

# À descoberta do estuário do Rio Guadiana

Edição

Delminda Moura | Ana Gomes

Isabel Mendes | Jaime Aníbal



**UAlg**

UNIVERSIDADE DO ALGARVE  
EDITORA



# À descoberta do estuário do Rio Guadiana

## Edição

Delminda Moura

Ana Gomes

Isabel Mendes

Jaime Aníbal

**Título:** À descoberta do estuário do Rio Guadiana

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

**Revisores Científicos:**

Anabela Resende, *Departamento de Gestão de Áreas Classificadas – Zonas Húmidas, Reserva Natural do Sapal de Castro Marim e Vila Real de Santo António*

Marco Lopes, *Museu Municipal de Faro*

Maria da Conceição Seabra Santos, *Agrupamento de Escolas Tomás Cabreira, Faro*

Teresa Drago, *Instituto Português do Mar e da Atmosfera, Divisão Geologia e Georecursos Marinhos, Tavira. Instituto Dom Luiz (IDL), Universidade Lisboa*

**Edição:** Universidade do Algarve Editora

**1ª Edição**

**Local de Edição:** Faro

**Data de Edição:** 2022

**Design Gráfico e Paginação:** João Correia

**Foto de Capa:** Sarita Camacho

**Impressão:** Secção de Reprodução Documental da Universidade do Algarve

**ISBN:** 978-989-9023-84-0 (versão impressa)

**Depósito Legal:** 497015/22

**ISBN:** 978-989-9023-85-7 (versão eletrónica)

**DOI:** <https://doi.org/10.34623/s2nm-5y5>

**Disponível em:** <http://hdl.handle.net/10400.1/17681>



© Universidade do Algarve

Campus de Gambelas

8005-139 Faro

Portugal

Reservados todos os direitos

# Índice

---

Agradecimentos .....	5
Preâmbulo .....	9
Prefácio .....	11
1. Introdução .....	15
2. Rio Guadiana: evolução e perspectivas para o futuro .....	19
3. Dinâmica do estuário do Rio Guadiana .....	27
4. Habitats do estuário do Rio Guadiana .....	35
5. Quando o rio entra pelo mar: presente e passado da plataforma continental adjacente ao estuário do Rio Guadiana .....	43
6. Do sal ao salário: salicultura no estuário do Rio Guadiana .....	53
7. Uma viagem no tempo pelo estuário do Rio Guadiana .....	61
8. Contaminantes: o impacto invisível do Homem no Rio Guadiana .....	69
Glossário .....	79
Anexo I – Tabela cronoestratigráfica .....	83



# Agradecimentos

---

**Este livro resultou da investigação realizada no CIMA – Centro de Investigação Marinha e Ambiental, financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito do projeto LA/P/0069/2020 e UID/00350/2020CIMA.**

## REVISORES

Os editores agradecem aos revisores que amavelmente se dispuseram a rever os diversos capítulos deste livro.

### **Anabela Resende**

***Departamento de Gestão de Áreas Classificadas – Zonas Húmidas, Reserva Natural do Sapal de Castro Marim e Vila Real de Santo António***

Concluiu em 2010 o Mestrado em Gestão e Conservação da Natureza na Universidade do Algarve. No período 1979–1989 foi Técnica Superior no Instituto de Conservação da Natureza (ICN), na Reserva Natural do Sapal de Castro Marim e Vila Real de Santo António (RNSCMVRS), onde, a partir de 2008 exerceu funções de Supervisora desta Área Protegida até à reestruturação que deu origem ao ICNF. Entre 1990 e 2001 foi responsável pela área de Educação Ambiental e desenvolveu projetos pedagógicos com as escolas dos concelhos de Castro Marim e Vila Real de Santo António. Organizou os 1º e 2º Cursos de Formação de Professores sobre "Património Natural/Educação Ambiental". Em 1997/98 elaborou o Protocolo de Cooperação transfronteiriça para a realização do Programa "Espaços Naturais". A partir de 1997, assumiu também competências na área da Gestão, Planeamento, Ordenamento e Desenvolvimento Sustentável, coordenando a execução de diversos projetos. É interlocutora da RNSCMVRS no Grupo de Trabalho Nacional de "Zonas Húmidas", na Tradisal (Associação de Produtores de sal marinho tradicional do sotavento algarvio), na revisão do PDM de VRS, no Plano de Ordenamento da RNSCMVRS e nos Planos de Pormenor das autarquias de Castro Marim e VRS.

## **Marco Lopes**

### ***Diretor do Museu Municipal de Faro, Câmara Municipal de Faro***

Marco Lopes (Faro, 1977), é licenciado em História e mestre em Museologia, graus académicos obtidos na Universidade de Évora. Desempenhou funções de Técnico Superior de História na Câmara Municipal de Tavira entre 1999 e 2011, nos serviços do Gabinete Técnico Local, Divisão de Património e Reabilitação Urbana e ainda na Divisão de museus. Desde 2011 que se encontra a dirigir o Museu Municipal de Faro. Tem escrito artigos de investigação histórica, publicados em revistas e catálogos, e tem participado em palestras e comunicações nas áreas do património local e regional.

## **Maria da Conceição Teixeira da Fonseca Seabra Santos**

### ***Agrupamento de Escolas Tomás Cabreira, Faro***

Licenciou-se em Biologia – Ramo Educacional, pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, e posteriormente fez um mestrado em Comunicação em Ciência, Universidade de Glamorgan, Cardiff, UK. Professora do ensino básico e secundário, fixou-se no Algarve em 1993. Em 1997 foi destacada para o Centro Ciência Viva do Algarve, onde executou funções de coordenação científica, pedagógica, administrativa e financeira. Entre 2001 e 2012 integrou a direção desta instituição tendo sido responsável pela dinamização de projetos de educação e literacia científica, em diversas áreas da Biologia e da Geologia, em colaboração com unidades de investigação/instituições académicas e empresas. Destacam-se a participação na conceção de exposições, a organização de palestras, a coordenação de numerosas ações no âmbito dos programas da Biologia e da Geologia no verão, a gestão de projetos de apoio ao ensino experimental e a produção de materiais didáticos. Participou ainda em projetos de outras áreas científicas, como por exemplo a organização do Festival Nacional da Robótica [2008].

### **Teresa Drago**

***Instituto Português do Mar e da Atmosfera, Divisão Geologia e Georecursos Marinhos, Tavira. Instituto Dom Luiz (IDL), Universidade de Lisboa***

Investigadora Sénior no Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), com doutoramento em Geologia Marinha, obtido na Universidade de Bordéus. É especialista em sedimentologia costeira. Coordena diversos projetos de investigação, incluindo projetos na interface Geologia-Biologia, em parceria com equipas internacionais. Publicou mais de 30 artigos científicos e apresentou comunicações em congressos nacionais e internacionais. Tem co-orientado teses de mestrado com docentes da Universidade do Algarve.

<https://www.cienciavita.pt/C719-90AE-DAC7>



# Preâmbulo

---

As zonas costeiras, nas quais se incluem os estuários, são áreas de intensa procura para as mais diversas atividades e a partilha do espaço nem sempre é pacífica. A demanda destas zonas para pesca, caça, aquicultura, navegação, turismo, construção e lazer, entre outras atividades, pode colocar em risco o equilíbrio dos ecossistemas destas regiões de notável biodiversidade. É pois, absolutamente necessário que a gestão do espaço e das atividades, seja integrada e baseada no sólido conhecimento da dinâmica dos ecossistemas, em diversas escalas temporais. Só uma abordagem multi e interdisciplinar, cumpre esse objetivo.

O CIMA - Centro de Investigação Marinha e Ambiental da Universidade do Algarve, define-se como um Centro multidisciplinar na área científica das Ciências do Mar, cuja missão é a promoção do conhecimento científico e da inovação na área do mar e do ambiente. São vários os projetos de investigação e publicações científicas dos investigadores que o integram, que traduzem o carácter não só multidisciplinar, mas também interdisciplinar da investigação que nele se faz. A cooperação científica não é apenas entre os investigadores do CIMA. A cooperação com outras instituições nacionais e estrangeiras é notável.

O presente livro, reúne alguma da investigação desenvolvida por diversos elementos do CIMA, em colaboração com investigadores de outros centros de investigação, numa diversidade de temas como a geomorfologia, a biologia, a ecologia, a ecotoxicologia e a história do estuário do Rio Guadiana. Ao longo dos oito capítulos que o compõem, alguns temas são recorrentes, fruto de diferentes abordagens. Por exemplo, a evolução do estuário do Rio Guadiana em resposta às variações do nível

médio do mar, é traçada nos capítulos 2 e 5. No entanto, cada um destes capítulos utiliza diferentes indicadores. No capítulo 2, foi principalmente a leitura dos sedimentos que permitiu a reconstituição paleoambiental, enquanto que, no capítulo 5, ela baseou-se na ecologia de microrganismos fósseis.

Para o glossário, foi remetida a explicação e o significado de alguns conceitos e termos, quando não são do domínio comum. Em anexo, encontra-se uma tabela de organização do tempo geológico (tabela cronoestratigráfica). Finalmente, as idades relativas à evolução paleoambiental do estuário, são referenciadas em EC (Era Comum), ou AEC (Antes da Era Comum), que substituem respetivamente as anteriores referências a Antes de Cristo e Depois de Cristo, por conterem conotações religiosas explícitas.

Os Editores

# Prefácio

---

O meu primeiro encontro com o Grande Rio do Sul deu-se com o fascínio de Mértola, uma vila que cresceu virada para o Guadiana, considerada como o “último Porto do Mediterrâneo”. Ai vivia uma comunidade de pescadores, já em franco declínio mas ainda com um conhecimento vibrante para partilhar e vivenciar. Em Mértola, a 70 km da foz do Guadiana, ainda se faz sentir a influência da maré, que nos equinócios pode chegar a subir muito para além das Azenhas. O quotidiano deste troço médio do Guadiana Português, sempre esteve associado ao seu estuário, e a sua economia perdeu fulgor quando o rio deixou de cumprir a sua função de via de comunicação. Ainda há poucas décadas atrás, carreiras fluviais regulares estabeleciam a ligação entre Vila Real de Santo António e Mértola, os célebres “Gasolinas”.

Ensinaram-me que os peixes migradores, anádromos e catádromos que sobem e descem o rio em função da sua ecologia, encontravam o “sinal químico” do Guadiana na imensidão do Atlântico. Lampreias e sabogas são ainda presença regular, apesar de uma redução paulatina das populações. O sável está em pré-extinção e o solho (nome como era conhecido o esturjão) está extinto no Rio Guadiana. Sobre o solho, não os vi, mas ouvi-os contados pelos pescadores de Mértola, como o Ti João Confeiteiro, que pescou o último grande solho (com 70 kg) nos anos 70 do Séc. XX. São agora mais as espécies exóticas e invasoras do que as autóctones e é no estuário que se iniciam muitas destas colonizações.

Pude apreciar o Guadiana diluvial, no novembro de 1997, em especial, mas também em vários outros momentos, pré-Alqueva, em que o rio mostrava uma das suas características mais ímpares, as enchentes épicas, fruto da sua imensa bacia

hidrográfica e geomorfologia peculiar do leito. Várias vezes assisti ao eclipse do vale fluvial a jusante do Pulo do Lobo, quando a torrente enchia a garganta quartzítica e retomava o vale antigo. As azenhas de submersão, são o testemunho do engenho humano na adaptação aos humores do rio.

Conhecer o Guadiana, da sua nascente ao estuário é antes de mais compreender o sistema fluvial e as suas dinâmicas, muito condicionadas pela negativa influência antropogénica. Hoje, o Guadiana está pacificado pelas colossais barragens no seu curso (das maiores na Península Ibérica e Europa, como Alqueva e La Serena) e pelo proliferar de dezenas de milhares de furos ilegais destinados à rega. A seca crónica do icónico Parque Nacional das Tablas de Damiel, na Província de Castilla La Mancha, é o exemplo mais evidente da sobre-exploração dos recursos hídricos no Alto Guadiana. Apesar das obrigações decorrentes dos Estudos de Impacte Ambiental da construção das barragens (como no caso de Alqueva), as quais determinam a necessidade da realização de descargas periódicas que providenciem a dinâmica fluvial de transporte e remoção de sedimentos, raramente foi adotado esse procedimento. Os sedimentos acumulam-se no estuário colocando desafios às atividades económicas que a ele estão intrinsecamente associadas, a salinicultura, a pesca, o turismo.

A poluição é endémica, de origem urbana (no seu troço em Espanha, o Guadiana atravessa duas grandes cidades com estações de tratamento de efluentes muito deficitárias), industrial (associados a minas ativas e inativas) e agrícola (o Guadiana é o canal de receção dos fertilizantes e fitofármacos de milhares de hectares de áreas de regadio, nos quais se inclui uma boa parte do regadio de Alqueva). As alterações climáticas virão a amplificar as ameaças sobre este sistema, colocando em causa este que é dos ecossistemas mais produtivos e biodiversos do planeta.

Associados ao Guadiana Português temos duas áreas protegidas e várias Zonas Especiais de Conservação incluídas na Rede Natura 2000. Excluindo a área de influência da barragem de Alqueva, praticamente todo o troço tem um estatuto de proteção, ilustrando a sua importância para a biodiversidade num contexto europeu. O Sapal de Castro Marim e Vila Real de Santo António é uma das primeiras áreas protegidas de Portugal (criada em 1975), constituída por um complexo de habitats (áreas de sapal, canais, corpos de água salobra, salinas, áreas de sequeiro, entre outros), que conferem um dos maiores índices de diversidade biológica de Portugal.

Neste livro são abordadas várias das temáticas acima referidas, entendendo o Rio Guadiana como um sistema dinâmico e em evolução, como se fosse um organismo vivo. A dinâmica fluvial e a sua relação com a plataforma continental, a transformação que se antevê de uma continuada salinização e subida do nível médio do mar e a influência de fatores antropogénicos como a proliferação de espécies invasoras

e a disseminação de contaminantes são matérias aprofundadas. Esta obra é uma contribuição notável para o conhecimento do Grande Rio do Sul, propondo caminhos para o futuro, num contexto de mudança de origem antropogénica direta ou indireta (alterações climáticas)

A história indica-nos que, em cada momento, as grandes transformações induzidas no rio e estuário se deveram a opções económicas e de desenvolvimento que não tiveram continuidade. As opções presentes levantam muitas dúvidas, pelo que urge repensar que Guadiana queremos no futuro.

**Pedro Azenha Rocha**

*Ex. Diretor do Parque Natural do Vale do Guadiana  
Atual Administrador Executivo da Herdade da Contenda, E.M.*



# 1. Introdução

---

**Delminda Moura<sup>1</sup>, Jaime Aníbal<sup>1</sup>, Ana Gomes<sup>2</sup> & Isabel Mendes<sup>1</sup>**

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

<sup>2</sup> ICAREHB – Centro Interdisciplinar de Arqueologia e Evolução do Comportamento Humano,  
Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal  
[dmoura@ualg.pt](mailto:dmoura@ualg.pt); [janibal@ualg.pt](mailto:janibal@ualg.pt); [aisgomes@ualg.pt](mailto:aisgomes@ualg.pt); [imendes@ualg.pt](mailto:imendes@ualg.pt)

As regiões de interface entre o continente e o oceano, como estuários, deltas e lagoas costeiras, constituem importantes zonas húmidas do Planeta, com uma riqueza ecológica extraordinária. São numerosos os serviços ecossistémicos fornecidos por estes ambientes, que incluem serviços de aprovisionamento (por exemplo, alimentos), de regulação (por exemplo, ciclo global do carbono) e serviços de suporte (por exemplo, solo). Os estuários em particular, para além da sua importância ambiental, são económica e socialmente relevantes, oferecendo acessibilidade para a navegação, portos comerciais e marinas de recreio e espaço para salicultura e aquicultura (capítulo 6).

Os estuários têm sido ao longo do tempo, locais atrativos para a ocupação humana, justamente devido aos serviços ecossistémicos que oferecem. Deste modo, constituem um importante repositório arqueológico e cultural. Contudo, o valor dos estuários enquanto ambiente geológico, é mais abrangente que os serviços e bens que providenciam. Nos sedimentos que se foram acumulando ao longo de milhares de anos, podemos ler a história das alterações climáticas e do nível médio do mar (capítulos 2, 4 e 5).

Os estuários mundiais, começaram a formar-se há cerca de oito a seis mil anos atrás, quando a subida do nível médio do mar (NMM) desacelerou, após uma anterior subida muito rápida (capítulos 2 e 5). Os sedimentos trazidos das áreas continentais pelos rios, impedidos de serem exportados para a plataforma continental

(mecanismo contrariado pela subida do NMM), começaram a acumular-se na foz, originando sapais (zonas lodosas com vegetação halófitas, isto é, adaptada a solos salgados). A extensão dos sapais depende do espaço existente para acomodar tanto os sedimentos transportados pelos rios, como os marinhos que entram na foz, impulsionados pelas correntes e marés (capítulo 3). É a relação entre os processos marinhos, os fluviais e a natureza do substrato geológico que determinam a morfologia dos estuários.

O Rio Guadiana que no seu troço final estabelece a fronteira entre Portugal e Espanha no extremo leste da região do Algarve, abre o seu estuário ao Oceano Atlântico, entre as cidades de Vila Real de Santo António (Portugal) e Ayamonte (Espanha). É um estuário estreito (ca. 600 metros de largo) e profundo (cerca de 70 metros abaixo do NMM), encaixado maioritariamente em rochas do Paleozoico (capítulo 2). Esta morfologia contrasta com outros estuários do Golfo de Cádiz, que, instalados em sedimentos e rochas sedimentares relativamente brandas, são menos profundos e mais largos. A bacia hidrográfica do Rio Guadiana (Figura 1.1) é a mais importante em território português para a conservação de espécies de peixes de águas interiores.

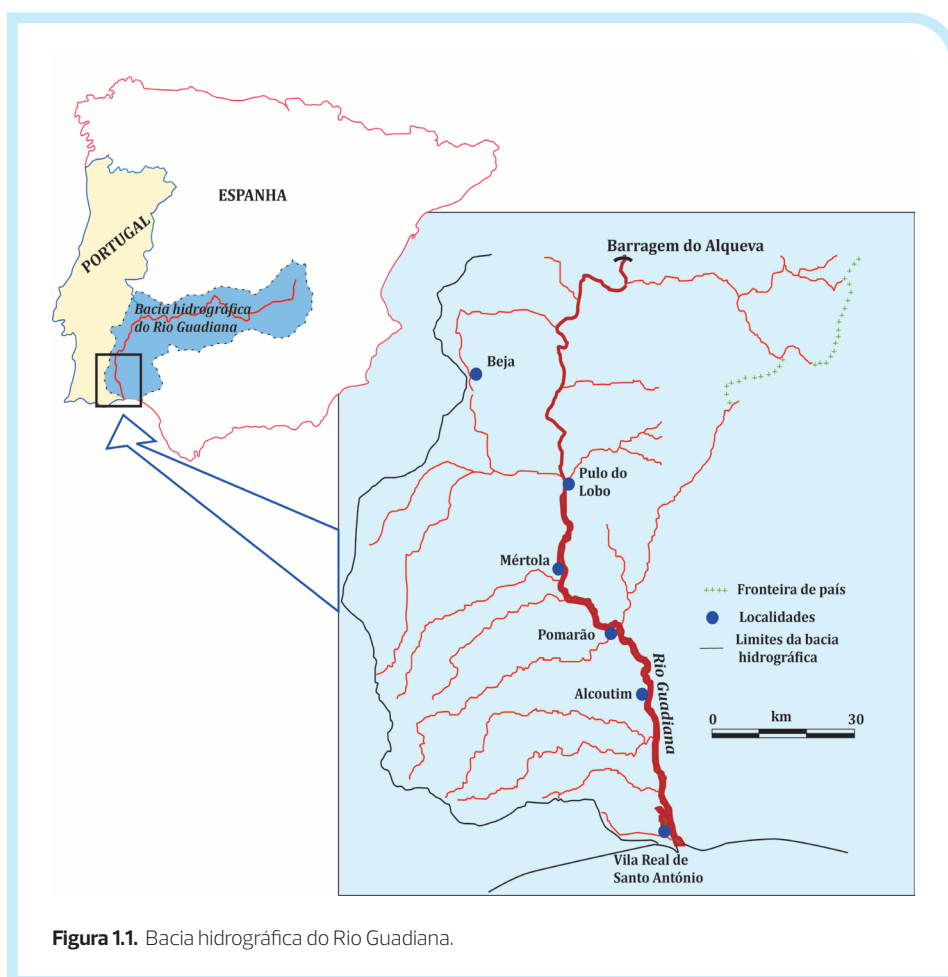
Um dos eventos que mais contribui para alterar a paisagem de modo catastrófico, bem como introduzir no estuário grande quantidade de sedimento arrancado ao solo, são as cheias. As cheias catastróficas na bacia hidrográfica do Rio Guadiana em resposta a eventos de precipitação extrema, são conhecidas desde há muito e afetaram as populações ribeirinhas. Em 1876, 95% das edificações em Mértola, ficaram destruídas e diversas localidades a sul desta região, quase que desapareceram (de acordo com a imprensa da época). Nos últimos 1500 anos, foram registadas 37 cheias catastróficas, 26 das quais entre 1851 e 1985, o que dá um período de recorrência de cerca de 5 anos. Estas cheias catastróficas, associadas a extrema precipitação, foram relacionadas com a variabilidade climática na Península Ibérica, resultante das movimentações das massas de ar no Oceano Atlântico Este. Para além das variáveis ambientais, as diversas atividades antrópicas na bacia hidrográfica, podem ameaçar a riqueza ecológica do estuário.

Algumas zonas do estuário são de risco ecológico devido à drenagem ácida de antigas áreas de mineração, nas proximidades da "faixa Piritosa". Para além dessas áreas, existem outras de risco elevado, relacionadas com a presença de altas concentrações de Arsénio, Cádmio, Zinco, Chumbo e Mercúrio, resultantes provavelmente dos resíduos urbanos e industriais nas proximidades do estuário (capítulo 8).

Para além da Reserva Natural de Castro Marim e Vila Real de Santo António, que inclui o estuário (<https://natural.pt/protected-areas/reserva-natural-sapal-castro-marim-vila-real-sto-antonio?locale=pt>), merece também particular atenção pela

sua beleza e importância geomorfológica e ecológica, o Parque Natural do Vale do Guadiana localizado no vale médio do Rio (distrito de Beja) <https://natural.pt/protected-areas/parque-natural-vale-guadiana?locale=pt>.

São muitas dezenas as publicações sobre o estuário do Rio Guadiana, nas diversas áreas do conhecimento científico, como a geomorfologia, a poluição e comportamento dos poluentes em diversas condições de caudal, a acumulação de matéria orgânica (carbono azul), a hidrodinâmica e a biodiversidade. Este livro tem como objetivo abordar de modo simples, várias destas temáticas, com base na investigação científica de alguns membros do CIMA – Centro de Investigação Marinha e Ambiental.





## 2. Rio Guadiana: evolução e perspetivas para o futuro

**Tomasz Boski<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> CIMA – Centro de Investigação Marinha e Ambiental,  
Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal  
[tboski@ualg.pt](mailto:tboski@ualg.pt)

### 2.1. Bacia hidrográfica do Rio Guadiana

A bacia hidrográfica (território e linhas de água que alimentam um rio) do Rio Guadiana, estende-se por uma área de 66 889 quilómetros quadrados, entre as bacias hidrográficas dos rios Tejo e Guadalquivir, dos quais, cerca de 17% se situam em Portugal. O troço superior do Rio Guadiana, localiza-se em Espanha, na região oeste da província de La Mancha, cujos moinhos de vento foram imortalizados por Don Quixote, no romance de Miguel Cervantes. É limitada a norte pelos alinhamentos da Serra de Altomira (altitudes entre 700 e 1000 metros), e da Mancha de Toledo (comarca provincial de Toledo), caracterizada por numerosas lagoas situadas entre 600 e 800 metros acima do nível médio do mar. A nascente do Rio Guadiana foi historicamente localizada em Campo de Montiel (região sul de La Mancha), com o nome de Rio Pinilla. Aqui, a circulação da água é principalmente subterrânea, através das cavidades cársticas no substrato calcário, e por isso sem carácter permanente. Presentemente, a nascente do Rio Guadiana é posicionada no Parque Natural de Lagoas de Ruidera ([http://www.lagunasderuidera.es/el-parque\\_elparque\\_43.html](http://www.lagunasderuidera.es/el-parque_elparque_43.html)), ou na zona húmida do Parque Natural de Daimiel ([http://www.lastablasdedaimiel.com/el-parque\\_elparque\\_25.html](http://www.lastablasdedaimiel.com/el-parque_elparque_25.html)).

Qualquer que seja o local exato da sua nascente, o Rio Guadiana dirige-se para o sul da Península Ibérica, primeiramente de este para oeste e, após 578 quilómetros de percurso, perto da cidade de Badajoz, inflete para sul, aproximando-se da fronteira

com Portugal. Entre a foz do Rio Caia (nasce na Serra de S. Mamede) e a confluência com o seu afluente Ribeira de Cuncos, o Rio Guadiana estabelece a fronteira natural entre Portugal e Espanha, ao longo de 40 quilómetros. Flui depois em território português, ao longo de 142 quilómetros, após os quais, volta a estabelecer a fronteira natural entre os dois países, a partir da confluência com o Rio Chança (afluente da margem esquerda) até desaguar no Golfo de Cádiz no Oceano Atlântico, através do estuário. O clima na bacia hidrográfica do Rio Guadiana, é caracterizado por verões quentes e secos e invernos frios e húmidos. A temperatura anual varia entre +50°C e -10° C, na zona mais interior (clima de cariz continental), criando condições para evaporação potencial entre 800 e 1000 milímetros por ano, bastante mais elevada que a pluviosidade, cujos valores variam entre 450 e 700 milímetros ano (1 milímetro de pluviosidade é igual a 1 litro por metro quadrado). Deste modo, a carência de água para irrigação em toda a bacia hidrográfica é grande, pelo que se construíram numerosas barragens ao longo do percurso do rio e também dos seus afluentes, quer em Espanha, quer em Portugal.

A construção de barragens nos rios do sudoeste da Península Ibérica, começou provavelmente durante o Império Romano (27 anos AEC a 476 anos EC), com o objetivo de suprir as necessidades rurais e urbanas. Até ao final do século XIX, os represamentos não afetaram substancialmente a quantidade de água e de sedimento que chegavam ao oceano. Porém, a partir do século XX, essa situação alterou-se drasticamente com o aumento exponencial de barragens, em particular com a construção da Barragem do Alqueva, com capacidade de retenção de 4200 hectómetros cúbicos. Apesar de serem mantidos os designados caudais ecológicos (20 a 40 metros cúbicos de água por segundo), a transferência de água, sedimento e nutrientes para o estuário foi dramaticamente reduzida. Em 1947, foi registada no Pulo do Lobo (ver caixa 2.1), uma descarga de água de cerca de 8000 metros cúbicos por segundo. Presentemente, é de 80 metros cúbicos por segundo, portanto, cem vezes menor.

### **Caixa 2.1 – O que é o Pulo do Lobo?**

O Pulo do Lobo é um acidente morfológico no percurso do Rio Guadiana, localizado a 17 quilómetros a norte de Mértola. Corresponde a um desnível de cerca de 30 metros no leito do rio. Por este motivo, formou-se uma cascata numa estreita garganta (estreitamento do vale) talhada nos xistos e quartzitos das rochas da Era Paleozoica (ver tabela de tempo geológico, em anexo).

## 2.2. Caracterização do estuário do Rio Guadiana

A parte portuguesa do estuário é abrangida pela Reserva Natural do Sapal de Castro Marim e Vila Real de Santo António (<https://cm-castromarim.pt/site/conteudo/reserva-natural-do-sapal-de-cmvrsm2>), que foi criada em 1975, em reconhecimento ao seu elevado valor ecológico, tendo como objetivo limitar algumas atividades que atentavam contra a biodiversidade desta importante zona húmida. Foi a primeira reserva natural criada em Portugal. Mais tarde, em 1989, foi definida a Paisagem Natural dos Marismas de Isla Cristina, na parte espanhola do estuário. O reforço da importância ecológica do estuário foi consagrado na Rede NATURA 2000 ([http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/index_en.htm)).

Em termos físicos, o estuário do Rio Guadiana estende-se desde a sua desembocadura entre as cidades de Ayamonte em Espanha e Vila Real de Santo António em Portugal e a cidade de Mértola, situada 60 quilómetros mais a norte. Este limite é definido pelo alcance máximo da alteração do nível da água produzida pela propagação da maré, rio acima (ver capítulo 3). Mas, se considerarmos as propriedades químicas da água, então, o estuário estende-se somente até 8–20 quilómetros para norte (localidades de Castro Marim e Álamo). Deste modo, a definição química do estuário (até ao limite do ião cloro de 0,1 gramas por quilograma de água), inclui somente o baixo estuário, ou o baixo e o médio estuário, dependendo da descarga de água doce do rio e da mistura com a água do mar.

Em termos geomorfológicos, o estuário do Rio Guadiana cruza quatro unidades geológicas com rochas sucessivamente mais recentes de norte para sul: (i) xistos e grauaques da Formação de Mira da Era Paleozoica, no alto estuário, (ii) calcários e arenitos (grés de Silves) da Era Mesozoica no médio e baixo estuário, (iii) arenitos do Pleistocénico (Quaternário) no baixo estuário e, (iv) aluviões do Holocénico (Quaternário) também no baixo estuário (ver a tabela de tempo geológico em anexo).

## 2.3. Alterações ambientais pretéritas e perspetivas futuras

### 2.3.1. Reconstituição da evolução do estuário do Rio Guadiana ao longo dos últimos 14 000 anos

A evolução do estuário do Rio Guadiana, está intrinsecamente ligada às alterações climáticas e às variações do nível médio do mar ocorridas no Quaternário Superior (ver tabela da organização do tempo geológico, em anexo). A relação entre o clima e a variação do nível do mar, embora complexa, é fácil de entender: quando, durante os

períodos de glacial (intenso arrefecimento à escala global), milhares de quilómetros cúbicos de água ficam retidos sobre os continentes, na forma de gelo, o nível do mar desce. Este mecanismo designa-se por regressão. Pelo contrário, durante os interglaciais (aumento da temperatura), os mantos de gelo fundem, a água é libertada para o oceano, ocorrendo então uma transgressão marinha. Isto é, o mar inunda as plataformas continentais, penetra nos vales dos rios e a linha de costa desloca-se sucessivamente continente adentro, dependendo da magnitude da transgressão e da morfologia costeira.

Transgressões e regressões produzem efeitos opostos na dinâmica fluvial e estuarina. Durante as regressões, com o nível do mar a descer para níveis inferiores à foz original, os rios escavam o substrato e aprofundam os vales, para acompanhar o nível médio do mar. Pelo contrário, durante as transgressões, o nível do mar sobe e contraria o escoamento para o mar, da água e dos sedimentos fluviais. Assim, estes ficam retidos na foz, vão empilhando uns sobre os outros e espalham-se pela área disponível, dando origem aos estuários. Estes, são por isso um repositório da evolução do clima e do nível médio do mar. Quer dizer, os sedimentos e os organismos neles fossilizados contam uma história fascinante, se os soubermos ler. Foi isto mesmo o que fez uma equipa do CIMA – Centro de Investigação Marinha e Ambiental. Realizaram-se seis sondagens (furos) que atravessaram os sedimentos depositados no vale e no estuário do Rio Guadiana. A sondagem mais profunda (CM6– Figura 2.1), atingiu cerca de 62,5 metros e foi executada na margem esquerda, em território espanhol. A investigação efetuada nessas espessas pilhas de sedimento, incluiu o estudo de grãos de pólen, da microfauna bentónica (pequenos animais que vivem no sedimento), de microalgas e das variações na composição química dos sedimentos. A equipa obteve resultados entusiasmantes que permitiram compreender como evoluiu o estuário desde há cerca de 14 000 anos, quando, após o Último Máximo Glacial, a água proveniente da fusão do gelo, começou a inundar a plataforma continental (Figura 2.2). O nível do mar subiu muito rapidamente até aos 7500 anos atrás (entre 80 centímetros e 1 metro em cada século). O clima era ameno e, na bacia hidrográfica do Rio Guadiana, predominavam os carvalhos, as oliveiras e os pinheiros. A água do mar penetrou no vale do rio, na sua imparável subida e, onde hoje conhecemos os extensos sapais, era então, uma baía aberta ao oceano. Seguiu-se uma desaceleração do nível do mar, que continuou no entanto a subir até aos nossos dias, embora a uma taxa muito inferior, presentemente a uma média de cerca de 3 milímetros em cada ano.

O registo mais antigo da presença humana foi detetado há cerca de 5000 anos atrás, com base no estudo dos grãos de pólen fossilizados no sedimento. Esta investigação revelou evidências de desflorestação e da introdução de espécies agrícolas.



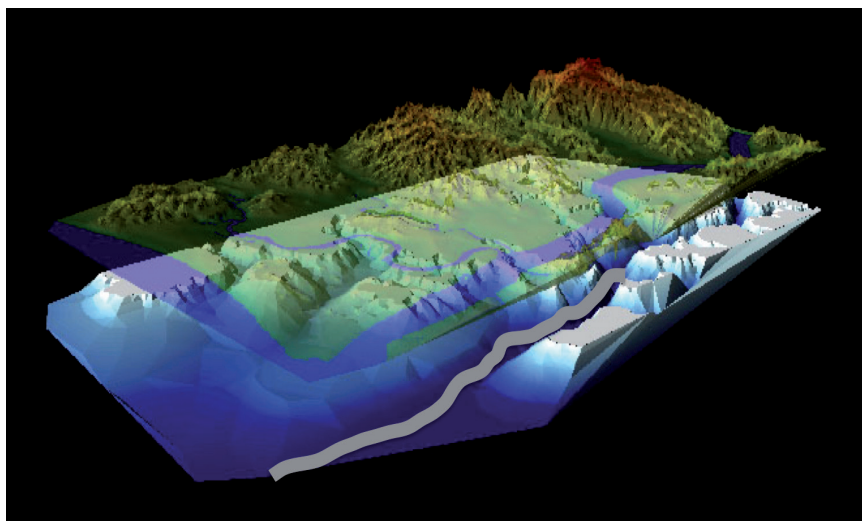
**Figura 2.1.** Vista aérea do estuário do Rio Guadiana. As setas vermelhas com a designação de CM1, CM2, CM3, CM4, CM5 e CM6 assinalam os locais onde se efetuaram sondagens para estudar a evolução do estuário ao longo dos últimos 14 000 anos. Fotografia de T. Boski, 2010.

Aos 4500 anos atrás, no início da Idade do Cobre, a composição dos sedimentos revelou um aumento do conteúdo de chumbo, cobalto, níquel e manganês e, em menor quantidade, de zinco e cobre. Estes resultados, foram interpretados como sendo a consequência de atividade mineira, particularmente intensa no final da Idade do Bronze. Este registo repetiu-se no Período Romano.

Durante o Período Romano, Castro Marim foi um importante porto comercial e assim continuou até 1774. O sucessivo assoreamento dos canais (acumulação de sedimento), obrigou à deslocalização do porto para mais próximo do oceano, junto à desembocadura do rio onde se situa presentemente a cidade de Vila Real de Santo António. Esta, tornou-se um modelo de arquitetura antissísmica, projetada pelo Secretário de Estado do Reino de D. José I, o Marquês de Pombal, após a destruição pelo sismo de 1755. O porto de Vila Real de Santo António é ainda hoje uma referência para a atividade pesqueira. Na segunda metade do século XIX era deste

porto que saíam os minerais extraídos mais a norte, na mina de S. Domingos, para serem exportados para o Reino Unido.

A subida do nível médio do mar e os sedimentos vindos de oeste, transportados ao longo da costa por deriva longilitoral, conduziram, em 1974, à construção de um esporão para impedir a entrada das areias no canal fluvial que deste modo inviabilizariam a acessibilidade à navegação.



**Figura 2.2.** Modelo digital do vale do Rio Guadiana há cerca de 18 000 anos atrás. A imagem superior mostra a morfologia atual e o percurso do rio. O exagero vertical é de 50 vezes.

### 2.3.2. O futuro

Assumindo que a subida do nível médio do mar se mantenha nos cerca de 3 milímetros por ano, ou mesmo acelere como previsto, ao longo do século XXI, juntamente com a diminuição da descarga de água e de sedimento transportado pelo rio, todo o ecossistema estuarino estará ameaçado. A redução dos caudais líquido e sólido é uma das consequências das muitas dezenas de barragens localizadas na bacia hidrográfica do rio. Assistiremos a uma redução significativa de habitats e por isso da biodiversidade. A completa submersão do sapal poderá ser evitada utilizando uma gestão integrada do estuário e da bacia hidrográfica, como por exemplo: (i) ajustar o caudal ecológico mínimo, com base em dados reais em termos de

variabilidade temporal e espacial, (ii) remover estruturas costeiras desnecessárias, de modo a reestabelecer os processos sedimentares naturais, (iii) proceder à transferência dos sedimentos finos que ficam retidos nas barragens e que são necessários para robustecer os sapais, (iv) equacionar o transplante de espécies ou recriar uma zona húmida ao abrigo de uma barreira protetora.

### Referências para leitura adicional

- Boski T., Moura D., Veiga-Pires, C., Camacho, S., Duarte D.N., Scott, D.B. & Fernandes, S.G., 2002. Postglacial sea-level rise and sedimentary response in the Guadiana Estuary, Portugal/Spain border. *Sedimentary Geology* 150 (1-2): 103-122.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S0037-0738\(01\)00270-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0037-0738(01)00270-6)
- Delgado, J., Boski, T., Nieto, J.M., Pereira, L., Moura, D., Gomes, A., Sousa, C. & Garcia-Tenorio, R., 2012. Sea-level rise and anthropogenic activities recorded in the Late Pleistocene/Holocene sedimentary infill of the Guadiana Estuary (SW Iberia). *Quaternary Science Reviews* 33: 121-141.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2011.12.002>
- Fletcher, W.J., Boski, T. & Moura, D., 2007. Palynological evidence for environmental and climatic change in the lower Guadiana valley, Portugal, during the last 13 000 years. *The Holocene* 17 (4): 481-494.  
<http://10.1177/0959683607077027>
- Murray-Wallace, C.V. & Woodroffe, C.D., Eds., 2014. *Quaternary Sea-level Changes: a Global Perspective*. Cambridge University Press, 484 p.
- Sampath, D.M.R., Boski, T., Loureiro, C. & Sousa, C., 2015. Modelling of estuarine response to sea-level rise during the Holocene: application to the Guadiana estuary-SW Iberia. *Geomorphology* 232:47-64.  
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.12.037>



# 3. Dinâmica do estuário do Rio Guadiana

Erwan Garel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CIMA – Centro de Investigação Marinha e Ambiental,  
Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal  
[egarel@ualg.pt](mailto:egarel@ualg.pt)

## 3.1. Introdução

Os estuários são áreas intensamente ocupadas pelo homem que precisam lidar com o crescente desenvolvimento económico e industrial. Estas zonas costeiras são também um dos tipos de ecossistemas mais produtivos da Terra, de valor considerável para o homem e para a vida selvagem. Compreender a dinâmica dos estuários é fundamental para manter o equilíbrio entre a exploração e a conservação. Em particular, a avaliação de várias características de extrema importância sócio-ecológica (como a qualidade da água, o risco de inundação, a saúde do ecossistema e a morfodinâmica), deve basear-se num conhecimento profundo da circulação da água e do transporte de sedimentos. Neste sentido, este capítulo sintetiza algumas das características do estuário do Rio Guadiana, em termos de hidrodinâmica e transporte de sedimentos.

## 3.2. Morfologia

O estuário do Rio Guadiana, liga o rio ao Golfo de Cádiz (Figura 3.1). Estende-se por cerca de oitenta quilómetros, desde a foz (perto de Vila Real de Santo António) até à cabeceira (perto de Mértola). Este comprimento corresponde à distância em que o Rio Guadiana é afetado pelas oscilações periódicas do nível da água devido às marés (ver capítulo 2).

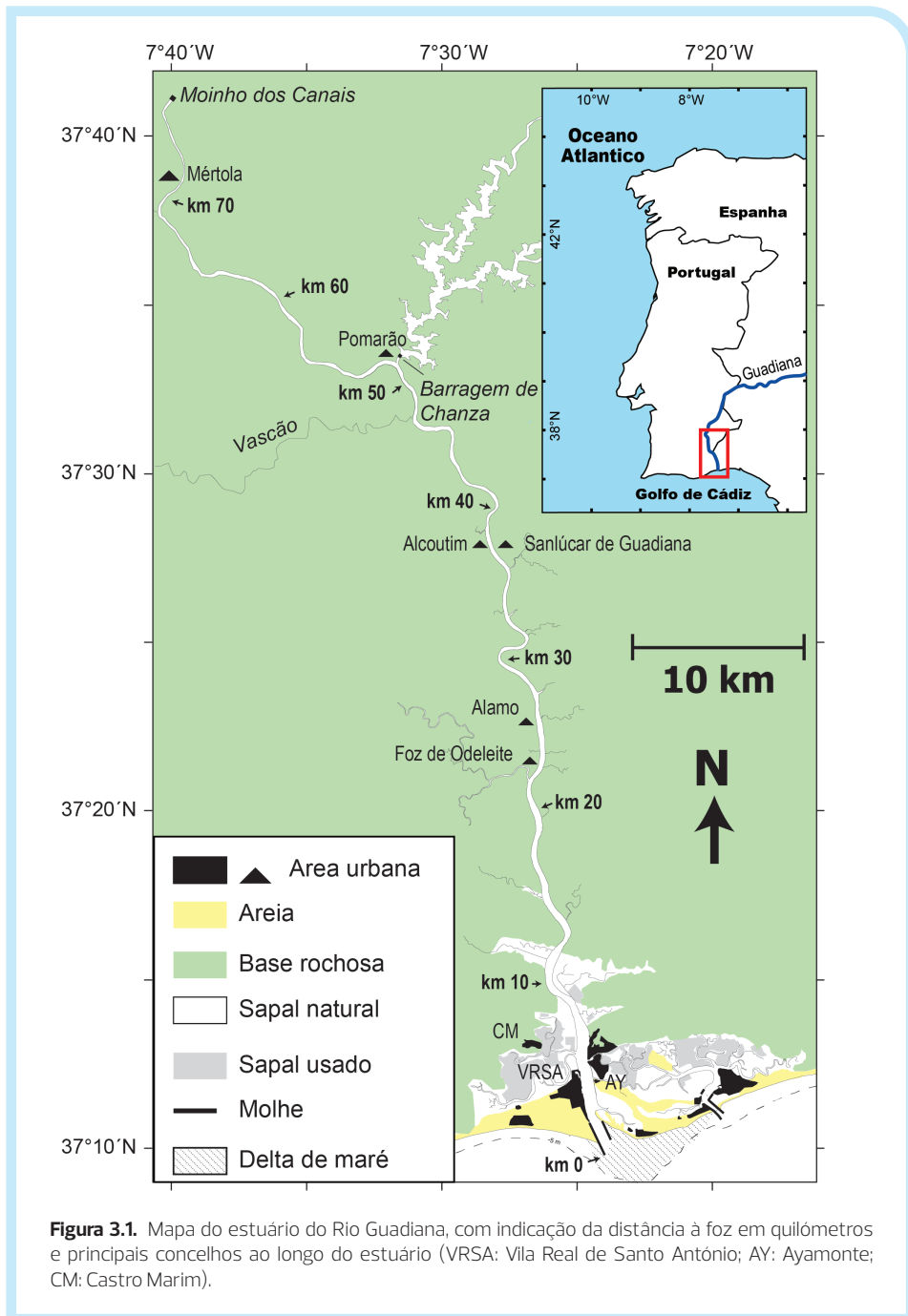
Ao longo da maior parte do seu curso, o canal estuarino está confinado num vale profundo e estreito, constituído por rochas duras. Apenas no decurso dos últimos dez quilómetros junto à foz, está instalado em sedimentos brandos onde se desenvolveram sapais (nas margens portuguesa e espanhola), sendo uma grande parte utilizada para pastagem, aquicultura e produção de sal (Figura 3.1). A largura do estuário é máxima junto à foz (cerca de 800 metros) e estreita-se para montante, reduzindo-se a setenta metros na cabeceira. O estreitamento do canal é mais pronunciado ao longo dos primeiros dez quilómetros da foz (Figura 3.1). Consequentemente, o estuário tem uma forma de funil (ou trombeta) em vista panorâmica, o que é típico dos estuários chamados "convergentes" onde dominam os efeitos das marés.

Em detalhe, o canal estuarino é constituído por uma zona mais profunda (cerca de cinco metros de profundidade em média, embora muito variável), limitada por margens rasas. No fundo, o sedimento é composto principalmente por areia e lodo. A areia está presente em áreas onde fortes correntes inibem a deposição de sedimentos mais finos (lodo), como acontece ao longo do canal profundo. O lodo é depositado em águas mais calmas, nas margens do canal. Em zonas de transição entre o canal profundo e a margem rasa, as correntes são moderadas e os sedimentos superficiais consistem geralmente numa mistura de lodo e areia.

O estuário prolonga-se no mar por um depósito de areia submerso (denominado delta de maré-vazante), que é formado por acumulação de areia, proveniente principalmente das praias adjacentes (Figura 3.1). No passado, o acesso de barco ao estuário pelo mar era perigoso e complicado, devido à presença de grandes bancos de areia que mudavam constantemente de posição e forma. Para melhorar a navegabilidade, a foz foi estabilizada em 1972-74 por um par de molhes paralelos, sendo o molhe leste submerso (Figura 3.1).

### 3.3. Marés

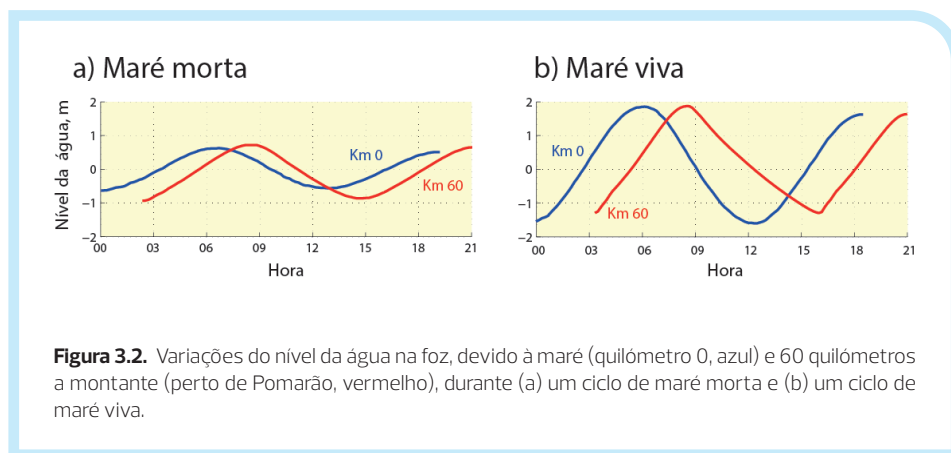
As marés são variações regulares do nível da água do mar. Quando o nível da água sobe (maré enchente), a água do mar entra no estuário e mistura-se com a água doce fornecida pelos rios. Quando o nível da água desce (maré vazante), a água misturada sai do estuário pela foz. Tal como em todas as costas do Atlântico Norte, o sinal de maré no sul de Portugal é semidiurno, o que significa que ocorrem cerca de dois ciclos de enchente e de vazante, todos os dias (um ciclo de marés dura em média 12 horas e 25 minutos).



**Figura 3.1.** Mapa do estuário do Rio Guadiana, com indicação da distância à foz em quilómetros e principais concelhos ao longo do estuário (VRSA: Vila Real de Santo António; AY: Ayamonte; CM: Castro Marim).

A amplitude das marés (diferença entre a preia-mar e a baixa-mar) varia continuamente ao longo do tempo, entre os valores mais elevados nas marés vivas e os valores mais baixos nas marés mortas. As marés vivas e mortas têm um período de 15 dias, o que significa que ocorrem duas marés vivas e duas marés mortas por mês. Na foz do Rio Guadiana, a amplitude das marés varia significativamente, entre valores médios de 1,28 metros nas marés mortas e 2,56 metros nas marés vivas (com um máximo de 3,44 metros).

As variações de maré propagam-se ao longo do estuário (Figura 3.2). Contudo, a amplitude entre a maré vazia e a cheia, permanece aproximadamente constante ao longo da maior parte do curso do estuário, exceto nos últimos dez quilómetros a montante, onde diminui drasticamente para zero na cabeceira.



As variações na elevação do nível da água, devido à maré, estão associadas às correntes de maré. Durante a enchente, o nível da água aumenta dentro do estuário e o fluxo da maré é orientado para montante (em direção à cabeceira); durante a vazante, o nível da água diminui e o fluxo das marés é orientado para jusante (para o mar). As correntes (ambas, de enchente e vazante) são mais fortes nas marés vivas (cerca de 1 metro por segundo) do que nas marés mortas (cerca de 0,5 metros por segundo), porque as variações do nível de água são também mais pronunciadas em marés vivas. Essas velocidades podem ser muito maiores durante os períodos de grande descarga do Rio Guadiana. Além disso, a velocidade da corrente varia com a localização, com valores máximos tipicamente observados no canal profundo e perto da superfície (ou seja, onde o atrito desacelera menos a corrente).

### 3.4. Influência da água doce

Enquanto que a água do mar entra no estuário pela foz durante a enchente, o Rio Guadiana descarrega continuamente água doce no estuário vinda da cabeceira. O caudal máximo histórico do rio, foi de 11 000 metros cúbicos por segundo, durante uma cheia ocorrida em 1876, quando o nível da água atingiu 25 metros acima da sua altura normal em Mértola. No entanto, o presente caudal é afetado pela presença de mais de 100 barragens na bacia hidrográfica do rio, com destaque para a Barragem do Alqueva, localizada 60 quilómetros a montante da cabeceira do estuário e que constitui uma das maiores albufeiras artificiais da Europa. Desde a conclusão da Barragem do Alqueva (em fevereiro de 2002), o caudal foi fortemente regulado e a magnitude e frequência das cheias foram drasticamente reduzidas. A atual descarga de água doce no estuário é caracterizada por valores baixos (tipicamente entre 20 e 50 metros cúbicos por segundo ao longo do ano), que correspondem ao fluxo ecológico para manter minimamente o ecossistema. Descargas superiores, até 2500 metros cúbicos por segundo, ocorrem raramente, durante chuvas intensas ou quando a água é libertada da Barragem do Alqueva.

A maré transporta sal à medida que se propaga ao longo do estuário. Este é um assunto importante, pois uma salinidade maior que 5 gramas de sal por quilograma de água, torna a água geralmente imprópria para consumo e irrigação. A distância a que a água salgada penetra (o comprimento da intrusão salina) depende fortemente do caudal do rio. Quando as descargas de água doce para o estuário são baixas, água com salinidade superior a 5 gramas por quilograma, chega aproximadamente até à Foz de Odeleite (25 quilómetros da foz) nas marés baixas e até Alcoutim (40 quilómetros da foz) nas marés altas. Estes valores também foram medidos até ao Pomarão, a 50 quilómetros da foz, numa maré alta durante o ano seco de 2017 (ver Figura 3.1 para localização). Durante os eventos de maior descarga (superior a 2000 metros cúbicos por segundo), todo o estuário é constituído por água doce, pelo menos durante a fase vazante da maré.

O caudal do rio também afeta o modo como a água doce (0 gramas por quilograma) e a salgada (36 gramas por quilograma) se misturam dentro do estuário. Em situação habitual de descarga baixa, as correntes da maré são fortes o suficiente para misturar completamente a coluna de água. Em geral, não há variações de salinidade (ou pouca) da superfície até ao fundo, e o estuário é classificado como "bem misturado". Ainda assim, alguma estratificação vertical pode ser observada localmente, especialmente nas marés mortas, quando as correntes de maré são mais fracas. A presença de estratificação está relacionada com a competição entre as correntes

de maré (que tendem a misturar a água) e as correntes de densidade (que promovem a flutuabilidade). Quando as forças de flutuabilidade dominam, a salinidade é maior perto do fundo e diminui em direção à superfície (a água salgada é mais densa – portanto, mais pesada – do que a água doce). A magnitude de tal estratificação aumenta drasticamente (e a mistura entre a água do mar e a água do rio diminui) com mudanças relativamente pequenas do caudal do rio. Por exemplo, água do mar perto do fundo e água do rio perto da superfície, quase sem mistura entre as duas camadas, foram observadas para um caudal moderado de 400 metros cúbicos por segundo. Esta é uma característica essencial do estuário do Rio Guadiana, devido ao seu canal estreito (relativamente a seu comprimento), tornando este estuário muito diferente de outros sistemas com uma grande bacia hidrográfica, como os estuários de planície costeira (onde apenas cheias extremas podem produzir efeitos semelhantes).

### 3.5. Exportação de sedimentos

A areia é geralmente transportada ao longo do fundo do canal, enquanto que os sedimentos mais finos (lodo) são transportados em suspensão na coluna de água. Ao longo do estuário, a areia é transportada principalmente durante as marés vivas (quando as correntes de maré são mais fortes). Perto da foz, a direção do transporte de areia (calculada em média ao longo de vários ciclos de marés) é em direção ao mar, mas relativamente fraca (cerca de 5000 metros cúbicos por ano). Da mesma forma, o transporte de sedimentos em suspensão para dentro / fora do estuário é relativamente equilibrado. A exportação de sedimentos torna-se importante para descargas do rio acima de 1000–1500 metros cúbicos por segundo, em particular quando todo o estuário está cheio de água doce durante pelo menos a maré de vazante.

### 3.6. Considerações finais

Grande parte do conhecimento da dinâmica estuarina que costuma figurar nos livros didáticos e é ministrado nas aulas, resulta de estudos dos grandes estuários do hemisfério norte, como o Tamisa, o Hudson, o Ems ou o Sena. Muitas das dinâmicas gerais descritas nesses estuários são válidas noutros sistemas. No entanto, podem existir disparidades significativas, devido às características hidrográficas e morfológicas altamente diversas dos estuários. Por exemplo, o estuário do Rio Guadiana recebe água doce de uma grande bacia hidrográfica (a bacia do Rio Guadiana) mas é atipicamente muito estreito ao longo do seu curso. Isso porque o estuário se localiza

num terreno composto por rochas duras que dificultam o alargamento do canal ao longo do tempo (esse processo erosivo é mais fácil em terrenos com sedimentos brandos). Uma vez que o fluxo de água está confinado num canal estreito, o estuário é muito sensível a pequenas mudanças no caudal do rio. Como resultado, o estuário do Rio Guadiana apresenta alguma especificidade em comparação com grandes sistemas bem conhecidos. Por exemplo, o Rio Guadiana exporta sedimentos a longo prazo, o que se opõe à visão clássica dos estuários como armadilhas para sedimentos. Detalhes e outros padrões específicos do estuário do Rio Guadiana podem ser encontrados na literatura fornecida abaixo. A mensagem final é que a descrição da dinâmica hídrica e sedimentar nos estuários se deve basear sobre observações pertinentes no local.

### Referências para leitura adicional

- Garel, E. & Cai H., 2018. Effects of tidal-forcing variations on tidal properties along a narrow convergent estuary. *Estuaries and Coasts* 41: 1924–1942.  
[DOI: 10.1007/s12237-018-0410-y](https://doi.org/10.1007/s12237-018-0410-y).
- Garel, E., 2017. Present Dynamics of the Guadiana Estuary. In: Moura, D., Gomes, A., Mendes, I. & Anilbal, J. (eds.), *Guadiana River estuary – Investigating the past, present and future*. 1st edition. University of Algarve. Faro, ISBN 978-989-8859-18-1, pp. 15–37.  
<http://hdl.handle.net/10400.1/9887>
- Garel, E. & Ferreira, Ó., 2013. Fortnightly changes in water transport direction across the mouth of a narrow estuary. *Estuaries and Coasts*, 36 (2): 286–299.  
[DOI: 10.1007/s12237-012-9566-z](https://doi.org/10.1007/s12237-012-9566-z)
- Garel, E. & Ferreira, Ó., 2011. Effects of the Alqueva Dam on Sediment Fluxes at the Mouth of the Guadiana Estuary. *Journal of Coastal Research*, SI 64: 1505–1509.  
[ISSN 0749-0208](https://doi.org/10.1007/s12237-011-9566-z)
- Garel, E., Pinto, L., Santos, A. & Ferreira Ó., 2009. Tidal and river discharge forcing upon water and sediment circulation at a rock-bound estuary (Guadiana estuary, Portugal). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 84 (2): 269–281.  
[DOI: 10.1016/j.ecss.2009.07.002](https://doi.org/10.1016/j.ecss.2009.07.002)



## 4. Habitats do estuário do Rio Guadiana

Sarita Camacho<sup>1</sup> & Ana Gomes<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> ICArEHB – Centro Interdisciplinar de Arqueologia e Evolução do Comportamento Humano, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal  
[scamacho@ualg.pt](mailto:scamacho@ualg.pt); [aisgomes@ualg.pt](mailto:aisgomes@ualg.pt)

### 4.1. Zonas ecológicas do estuário do Rio Guadiana e os seus habitats

As diferentes zonas ecológicas do estuário do Rio Guadiana, são altamente dinâmicas por estarem sujeitas aos efeitos diários das marés, da variação sazonal do caudal do rio, da intervenção humana e, a longo prazo, das alterações climáticas (ver capítulo 3). Esta dinâmica ambiental, cria uma grande diversidade de habitats que hospedam vários grupos de macro e microrganismos, alguns dos quais só foram descobertos recentemente. Assim, este capítulo será dedicado à apresentação de alguns dos organismos que têm sido estudados nos habitats do estuário do Guadiana, focando em particular, a flora e a fauna microscópicas que servem de suporte a toda a teia alimentar e a muitas atividades económicas no estuário.

### 4.2. Flora

#### 4.2.1. Macroflora

A macroflora engloba todas as plantas que são suficientemente grandes para serem vistas a olho nu. No estuário do Rio Guadiana, existem pelo menos 462 espécies de plantas registadas. Entre elas, é importante assinalar algumas que apenas crescem

na Península Ibérica, como por exemplo, *Picris algarbiensis* (raspa-saias-espinhoso), *Picris willkommii* (raspa-saias-do-barrocal), *Limonium diffusum*, *Beta macrocarpa* e *Melilotus fallax* (anafe) (informação adicional disponível em <http://flora-on.pt> e <http://www.icnf.pt/portal/ap/r-nat/rnscmvrsa/flora>). Nos sapais, podemos encontrar uma diversidade de espécies que estão adaptadas a viver em ambientes próximos do mar (i.e., com uma elevada salinidade, intensa exposição à luz solar e alterações do nível da água), tais como *Spartina maritima* (morraça), *Suaeda vera* (barrilha), *Halimione portulacoides* (gramata-branca), *Sarcocornia perennis*, *Arthrocnemum macrostachyum*, *Frankenia laevis* e *Spergularia salina*. Para montante (rio acima), no estuário, também é possível encontrar *Spartina densiflora*, *Elymus* cf. *repens*, *Juncus* cf. *subulatus* e alguma vegetação ripícola (ou ribeirinha – próxima dos corpos de água), típica de habitats de água doce como *Scirpus maritimus* e *Phragmites australis* (canas).

Nas áreas de floresta circundantes, predominam *Quercus suber* (sobreiros) ou uma mistura desta espécie com *Pinus pinaster* (pinheiro-bravo) ou *Pinus pinea* (pinheiro-manso), com uma vegetação rasteira, composta por *Genista hirsuta* (tojo-do-sul), *Ulex parviflorus* (tojo-durázio), *Lavandula luisieri* (rosmaninho), *Cistus crispus* (rosêlha-pequena) e *Cistus monspeliensis* (sargação) (informação adicional disponível em <http://flora-on.pt> e <http://www.icnf.pt/portal/ap/r-nat/rnscmvrsa/flora>). Estas florestas são típicas das paisagens do Barrocal e da Serra, da região do Algarve.

#### 4.2.2. **Porque é importante estudar e conservar a macroflora?**

O estudo e conservação da macroflora é essencial, uma vez que esta fornece muitos serviços que são vitais para a sustentabilidade da vida e para as atividades económicas da região – os chamados serviços ecossistémicos, que incluem a renovação dos nutrientes, a produção de alimentos e de recursos farmacêuticos e a regulação do clima (ver caixa 4.1). Além disso, a grande diversidade de macroflora existente em torno do estuário do Rio Guadiana, deve ser preservada e valorizada, uma vez que este património natural é essencial como habitat para outras espécies.

#### 4.2.3. **Microflora**

A microflora engloba bactérias, fungos e algas microscópicas. No estuário do Rio Guadiana, a microflora é muito diversificada. Contudo, esta secção vai apenas focar-se nas diatomáceas.

### Caixa 4.1 – Sabia que...?

*Sarcocornia perennis* produz rebentos suculentos adequados ao consumo humano e que são utilizados na cozinha gourmet, devido ao seu sabor salgado e propriedades nutricionais. *Arthrocnemum macrostachyum* também é comestível e é utilizado na indústria farmacêutica, porque possui uma elevada concentração de ácidos gordos polinsaturados e antioxidantes.

#### 4.2.4. O que são diatomáceas, como as identificamos e onde vivem?

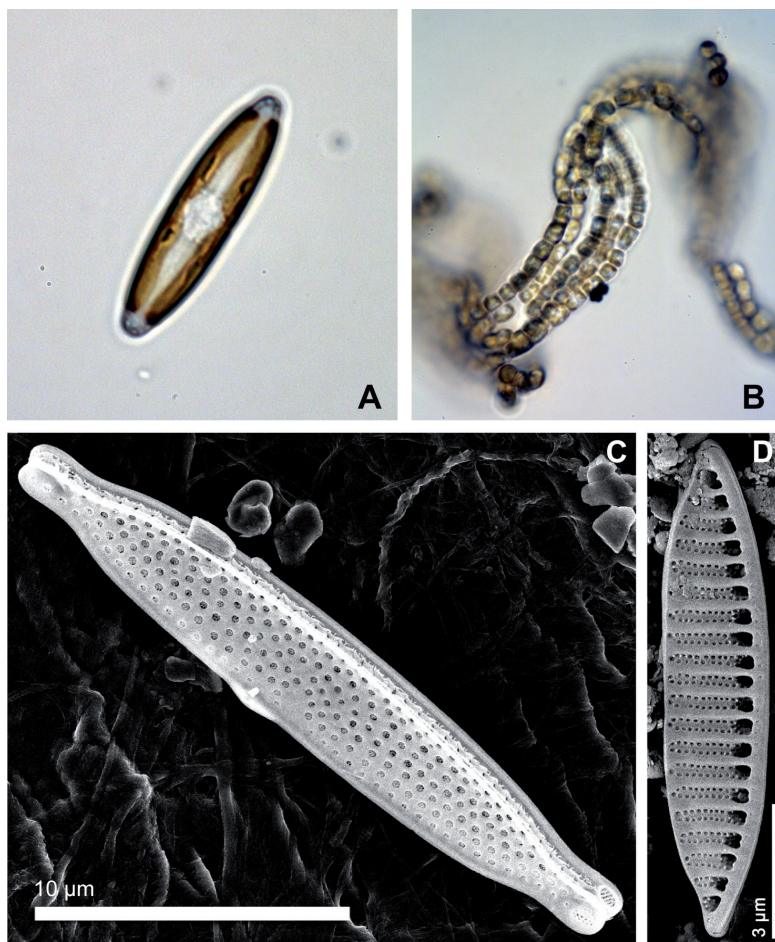
As diatomáceas são algas unicelulares (com um tamanho entre os 0,002 e os 0,5 milímetros), que possuem uma parede celular de sílica chamada frústula, formada por duas valvas. Sendo algas, as diatomáceas contêm pigmentos (carotenóides) que lhes conferem uma cor acastanhada/dourada (Figura 4.1, A e B; informação adicional disponível em <http://westerndiatoms.colorado.edu>).

As diferentes espécies de diatomáceas podem ser identificadas com base na forma, tamanho e ornamentação das valvas. As diatomáceas podem viver em ambientes de água doce, salobra e salgada e têm várias formas de vida. Podem ser planctónicas (quando flutuam na água), ticoplanctónicas (quando passam parte da sua vida associadas a um substrato e a outra parte a flutuar na água) ou bentónicas (quando vivem sempre ligadas a um substrato). Os substratos aos quais as diatomáceas podem estar ligadas incluem: plantas e outras algas, rochas, areia, lodo e animais. Elas podem viver de forma solitária ou formar colónias (Figura 4.1, A e B). No estuário do Rio Guadiana, há centenas de espécies de diatomáceas. Entre elas, existe um género (*Syvertsenia*) e duas novas espécies que foram identificados apenas em 2013 e 2015: *Syvertsenia iberica* e *Simonsenia aveniformis* (Figura 4.1, C e D).

#### 4.2.5. Porque é que as diatomáceas são importantes?

As diatomáceas são responsáveis por cerca de um quinto da fotossíntese do planeta Terra e são as intervenientes principais nos ciclos do carbono, azoto, fósforo, sílica e ferro. Além disso, são um importante componente do fitoplâncton e do microfítobentos, que são a base da teia alimentar dos sistemas aquáticos. São também altamente sensíveis às alterações das variáveis ambientais, como a salinidade, o tipo de sedimento, a duração do tempo de inundação, os níveis de nutrientes e o

pH. Estas características, conjuntamente com o seu curto ciclo de vida, fazem com que as diatomáceas respondam rapidamente a alterações ambientais. Assim, têm sido frequentemente utilizadas no estudo da evolução de estuários, em função das alterações climáticas e do nível médio do mar. Em particular, no estuário do Rio Guadiana, foram um indicador determinante para identificar eventos climáticos de curta duração e reconstituir em detalhe a sua evolução desde há mais de 13 000 anos.



**Figura 4.1.** Diatomáceas (A e B – microscopia ótica; C e D – microscopia eletrónica de varrimento): (A) Diatomácea solitária (*Navicula* sp.); (B) Colónia de diatomáceas (*Nanofrustulum* sp.); (C) *Syvertsenia iberica*; (D) *Simonsenia aveniformis*.

## 4.3. Microfauna – Foraminíferos

### 4.3.1. O que são foraminíferos?

Os foraminíferos são seres unicelulares microscópicos (normalmente de dimensões inferiores a 0,5 milímetros), que ocupam uma grande diversidade de habitats, desde os ambientes oceânicos mais profundos (ver capítulo 5), até aos limites superiores das zonas intermareais. A maioria dos foraminíferos possui uma carapaça dura, normalmente encaracolada, que, após a morte, permanece no sedimento onde eventualmente fossiliza (Figura 4.2.A).

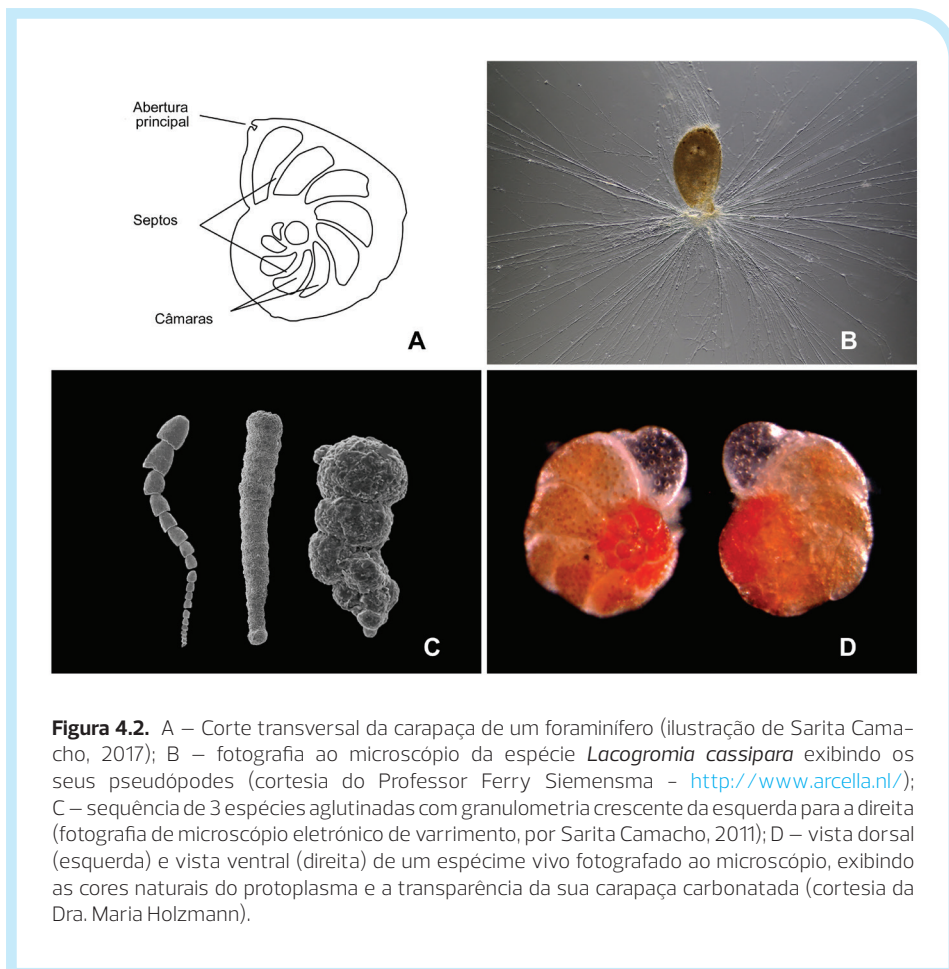
Os foraminíferos possuem duas características físicas que os identificam enquanto grupo: possuem finos pseudópodes (“pés falsos”) que se ligam e expandem em rede e, quando vistos ao microscópio, apresentam uma textura granular (Figura 4.2.B); possuem uma carapaça que contém o organismo e o separa do ambiente circundante. A carapaça pode ser orgânica (não mineralizada), aglutinada (constituída por partículas cimentadas pelo foraminífero) (Figura 4.2.C), composta por carbonato de cálcio (carbonatadas) (Figura 4.2.D) ou, em casos raros, por sílica.

Existem variações consideráveis na dimensão, morfologia, composição e microestrutura das carapaças dos foraminíferos. Essas variações são de grande importância na identificação dos grupos taxonómicos, por estarem intimamente relacionadas com diferenças fisiológicas, de habitat, de nicho ecológico e de estratégias reprodutivas.

### 4.3.2. Porque são úteis os foraminíferos no estudo de um estuário?

Os foraminíferos têm sido utilizados como indicadores ambientais fidedignos, por serem facilmente identificáveis e amostrados em grandes quantidades em pequenos volumes de sedimento, fornecendo resultados estatisticamente confiáveis. Contudo, em ambientes de transição entre o continente e o mar, onde a intervenção humana é elevada, é importante discernir as respostas resultantes do stress ecológico natural, provocado pelas alterações ambientais relativas aos ciclos diários e sazonais naturais, daquelas promovidas pelas atividades humanas.

Os foraminíferos são particularmente úteis na compreensão das mudanças no nível do mar em ambientes de sapal. Nestes ambientes, os fatores físico-químicos são altamente dinâmicos devido à oscilação diária das marés, criando diferentes habitats com características muito específicas.



**Figura 4.2.** A – Corte transversal da carapaça de um foraminífero (ilustração de Sarita Camacho, 2017); B – fotografia ao microscópio da espécie *Lacogromia cassipara* exibindo os seus pseudópodes (cortesia do Professor Ferry Siemensma - <http://www.arcella.nl/>); C – sequência de 3 espécies aglutinadas com granulometria crescente da esquerda para a direita (fotografia de microscópio eletrônico de varrimento, por Sarita Camacho, 2011); D – vista dorsal (esquerda) e vista ventral (direita) de um espécime vivo fotografado ao microscópio, exibindo as cores naturais do protoplasma e a transparência da sua carapaça carbonatada (cortesia da Dra. Maria Holzmann).

Cada espécie, ou grupo de espécies, ocupa uma porção de habitat diferente, criando assim uma zonação microfaunística muito bem definida. A cada grupo de espécies com as mesmas exigências ambientais chamamos de associação faunística. Desta forma, cada associação faunística representa determinado conjunto de condições ambientais que uma vez conhecidas podem ser utilizadas na interpretação dos ambientes antigos registados nas sequências fósseis.

Inferências sobre a evolução de um estuário são possíveis através do estudo dos sedimentos que se acumulam progressivamente nos seus meandros, preservando antigos bioclastos (fragmentos esqueléticos) e matéria orgânica. Entre esses bioclastos, estão as carapaças fossilizadas dos foraminíferos (que representam as

comunidades vivas no momento da deposição) que podem ser utilizadas para fazer reconstituições dos ambientes do passado, com maior precisão do que aquelas que poderiam ser alcançadas estudando apenas o sedimento.

### **4.3.3. Como estudar os foraminíferos num estuário?**

Observar foraminíferos é muito mais simples do que possamos pensar. Uma curta caminhada pelo sapal, uma espátula, um saquinho, uma lupa e uma pitada de sorte bastarão para observar centenas, senão milhares de foraminíferos. A complexidade do plano de amostragem irá variar de acordo com os objetivos que queremos atingir. Independentemente do estudo que pretendamos realizar, como por exemplo, a variação e distribuição de espécies, a análise de diversidade e a avaliação do estado de saúde do ecossistema, existem duas tendências na distribuição espacial dos foraminíferos, que devemos ter em conta: 1) a maioria dos foraminíferos prefere viver em ambientes marinhos e, por isso, nas zonas costeiras a riqueza de espécies (biodiversidade) é geralmente alta, diminuindo gradualmente à medida que avançamos para montante, onde as águas são salobras e eventualmente terminando com apenas uma, duas, ou nenhuma espécie em áreas onde a salinidade é próxima do zero; 2) os foraminíferos precisam de humidade para sobreviver e por isso a sua distribuição é fortemente dependente das marés. Desta forma, é esperado encontrar uma maior diversidade de espécies nas zonas mais baixas do sapal onde o tempo de inundação é maior. À medida que avançamos no sapal em direção a terra, a diversidade tende a diminuir e os valores de dominância tendem a aumentar, ou seja, certas espécies com maior poder de adaptação começam a surgir em muito maior número que outras espécies. Estas zonas mais elevadas do sapal, inundadas apenas em maré alta, estão mais expostas às variações ambientais. Também nestas zonas mais altas há maior acumulação de matéria orgânica, devido à menor hidrodinâmica, o que torna o pH do sedimento mais baixo (ambiente mais ácido), não sendo compatível com o desenvolvimento das carapaças carbonatadas dos foraminíferos. Nestas condições extremas, apenas algumas espécies de carapaça aglutinada, com maior tolerância a oscilações de salinidade, são capazes de sobreviver. Nos andares mais elevados do sapal, é por isso comum encontrar associações com poucas espécies de foraminíferos carbonatados.

## Agradecimentos

A investigação presente neste capítulo foi financiada pelas bolsas de doutoramento SFRH/BD/28265/2006 e SFRH/BD/62405/2009 e pelo contrato CEECINST/00146/2018/CP1493/CT0002 da Fundação para a Ciência e Tecnologia. Muito obrigada ao Professor Doutor Andrzej Witkowski e à Iza Zgłobicka pela ajuda na obtenção de imagens de diatomáceas e ao Professor Ferry Siemensma pela cedência da fotografia da espécie *Lacogromia cassipara*.

## Referências para leitura adicional

- Armbrust, E.V., 2009. The life of diatoms in the worlds oceans. *Nature* 459: 185–192.
- Camacho, S., Moura, D., Connor, S., Scott, D. & Boski, T., 2015. Ecological zonation of benthic foraminifera in the lower Guadiana Estuary (southeastern Portugal). *Marine Micropaleontology*, 114: 1-18.  
[DOI: 10.1016/j.marmicro.2014.10.004](https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2014.10.004)
- Camacho, S., Moura, D., Connor, S., Boski, T. & Gomes, A., 2014. Geochemical characteristics of sediments along the margins of an atlantic-mediterranean estuary (the Guadiana, Southeast Portugal): spatial and seasonal variations. *Journal of Integrated Coastal Zone Management* 14(1), 129-148.  
[DOI: https://doi.org/10.5894/rgci452](https://doi.org/10.5894/rgci452)
- Gomes, A., 2013. Holocene environmental changes on the Algarve coast: a diatom-based study. PhD Thesis, University Algarve, Faro, Portugal, 631 p.

# 5. Quando o rio entra pelo mar: presente e passado da plataforma continental adjacente ao estuário do Rio Guadiana

Isabel Mendes<sup>1</sup> & Francisca Rosa<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> PetroStrat – Applied Stratigraphy Ltd., Tan-y-Graig, Parc Caer Seion, Conwy, LL32 8FA, North Wales, UK  
[imendes@ualg.pt](mailto:imendes@ualg.pt); [Francisca.Rosa@petrostrat.com](mailto:Francisca.Rosa@petrostrat.com)

## 5.1. Como se caracteriza a plataforma continental adjacente ao estuário do Rio Guadiana?

A plataforma continental adjacente ao estuário do Rio Guadiana, é a área em frente à desembocadura do rio, compreendida entre a linha de costa e o bordo da plataforma, com uma extensão de vinte a vinte e cinco quilómetros (Figura 5.1). Esta zona da plataforma é influenciada pelas descargas da bacia hidrográfica do Rio Guadiana (ver capítulo 2), que apresentam elevada variabilidade sazonal devido à influência do clima mediterrânico, geralmente com verões secos e invernos chuvosos. As descargas do rio apresentam também variabilidade entre os diferentes anos, devido à influência da Oscilação do Atlântico Norte (NAO), que é o principal padrão de variabilidade climática do Atlântico Norte.

Na plataforma continental adjacente ao Rio Guadiana os padrões de circulação das correntes oceânicas são complexos e fortemente influenciados pelo regime de ventos. Os ventos de oeste induzem o aumento do afloramento costeiro de água fria, rica em nutrientes ao longo da costa sul de Portugal. Os ventos de leste, também

designados por “Levante”, favorecem a formação de uma contracorrente costeira quente, na direção este-oeste.

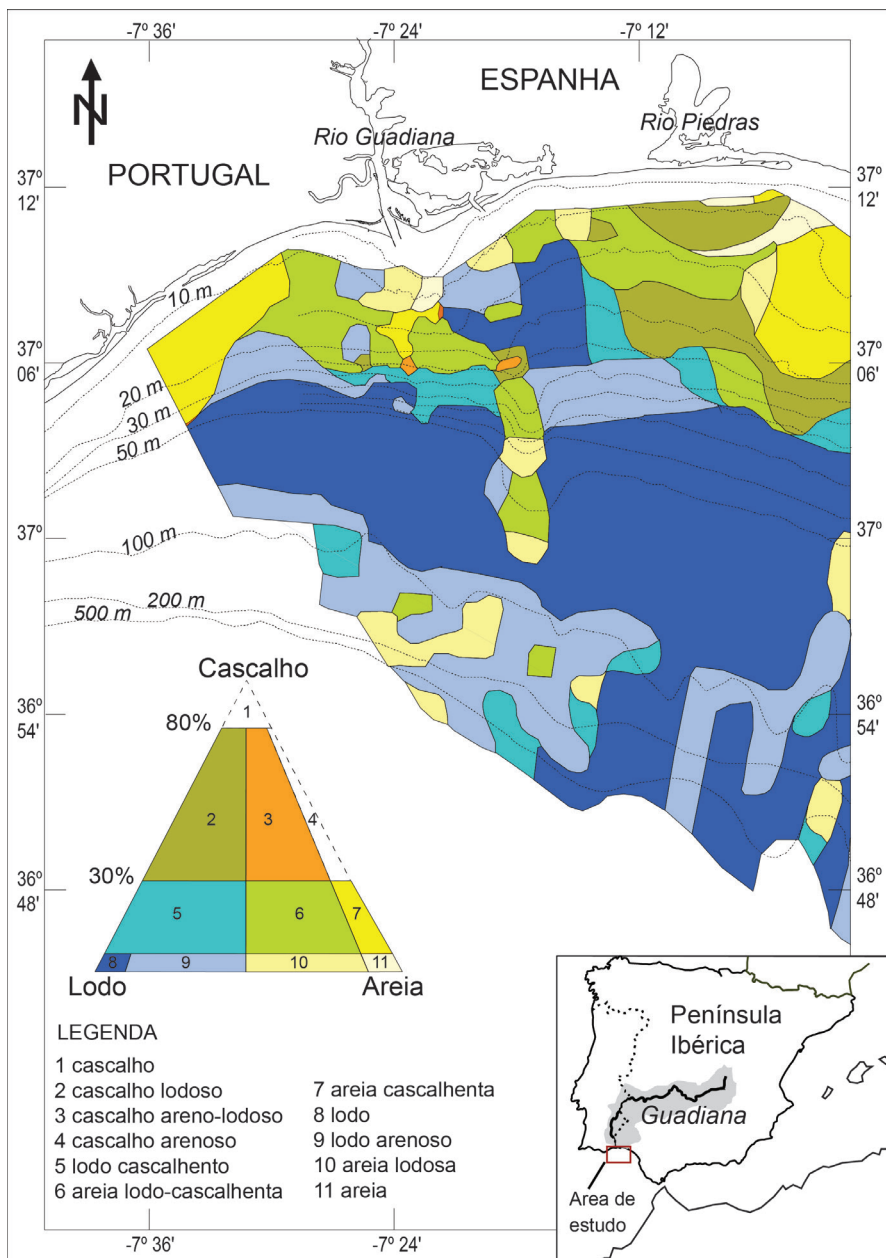
Na região, a principal fonte de sedimentos para a plataforma continental é o Rio Guadiana. O fornecimento de sedimento depende do caudal do rio. Durante o inverno, as fortes chuvadas provocam cheias, que transportam grandes quantidades de sedimento fino (silte e argila) e grosseiro (areia e cascalho) da bacia hidrográfica para a plataforma. Anos consecutivos com menor precipitação durante o inverno, reduzem a quantidade de sedimento transportado. Esta redução é também agravada pela construção de barragens ao longo da bacia hidrográfica.

Os sedimentos exportados pelo rio para a plataforma continental, distribuem-se de forma específica (Figura 5.1). Na plataforma interna (0 a 30–50 metros de profundidade), formam um delta (corpo sedimentar) submerso, que é constituído essencialmente por areia, ocorrendo também manchas de sedimentos mais finos (lodo arenoso), que tendem a ser ressuspensos por correntes e ondas de tempestade. Em geral, a areia predomina no sedimento superficial da plataforma interna. A plataforma média (30–50 a 90–100 metros de profundidade) é dominada por depósitos de silte e argila, que formam o corpo lodoso do Rio Guadiana. Este depósito é alimentado principalmente pela ressuspensão de sedimentos finos da plataforma interna e pelos sedimentos muito finos provenientes do rio transportados em suspensão na coluna de água. Para leste da desembocadura do rio, este corpo lodoso é interrompido por um depósito transgressivo (corpo sedimentar mais elevado relativamente à restante plataforma, constituído por sedimentos mais grosseiros e mais antigos), com orientação N-S. Na plataforma externa (90–100 a 140–150 metros de profundidade), a distribuição de sedimentos superficiais exhibe um complexo mosaico de areias e argilas siltosas, com manchas de areia e areia cascalhenta próximas do bordo da plataforma (Figura 5.1). Maioritariamente, as areias da plataforma são constituídas por componentes de origem terrestre (sedimento terrígeno), principalmente o quartzo, seguindo-se os componentes de origem biológica, como as carapaças de foraminíferos, conchas e fragmentos de bivalves e gastrópodes.

## 5.2. Como era a plataforma continental no passado?

### 5.2.1. Compreender o ambiente atual

Para compreender como a plataforma continental evoluiu ao longo do tempo, é necessário investigar e compreender o ambiente atual e, com base nesta informação, interpretar as variações ocorridas no passado.



**Figura 5.1.** Localização da plataforma continental adjacente ao estuário do Rio Guadiana e distribuição atual dos sedimentos superficiais.

Os foraminíferos bentônicos (que vivem no substrato), são organismos unicelulares (ver capítulo 4) e um dos grupos de microfósseis mais utilizados para reconstituir as condições dos ambientes passados. Ocorrem com elevada abundância em todos os sedimentos marinhos, sob diferentes condições ambientais e possuem uma carapaça que pode fossilizar e ficar preservada no registo sedimentar. A sua abundância e distribuição dependem das condições ambientais em que vivem, o que os torna excelentes indicadores ambientais. No entanto, para interpretarmos as condições ambientais ocorridas no passado, temos de conhecer as suas exigências ecológicas, ou seja, a interação entre indivíduos, espécies, e parâmetros físico-químicos do ambiente circundante. Este conhecimento é também importante para aplicação em modelos matemáticos para prever futuras tendências de alterações climáticas e oceanográficas.

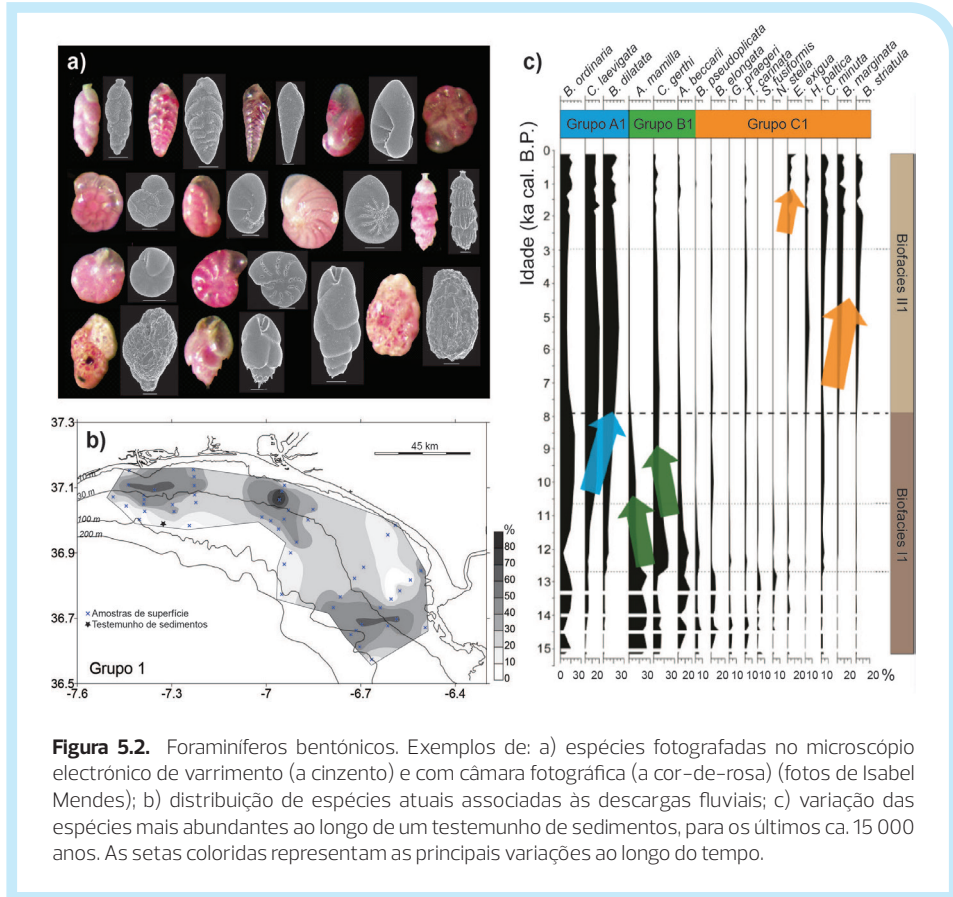
Os foraminíferos bentônicos atuais da plataforma continental adjacente ao Rio Guadiana, foram analisados em amostras de sedimento superficial corado com Rosa Bengala (os foraminíferos que se encontram vivos ficam corados de cor-de-rosa), colhidas em campanhas científicas realizadas em navios de investigação. Em laboratório, as amostras foram lavadas, secas e analisadas na lupa binocular. As carapaças de foraminíferos foram identificadas e contadas. As espécies mais abundantes foram fotografadas (Figura 5.2a). Nestas campanhas foram também recolhidos dados de parâmetros físico-químicos para investigar a sua variação na plataforma continental.

### 5.3. Como se distribuem os foraminíferos bentônicos vivos?

As maiores densidades (número de foraminíferos bentônicos por grama de sedimento), ocorrem em áreas da plataforma continental influenciadas pelas descargas dos rios, associadas a sedimentos finos. A diversidade (número de espécies), geralmente diminui com o aumento da profundidade e é influenciada pelo tipo de sedimento. O maior número de espécies nos sedimentos lodosos de águas pouco profundas com misturas de areias e/ou cascalho, indicam condições relativamente estáveis que permitem a acumulação de sedimento fino proveniente das descargas fluviais e melhores condições para as espécies se desenvolverem, comparativamente a áreas circundantes. Por outro lado, o baixo número de espécies em sedimentos lodosos, significa que apenas um número restrito de espécies especializadas e dominantes está apto a habitar esta área.

Na plataforma continental adjacente ao Rio Guadiana, os resultados analisados permitiram dividir as espécies de foraminíferos bentônicos vivos em quatro grupos, de acordo com as suas exigências ecológicas, nomeadamente: o tipo de sedimento

onde vivem; o alimento disponível; as áreas influenciadas pelas descargas fluviais (Figura 5.2b); a profundidade da coluna de água; a temperatura, salinidade, turbidez da água, e produtividade primária.



**Figura 5.2.** Foraminíferos bentônicos. Exemplos de: a) espécies fotografadas no microscópio electrónico de varrimento (a cinzento) e com câmara fotográfica (a cor-de-rosa) (fotos de Isabel Mendes); b) distribuição de espécies atuais associadas às descargas fluviais; c) variação das espécies mais abundantes ao longo de um testemunho de sedimentos, para os últimos ca. 15 000 anos. As setas coloridas representam as principais variações ao longo do tempo.

## 5.4. Compreender as condições ambientais durante o passado geológico

### 5.4.1. O que sabemos acerca das mudanças climáticas que ocorreram ao longo do Período Quaternário?

O clima durante o Período Quaternário (ver caixa 5.1 e anexo I) variou entre eventos glaciais, alternando com condições mais amenas (condições interglaciais). Durante

todo o Pleistocénico final, o Hemisfério Norte foi marcado por uma sucessão de flutuações climáticas abruptas que precederam a entrada na Época Holocénica (últimos 11700 anos).

O Holocénico foi também marcado por mudanças climáticas cíclicas em toda a região do Atlântico Norte. Na Península Ibérica, incluindo o Vale do Rio Guadiana, o Holocénico Inicial e Médio (entre os 11 700 e os 2000 anos) foram caracterizados por um clima tendencialmente quente e húmido. No entanto, a partir do Holocénico Médio, a circulação atmosférica do Hemisfério Norte determinou o desenvolvimento progressivo de condições cada vez mais áridas. Ao longo da Bacia Mediterrânica, desencadeou-se uma resposta regional a este padrão climático global que consistiu no estabelecimento de um clima árido e seco. Durante o Holocénico final (últimos 2000 anos), a influência da NAO determinou a ocorrência de grandes mudanças climáticas em toda a Europa, incluindo a Pequena Idade do Gelo (entre 1300 e 1900 da Era Comum).

### **Caixa 5.1 – O que é o Período Quaternário?**

O Quaternário corresponde a uma subdivisão do Tempo Geológico que abrange os últimos 2,6 milhões de anos (ver anexo I). Este período encontra-se subdividido em duas épocas geológicas distintas: o Pleistocénico (desde 2,6 milhões de anos até cerca de 11 700 anos) e o Holocénico (desde os 11 700 anos até ao tempo presente). <https://stratigraphy.org/chart>.

#### **5.4.2. Como evoluiu o nível médio do mar durante o Período Quaternário?**

Durante o Quaternário o principal fator condicionante das variações do nível médio do mar consistiu nas trocas entre o gelo acumulado sobre os continentes e os oceanos, sendo que as fases mais frias induziram à expansão do gelo acumulado sobre as massas continentais e conseqüente descida do nível médio do mar em relação ao nível atual. No decurso do Último Máximo Glacial, o nível médio do mar posicionou-se a cerca de 125 metros abaixo do nível atual. Posteriormente, a subida, inicialmente lenta, decorreu aproximadamente entre 21 000 e 17 000 anos antes do presente e foi seguida por uma subida mais rápida durante os 10 000 anos seguintes. O desman-

telamento da maioria dos mantos de gelo ficou completa por volta dos 7000 anos e o nível do mar continuou a subir, mas a uma velocidade muito inferior, até atingir o nível próximo do atual.

### **5.4.3. *Como evoluíram os depósitos sedimentares da plataforma continental adjacente ao estuário do Rio Guadiana – pistas para compreender as mudanças ambientais do passado!***

Em locais da plataforma atualmente profundos, há aproximadamente 15 000 anos, estava instalado um ambiente costeiro menos profundo, revelado pelo tamanho heterogéneo dos grãos de sedimento e pela elevada ocorrência de minerais diretamente associados às descargas fluviais do Rio Guadiana. Este ambiente estaria localizado numa zona mais próxima da desembocadura (foz) do Rio Guadiana, numa altura em que o nível médio do mar se encontrava várias dezenas de metros abaixo do atual.

A subida rápida do nível médio do mar durante a transição entre o Pleistocénico final e o Holocénico Inicial (aproximadamente entre os 12 500 e os 11 000 anos), fez diminuir a capacidade exportadora de sedimentos do Rio Guadiana, que ficavam retidos no interior do estuário, potenciando assim o enchimento do sistema estuarino (ver capítulo 2). Quando se deu a desaceleração da subida do nível do mar, há aproximadamente 7000 anos, a influência do fornecimento sedimentar do rio para a plataforma, voltou a aumentar e traduziu-se por um acréscimo significativo de sedimentos finos. Simultaneamente, a componente biológica das areias passou a ser dominada por carapaças de foraminíferos, associada ao estabelecimento de num ambiente cada vez mais profundo e menos hidrodinâmico.

Após a desaceleração do nível médio do mar na região, há aproximadamente 6000 anos, o desaparecimento dos minerais fornecidos pelo rio dos locais da plataforma mais afastados da desembocadura do estuário, aponta para uma diminuição do impacto direto das descargas fluviais nestes locais.

Durante os últimos 2000 anos, o fornecimento de sedimentos lodosos pelo rio para a plataforma sofreu novo aumento. Os primeiros grandes impactes das atividades humanas ao longo da Bacia do Rio Guadiana, e a erosão por elas gerada, coincidiram com as ocupações Romana e Islâmica da Península Ibérica, e, em associação com as oscilações climáticas, influenciaram o capítulo mais recente da história da deposição dos sedimentos na plataforma continental adjacente ao estuário do Rio Guadiana.

#### **5.4.4. Como evoluíram as associações de foraminíferos bentônicos na plataforma continental do Rio Guadiana – pistas para uma maior compreensão de mudanças ambientais ocorridas no passado!**

O estudo dos microfósseis de foraminíferos bentônicos para compreender as suas preferências de habitat e principais condicionantes ao seu desenvolvimento, como descrito anteriormente, torna possível utilizá-los como indicadores de mudanças ambientais ocorridas no passado.

Entre os 15 000 e os 12 000 anos, as associações de foraminíferos bentônicos que caracterizaram a plataforma continental adjacente ao Rio Guadiana, foram dominadas por espécies tipicamente litorais, que ocuparam nichos à superfície dos sedimentos e que melhor se adaptaram a fortes correntes e maior hidrodinamismo (Figura 5.2c), sob a influência direta das descargas fluviais, quando o nível médio do mar se encontrava abaixo do atual. Durante o Holocénico Inicial (11700 – 9000 anos), o aumento da abundância de foraminíferos e também das espécies mais bem adaptadas a domínios marinhos mais profundos, menos hidrodinâmicos, indicam um aumento gradual da profundidade à medida que o nível do mar subia rapidamente. A evolução dos foraminíferos bentônicos durante o Holocénico Médio, permanece consistente com um aumento gradual de profundidade da plataforma durante as últimas fases de subida do nível médio do mar, que conduziram ao estabelecimento de profundidades semelhantes às atuais da plataforma média. Em simultâneo, o fornecimento contínuo de nutrientes pelas descargas do Rio Guadiana, assegurou condições favoráveis ao desenvolvimento contínuo das comunidades bentónicas da plataforma. Os últimos cerca de 2500 anos foram marcados por vários picos de abundância e diversidade de foraminíferos bentônicos. A presença de espécies com preferência por sedimentos lodosos, ricos em matéria orgânica esteve sempre associada ao maior fornecimento de nutrientes devido ao aumento das descargas fluviais do Rio Guadiana para a plataforma. Adicionalmente, o surgimento de algumas espécies que, até então, haviam estado ausentes do registo geológico, foi sintomático de novas condições ecológicas estabelecidas nesta área. Todas estas mudanças apontam uma vez mais para o papel fulcral que terão desempenhado as ocupações Romana e Islâmica da Ibéria, nos padrões de evolução mais recentes da plataforma continental adjacente ao Rio Guadiana.

## Agradecimentos

Isabel Mendes agradece à FCT pelo contrato de Investigador DL57/2016/CP1361/CT0009.

## Referências para leitura adicional

- Mendes, I., Dias, J.A., Schönfeld, J. & Ferreira, Ó., 2012. Distribution of living benthic foraminifera on the northern Gulf of Cadiz continental shelf. *Journal of Foraminiferal Research* 42: 18–38. <https://doi.org/10.2113/gsjfr.42.1.18>
- Mendes, I., Dias, J.A., Schönfeld, J., Ferreira, Ó., Rosa, F. & Lobo, F.J., 2013. Living, dead and fossil benthic foraminifera on a river dominated shelf (northern Gulf of Cadiz) and their use for paleoenvironmental reconstruction. *Continental Shelf Research* 68: 91–111. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2013.08.013>
- Mendes, I. & Rosa, F., 2017. The continental shelf off the Guadiana estuary. In Moura, Moura, D., Gomes, A., Mendes, I. & Anibal, J. (Eds.), *Guadiana River estuary – Investigating the past, present and future*, chapter 4. 1st edition. University of Algarve. Faro, pages 71–91. <http://hdl.handle.net/10400.1/10189>
- Rosa, F., 2014. Climatic variability and recent sedimentation in the Continental Shelf off the Guadiana River. PhD Thesis, University Algarve, Faro, Portugal, 288 p.
- Rosa, F., Dias, J. A., Mendes, I. & Ferreira, Ó., 2011. Mid to late Holocene constraints for continental shelf mud deposition in association with river input: the Guadiana Mud Patch (SW Iberia). *Geo-Marine Letters*, 31: 109–121. <https://doi.org/10.1007/s00367-010-0219-6>



## 6. Do sal ao salário: salicultura no estuário do Rio Guadiana

Noa Sainz<sup>1</sup> & Tomasz Boski<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CIMA – Centro de Investigação Marinha e Ambiental, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal  
[noasainz@gmail.com](mailto:noasainz@gmail.com); [tboski@ualg.pt](mailto:tboski@ualg.pt)

### 6.1. Produção de sal – salinas

As salinas são ambientes hipersalinos artificiais de onde se extrai sal de mesa ou halite (NaCl, cloreto de sódio). A produção de sal no estuário do Rio Guadiana é baseada na evaporação da água do mar, tendo o sol como fonte de calor. Noutras regiões, o sal é obtido a partir de minerais ou de aquíferos de água salgada. As salinas que utilizam água do mar estão normalmente localizadas em áreas costeiras baixas, permitindo o enchimento gravitacional durante as marés altas. A produção de sal por evaporação é restrita a áreas geográficas onde o processo é favorecido pela ação combinada de vento, radiação solar, baixa precipitação e temperatura elevada. Assim, a bacia do Mediterrâneo e parte das zonas costeiras atlânticas europeias, preenchem estas condições, particularmente durante os meses de verão, onde a evaporação excede largamente a precipitação.

A produção de sal é uma das poucas atividades económicas legalmente permitidas no estuário do Rio Guadiana, que está sob a proteção de vários instrumentos legais internacionais, nacionais e regionais que foram implementados para preservar os ecossistemas e promover um desenvolvimento sustentável.

### 6.2. Configuração das salinas

O complexo salineiro de Castro Marim (margem direita do Rio Guadiana, a cerca de quatro quilómetros a noroeste de Vila Real de Santo António), compreende salinas do

tipo tradicional e industrial. A área de cada unidade tradicional é muito variável, podendo ocupar menos de um hectare, abarcando no seu conjunto cerca de 240 hectares. No entanto, todas as salinas são organizadas por uma sucessão de tanques de evaporação (com 20 a 80 centímetros de profundidade), que levam à cristalização do sal marinho no final do circuito. A água fica mais salgada e mais quente ao passar pelo circuito. Este, pode ser diferenciado ao longo dos diversos compartimentos, quanto à temperatura média e salinidade, do modo seguinte (Figura 6.1):

- A água marinha de salinidade próxima dos 35 gramas de sal por quilograma de água, vinda do esteiro, entra nos tanques de sedimentação e armazenamento (“tejos” e “viveiros”), através duma comporta que é aberta durante as marés vivas. Aqui, a maior parte da matéria em suspensão é depositada e a temperatura aumenta.
- A área de evaporação / pré-concentração é dividida em evaporadores e concentradores (“caldeiros” e “pré-cristalizadores”). A temperatura aumenta até 35–45 °C e a salinidade atinge 160–180 gramas por quilograma. Precipitam os sais menos solúveis, como carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4$ ).

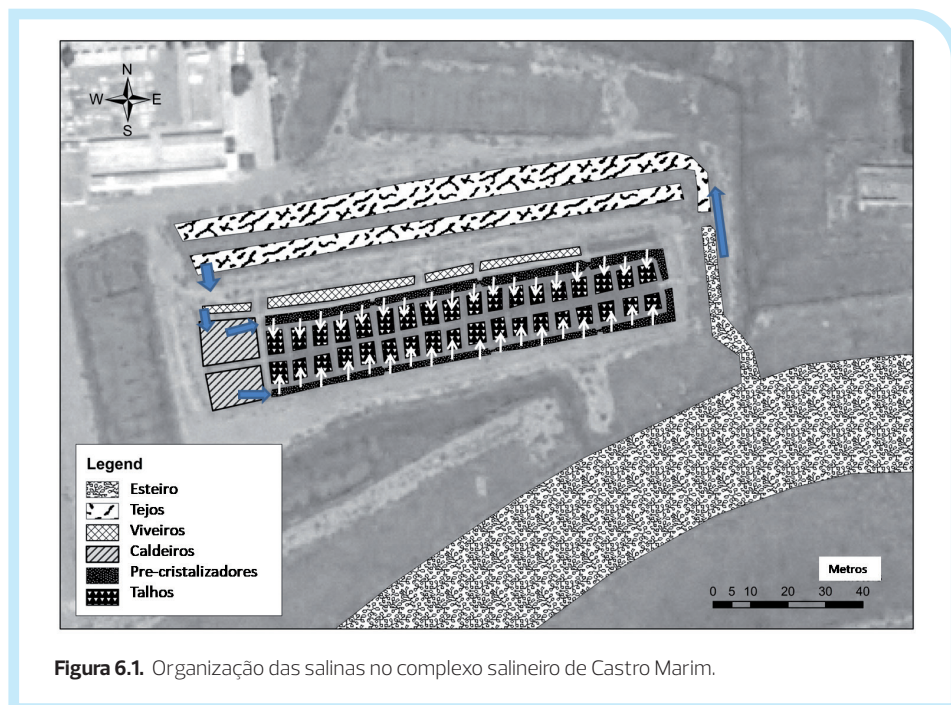


Figura 6.1. Organização das salinas no complexo salineiro de Castro Marim.

- Nos cristalizadores (ou “talhos”) a salmoura atinge o estado de sobressaturação (220–250 gramas por quilograma) e forma-se a flor de sal na superfície (que é apanhada diariamente) e o sal grosso, recolhido geralmente uma vez por mês, dependendo das condições meteorológicas.

### 6.3. História

No estuário do Rio Guadiana, a colheita do sal tem ocorrido desde a época fenícia e foi registada em vários manuscritos. Esta atividade milenar sofreu uma forte diminuição no último século devido à concorrência da extração de sal em minas (por exemplo, a mina de sal-gema de Loulé), do sal industrial e da consequente perda de mercados. Nas últimas décadas do século XX, a maioria das salinas foi abandonada com um impacto negativo na paisagem. As unidades de produção ativas no estuário tinham uma importância apenas marginal para a economia local.

A tendência decrescente observada no último século começou a ser invertida em consequência de vários projetos nacionais e europeus para a revitalização das salinas tradicionais de Castro Marim. Assim, novas políticas ambientais foram formuladas através do Plano de Ordenamento da Reserva Natural do Sapal de Castro Marim e Vila Real de Santo António, aprovado em 2008. Esse plano, considera a produção artesanal de sal como uma atividade que deve ser promovida no contexto do uso sustentável dos recursos e da diversificação dos habitats naturais para as aves e outras espécies da fauna e da flora. O número de salinas ativas aumentou de forma continuada e, atualmente o universo do salgado de Castro Marim integra 21 salinas em exploração (ver caixa 6.1).

#### Caixa 6.1 – Sabia que...?

As salinas fazem parte do património cultural e industrial. A produção de sal tem desempenhado tradicionalmente um papel importante na atividade socioeconómica das populações, uma vez que a salga já foi o método principal de conservação de alimentos. A palavra que melhor ilustra a importância do sal como um bem vital é “salário”, vindo do latim *salarium* ou equivalente em dinheiro da porção de sal, pago aos soldados romanos.

## 6.4. Tipos de sal

No lado português do estuário, podem-se encontrar tanto salinas artesanais como industriais. Pelo contrário, no lado espanhol só se podem encontrar salinas artesanais.

A investigação levada a cabo no CIMA – Centro de Investigação Marinha e Ambiental, esteve centrada na flor de sal. Esta, é recolhida com uma escumadeira na superfície da salmoura dos cristalizadores (tanques rasos, onde cristaliza o sal, por evaporação da água) e colocada imediatamente em caixas perfuradas para permitir a drenagem da salmoura residual e, na última fase, é seca ao sol sobre redes.

O sal grosso que se acumula no fundo dos cristalizadores, é colhido quando a lâmina de salmoura é demasiado fina para recolher a flor de sal. Isto acontece após 1-2 meses, dependendo das condições meteorológicas e da quantidade de flor de sal recolhida. Antes da remoção do sal grosso, a salmoura deixada no cristalizador é removida e o sal é empurrado para os diques que separam os cristalizadores, formando pequenos montes de sal para a secagem natural final antes da embalagem.

As variáveis que afetam a formação do sal artesanal são: radiação solar, humidade do ar, velocidade e direção do vento, temperatura atmosférica, salinidade e temperatura da salmoura, que determinam conjuntamente a taxa de evaporação. A formação de sal também pode ser influenciada pelos microrganismos encontrados na salmoura. Por exemplo, bactérias halófitas vermelhas (vivem em ambientes com elevada concentração de sal) ajudam na absorção de energia solar e, portanto, na evaporação da salmoura.

A flor de sal aparece inicialmente como flocos flutuantes, de tamanho centimétrico, que, ao crescerem, assumem a forma geométrica de pirâmides. É composta em cerca de 96% por cloreto de sódio (NaCl), sendo os restantes componentes, o cálcio, o potássio e o magnésio que, juntamente com a matéria orgânica presente, são responsáveis pelo seu sabor específico.

O sal marinho industrial, após a sua recolha por maquinaria pesada, deve ser transportado para as unidades industriais especializadas, com o objectivo de ser redissolvido, seco e moído antes do consumo humano. Ele difere substancialmente do sal marinho artesanal por ser um cloreto de sódio quase puro contendo apenas pequenas quantidades de agentes antiaglutinantes (evitam que as partículas se juntem).

## 6.5. Economia

A flor de sal artesanal do Algarve, cujo preço pode atingir um valor 100 vezes mais elevado do que o do sal grosso tradicional, encontrou o seu nicho nos vários mercados e melhorou muito o rendimento financeiro dos produtores locais.

A flor de sal das salinas tradicionais do estuário do Rio Guadiana, tem uma qualidade certificada por associações especializadas em modo de produção biológica. Além disso, tanto o sal como a flor de sal de Castro Marim estão protegidas desde junho de 2020, pela "Denominação de Origem Protegida" e o processo para a obtenção de "Especialidade Tradicional Garantida" está em apreciação.

A tendência de abandono do século XX está a inverter-se e tem havido uma diversificação de produtos das salinas, orientada para o turismo, tais como, oferta de banhos flutuantes e tratamentos de beleza com lama ou a possibilidade de experimentar a profissão de trabalhador da salina (ou "marnoto") incentivando a disseminação do conhecimento tradicional. Além disso, outra atividade ligada às salinas, é a observação de aves, atraindo a cada ano mais turistas. Outras atividades promovidas em salinas são as visitas guiadas, entre as quais as visitas escolares, embora devam ser acompanhadas de outras atividades para serem economicamente rentáveis. No caso das salinas do Rio Guadiana, o CIMA tem produzido materiais para a educação e a gestão. É de referir que, a investigação sobre o cultivo de *Artemia* está a ser feita em salinas abandonadas noutra zona do Algarve (ver caixa 6.2).

### Caixa 6.2 – Ainda há vida lá dentro

A alta salinidade pode ser o ambiente perfeito para alguns organismos. Algumas algas, como a *Dunaliella*, são ricas em  $\beta$ -Caroteno, responsável pela tonalidade vermelha do sal, da *Artemia* e dos flamingos.

Existe apenas uma empresa industrial produtora de sal marinho no estuário do Rio Guadiana, sob jurisdição portuguesa, ocupando 250 hectares. Produz sal grosso, representando vinte e cinco mil a trinta mil toneladas por ano.

## 6.6. Ecossistema

As salinas são reconhecidas como ecossistemas que contêm uma biodiversidade importante com teias alimentares únicas, diretamente ligadas ao gradiente de salinidade. As salinas são conhecidas por abrigarem uma grande variedade de aves residentes e migratórias. Fornecem uma série de serviços ecossistêmicos, tais como: alimentação, regulação biológica, equilíbrio hidrológico, regulação atmosférica e climática, proteção contra inundações/tempestades, controlo da erosão, conhecimento cultural, recreação, estética, educação e investigação.

## 6.7. Fraquezas e ameaças da produção artesanal de sal

Embora protegidas por vários tratados/legislação, as salinas estão atualmente sob diversas ameaças:

- Algumas áreas dos ecossistemas salinos foram convertidas para a realização de infraestruturas, tais como campos de golfe e marinas, no lado espanhol. Além da recuperação de terrenos, a urbanização pode representar uma fonte de poluição, especialmente à medida que os resíduos sólidos chegam às salinas abandonadas, convertidas em lixeiras ilegais.
- A aquicultura substituiu a salicultura em algumas áreas, especialmente na margem do rio no lado espanhol, onde várias empresas de aquicultura ocupam antigas salinas. Esta tendência de conversão teve lugar nos anos 80, quando não havia uma política de proteção ambiental em vigor. Pelo contrário, no lado português existe apenas uma piscicultura semi-intensiva de 32 hectares, colocada em antigas salinas. Devido à regulamentação ambiental, já não é permitida a instalação de unidades de aquicultura no estuário do Rio Guadiana, uma vez que a aquicultura em grande escala leva ao empobrecimento da paisagem de salinas, pode agravar os conflitos com os marnotos e pode causar impactes ambientais. De entre estes, destacam-se a diminuição da área emersa disponível para aves e outras espécies; o aumento da concentração de nutrientes; a diminuição dos níveis de oxigénio dissolvido; a introdução de hormonas, antibióticos, pesticidas e vários compostos. No entanto, a conversão de salinas e zonas húmidas em tanques de aquicultura é considerada uma atividade que aumenta o valor económico das zonas costeiras, conforme declarado no Plano Estratégico de Aquacultura do Governo Português para 2013–2020.

Uma questão que pode ser uma ameaça para o estuário, pode também ser uma oportunidade: a salinização, pois pode ajudar na recuperação de salinas abandonadas, reduzindo o tempo mínimo necessário para a colheita do sal e tornando a atividade mais eficiente. A salinização do estuário do Rio Guadiana deve-se ao aumento do número e capacidade das barragens, que limita o caudal de água doce a chegar à foz do rio (a Barragem do Alqueva, a 60 quilómetros da foz, pode reter 4150 hectómetros cúbicos de água).

### Agradecimentos

Os autores agradecem à Sal Marim Lda. pelo acesso às suas instalações e amostras de sal. Noa Sainz foi financiada por três bolsas de doutoramento: Banco Santander, Erasmus+ (Comissão Europeia) e Universidade de Cádiz.

### Referências para leitura adicional

Armas D., de, 1997. Livro das Fortalezas. Facsimile do Manuscrito 159 da Casa Forte do Arquivo Nacional da Torre do Tombo. Lisboa, INAPA.

<https://digitarq.arquivos.pt/viewer?id=3909707>

Donadio C., Bialecki, A., Valla, A., & Dufosse, L., 2011. Carotenoid-derived aroma compounds detected and identified in brines and speciality sea salts (fleur de sel) produced in solar salterns from Saint-Armel (France). *Journal of Food Composition and Analysis* 24:801-810.

<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2011.03.005>

Ménanteau L., Chadenas, C., & Choblet, C., 2006. Les marais du Bas-Guadiana (Algarve, Andalousie): emprise, déprise et reprise humaines. *Estuarium, Aestuarium* 9:309-331.

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00266233/document>

Sainz-López, N., 2017. Comparative analysis of traditional solar saltworks and other economic activities in a Portuguese Protected Estuary. *Bulletin of Marine and Coastal Research* 46(1):171-189.

<http://boletin.invemar.org.co:8085/ojs/index.php/boletin/article/view/721/669>



## 7. Uma viagem no tempo pelo estuário do Rio Guadiana

**Pedro Morais<sup>1,2</sup>, João Encarnação<sup>2</sup>, Maria Alexandra Teodósio<sup>2</sup>, Rita B. Domingues<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Environment, Florida International University, United States.

<sup>2</sup>CCMAR – Centro de Ciências do Mar, Universidade do Algarve, Portugal.

<sup>3</sup>CIMA – Centro de Investigação Marinha e Ambiental, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal

[pmorais@ualg.pt](mailto:pmorais@ualg.pt); [jpencaernacao@ualg.pt](mailto:jpencaernacao@ualg.pt); [mchichar@ualg.pt](mailto:mchichar@ualg.pt); [rbdomingues@ualg.pt](mailto:rbdomingues@ualg.pt)

As características físicas do estuário do Rio Guadiana e a riqueza do território adjacente foram essenciais na definição do contexto histórico e cultural de toda a região. A extensa navegabilidade do estuário foi fundamental para estabelecer rotas comerciais com as civilizações mediterrânicas, especialmente com Fenícios, Gregos e Cartagineses. Estas civilizações criaram vários portos comerciais ao longo do Rio Guadiana, nomeadamente em Mértola, Alcoutim, Castro Marim e Ayamonte. Nesses locais, a presença humana data dos períodos Neolítico (12 000 a 4000 AEC) e Calcolítico (4000 a 3100 AEC). Posteriormente, Romanos (séc. II AEC a V EC), Alanos (V a VI EC), Visigodos (VI a VIII EC) e Árabes (VIII a XIII EC), estabeleceram-se sucessivamente nesta região Ibérica, até às fronteiras do território continental português terem sido estabelecidas no século XIII. A direção norte-sul predominante do estuário, está intrinsecamente ligada à definição dos territórios português e espanhol, visto que serve de fronteira natural entre os dois países nos seus últimos 50 quilómetros.

A extração de minério e a produção de cereais nas zonas envolventes do estuário, fizeram de Mértola o mais importante entreposto comercial da região até à conquista portuguesa em 1238. Cobre, ferro e manganês eram os principais minérios explorados, mas também o ouro e a prata. Com a expansão portuguesa iniciada no século XV, a importância económica do estuário do Rio Guadiana diminuiu drasticamente. Nos séculos XV e XVI, os cereais eram ainda enviados para os fortes portu-

gueses no norte de África, mas foi apenas no final do século XIX que se observou um novo crescimento económico nas regiões em torno do estuário.

No final do século XVIII, o Primeiro-Ministro português, Marquês de Pombal, ordenou a construção de uma nova cidade, Vila Real de Santo António, situada perto da foz do rio. Os principais objetivos eram de natureza política, económica e estratégica, mas pretendia-se essencialmente enfrentar o fulgor económico da cidade espanhola de Ayamonte, na margem oposta. A prosperidade de Ayamonte, resultou de uma intensa atividade pesqueira de sardinha no Golfo de Cádiz, em particular na Baía de Monte Gordo, que atraiu pescadores espanhóis e portugueses. No entanto, Vila Real de Santo António só prosperou no final do século XIX, devido ao forte desenvolvimento da indústria extrativa de minério, pescas, conservas e estaleiros navais.

A extração de minério, especificamente de cobre, teve início em 1858 nas redescobertas minas romanas de São Domingos. Navios de carga transportavam o minério até à foz do estuário, onde era transferido para navios maiores que rumavam a Inglaterra e Alemanha. O fim da atividade mineira em 1965 causou uma profunda recessão económica e demográfica. Entre 1961 e 1971, o concelho de Mértola perdeu 50% da sua população, que migrou para Lisboa e cidades vizinhas, ou para o estrangeiro. Atualmente, o alto estuário é uma das regiões mais pobres da União Europeia.

A atividade pesqueira desenvolveu-se no final do século XIX com o surgimento da indústria conserveira da sardinha e atum, promovida por empresários espanhóis, italianos e gregos. Na verdade, Vila Real de Santo António é o berço da indústria conserveira portuguesa, onde foi construída a primeira fábrica de conservas de atum em 1865. As conservas de peixe rapidamente se tornaram um dos mais famosos produtos de exportação portugueses, a par do vinho e da cortiça, principalmente durante a Segunda Guerra Mundial. A pesca começou a diminuir na década de 1960, e atualmente nenhuma fábrica de conservas opera em Vila Real de Santo António.

De 1929 a 1937 a "campanha do trigo" foi imposta pelo governo português, na tentativa de tornar Portugal auto-suficiente e acabar com a dependência do trigo importado dos Estados Unidos e Canadá. Neste período, a atividade económica aumentou ao longo do estuário, especialmente em Alcoutim, onde o trigo era escoado e se recebia fertilizante. Porém, a "campanha do trigo" foi feita em solos pobres, levando ao seu esgotamento total, pois o sistema tradicional de rotação de culturas e pousio foram abandonados. Hoje, o turismo é a principal atividade económica no estuário do Rio Guadiana, tal como no resto do Algarve.

A partir do final do século XIX, a mineração e a indústria conserveira foram as atividades mais nocivas em termos ambientais em torno do estuário do Rio Guadiana.

Atualmente, a captação e retenção de água nas barragens são provavelmente as atividades mais preocupantes para o estuário. Desde meados da década de 1950, que a bacia do Rio Guadiana é intensamente represada, permitindo o desenvolvimento de extensas zonas de rega, produção elétrica e outras necessidades públicas e industriais. A barragem do Alqueva, localizada a 150 quilómetros da foz do rio, foi a última a ser construída. As suas comportas foram encerradas a 8 de fevereiro de 2002 e a regulação do caudal do rio aumentou de 75% para 81% (Figura 7.1). Com esta barragem, o governo português pretendia, além da regularização do caudal do Rio Guadiana, reforçar a capacidade de produção de energia hidroelétrica, desenvolver as potencialidades turísticas da zona, promover o mercado de trabalho regional, organizar intervenções nos domínios ambiental e patrimonial, combater a desertificação física e as alterações climáticas e modificar o modelo de especialização agrícola do sul de Portugal, com a implementação de uma área de rega de 110 000 hectares.



**Figura 7.1.** Vista do Rio Guadiana para jusante da Barragem de Alqueva em julho de 2009. Fotografia de Pedro Morais.

Na década de 1970, a construção de dois molhes na foz do estuário alterou drasticamente a dinâmica sedimentar. A deriva litoral foi interrompida e o assoamento da foz foi-se evidenciando. Atualmente, a retenção de sedimentos nas barragens e caudais de água doce mais fracos, incrementam os riscos de erosão costeira.

Apesar de existir um plano de monitorização constante da qualidade da água da barragem de Alqueva, outros de natureza permanente que visem monitorizar os impactos da barragem nos ecossistemas a jusante são inexistentes, apesar de estes

serem muitos e significativos. As primeiras alterações que se observaram no estuário do Rio Guadiana, após a construção da barragem, refletiram-se na dinâmica da comunidade fitoplanctónica. Antes da construção da barragem de Alqueva, o fitoplâncton estuarino exibia uma dinâmica unimodal, ou seja, o máximo da biomassa fitoplanctónica ocorria na primavera, coincidindo com florescências de diatomáceas, enquanto que, no verão e outono registavam-se florescências de cianobactérias. Durante o enchimento da barragem em 2002–2004, o volume de água doce libertado para o estuário foi extremamente reduzido, o que coincidiu com o domínio da comunidade fitoplanctónica por cianobactérias durante o outono e inverno e não apenas no verão. Após o enchimento da barragem, o caudal do rio tornou-se praticamente constante durante todo o ano, afetando significativamente a dinâmica da comunidade fitoplanctónica. A abundância de diatomáceas e cianobactérias diminuiu durante este período. Se por um lado o desaparecimento de cianobactérias representa uma melhoria da qualidade da água, pois muitas espécies produzem toxinas nocivas para inúmeras espécies aquáticas e terrestres (aves, gado), incluindo humanos, por outro lado, a diminuição da biomassa de fitoplâncton, particularmente de diatomáceas, tem impactes significativos sobre toda a teia trófica.

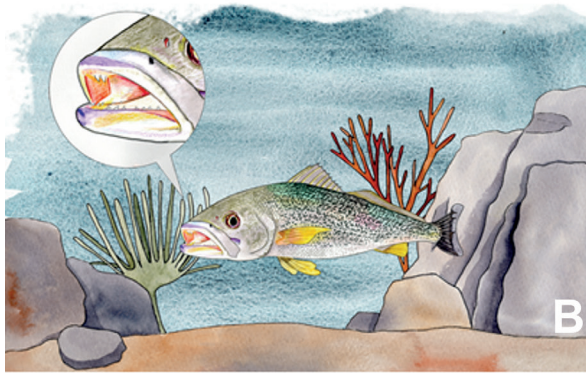
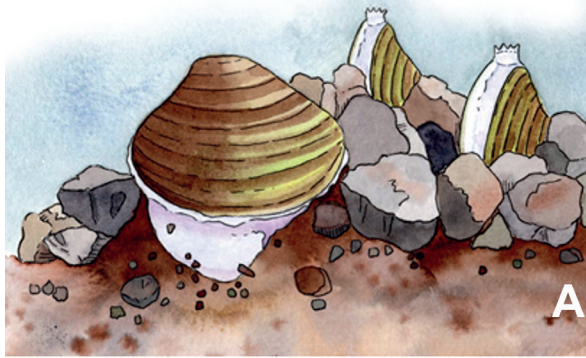
Os impactes das alterações de caudal são também evidentes sobre a comunidade de peixes no estuário do Rio Guadiana. A principal consequência é a redução do uso do estuário por espécies de água doce e algumas de origem marinha. Várias espécies de barbos endémicas do sul da Península Ibérica estão classificadas como ameaçadas de extinção. De igual modo, o saramugo (*Anaecypris hispanica*), uma espécie de água doce endémica das bacias hidrográficas do Guadiana e Guadalquivir, era outrora bastante abundante nas ribeiras do Guadiana. Outras espécies que ocorrem nas zonas salobras e de água doce do estuário estão classificadas como vulneráveis, como são os casos do sável (*Alosa alosa*) e savelha (*Alosa fallax*). No caso do esturjão (*Acipenser sturio*), o seu desaparecimento no sul da Península Ibérica deve-se a uma miríade de causas, tais como sobrepesca, destruição de locais de desova e desenvolvimento larvar, devido à extração de sedimentos e cascalho, construção de barragens, extração de água para agricultura intensiva, degradação de habitats, poluição, e introdução de espécies exóticas. No século XIX, o esturjão era comum no estuário. No início da década de 1970 foi capturado um indivíduo com 70 quilogramas em Mértola, mas desde o início da década de 1980 que não há qualquer registo da espécie no estuário. O último registo no Golfo de Cádiz data de 1992. O caudal do Rio Guadiana também influencia as pescarias costeiras. Num estudo realizado em 2003 verificou-se que os desembarques de sardinha decresceram em média 69% em anos de caudal reduzido, de 886 toneladas para 279 toneladas. Em contrapartida,

os desembarques de peixes carnívoros, tais como sargos e douradas, aumentaram entre 112% e 128%.

O aparecimento de inúmeras espécies invasoras (ver caixa 7.1) no estuário desde 2000 também reflete a degradação ambiental ocorrida após a regularização do caudal do Rio Guadiana pela Barragem de Alqueva. A ausência de alterações naturais no caudal conduziu à salinização do estuário e criação de novos nichos ecológicos que são rapidamente ocupados por espécies não-nativas e invasoras. Até 2022, as espécies invasoras mais emblemáticas são a amêijoia asiática (*Corbicula fluminea*), a corvina americana (*Cynoscion regalis*) e o caranguejo azul (*Callinectes sapidus*) (Figura 7.2). É de salientar a presença do mexilhão zebra (*Dreissena polymorpha*) no reservatório do Alfundão, em outubro de 2019, o qual faz parte do complexo de desenvolvimento hídrico de Alqueva. Aparentemente, a invasão foi contida. Esta é uma das espécies invasoras mais nocivas do ponto de vista ecológico e económico. Infelizmente, será apenas uma questão de tempo até que esta espécie se disperse pela bacia hidrográfica do Rio Guadiana uma vez que se tem vindo a dispersar pela Península Ibérica em direção a oeste.

As barragens existentes ao longo do baixo Guadiana e a extração de água não são as únicas ameaças ao estuário do Rio Guadiana. Apesar de o impacte agrícola, industrial e urbano ser diminuto ao longo do estuário, o certo é que existem muitos outros que ameaçam em permanência o equilíbrio de um ecossistema tão frágil. Atualmente, o olival intensivo que se desenvolveu exponencialmente na década de 2010 no Baixo Alentejo é provavelmente a nova maior ameaça à biodiversidade do sul de Portugal. Este tipo de agricultura intensiva tem impactes sobre aves, peixes, moluscos de água doce e mamíferos terrestres. Os impactes sobre a qualidade dos solos, água superficial e aquíferos são tremendos. Mais próximo do estuário, o abandono dos terrenos agrícolas e florestais faz com que o perigo de incêndios aumente. Facto que resulta de uma população envelhecida e de um tecido económico destruído, não fosse a zona superior do estuário uma das regiões mais pobres da União Europeia. Mais a jusante, próximo da costa, a pressão urbanística para a construção de novos empreendimentos turísticos é uma ameaça constante.

Na década de 2000, a associação ambiental Almargem propôs a criação da Reserva da Biosfera do Baixo Guadiana, ou o Parque Internacional do Baixo Guadiana, para evitar a construção de empreendimentos turísticos de larga escala (como aquele construído a norte de Ayamonte) e para compensar a perda de biodiversidade ocorrida nas últimas décadas. Atualmente, as únicas áreas protegidas de maior escala ao longo do estuário do Rio Guadiana são a Reserva Natural do Sapal de Castro Marim e Vila Real de Santo António e o Parque Natural do Vale do Guadiana.



**Figura 7.2.** As três espécies invasoras mais emblemáticas do estuário do Rio Guadiana, (A) amêijoia asiática (*Corbicula fluminea*), (B) corvina americana (*Cynoscion regalis*), e (C) caranguejo azul (*Callinectes sapidus*). Ilustrações feitas por Sarita Camacho.

A sustentabilidade ambiental do estuário do Rio Guadiana deveria basear-se numa gestão ecohidrológica de toda a bacia e num esforço transdisciplinar e contínuo. A conjugação de esforços entre centros de investigação, organizações não-governamentais, populações locais, gestores ambientais, gestores de barragens, e até mesmo de empreendedores turísticos, seria fundamental para atingir a tão desejada sustentabilidade ambiental do estuário do Rio Guadiana e das suas margens. Contudo, a inércia e desconhecimento dos altos decisores políticos sobre o ambiente, o turismo sustentável e o investimento inconsistente na ciência, não permitem que aqueles que amam o Guadiana tenham ao seu dispor os recursos humanos e os argumentos científicos que o permitam defender mais e melhor. O estuário do Rio Guadiana, as suas margens e as suas ribeiras, são locais de beleza singular, ricos em estórias e com uma história milenar. Infelizmente, ignorar e delapidar este património são erros que sonogam às gerações futuras uma riqueza sem igual.

### Caixa 7.1 – Espécies não-nativas e espécies invasoras

Espécies não-nativas são espécies que são introduzidas por ação humana num determinado ecossistema longe da sua área de distribuição natural. No caso dos ecossistemas aquáticos, os vetores mais comuns, são a introdução voluntária de espécies, espécies que escapam de empreendimentos de aquicultura ou espécies que são transportadas nas águas de lastro ou incrustadas em embarcações. Espécies invasoras são espécies não-nativas cuja abundância é de tal modo grande que causam impactes ecológicos significativos no ecossistema onde foram introduzidas.

### Agradecimentos

Este trabalho recebeu apoio financeiro através dos projetos ALFCORAZUL (Fundo Ambiental, Ministério do Ambiente), ATLAZUL (Poctep/Interreg 0755\_ATLAZUL\_6\_E) e Luandawaterfront (Projeto Aga Khan/FCT ref. 333191101). Este trabalho beneficiou também de financiamento disponibilizado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (UIDB/04326/2020, UIDP/04326/2020, LA/P/0101/2020, UID/00350/2020CIMA, DL57/2016/CP1361/CT0017, SFRH/BD/140556/2018). Este trabalho é a contribuição 1438 do Institute of Environment da Florida International University.

## Referências para leitura adicional

- Domingues R.B, Barbosa, A.B. & Galvão, H.M., 2014. River damming leads to decreased phytoplankton biomass and disappearance of cyanobacteria blooms. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 136: 129–138.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.11.012>
- Morais, P., 2008. Review on the major ecosystem impacts caused by damming and watershed development in an Iberian basin (SW–Europe): focus on the Guadiana estuary. *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology* 44: 105–117.  
[DOI:10.1051/limn:2008012](https://doi.org/10.1051/limn:2008012)
- Morais, P., Gaspar, M., Garel, E., Baptista, V., Cruz, J., Cerveira, I., Leitão, F. & Teodósio, M.A., 2019. The Atlantic blue crab *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 expands its non–native distribution into the Ria Formosa lagoon and the Guadiana estuary (SW–Iberian Peninsula, Europe). *BioInvasions Records* 8: 123–133.  
[DOI:10.3391/bir.2019.8.1.14](https://doi.org/10.3391/bir.2019.8.1.14)
- Morais P., Chicharo, M.A. & Chicharo, L., 2009. Changes in a temperate estuary during the filling of the biggest European dam. *Science of the Total Environment* 407: 2245–2259.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.11.037>
- Morais P. & Teodósio, M.A., 2016. The transatlantic introduction of weakfish *Cynoscion regalis* (Bloch & Schneider, 1801)(Sciaenidae, Pisces) into Europe. *BioInvasions Records* 5: 259–265.  
<http://dx.doi.org/10.3391/bir.2016.5.4.11>

# 8. Contaminantes: o impacto invisível do Homem no Rio Guadiana

Maria João Bebianno<sup>1</sup>, Maria Gonzalez-Rey<sup>1</sup> & Cristina Veiga Pires<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CIMA – Centro de Investigação Marinha e Ambiental,  
Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005–139 Faro, Portugal  
[mbebian@ualg.pt](mailto:mbebian@ualg.pt); [mariagonzalezrey@gmail.com](mailto:mariagonzalezrey@gmail.com); [cvpires@ualg.pt](mailto:cvpires@ualg.pt)

## 8.1. Introdução

Sendo o Rio Guadiana um importante sistema aquático para Portugal e Espanha, ao longo do seu percurso desenvolveram-se diversas atividades socioeconómicas, desde a agricultura ao turismo e à aquicultura, e, com estas, surgiram vários equipamentos como o porto comercial e pesqueiro, a marina e pequenos estaleiros.

Todas estas atividades geram resíduos e contaminantes invisíveis, alguns deles tóxicos para os ecossistemas aquáticos e para os seres humanos, e que são o objeto deste capítulo (ver caixas 8.1 e 8.2).

## 8.2. Fontes de contaminação no Rio Guadiana

Muitas atividades económicas estão na origem das principais fontes antrópicas de contaminação, sendo muitas delas fontes pontuais. São exemplos, os efluentes industriais, as descargas de águas residuais urbanas e de locais de eliminação de resíduos, incluindo a exploração mineira histórica da faixa piritosa. Outras fontes são consideradas difusas, entre elas, o escoamento da agricultura, o escoamento das estradas e os derrames acidentais de petróleo.

### Caixa 8.1 – Contaminante ou poluente?

**Contaminante:** Qualquer substância que diminui a pureza da água e que, dependendo da sua concentração, pode ser considerada como uma substância perigosa em alguns casos.

**Poluente:** Substância que é prejudicial para os seres vivos, tal como um veneno, e que é por isso considerada uma substância perigosa.

### Caixa 8.2 – Que tipo de contaminantes ou poluentes ocorrem no Rio Guadiana?

Os contaminantes e poluentes podem ser divididos em: **contaminantes tradicionais**, que resultam de atividades antrópicas já antigas e **contaminantes emergentes**, que têm vindo a ser introduzidos no meio aquático mais recentemente, principalmente devido ao crescimento populacional e ao aumento da qualidade e da esperança de vida.

De entre os **contaminantes tradicionais**, destacam-se:

- Os metais;
- Os nutrientes e a matéria orgânica;
- Os poluentes orgânicos persistentes (POPs);
- Os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs);
- Os bifenilo policlorados (PCBs);
- O tributil estanho (TBT).

Os **contaminantes emergentes** consistem principalmente em:

- Compostos farmacêuticos
- Produtos de higiene pessoal.

No Rio Guadiana, a maioria das fontes antrópicas de poluentes são os metais, os compostos orgânicos persistentes, os produtos farmacêuticos e os produtos de higiene pessoal (como filtros UV e fragrâncias). Esses contaminantes tradicionais e emergentes foram detetados na água e estão presentes nos sedimentos, ficando disponíveis para serem acumulados pelos organismos aquáticos, podendo ser bioamplificados ao longo da cadeia trófica. Uma vez acumulados nos organismos,

podem induzir alterações biológicas no seu metabolismo, resultando na maioria das vezes, numa ameaça à saúde desses organismos. Como a maioria deles é importante como fonte de alimentação humana, a sua acumulação nos organismos aquáticos pode representar também uma ameaça à saúde humana.

A investigação realizada no Centro de Investigação Marinha e Ambiental (CIMA), permitiu identificar várias fontes de contaminação para o Rio Guadiana, nomeadamente a drenagem ácida das minas de São Domingos, especialmente de cobre e chumbo e as tintas antivegetativas.

No entanto, uma fonte adicional de metais foi detetada, resultante do impacto de efluentes urbanos e do turismo na foz do rio.

As tintas antivegetativas, utilizadas nas embarcações e estruturas de amarração e os herbicidas, originam poluentes orgânicos e organometálicos persistentes, que podem ser responsáveis pela alteração do sistema endócrino detetada em bivalves aquáticos neste rio.

Por outro lado, as atividades balneares bem como as descargas de águas residuais representam uma fonte importante de compostos de higiene pessoal como os filtros UV usados em bronzeadores e dois tipos de compostos presentes em fragrâncias, detetados em bivalves.

Por fim, a ineficiência das estações de tratamento de esgotos permite a contaminação da água por vários compostos farmacêuticos, de diferentes classes terapêuticas, nomeadamente analgésicos, antiasmáticos, lípidos inferiores, anti-inflamatórios, ansiolíticos e antidepressivos. É de referir que, a presença do diclofenaco, o denominado Voltaren, no Rio Guadiana é preocupante pelos efeitos que este composto pode causar nos organismos aquáticos e que levou à sua inclusão na lista de substâncias perigosas da Diretiva-Quadro da Água (DQA) da União Europeia.

### 8.3. Os bivalves como bioindicadores de contaminação

No Rio Guadiana, são vários os bioindicadores (caixa 8.3) que podem ser utilizados ao longo de um gradiente de água doce e marinho para avaliar a contaminação (Figura 8.1), nomeadamente a amêijoia *Corbicula fluminea* (uma espécie exótica de água doce recentemente introduzida no Rio Guadiana), a ostra *Crassostrea gigas* (espécie marinha), o mexilhão *Mytilus galloprovincialis* (espécie marinha), e a amêijoia *Scrobicularia plana* (espécie marinha).

Foi assim possível observar que as concentrações de chumbo (Pb) no local adjacente à área da Mina de São Domingos são seis vezes superiores às que se verificam

na parte principal do rio, que por sua vez são superiores às concentrações medidas na costa sul de Portugal.

Além do Pb presente na gasolina, outros metais, como compostos orgânicos e organometálicos utilizados em condutores elétricos e em tintas antivegetativas, respetivamente, também foram detetados em espécies marinhas do Rio Guadiana.

### Caixa 8.3 – O que são bioindicadores?

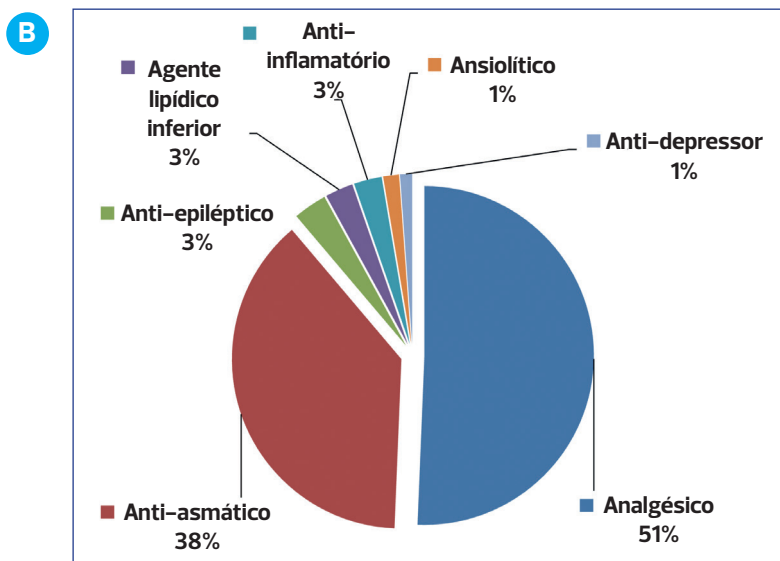
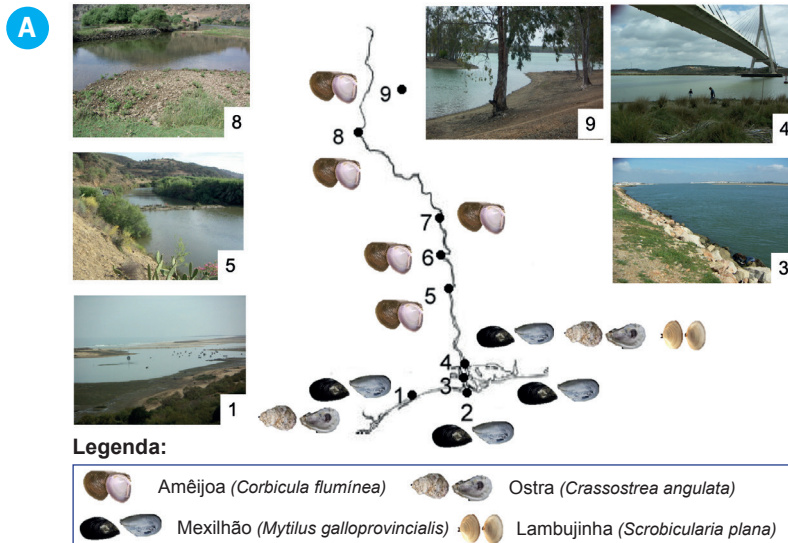
Um bioindicador é um organismo vivo que permite obter uma medida da saúde de um ecossistema. Nos ecossistemas aquáticos, utilizam-se principalmente os bivalves (moluscos com concha formada por duas valvas) porque são organismos filtradores, que captam e acumulam as substâncias contaminantes e/ou poluentes. Por outro lado, a exposição de bivalves a stressores químicos tem diferentes efeitos biológicos dependendo da sua origem química, mas também da sua biodisponibilidade. Alguns efeitos biológicos respondem tão rapidamente que são considerados biomarcadores de alerta precoce de poluição.

## 8.4. Os metais no Rio Guadiana

No Rio Guadiana, uma das principais fontes pontuais de contaminação por metais são os resíduos de mineração ácida das Minas de São Domingos (Figura 8.2).

A exploração de ferro (Fe) e cobre (Cu), juntamente com chumbo (Pb) e zinco (Zn) nesta mina, remonta aos tempos pré-históricos (Idade do Ferro e do Bronze), mas as maiores quantidades desses metais foram extraídas nos séculos XIX e XX. Desde então, as áreas abandonadas da mina tiveram uma intervenção de remediação ambiental muito deficiente. Os metais são transportados dissolvidos ou aderidos às partículas em suspensão. As partículas em suspensão ricas em Fe, têm concentrações elevadas de Pb e ainda maiores de Cu e Zn durante os períodos de inverno.

O chumbo (Pb) é um metal sem função biológica conhecida, cuja origem inclui a queima de combustíveis com chumbo, fundições de metal e atividades de mineração, sendo considerado uma substância prioritária da Diretiva-Quadro da Água (DQA). Os efeitos tóxicos do Pb, em organismos aquáticos e mamíferos, decorrem da capacidade do Pb em substituir outros metais considerados essenciais para funções biológicas, como o Ca, o Fe e o Zn.



**Figura 8.1.** A) Locais de amostragem de bivalves, nomeadamente amêijoja, ostra, mexilhão e lambujinha, como bioindicadores ao longo do Rio Guadiana desde Cacela Velha (1) até à Praia fluvial da Mina de São Domingos (9), passando pelo estuário do Rio Guadiana (2), a Marina de Vila Real de Santo António (3) e a Ponte Internacional (4); B) Classes terapêuticas de compostos farmacêuticos encontrados na água do Rio Guadiana.

Além das fontes de mineração, os resultados revelaram a presença de chumbo como aditivo da gasolina, especialmente nas zonas da marina e da ponte rodoviária entre Portugal e Espanha, embora o chumbo na gasolina esteja proibido em ambos os países desde 1999. Podem ainda existir outras fontes de chumbo no estuário, das quais se destaca como exemplo, a caça que é uma atividade considerável nesta área.

Outros metais, como o cádmio (Cd), cobre (Cu), mercúrio (Hg), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn), têm igualmente níveis particularmente elevados nos sedimentos do Rio Guadiana desde 1999 apresentando variações locais e sazonais.

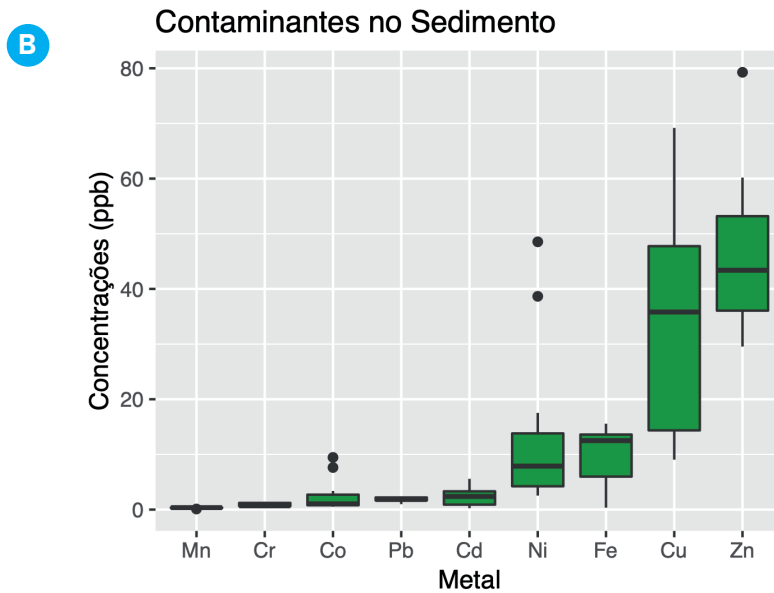
Os resultados obtidos nos bioindicadores confirmam os dados obtidos nos sedimentos, indicando que a mineração é uma importante fonte antropogénica de chumbo (Pb) para o Rio Guadiana. É ainda de referir que, as concentrações de metais nas mesmas espécies e locais de bivalves diminuem de acordo com a seguinte ordem: ostras, seguidas por amêijoas e mexilhões. No entanto, as concentrações de Cu e Zn analisadas nestas espécies não apresentaram alterações espaciais ou sazonais e as suas concentrações nos mexilhões do Rio Guadiana são comparáveis a outros locais da costa sul de Portugal.

## 8.5. Os compostos orgânicos persistentes (POPs) no Rio Guadiana

Algumas atividades antrópicas são direta ou indiretamente responsáveis pela libertação de compostos orgânicos que são persistentes e nocivos no ambiente aquático. É o caso dos compostos orgânicos persistentes (PAHs e PCBs) e organometálicos (TBTs) que se sabe estarem presentes nos tecidos de várias espécies aquáticas do estuário do Rio Guadiana.

A variação das concentrações de PAHs em tecidos dos mexilhões mostram uma tendência decrescente significativa desde 1997. É importante explicar aqui que os PAHs são classificados e diferenciados de acordo com o número de anéis benzénicos existentes na estrutura orgânica na molécula, e que os PAHs persistentes no Rio Guadiana se caracterizam principalmente por PAHs que apresentam uma elevada percentagem de 5 anéis benzénicos (> 79%), muitos dos quais são cancerígenos.

O composto organometálico TBT é um *stressor* químico que, quando acumulado nos tecidos biológicos, é responsável por desregulação endócrina, nomeadamente através do fenómeno conhecido por imposexo (sobreposição de características sexuais masculinas em gastrópodes do sexo feminino), e por intersexo (presença simultânea de características sexuais femininas e masculinas).



**Figura 8.2.** A) Fotografia da água de lixiviação ácida de S. Domingos, fonte de contaminantes metálicos, mostrando a cor vermelho-amarelada associada ao ferro e à presença de outros metais na água (fotografia de C. Veiga-Pires, 2005); B) Concentração dos metais biodisponíveis no sedimento (ppb: partes por bilhão).

Este fenómeno foi reportado no gastrópode prosobrânquio *Ocenebra erinacea* (espécie de búzio) presente na foz do Rio Guadiana, apresentando nesta espécie níveis de imposexo mais elevados do que noutras localidades do litoral sul de Portugal. Além disso, o intersexo com vários graus de intensidade também foi detetado na amêijoia (*Scrobicularia plana*) com oócitos dentro do testículo masculino (ovotestis). A percentagem de machos afetados situou-se entre 6 a 71%, o que pode conduzir a uma diminuição da população desta espécie. Além do TBT, vários outros contaminantes desreguladores endócrinos (DECs) podem ser encontrados na água e nos sedimentos, incluindo os já mencionados PAHs, mas também pesticidas e seus metabólitos, ou herbicidas. Estes DECs, embora em pequena quantidade, podem também estar diretamente relacionados com os níveis de intersexo e imposexo detetados nas amêijoas ou mesmo com outros exemplos de alterações do sistema endócrino de invertebrados marinhos já detetados no Rio Guadiana.

## 8.6. Os contaminantes emergentes no Rio Guadiana

Os produtos de higiene pessoal (PCP) e os compostos farmacêuticos (PhAC) têm recebido cada vez mais atenção devido ao grande consumo e aos efeitos potencialmente nocivos quando presentes no ambiente aquático.

Três filtros UV usados em produtos de higiene pessoal, como protetores solares, mas também em aditivos alimentares e dois tipos de almíscar, usados em fragrâncias, são reconhecidos como importantes *stressores* para o ambiente aquático, devido às suas propriedades lipofílicas e potencial de bioacumulação. Estes compostos foram detetados em mexilhões *Mytilus galloprovincialis* recolhidos na praia de Vila Real de Santo António.

Por outro lado, os compostos farmacêuticos, usados há séculos na terapia de saúde humana e em veterinária encontram-se no meio ambiente, como é o caso do estuário do Rio Guadiana, onde foram detetados vários fármacos, nomeadamente e em ordem decrescente de concentração: paracetamol (analgésico), teofilina e clenbuterol (antiasmático), carbamazepina (antiepilético), gemfibrozil (agente lipídico inferior), nordiazepam (ansiolítico), naproxeno e diclofenac (anti-inflamatório), alprazolam (antidepressivos), terbutalina (antiasmático) e diazepam (ansiolítico).

A presença do anti-inflamatório diclofenaco no Rio Guadiana é motivo de preocupação devido aos conhecidos efeitos biológicos deste composto, razão pela qual foi incluído, pela União Europeia, na lista de substâncias prioritárias da Diretiva Quadro da Água.

## 8.7. Conclusão

Embora seja um dos principais rios da Península Ibérica, o Rio Guadiana apresenta níveis detetáveis, e por vezes elevados, de contaminantes tradicionais (metais, mas também compostos orgânicos persistentes), bem como de compostos emergentes (produtos de higiene pessoal e compostos farmacêuticos), alguns dos quais são conhecidos por induzir desregulação endócrina. Na maioria dos casos, os níveis detetados são superiores aos de outras zonas do litoral sul de Portugal. Estes níveis de contaminantes, mostraram alguns efeitos em espécies aquáticas, o que pode ser motivo de preocupação para a economia e para a saúde do Rio Guadiana.

### Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do CIMA (UID/MAR/350/2020).

### Referências para leitura adicional

- Delgado, J., Barba-Brioso, C., Nieto, J.M. & Boski, T., 2011. Speciation and ecological risk of toxic elements in estuarine sediments affected by multiple anthropogenic contributions (Guadiana saltmarshes, SW Iberian Peninsula): I. Surficial sediments. *The Science of Total Environment* 409: 3666–3679.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.06.013>
- Company, R., Serafim, A., Lopes, B., Cravo, A., Shepherd, T.J., Pearson, G. & Bebianno, M. J., 2008. Using biochemical and isotope geochemistry to understand the environmental and public health implications of lead pollution in the River Guadiana, Iberia: a freshwater bivalve study. *The Science of the Total Environment* 405: 109 – 119.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.07.016>
- Gomes, T., Gonzalez-Rey, M. & Bebianno, M. J., 2009. Incidence of intersex in male clams *Scrobicularia plana* in the Guadiana Estuary (Portugal). *Ecotoxicology* 18: 1104–1109.  
<https://doi.org/10.1007/s10646-009-0359-5>
- Gonzalez-Rey, M., Tapie, N., Le Menach, K., Dévier, M.-H., Budzinski, H. & Bebianno, M. J., 2015. Occurrence of pharmaceutical compounds and pesticides in aquatic systems. *Marine Pollution Bulletin* 96: 384–400.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.04.029>
- Picot-Groz, M., Martinez Bueno, M.J., Rosain, D., Fenet, H., Casellas, C., Pereira, C., Maria, V., Bebianno, M.J. & Gomez, E., 2014. Detection of emerging contaminants (UV filters, UV stabilizers and musks) in marine mussels from Portuguese coast by QuEChERS extraction and GC–MS/MS. *The Science of The Total Environment* 493: 162–169.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.062>



# Glossário

---

**Afloramento costeiro (upwelling):** subida de água fria e rica em nutrientes, desde o fundo do mar até à superfície. O vento que sopra na superfície do oceano, empurra a água. Para substituir a água que se deslocou, estabelece-se uma corrente vertical ascendente.

**Anéis benzénicos:** anéis hexagonais constituídos por carbono e hidrogénio.

**Anádromo:** animal aquático que se reproduz em água doce, mas que se desenvolve até à fase adulta em água salgada (por exemplo, o salmão).

**Antiaglutinante:** evita a aglutinação. Isto é, evita que as partículas se juntem.

**Antropogénico:** originado pela atividade humana.

**Aquífero:** sedimento ou rocha, capaz de armazenar água subterrânea e cedê-la com facilidade.

**Artemia:** crustáceo de pequenas dimensões, 8 a 10 milímetros, frequentemente utilizado na alimentação de peixes em aquicultura e aquariofilia.

**Bacia hidrográfica:** área geográfica, na qual todas as vertentes e linhas de água escoam a água da chuva ou da fusão do gelo para uma rede de canais que por sua vez afluem a um rio principal. Inclui-se também na bacia hidrográfica, a água infiltrada, que escorre no subsolo e que contribui para o caudal da rede de canais.

**Bioamplificação:** aumento da concentração à medida que aumenta o nível da cadeia trófica.

**Bioclastos:** fragmentos esqueléticos fósseis de organismos marinhos ou terrestres que são, no presente, encontrados em rochas sedimentares e sedimentos.

**Biodisponibilidade:** facilidade com que várias substâncias do meio ambiente podem ser acumuladas pelos organismos vivos.

**Cavidades cársicas:** formam-se por dissolução das rochas carbonatadas, promovida pela água da chuva.

**Catádro:** animal aquático que se reproduz em água salgada, mas que se desenvolve até à fase adulta em água doce (por exemplo, a enguia).

**Cianobactérias:** bactérias que realizam fotossíntese para obter energia.

**Cristalização:** processo químico, pelo qual se obtêm cristais de um dado componente a partir de uma solução.

**Desregulação endócrina:** substância exógena capaz de perturbar o funcionamento normal do sistema endócrino.

**Diatomáceas:** algas microscópicas que fazem parte do fitoplâncton.

**Ecologia:** ciência que integra os conhecimentos da hidrologia e da ecologia, com o objetivo de melhor compreender o funcionamento dos ecossistemas aquáticos e contribuir para a gestão ambiental.

**Efluente:** resíduo líquido ou gasoso, proveniente de atividades humanas, como por exemplo, indústria e esgoto urbano, lançado no meio ambiente.

**Espécie endêmica:** espécie que ocorre somente numa determinada área geográfica.

**Espécie exótica:** espécie que se encontra fora da sua área de distribuição natural.

**Espécie oportunista:** espécie que melhor se adapta a condições ambientais menos favoráveis.

**Esteiro:** braço de rio ou de mar.

**Estratificação vertical:** mudanças de densidade ao longo da coluna de água (do fundo até à superfície). Nos estuários, a densidade da água depende principalmente da salinidade resultante da mistura entre a água do mar e a água doce dos rios.

**Faixa Piritosa:** faixa com formações geológicas ricas em sulfuretos, com cerca de 250 quilómetros de comprimento e 30 a 50 quilómetros de largura, que se estende entre aproximadamente Alcácer do Sal em Portugal e Sevilha em Espanha.

**Fitoplâncton:** conjunto de microrganismos aquáticos, que flutuam na água e realizam fotossíntese.

**Florescência:** proliferação de microalgas no ambiente aquático.

**Geomorfologia:** ciência que estuda as formas da superfície terrestre e dos processos que lhes dão origem.

**Habitat:** local onde uma dada espécie animal ou vegetal, encontra as condições ambientais ótimas para o seu desenvolvimento.

**Halófitas (plantas):** plantas que toleram elevadas concentrações de sal no solo.

- Hipersalino:** massa de água cuja salinidade excede em muito a da água do mar (35 gramas de sal por quilograma de água).
- Macroflora:** termo geral utilizado para abranger todas as plantas que são suficientemente grandes para serem vistas a olho nu.
- Macrorganismos:** organismos cujo tamanho é igual ou superior a 0,5 milímetros, isto é, que são visíveis a olho nu.
- Metabólito:** termo utilizado para um produto do metabolismo de uma determinada molécula ou substância.
- Microfitobentos:** conjunto de microrganismos aquáticos, que vivem aderidos a um substrato e realizam fotossíntese.
- Microflora:** termo geral utilizado para abranger todas as plantas que são tão pequenas que não vemos a olho nu, pelo que são necessários meios auxiliares como lupa e microscópio.
- Micrómetro:** unidade de comprimento igual à milésima parte do milímetro.
- Microrganismos:** organismos cujo tamanho é inferior a 0,5 milímetros, isto é, que não são visíveis a olho nu, necessitando de meios auxiliares da visão para os podermos observar, como lupa e microscópio.
- Microscopia eletrônica de varrimento:** análise microscópica a partir da qual é possível produzir imagens com uma ampliação mais elevada do que na microscopia ótica.
- Mineração:** atividade de extração de minerais a partir de sedimentos ou rochas.
- Morfodinâmica:** conjunto de processos atuantes na superfície da Terra, conducentes à geração de corpos sedimentares e à evolução das paisagens.
- Oócitos:** células germinativas femininas produzidas nos ovários.
- Organometálico (composto):** composto que contém pelo menos uma ligação química carbono-metal.
- Oscilação do Atlântico Norte (North Atlantic Oscillation – NAO):** fenómeno meteorológico, caracterizado pela variabilidade da pressão atmosférica ao nível do mar entre a depressão da Islândia e o anticiclone dos Açores.
- Paleoambiente:** ambiente do passado, ambiente antigo.
- Pequena Idade do Gelo:** evento frio que ocorreu entre o século XIV e a primeira metade do século XIX. Os limites temporais não são consensuais entre os cientistas.
- pH:** potencial hidrogeniónico. Traduz a concentração/disponibilidade de iões H<sup>+</sup> e OH<sup>-</sup> no meio através de uma escala numérica (de 0 a 14) que indica o seu carácter ácido (valores inferiores a 7), básico (superiores a 7) ou neutro (valor de pH=7).

**Plataforma continental:** porção do fundo marinho adjacente à linha de costa, que fica parcial ou totalmente exposta durante as regressões marinhas. A largura média das plataformas continentais mundiais, é de 75 quilômetros e a profundidade pode atingir os 200 metros.

**Produtividade do ecossistema:** taxa de geração de biomassa (a massa de organismos biológicos vivos) no ecossistema em um determinado momento.

**Propriedades lipofílicas:** tendência para se agregar a gordura.

**Protoplasma:** substância viva das células constituída pela associação de citoplasma e nucleoplasma. O citoplasma é a matéria que se encontra entre a membrana celular e o núcleo e onde ocorre o metabolismo celular. O nucleoplasma é o líquido nuclear onde ocorre o metabolismo dos ácidos nucleicos.

**Quartzo:** mineral composto por sílica.

**Regressão (marinha):** descida do nível médio das águas do mar relativamente ao continente, deixando áreas anteriormente submersas, expostas à atmosfera.

**Remediação ambiental:** reabilitação de áreas degradadas.

**Rosa Bengala:** corante.

**Sedimento terrígeno:** partículas (sedimento) que resultam da alteração e erosão das rochas.

**Sobressaturação:** estado de uma solução que contém uma quantidade de soluto superior ao seu limite de solubilidade.

**Suspensão (transporte em):** transporte de partículas no corpo da massa de água.

**Taxonomia:** ramo da biologia que agrupa os organismos de acordo com as suas características comuns.

**Tinta antivegetativa:** tinta utilizada nas embarcações para inibir o crescimento de organismos que se agarram ao casco e outras partes da embarcação, como por exemplo o leme.

**Transgressão (marinha):** subida do nível médio das águas do mar, que avança sobre o continente, submergindo terrenos até então emersos.



# TABELA CRONOESTRATIGRÁFICA INTERNACIONAL

www.stratigraphy.org

Comissão Internacional de Estratigrafia

v 2022/02



Ermeia / Era	Sistema / Período	Série / Época	Andar / Etapa	Idade (Ma)	GSSP	Ermeia / Era	Sistema / Período	Série / Época	Andar / Etapa	Idade (Ma)	GSSP
Quaternário	Holocénico	Superior	Titimungiano	152,1 ± 0,9		Mesozóico	Jurássico	Superior	Kimmeridgiano	152,1 ± 0,9	
			Oxfordiano	157,3 ± 1,0					Oxfordiano	183,5 ± 1,0	
			Médio	166,1 ± 1,2					Calloviano	166,1 ± 1,2	
			168,3 ± 1,3		Bajociano				168,3 ± 1,3		
			170,3 ± 1,4		Aaleniano				170,3 ± 1,4		
			182,7 ± 0,7		Toarciano				182,7 ± 0,7		
			190,8 ± 1,0		Plenabaciano				190,8 ± 1,0		
			198,3 ± 0,3		Shenuriano				198,3 ± 0,3		
			201,3 ± 0,2		Hettangiano				201,3 ± 0,2		
			208,5		Rhaeliano				208,5		
Cenozóico	Neógeno	Inferior	Noriano	227		Triássico	Superior	Camiano	227		
			237		Ladiliano			237			
			242		Anisiano			242			
			247,2		Ojokiano			247,2			
			251,2		Wuchiapingiano			251,2			
			251,9 ± 0,024		Changhsingiano			251,9 ± 0,024			
			254,14 ± 0,07		Lopingiano			254,14 ± 0,07			
			255,1 ± 0,21		Capitaniano			255,1 ± 0,21			
			264,28 ± 0,16		Wordiano			264,28 ± 0,16			
			266,9 ± 0,4		Readiano			266,9 ± 0,4			
Paleozóico	Permiano	Superior	Kunguriano	273,0 ± 0,14		Paleozóico	Permiano	Cisuraliano	273,0 ± 0,14		
			283,5 ± 0,6		Artinskiano				283,5 ± 0,6		
			290,1 ± 0,26		Gzheliano				290,1 ± 0,26		
			293,52 ± 0,17		Kasimoviano				293,52 ± 0,17		
			298,9 ± 0,15		Asseliano				298,9 ± 0,15		
			303,7 ± 0,1		Superior				303,7 ± 0,1		
			307,0 ± 0,1		Médio				307,0 ± 0,1		
			315,2 ± 0,2		Inferior				315,2 ± 0,2		
			323,2 ± 0,4		Superior				323,2 ± 0,4		
			339,9 ± 0,2		Médio				339,9 ± 0,2		
Mesozóico	Cretáceo	Inferior	Viseano	346,7 ± 0,4		Mesozóico	Cretáceo	Inferior	Tourmaisiano	346,7 ± 0,4	
			358,9 ± 0,4		Albiano				358,9 ± 0,4		
			113,0		Aptiano				113,0		
			121,4		Barremiano				121,4		
			129,4		Hauteriviense				129,4		
			132,6		Valanginiense				132,6		
			139,6		Berriasiense				139,6		
			145,0						145,0		

As cores indicam as associações pela Comissão do Mapa Geológico do Mundo (CCMG-IUGS) - <http://www.iugsworld.com>

Tabela para Portugal (PT) elaborada por A.A. Sá, C. Neves, Z. Pereira, M.H. Henriques e J.M. Pereira, em colaboração com o Comité Português para o Programa Internacional de Geociências (ICGP/INEC) e o Laboratório Nacional de Energia e Geologia, L.P.

Fonte original e os detalhes sobre o GSSP (critério de definição de pontos GSSP) podem ser encontrados no site <http://www.stratigraphy.org>. atualizam-se regularmente na web page <http://www.stratigraphy.org>.

As Subseriões e Subépocas ratificadas estão abreviadas como S (Superior), M (Médio) e I (Inferior). A designação absoluta em milhões de anos (Ma) é dada em itálico. O GSSP formal é apenas orientadora, em especial para os limites sem GSSP formal (Ma). Estes valores poderão ser revisados no futuro em virtude de novos dados. A escala de tempo geológico é baseada no Tratado Internacional de Estratigrafia (ICS-IUGS). O GSSP oficial está associado com o símbolo do "Peggo Dourado" (Golden Spike), que indica o local onde o limite foi estabelecido.

As Subseriões e Subépocas ratificadas estão abreviadas como S (Superior), M (Médio) e I (Inferior). A designação absoluta em milhões de anos (Ma) é dada em itálico. O GSSP formal é apenas orientadora, em especial para os limites sem GSSP formal (Ma). Estes valores poderão ser revisados no futuro em virtude de novos dados. A escala de tempo geológico é baseada no Tratado Internacional de Estratigrafia (ICS-IUGS). O GSSP oficial está associado com o símbolo do "Peggo Dourado" (Golden Spike), que indica o local onde o limite foi estabelecido.

Tabela desenvolvida por K.M. Cohen, D.A.T. Harper, P.L. Gibbard e N. Caron. Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L. & Fan, J.X. (2013) *unabridged* The ICS International Chronostratigraphic Chart. Episodes 36: 19-20. <http://www.stratigraphy.org/ChronostratChart2012-02/PT/Portuguese.pdf>







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 S<sub>2</sub>AQUACOLAB. Este livro expressa o comprometimento da equipa na transferência do conhecimento científico para a sociedade.