente: (i) redução e/ou perturbação humana da área de vasa, onde as aves se alimentam; (ii) redução e deterioração de habitats supra-tidais, como os sapais, onde as

aves se refugiam durante a maré alta, por atividades económicas como a agricultura e a aquacultura; e (iii) poluição dos estuários, incluindo eutrofização.

7. Aquacultura

Das atividades antropogénicas, a aquacultura é desde há muito desenvolvida em estuários com a intenção de garantir uma quantidade e diversidade de recursos suficientes para colmatar as faltas de alimento de origem marinha recolhido na natureza. Mas, devido a uma escassez crescente de pescado (por sobrepesca ou aumento da procura), a atividade registou em anos mais recentes uma intensificação e diversificação no cultivo de espécies. Será de realçar que Portugal registou em 2014 um consumo de pescado (peixe, bivalves, crustáceos, etc.) de 55,3 kg/habitante/ano⁶², o que o coloca em primeiro lugar a nível Europeu, e em terceiro a nível mundial. Este fator, aliado ao desenvolvimento da tecnologia e conhecimento científico, tornou muito atrativa a prática de aquacultura nas zonas estuarinas e lagoas costeiras em Portugal. As Diretivas Comunitárias e a legislação nacional vieram impulsionar a atividade bem como a disponibilização de inúmeros incentivos económicos para o sector⁶³.

A maior parte da aquacultura bem sucedida em Portugal é realizada em águas de transição, nos estuários e rias, em sistema semi-intensivo. A aquacultura praticada nos estuários portugueses é diversificada, cultivando-se desde algas, bivalves, a várias espécies de peixe. As macroalgas estão a ser produzidas com sucesso na ria de Aveiro, complementando o processo produtivo normal de uma piscicultura, na designada aquacultura multitrófica integrada. A vantagem deste sistema é que as macroalgas retiram os nutrientes em excesso na água, ajudando na depuração e limpeza dos efluentes da aquacultura. As macroalgas podem depois ser comercializadas

secas ou integradas em vários outros produtos, de forma inovadora, e criando valor acrescentado ao produto final (pão, arroz, etc.).

Os bivalves, como a amêijoia-boia (*Ruditapes decussatus*) e a amêijoia-macha (*Venerupis pullastra*), são as culturas mais antigas em Portugal e realizam-se (inicialmente de forma extensiva) no intertidal, em estuários com zonas de sapal e em lagoas costeiras, com destaque para as rias de Aveiro, Alvor e Formosa. As ostras, como a ostra portuguesa (*Crassostrea angulata*) e a ostra japonesa (*C. gigas*), podem ser cultivadas no próprio leito, em zonas mais profundas, mas mais frequentemente, de forma suspensa dentro de sacos de malha plástica, em mesas na zona intertidal. Aqui, procede-se de forma mais fácil à retirada de algas ou outras incrustações que impeçam a circulação de água necessária a uma adequada alimentação dos organismos. Existem várias aquaculturas destas na ria de Aveiro, estuário do Sado, ria de Alvor e ria Formosa. O mexilhão (*Mytilus* sp.), apesar da maior parte ser cultivada em zonas oceânicas, já foi cultivado na Lagoa de Albufeira, em jangadas.

Em Portugal, as pisciculturas que se situam nos estuários estão implementadas habitualmente em tanques, alguns adaptados de antigas salinas. O modo de cultivo é semi-intensivo, ou seja, são postos alevins nos tanques, promove-se a circulação da água por intermédio de comportas e, embora haja a entrada de alimento natural com a água, alimentam-se os peixes com ração. Utilizam-se geralmente arejadores para evitar que o oxigénio baixe muito de noite e provoque mortalidade. Utiliza-se este processo no cultivo das douradas (*Sparus aurata*) e/ou robalos (*Dicentrarchus labrax*) nas zonas em que a salinidade desce muito, pois ambas as espécies são eurihalinas e suportam variações grandes de salinidade, produzindo peixe de qualidade superior a muitos outros locais no mundo.

Num sistema quase extensivo há a cultura de enguia. Esta prática está essencialmente restrita ao estuário do Mondego e ria Aveiro, obtendo-se os organismos pela abertura das comportas e entrada livre

nos tanques. Neste sistema, a rentabilidade é baixa mas a atividade começa a suscitar maior interesse com a possibilidade de se passar a sua prática para o sistema semi-intensivo. Como grande entrave à implementação deste tipo de aquacultura surge o facto de ainda não se conseguir fazer a reprodução de um modo sustentável, em circuito fechado, estando a quantidade produzida dependente da colheita dos juvenis (meixão) na natureza. Nota: Decreto-Lei n.º 40/2017 Diário da República, 1.ª série — N.º 67 — 4 de abril, define o regime jurídico relativo à instalação e exploração dos estabelecimentos de culturas.

8. Espécies não indígenas

Em geral, entende-se como poluição biológica aquela que é provocada por agentes patogénicos. No entanto, a introdução de espécies não indígenas (ENI), ou exóticas, é também uma forma de poluição, que pode causar impactos ambientais e socioeconómicos muito significativos. Apesar das espécies introduzidas poderem, a curto prazo, aumentar a diversidade de espécies dos sistemas aquáticos, logo após o seu estabelecimento bem-sucedido podem causar elevados danos nos ecossistemas, incluindo a eliminação de espécies nativas. Por esse motivo, a presença de espécies exóticas é um dos fatores considerados nos indicadores de avaliação do estado ecológico dos peixes⁶⁴, no entanto não é avaliada para os macroinvertebrados⁶⁵.

Apesar de não existir um inventário nacional das ENI em ecossistemas marinhos e estuarinos, o projeto DAISIE⁶⁶, dedicado a este tema, indicava a presença de 46 ENI em Portugal. Numa análise cuidada das publicações existentes mostrou que esse número era bastante superior, tendo-se registado 65 ENI até 2009 e um incremento exponencial desde o início de estudos específicos focados no tema⁶⁶, apontando o balanço mais atual para 153 ENI em Portugal continental e arquipélagos das Açores e Madeira⁶⁷ (Figura 16.7a).

Estes viajantes indesejados podem chegar às costas portuguesas de diversas formas, incluindo por introdução intencional, como se pensa ter acontecido com a amêijoa-japonesa (*Ruditapes philippinarum*) no estuário do Tejo. Também podem vir à boleia de outras espécies importadas, como é o caso do isco vivo e das espécies produzidas em aquacultura. No primeiro caso, para além das próprias minhocas da pesca poderem ser libertadas em meio natural e depois virem a colonizar esses locais, as algas onde costumam vir acondicionadas e todos os pequenos organismos associados a essas algas são potenciais colonizadores dos locais onde são deixados. As espécies cultivadas em aquacultura também podem invadir os ecossistemas naturais, sobretudo nos casos em que as aquaculturas não se encontram isoladas do meio natural, como aconteceu com a dourada (*Sparus aurata*) na ilha da Madeira⁶⁸. A grande maioria das introduções de espécies exóticas não são intencionais e estão relacionadas com a navegação⁶⁶. O transporte dos organismos nas embarcações é realizado, inadvertidamente, nomeadamente através de incrustações nos cascos, âncoras e equipamentos, e nos tanques de lastro. As águas de lastro, usadas para garantir a segurança operacional do navio e sua estabilidade, podem transportar organismos vivos entre regiões distintas do mundo e libertá-los nos portos quando se efetuam operações de carga ou descarga. Sendo Portugal uma das nações primordiais da atividade comercial marítima, a introdução de ENI terá acompanhado a história do país, sendo a ostra japonesa, e espécies que viajaram com ela, as primeiras potenciais introduções em Portugal e na Europa.

O reconhecimento deste problema a nível internacional levou à integração de um descritor sobre as espécies não indígenas, em particular aquelas que assumem um carácter invasor, na Diretiva Quadro Estratégia Marinha (DQEM⁶⁹), uma diretiva europeia que visa alcançar o bom estado ambiental das águas marinhas até 2020. A dimensão dos impactos resultantes da introdução de espécies através da navegação motivou ainda a aprovação da Convenção

Internacional para o Controlo e Gestão das Águas de Lastro e Sedimentos, à qual Portugal aderiu através da publicação do Decreto-Lei n.º 146/2017. Esta convenção obriga ao tratamento das águas de lastro que representem um risco relativamente à introdução de ENI, visando minimizar os riscos decorrentes dessa introdução. Efetivamente, o risco deste vetor de introdução tem vindo a aumentar consideravelmente a nível mundial e em Portugal, uma vez que a navegação marítima tem vindo a ser um setor cada vez mais representativo na área dos transportes. Os dados do tráfego marítimo de mercadorias indicam um aumento acentuado do volume transportado entre 2000 e 2015 (Figura 16.7b). Atualmente, os portos de Sines e de Leixões são os mais importantes, recebendo, respetivamente, 50% e 21% da mercadoria transportada para os portos continentais⁷⁰, prevendo-se que o número de ENI possa vir a aumentar nas regiões limítrofes a estas infraestruturas portuárias.

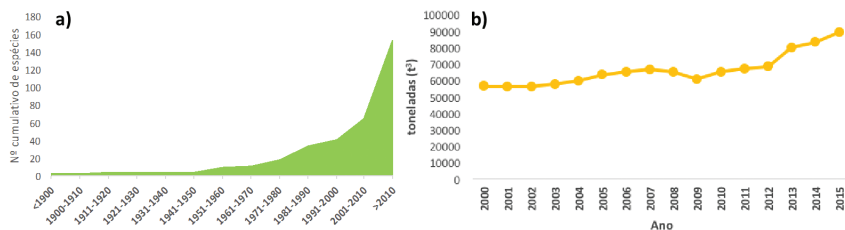


Figura 16.7. a) Número cumulativo de espécies não indígenas registadas em Portugal continental e arquipélagos dos Açores e Madeira. b) Evolução temporal do volume de mercadorias transportadas através de transporte marítimo, em Portugal continental (Portos de Viana do Castelo, Leixões, Aveiro, Figueira da Foz, Lisboa, Setúbal, Sines e Faro), no período de 2000 a 2015⁷⁰.

9. Outras leituras

Agência Portuguesa do Ambiente: <https://www.apambiente.pt>

Administração da região Hidrográfica do Tejo, I.P. & Gabinete de Ordenamento do Território (2009). *O Plano de Ordenamento do Estuário do Tejo - Saberes e Reflexões*. Editor ARH do Tejo. 1ª Edição. Portugal, Lisboa

Instituto da Conservação da natureza e das Florestas, Convenção Ramsar: <http://www.icnf.pt/portal/pn/biodiversidade/ei/ramsar>

Instituto da Conservação da natureza e das Florestas, Programa Nacional de Monitorização de Aves Aquáticas Invernantes: <http://www.icnf.pt/portal/pn/biodiversidade/ei/cempa/pp-monit/pnmaai>

Portal Português das Macroalgas: macoi.ci.uc.pt

10. Referências bibliográficas

- ¹Pritchard D.W., 1967. What is an estuary: a physical viewpoint. *Am. Ass. Adv. Sci.* 83: 3–5
- ²Day J.W., Hall C.A.S., Kemp W.M. & Yáñez-Arancibia A. 1989. Estuarine ecology. John Wiley & Sons. U.S.A., New York
- ³Carriker R.M. 1967. Ecology of estuarine benthic invertebrates: a perspective. In: Lauff G.H. (ed.) *Estuaries*. American Association for the Advancement of Science. U.S.A., Washington, D.C., pp. 442–487
- ⁴Costanza R., d'Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P. & van den Belt M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253–260
- ⁵Comissão Europeia. 2000. Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Outubro de 2000, que estabelece um Quadro de Acção Comunitária no Domínio da Política da Água. *J. Ofic. Com. Europeias* L327: 1–72
- ⁶Bettencourt A., Bricker S.B., Ferreira J.G., Franco A., Marques J.C., Melo J.J., Nobre A., Ramos L., Reis C.S., Salas F., Silva M.C., Simas T. & Wolff W. 2004. Typology and reference conditions for Portuguese transitional and coastal waters. Development of guidelines for the application of the European Union Water Framework Directive. Relatório não publicado, Instituto do Mar e Instituto da Água. Portugal, Lisboa
- ⁷Gonzalez R., Dias J.A. & Ferreira O. 2005. Analysis of landcover shifts in time and their significance: An example from the Mouth of the Guadiana Estuary (SW Iberia). In: FitzGerald D. & Knight J. (eds.) High-resolution investigations of the morphodynamics and sedimentary evolution of estuaries. Springer. The Netherlands, Dordrecht, pp. 57–82
- ⁸Caetano M., Raimundo J., Prego R. & Vale C. 2016. Defining benchmark values for nutrients under the Water Framework Directive: application in twelve Portuguese estuaries. *Mar. Chem.* 185: 27–37
- ⁹Domingues R., Barbosa A. & Galvão H. 2005. Nutrients, light and phytoplankton succession in a temperate estuary (the Guadiana, south-western Iberia). *Est., Coast. Shelf Sci.* 64: 249–260
- ¹⁰Peixoto M. 2008. *Qualidade Biológica da Água do Rio Cávado*. Tese de Mestrado, Universidade do Porto. Portugal, Porto
- ¹¹Azevedo I., Ramos S., Mucha A. & Bordalo A. 2013. Applicability of ecological assessment tools for management decision-making: A case study from the Lima estuary (NW Portugal). *Ocean & Coast. Manag.* 72: 54–63

- ¹²Comissão Europeia 2013. Diretiva 2013/39/EU, 2013 que altera as Diretivas 2000/60/CE e 2008/105/CE no que respeita às substâncias prioritárias no domínio da política da água. *J. Ofic. Com. Europ.* L226: 1–17
- ¹³Caetano M. comunicação pessoal
- ¹⁴Mil-Homens M., Vale C., Raimundo J., Pereira P., Brito P. & Caetano M. 2014. Major factors influencing the elemental composition of surface estuarine sediments: the case of 15 estuaries in Portugal. *Mar. Poll. Bull.* 84: 135–146
- ¹⁵Duarte A., Pinho J., Pardal M., Neto J.M., Vieira J. & Santos F. 2001. Effect of residence times on River Mondego estuary eutrophication vulnerability. *Water Sci. Technol.* 44: 329–336
- ¹⁶Patrício J., Neto J.M., Teixeira H. & Marques J.C. 2007. Opportunistic macroalgae metrics for transitional waters. Testing tools to assess ecological quality status in Portugal. *Mar. Poll. Bull.* 54: 1887–1896
- ¹⁷Fernandes T. 2010. *Dinâmica da flora macroalgal no estuário do Mondego. Respostas das métricas de avaliação ecológica ao longo do gradiente de salinidade*. Tese de Mestrado em Biodiversidade e Biotecnologia Vegetal. Universidade de Coimbra. Portugal, Coimbra
- ¹⁸Múrias T., Cabral J.A., Marques J.C. & Goss-Custard J.D. 1996. Short-term effects of intertidal macroalgal blooms on the macrohabitat selection and feeding behaviour of wading birds in the Mondego Estuary (West Portugal). *Est. Coast. Shelf Sci.* 43: 677–688
- ¹⁹Cabral J.A., Pardal M.A., Lopes R.J., Múrias T. & Marques J.C. 1999. The impact of macroalgal blooms on the use of the intertidal area and feeding behaviour of waders (Charadrii) in the Mondego estuary (west Portugal). *Acta Oecol.* 20: 417–427
- ²⁰Lopes R.J., Pardal M.A. & Marques J.C. 2000. Impact of macroalgal blooms and wader predation on intertidal macroinvertebrates: experimental evidence from the Mondego estuary (Portugal). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 249: 165–179
- ²¹Marques J.C., Maranhão P. & Pardal M.A. 1993. Human impact assessment on the macrobenthic community structure in the Mondego estuary (Western Portugal). *Est. Coast. Shelf Sci.* 37: 403–419
- ²²Marques J.C., Nielsen S.N., Pardal M.A. & Jørgensen S.E. 2003. Impact of eutrophication and river management within a framework of ecosystem theories. *Ecol. Model.* 166: 147–168
- ²³Lillebo A.I., Pardal M.A. & Marques J.C. 1999. Population structure, dynamics and production of *Hydrobia ulvae* (Pennant) (Mollusca: Prosobranchia) along an eutrophication gradient in the Mondego estuary (Portugal). *Acta Oecol.* 20: 289–304
- ²⁴Cardoso P.G., Pardal M.A., Lillebø A.I., Ferreira S.M., Raffaelli D., Marques J.C., 2004. Dynamic changes in seagrass assemblages under eutrophication and implications for recovery. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 302: 233–248
- ²⁵Martins I., Lopes R.J., Lillebø A.I., Neto J.M., Pardal M.A., Ferreira J.G. & Marques J.C. 2007. Significant variations in the productivity of green macroalgae in a mesotidal estuary: Implications to the nutrient loading of the system and the adjacent coastal area. *Mar. Poll. Bull.* 54: 678–690
- ²⁶Wilkinson M., Telfer T.C., Grundy S., 1995. Geographical variations in the distribution of macroalgae in estuaries. *Netherlands J. Aqu. Ecol.* 29: 359–368

- ²⁷Pereira L. 2009. *Guia ilustrado das macroalgas – conhecer e reconhecer algumas espécies da flora portuguesa*. Imprensa da Universidade de Coimbra. Portugal, Coimbra
- ²⁸Pereira L. & Correia F. 2015. *Algas marinhas da costa portuguesa - ecologia, biodiversidade e utilizações*. Nota de Rodapé Edições. França, Paris
- ²⁹Vinagre P.A., Pais-Costa A.J., Marques J.C. & Neto J.M. 2015. Setting reference conditions for mesohaline and oligohaline macroinvertebrate communities sensu WFD: helping to define achievable scenarios in basin management plans. *Ecol. Ind.* 56: 171–183
- ³⁰Neto J.M., Barroso D.V. & Barría P. 2013. Seagrass Quality Index (SQI), a Water Framework Directive compliant tool for the assessment of transitional and coastal intertidal areas. *Ecol. Ind.* 30: 130-137
- ³¹Cunha A.H., Assis J.F. & Serrão E.A. 2013. Seagrasses in Portugal: A most endangered marine habitat. *Aq. Bot.* 104: 193–203
- ³²Leitão R, Martinho F, Cabral H.N., Neto J.M., Jorge I. & Pardal M.A. 2007. The fish assemblage of the Mondego estuary: composition structure and trends over the past two decades. *Hydrobiologia* 587: 269–279
- ³³Martinho F, Leitão R, Cabral H., Neto J.M., Marques J.C. & Pardal M.A. 2007. The use of nursery areas by fish in a temperate estuary, Portugal. *Hydrobiologia* 587: 269–279
- ³⁴Martins I., Neto J.M., Fontes M.G., Marques J.C. & Pardal M.A. 2005. Seasonal variation in short-term survival of *Zostera noltii* transplants in a declining meadow in Portugal. *Aq. Bot.* 82: 132–142
- ³⁵Davy A.J. 2000. Development and structure of salt marshes: community patterns in time and space. In: Weinstein M.P. & Kreeger D.A. (eds.) *Concepts and controversies in tidal marsh ecology*. Kluwer Academic Publishers. U.K., London, pp.137–159
- ³⁶Caçador I., Caetano M., Duarte B. & Vale C. 2009. Stock and losses of trace metals from salt marsh plants. *Mar. Environ. Res.* 67: 75–82
- ³⁷Caçador I., Vale C., Catarino F.M., 1996. The influence of plants on concentration and fractionation of Zn, Pb, and Cu in salt marsh sediments (Tagus Estuary, Portugal). *J. Aq. Ecosyst. Health* 5: 193–198
- ³⁸Caçador I., Costa A.L. & Vale C. 2004. Carbon storage in Tagus salt marsh sediments. *Water, Air, Soil Poll.: Focus* 4: 701–714
- ³⁹Best M., Massey A. & Prior A. 2007. Developing a salt marsh classification tool for the European Water Framework Directive. *Mar. Poll. Bull.* 55: 205–214
- ⁴⁰Caçador I., Neto J.M., Duarte B., Barroso D.V., Pinto M. & Marques J.C. 2013. Development of an Angiosperm Quality Assessment Index (AQuA – Index) for ecological quality evaluation of Portuguese water bodies. A multi-metric approach. *Ecol. Ind.* 25: 141–148
- ⁴¹Coutinho M.T.C.P. 2003. *Comunidade fitoplânctónica do estuário do Sado – estrutura, dinâmica e aspetos ecológicos*. Instituto Nacional de Investigação Agrária e das Pescas – IPIMAR. Portugal, Lisboa
- ⁴²Dias J.A. & Ferreira O. 2001. *Projeto EMERGE – Estudo Multidisciplinar do Estuário do Rio Guadiana*. Relatório Final, Portugal, Olhão

- ⁴³Gonçalves A.M.S.M. 2011. *Small-sized Zooplankton in the Mondego estuary – distribution and trophic ecology*. Tese de Doutoramento. Universidade de Coimbra. Portugal, Coimbra
- ⁴⁴Morgado F.M.R. 1997. *Ecologia do zooplâncton da Ria de Aveiro. Caracterização espaço-temporal, transporte longitudinal e dinâmica tida, nictemeral e lunar*. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro. Portugal, Aveiro
- ⁴⁵Gonçalves F.J.M. 1991. *Zooplâncton e ecologia larvar de crustáceos decápodes no estuário do rio Mondego*. Tese de Doutoramento, Universidade de Coimbra. Portugal, Coimbra
- ⁴⁶Paula J. 1993. *Ecologia da fase larvar e recrutamento de crustáceos decápodes no estuário do Rio Mira*. Tese de Doutoramento. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Portugal, Lisboa
- ⁴⁷Queiroga H., Costlow J.D. & Moreira M.A. 1994. Larval abundance patterns of *Carcinus maenas* (Decapoda, Brachyura) in Canal de Mira (Ria de Aveiro, Portugal). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 111: 63–72
- ⁴⁸Vieira L.R., Guilhermino L. & Morgado F. 2015. Zooplankton structure and dynamics in two estuaries from the Atlantic coast in relation to multi-stressors exposure. *Est. Coast. Shelf Sci.* 167B: 347–367
- ⁴⁹Cabeçadas G., Monteiro M.T., Brogueira M.J., Guerra M., Gaudêncio M.J., Passos M., Cavaco M.H., Gonçalves C., Ferronha H., Nogueira M., Cabeçadas P. & Ribeiro A.P. 2004. *Caracterização ambiental da zona costeira adjacente aos estuários do Tejo e Sado*. Relat. Cient. Téc. IPIMAR, Série digital (<http://ipimar-iniap.ipimar.pt>) n° 20
- ⁵⁰Franco J.N., Ceia F.R., Patrício J., Modesto V., Thompson J., Marques J.C. & Neto J.M. 2012. Population dynamics of *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) in mesohaline and oligohaline habitats: invasion success in a Southern Europe estuary. *Est. Coast. Shelf Sci.* 112: 31–39
- ⁵¹Teixeira H., Neto J.M., Patrício J., Veríssimo H., Pinto R., Salas F. & Marques J.C. 2009. Quality assessment of benthic macroinvertebrates under the scope of WFD using BAT, the Benthic Assessment Tool. *Mar. Poll. Bull.* 58: 1477–1486
- ⁵²Chainho P., Costa J.L., Chaves M.L., Dauer D.N. & Costa M.J. 2007. Influence of seasonal variability in benthic invertebrate community structure on the use of biotic indices to assess the ecological status of a Portuguese estuary. *Mar. Poll. Bull.* 54: 1586–1597
- ⁵³Neto J.M., Teixeira H., Patrício J., Baeta A., Veríssimo H., Pinto R. & Marques J.C. 2010. The response of estuarine macrobenthic communities to natural-and human-induced changes: dynamics and ecological quality. *Est. Coasts* 33: 1327–1339
- ⁵⁴Costa J.L. 2004. *A biologia do xarroco Halobatrachus didactylus (Bloch & Schneider, 1801) e o seu papel na estrutura e funcionamento dos ecossistemas em que se insere; referência especial à população do estuário do Mira*. Tese de doutoramento. Universidade de Lisboa. Portugal, Lisboa
- ⁵⁵França S., Costa M.J. & Cabral H.N. 2009. Assessing habitat specific fish assemblages in estuaries along the Portuguese coast. *Est. Coast. Shelf Sci.* 83: 1–12
- ⁵⁶Costa M.J. 1999. *O estuário do Tejo*. Cotovia, Lisboa
- ⁵⁷Almeida P.R. 2002. Ictiofauna fluvial. In: Moreira I., Ferreira M.T., Cortes R., Pinto P. & Almeida P.R. (eds.) *Ecossistemas aquáticos e ribeirinhos*. Ecologia, Gestão e Conservação. INAG. Portugal, Lisboa, pp. 7.1–1.25

- ⁵⁸Costa L., Nunes M., Geraldes P. & Costa H. 2003. *Zonas importantes para as aves em Portugal*. Sociedade Portuguesa para o Estudo das Aves. Portugal, Lisboa
- ⁵⁹Dias M.P., Peste F., Granadeiro J.P. & Palmeirim J.M. 2008. Does traditional shellfishing affect foraging by waders? The case of the Tagus estuary (Portugal). *Acta Oecol.* 33: 188–196
- ⁶⁰Farinha J.C. & Trindade A. 1994. *Contribuição para o inventário e caracterização de zonas húmidas em Portugal Continental*. Publicação MedWet/ Instituto da Conservação da Natureza. Portugal, Lisboa
- ⁶¹Farinha J.C., Costa L., Trindade A., Araújo P.R. & Silva E.P. 2001. *Zonas húmidas portuguesas de importância internacional. Sítios inscritos na convenção de Ramsar*. Instituto de Conservação da Natureza. Portugal, Lisboa
- ⁶²EUMOFA. 2017. *EU consumer habits regarding fishery and aquaculture products. Relatório Final*. European market observatory for fisheries and aquaculture products. UE
- ⁶³DGRM. 2014. *Plano estratégico para a piscicultura portuguesa 2014–2020*. DGRM, Governo de Portugal. Portugal, Lisboa
- ⁶⁴Cabral H.N., Fonseca V.F., Gamito R., Gonçalves C.I., Costa J.L., Erzini K., Gonçalves J., Martins J., Leite L., Andrade J.P., Ramos S., Bordalo A., Amorim E., Neto J.M., Marques J.C., Rebelo J.E., Silva C., Castro N., Almeida P.R., Domingos I., Gordo L.S. & Costa M.J. 2012. Ecological quality assessment of transitional waters based on fish assemblages in Portuguese estuaries: The Estuarine Fish Assessment Index (EFAI). *Ecol. Ind.* 19: 144–153
- ⁶⁵Vandekerckhove J., Cardoso A.C. & Boon P.J. 2013. Is there a need for a more explicit accounting of invasive alien species under the Water Framework Directive? *Manag. Biol. Inv.* 4: 25–36
- ⁶⁶Chainho P., Fernandes A., Amorim A., Ávila S., Canning-Clode J., Castro J., Costa A., Costa J.L., Cruz T., Gollasch S., Grazziotin-Soares C., Melo R., Micael J., Parente M., Semedo J., Silva T., Sobral D., Sousa M., Torres P., Veloso V. & Costa M.J. 2015. Non-indigenous species in Portuguese coastal areas, coastal lagoons, estuaries, and islands. *Est. Coast. Shelf Sci.* 167: 199–211
- ⁶⁷ICES. 2017. *Interim report of the working group on introductions and transfers of marine organisms (WGITMO)*, 13–15 March 2017, Woods Hole, USA. ICES CM 2017/SSGEPI: 09
- ⁶⁸Alves F. & Alves C. 2002. Two new records of seabreams (Pisces: Sparidae) from the Madeira Archipelago. Arquipélago. *Ciências Biológicas e Marinhas* 19A: 107–109
- ⁶⁹Comissão Europeia. 2008. Directiva 2008/56/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 17 de Junho de 2008 que estabelece um Quadro de Acção Comunitária no Domínio da Política para o Meio Marinho (Directiva-Quadro «Estratégia Marinha») France, Estrasburgo
- ⁷⁰Autoridade da Mobilidade e dos Transportes. 2017. Relatório do Mercado Portuário referente ao tráfego marítimo de mercadorias movimentadas em 2016 nos portos do Continente. Autoridade da Mobilidade e dos Transportes. Portugal, Lisboa