

MARIA JOÃO FEIO
VERÓNICA FERREIRA
(EDS.)

IMPRESA DA
UNIVERSIDADE
DE COIMBRA
COIMBRA
UNIVERSITY
PRESS

RIOS DE PORTUGAL

COMUNIDADES,
PROCESSOS E ALTERAÇÕES

CAPÍTULO 7

INVERTEBRADOS

Sónia R.Q. Serra¹, Rui M.V. Cortes², Manuel A.S. Graça³, Paulo Pinto⁴, Pedro M. Anastácio⁵, Ana Luísa Machado⁶, Ana Raquel Calapez⁷ & Maria João Feio⁸

¹MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, Departamento de Ciências da Vida, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Portugal, soniarqs@ci.uc.pt

²Centro de Investigação e de Tecnologias Agroambientais e Biológicas, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal, rcortes@utad.pt

³MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, Departamento de Ciências da Vida, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Portugal, mgraca@ci.uc.pt

⁴Departamento de Biologia, Universidade de Évora, Portugal, ppinto@uevora.pt

⁵MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, Departamento de Paisagem, Ambiente e Ordenamento, Universidade de Évora, Portugal, anast@uevora.pt

⁶CESAM – Centro de Estudos do Ambiente e do Mar, Universidade de Aveiro, Portugal, luisamachado@ua.pt

⁷MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, Departamento de Ciências da Vida, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Portugal e LEAF – Centro de Investigação em Agronomia, Alimentos, Ambiente e Paisagem, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Portugal, anacalapez@isa.ulisboa.pt

⁸MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, Departamento de Ciências da Vida, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Portugal, mjf@ci.uc.pt

Resumo: Os invertebrados aquáticos são importantes elementos dos ecossistemas ribeirinhos. Possuem adaptações e estratégias diversificadas para fazer face à multiplicidade de condições que se fazem sentir nestes ambientes, nomeadamente de velocidade de corrente, oxigénio dissolvido, tipo e quantidade de alimento disponível, entre outros. Desempenham importantes funções nestes ecossistemas garantindo a sua

integridade. Por exemplo, estabelecem a ligação energética entre os níveis inferiores e superiores das cadeias alimentares, por se alimentarem de algas, microorganismos e detritos orgânicos, que entram nos ambientes lóticos provenientes do meio terrestre, e servirem de alimento a predadores (outros invertebrados, peixes, aves, anfíbios). Devido às diferentes sensibilidades das várias espécies às condições externas, as comunidades de invertebrados presentes num local funcionam como bioindicadores da integridade ecológica destes ecossistemas lóticos. Em Portugal, os invertebrados aquáticos bentônicos têm sido dos elementos biológicos mais estudados. Desde os anos 1980 foram examinados os padrões regionais de distribuição e ecologia dos invertebrados bentônicos, identificadas as principais fontes de perturbação destas comunidades e avaliada a sua aplicação como bioindicadores, contribuindo para o desenvolvimento de métodos para a avaliação da sua integridade estrutural e funcional, ajustados às condições do país. Destaca-se ainda a ocorrência de endemismos de invertebrados aquáticos em Portugal continental e ilhas, alguns dos quais em declínio dadas as múltiplas ameaças aos seus habitats, potenciado pela crescente introdução de espécies de invertebrados invasores.

Palavras-chave: adaptações, bioindicadores, diversidade, endêmicos, insetos aquáticos, invasores

1. Invertebrados aquáticos e sua diversidade

Os invertebrados que habitam as nossas águas interiores são organismos de tamanho reduzido, sem estrutura interna rígida, e permanecem na água durante toda a sua vida ou em algum está-

gio do seu desenvolvimento. O número de espécies inventariadas para Portugal ronda o milhar. No entanto, este valor deverá ser superior tendo em consideração o desconhecimento generalizado de espécies menos comuns¹⁻³.

Os invertebrados dos rios incluem as planárias (Filo Platyhelminthes; Figura 7.1a), os nemátodes (Filo Nematoda), os anelídeos (Filo Annelida: minhocas e sanguessugas; Figura 7.1b), os moluscos (Filo Mollusca: bivalves e gastrópodes que incluem os caracóis de água doce; Figura 7.1c), e invertebrados com patas articuladas (Filo Arthropoda) como os insetos aquáticos das ordens Odonata (ninfas de libélulas e libelinhas; Figura 7.1d), Ephemeroptera (ninfas de efémeras; Figura 7.1e), Trichoptera (larvas, algumas das quais constroem casulos; Figura 7.1f), Plecoptera (Figura 7.1g), Diptera (larvas de mosquitos variados; Figura 7.1h, 7.2b, 7.2c), Coleoptera (larvas e adultos de escaravelhos aquáticos; Figura 7.2d) e Hemiptera (percevejos aquáticos como o alfaiate), e ainda os ácaros de água doce (Arachnida) e os crustáceos como lagostins e camarões de água doce⁴. Além destes grupos geralmente designados macroinvertebrados (invertebrados visíveis a olho nu) existem ainda grupos de organismos diminutos, que podem ir até cerca de 1 mm, como pequenos crustáceos (Cladocera, Ostracoda e Copepoda) e rotíferos (Filo Rotifera). Há outros grupos faunísticos para além dos mencionados, mas em geral não se encontram representados por muitos indivíduos¹.



Figura 7.1. Macroinvertebrados aquáticos que se podem encontrar nos rios Portugueses: a) planária *Dugesia* sp.; b) anelídeo (*Oligochaeta*, *Stylaria lacustris*); c) gastrópode *Gyraulus* sp.; d) ninfa de libélula *Boyeria* sp.; e) ninfa de efemeróptero *Ecdyonurus* sp.; f) larva de tricóptero *Lacarsia partita*; g) ninfa de plecóptero *Isoperla* sp.; h) larva de diptero Simuliidae. Fotografias: Sónia Serra.

2. Importância dos invertebrados

Apesar de pouco visíveis, os invertebrados são um componente importante dos rios devido ao elevado número de espécies e à sua abundância. Muitos insetos têm fases aquáticas larvares que dão lugar a adultos que emergem da água, fazendo desta forma, a translocação de nutrientes para os ecossistemas terrestres⁵⁻⁷. Muitos invertebrados são consumidores primários alimentando-se de algas (i.e., material autóctone). Outros alimentam-se de material orgânico, sejam partículas grossas como os restos de folhas, ou partículas finas. Nos ribeiros de cabeceira, a maioria da energia do sistema provém do material alóctone vindo da vegetação ripária adjacente (Capítulo 12)⁸⁻¹¹. Os invertebrados fazem assim uma ligação energética entre microalgas, a matéria orgânica e seus consumidores (como as bactérias, fungos e protozoários) e os níveis tróficos superiores que incluem peixes, anfíbios, aves aquáticas, mamíferos e outros invertebrados predadores.

3. Alimentação

Os invertebrados desenvolveram comportamentos e estruturas de alimentação especializadas a fim de se adaptarem a fontes de alimento diferentes e aos seus habitats. Consoante estas suas adaptações, os invertebrados podem ser distribuídos por grupos tróficos funcionais^{9,12}. Alguns invertebrados alimentam-se de partículas grosseiras de matéria orgânica predominantemente de origem terrestre (p.ex., pedaços de madeira e detritos foliares); estes são conhecidos como fragmentadores, porque fragmentam partículas grandes de material orgânico em partículas finas. Muitas larvas de Trichoptera são fragmentadoras (Capítulo 12). Outros invertebrados alimentam-se de partículas finas de material orgânico. Estes são

conhecidos como coletores, podendo recolher as partículas da água por filtração (coletores-filtradores) ou dos sedimentos (coletores de depósito). Algumas ninfas de Ephemeroptera são coletoras e beneficiam nutricionalmente com a presença de bactérias e excreções de outros organismos associadas a estas partículas finas. Os raspadores, como alguns Gastropoda, raspam superfícies submersas (p.ex., pedras ou plantas aquáticas), retirando o biofilme (perifíton, uma película formada por algas, bactérias e fungos; Capítulo 4). Um grupo reduzido de invertebrados são perfuradores; alimentam-se de macroalgas através de perfuração das células individuais (p.ex., alguns Hemiptera). Finalmente, alguns invertebrados são predadores, como as ninfas de Odonata, cuja dieta inclui sobretudo outros invertebrados e, eventualmente, pequenos peixes e girinos^{1,9}.

O tipo de alimento disponível num setor de um rio vai definir a predominância dos diferentes grupos funcionais. As atividades alimentares dos fragmentadores, muito comuns nos pequenos rios promovem a formação de partículas finas de material orgânico, que podem ser consumidas a jusante pelos coletores¹.

4. Hábitos de vida

A maioria dos invertebrados dos rios encontra-se principalmente nas margens e fundos, junto dos sedimentos e acumulações de material orgânico. Vivem em associação com o substrato, fixos ou sésseis; vivem dentro de estruturas que constroem ou livres, podendo enterrar-se em maior ou menor profundidade no sedimento. Estes animais denominam-se bentónicos. Os organismos bentónicos, que se enterram no sedimento (p.ex., bivalves, anelídeos e algumas larvas e ninfas de insetos), vão contribuir para a mistura do substrato, oxigenando camadas mais profundas e aumentando as taxas de reciclagem de nutrientes para as quais também contribui a sua produção fecal.

Poucos invertebrados nadam livremente nos rios dado o seu tamanho reduzido face à corrente. A estes organismos chamamos nécton de que são exemplos as Noctonectas (Hemiptera). Os “Alfaiates” (Gerridae, Hemiptera) que se deslocam à superfície das águas são classificados noutra grupo, o neuston. Finalmente, alguns microinvertebrados como as dáfrias podem ser planctónicos, habitando essencialmente as zonas dos rios sem corrente.

5. Adaptações morfológicas e comportamentais

Os invertebrados são providos de características que lhes permitem fazer face aos principais desafios encontrados nos sistemas lóticos, sendo especialmente importantes a corrente e a limitação de oxigénio^{13,14}. Algumas das múltiplas adaptações físicas e comportamentais para fazer face à corrente estão indicadas na Tabela 7.1.

Tabela 7.1.
Adaptações morfológicas e comportamentais dos insetos à corrente.

Adaptações	Funções	Exemplos
Achatamento dorso-ventral	Utilização da superfície laminar evitando turbulência	Heptageniidae (Ephemeroptera) (Figura 7.1e)
Pequeno tamanho	Utilização da superfície laminar, reentrâncias e espaços entre as partículas de sedimento, evitando turbulência	Elmidae (Coleoptera)
Hidrodinamismo	Forma fusiforme de modo a diminuir a resistência á corrente	Baetidae (Ephemeroptera)
Ventosas	Aderência a superfícies lisas	Blephariceridae (Diptera)
Atrito	Aumento do contacto com o substrato	<i>Rbitbrogena</i> (Ephemeroptera)
Garras e ganchos	Redução da possibilidade de arrastamento	<i>Rhyacophila</i> (Trichoptera)
Secreções	Ligação a objetos em situação de deriva	Simuliidae (Diptera) (Figura 7.1h)

Em terra geralmente não ocorre déficit de oxigénio mas no meio aquático a concentração de oxigénio é extremamente variável. Esta variabilidade é ainda mais intensa quando o meio está submetido a contaminação orgânica. Para fazer face a esta limitação os invertebrados também desenvolveram múltiplas adaptações sintetizadas na Tabela 7.2. De uma forma geral, os processos respiratórios dos não-insetos são essencialmente cutâneos à exceção dos moluscos, enquanto os insetos apresentam processos respiratórios muito diversificados.

Tabela 7.2.
Mecanismos respiratórios dos invertebrados aquáticos.

Mecanismos	Caracterização	Exemplos
Cutâneo	Superfície do corpo com elevada permeabilidade ao oxigénio	Todos os insectos; o único mecanismo presente em alguns não insectos (p.ex., planárias)
Traqueobrânquias	Prolongamentos formando lamelas ou filamentos com função respiratória, mas também importantes na locomoção, osmoregulação, alimentação e adaptação à corrente	Ephemeroptera, Odonata, Megaloptera (Figura 7.2a)
Brânquias em cavidade interior	Respiração branquial conferida pelas prosobrânquias existentes na cavidade interior (manto)	Gastrópodes prosobrânquios (p.ex., <i>Theodoxus</i> sp.) e bivalves (p.ex., <i>Unio</i> sp.)
Saco pulmonar	Cavidade interior (manto) altamente vascularizada adotando a função de pulmão. Organismos mais independentes das condições adversas do meio deslocando-se periodicamente à superfície, absorvendo ar através dum sifão e equilibrando o conteúdo do saco pulmonar com a respiração atmosférica	Gastrópodes pulmonados (<i>Lymnaea</i> sp.)
Deslocações até à superfície da água	Dependência do oxigénio atmosférico com deslocamento periódico na interface água-ar	Heteroptera e muitos Coleoptera
Prolongamentos para a atmosfera	Extensões do abdómen (tubos curtos a longos), que se prolongam para a superfície permitindo aos organismos permanecerem submersos sem precisarem de se deslocar até à superfície	Alguns Diptera (Figura 7.2b, 7.2c)

Mecanismos	Caracterização	Exemplos
Utilização do ar acumulado em macrófitos	Utilização do oxigênio contido no parênquima das plantas através de sífios	Alguns Coleoptera e Diptera
Captura de bolhas de ar	Dependência do oxigênio atmosférico, com idas eventuais à superfície de onde transportam bolhas de ar em zonas do corpo que se ligam ao aparelho respiratório	Heteroptera, Coleoptera (Figura 7.2d)
Plastron	Fina camada de ar aprisionada contra o corpo do inseto (criada por pelos ou texturas cuticulares) ligada a um sistema traqueal, permitindo que permaneçam submersos	Alguns Coleoptera e Diptera

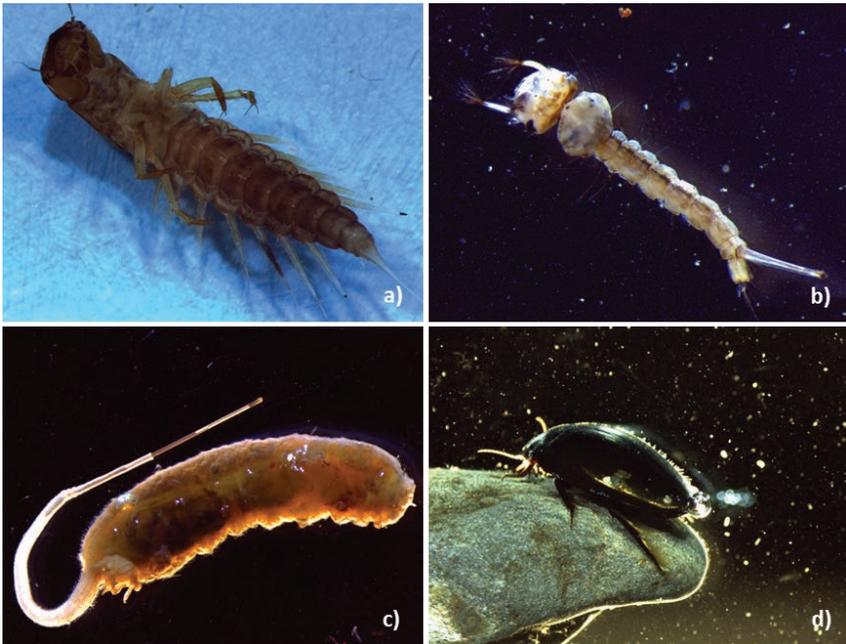


Figura 7.2. Exemplos de mecanismos respiratórios dos invertebrados aquáticos: a) prolongamentos com função respiratória de Megaloptera *Sialis* sp.; b) extensão do abdômen de Diptera Culicidae; c) extensão do abdômen de Diptera Syrphidae; d) captura de bolhas de ar em zonas posteriores do corpo de um Coleoptera Dytiscidae após deslocação à superfície da água. Fotografias: Sônia Serra.

6. Variabilidade das comunidades com os tipos de rios portugueses

A diversidade de invertebrados aquáticos reflete as diferentes condições abióticas e bióticas que se fazem sentir nos rios. Portugal continental apresenta uma variabilidade ecológica acentuada por se localizar na transição climática entre a região Atlântica Central (norte) e a região Mediterrânica Ocidental (sul), apresentando ainda diferenças entre as zonas litorais e interiores¹⁵. Sobre esta regionalização climática, sobrepõe-se a geomorfologia do território, que origina um norte mais montanhoso e declivoso em oposição a um sul mais plano com altitudes em geral inferiores.

Por último, o substrato geológico, composto por rochas de diferentes solubilidades, influencia as características físico-químicas das águas superficiais. O norte do território continental é predominantemente constituído por granitos (originando águas com baixa mineralização) enquanto o sul é predominantemente formado por xistos (originando águas de média mineralização), com manchas apreciáveis de calcários (originando águas de elevada mineralização) em várias partes do país. Adicionalmente, os rios, ao fluírem das montanhas para as planícies, vão adquirindo diferentes aspetos, estabelecendo-se um gradiente longitudinal nas condições físicas e biológicas¹⁶⁻¹⁹.

As variáveis morfoclimáticas (declive, altitude, temperatura, precipitação e escoamento) vão influenciar de forma direta ou indireta também a quantidade e o fluxo de água e o tipo de alimento disponível para o estabelecimento das comunidades de macroinvertebrados. A norte de Portugal ocorrerá uma maior disponibilidade hídrica e maior hidrodinamismo, em oposição ao sul, cuja menor disponibilidade hídrica conduz a menores caudais. No sul, também como consequência da menor disponibilidade hídrica, muitos rios são temporários, caracterizados pela ausência de caudal superficial durante uma parte do ano (estação seca)²⁰.

No norte, os caudais são mais permanentes, com fundos mais pedregosos sobretudo a montante, capazes de sustentar comunidades de macroinvertebrados mais diversificadas e maiores densidades de organismos, incluindo os EPT (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera), importantes bioindicadores de hidrodinamismo^{10,21,22}. Nos rios Mediterrânicos do sul, com menor hidrodinamismo e taxas de oxigenação da água mais baixas, os EPT surgem menos representados enquanto os OCH (Odonata, Coleoptera e Heteroptera) se tornam mais abundantes^{15,22-24}. Nestes rios, as comunidades de macroinvertebrados tendem a ser dominadas por organismos mais resistentes a menores concentrações de oxigénio e maior teor em matéria orgânica como sucede com as famílias Baetidae e Caenidae (Ephemeroptera), Hydropsychidae (Trichoptera), Chironomidae e Ceratopogonidae (Diptera).

O território dos arquipélagos dos Açores e da Madeira apresentam comunidades de água doce muito diferentes das que se encontram no continente. O efeito de ilha torna as suas comunidades de macroinvertebrados muito específicas das quais se destaca a ausência de Plecoptera²⁸.

7. Macroinvertebrados como bioindicadores

Historicamente os invertebrados aquáticos foram um dos primeiros elementos biológicos a serem utilizados na avaliação da qualidade ou saúde dos rios por diversas razões: (i) facilidade de colheita e diversidade de formas detetadas a olho nu (macroinvertebrados); (ii) presença em quase todos os habitats aquáticos; (iii) mobilidade limitada ou natureza sésil que faz com que estejam sujeitos de forma contínua às condições específicas do local onde se encontram; (iv) ciclos de vida consideravelmente longos para refletir efeitos crónicos de poluição, mas também suficientemente curtos para responderem a alterações agudas na qualidade dos sistemas (p.ex., uma descarga

de efluentes); e (v) grande número de espécies de sensibilidades variadas a diferentes tipos de perturbação antropogénica²⁹.

As diversas adaptações e estratégias dos invertebrados aquáticos (p.ex., alimentares e respiratórias) garantem a sua capacidade de lidar com toda a diversidade de condições ambientais encontrada nos habitats ribeirinhos. No entanto, se ocorrer uma alteração da qualidade da água provocada, por exemplo, pela descarga de um efluente industrial, ou uma alteração nos habitats típicos de um rio (p.ex., pela construção de uma barragem), a comunidade de macroinvertebrados irá refletir essas alterações. As alterações podem incluir a substituição de espécies por outras mais adaptadas às novas condições, ou o aumento ou a diminuição de densidades. Assim, a qualidade da água num determinado local poderá ser inferida pela análise da sensibilidade dos organismos presentes num determinado momento, ou pela análise das suas comunidades de macroinvertebrados em comparação com comunidades de referência (i.e., de rios não alterados) para aquele tipo de rio (Capítulo 14)³⁰.

Em Portugal, já desde a década de 1980, que são feitos estudos com vista à avaliação da qualidade ecológica dos rios com base nos macroinvertebrados. Estes primeiros trabalhos foram desenvolvidos em regiões diversas do país: a norte nos rios Atlânticos³¹ e rios de nordeste²¹, em diversas bacias de drenagem do centro do país^{18,32} e em rios temporários Mediterrânicos do sul do país²³. Os primeiros estudos utilizavam essencialmente índices bióticos como o *Belgium Biotic Index* (BBI) mas sobretudo o *Iberian Biological Monitoring Working Party* (IBMWP), a adaptação Ibérica do índice britânico BMWP. Estes índices são baseados na sensibilidade das espécies à contaminação orgânica e foram usados para obter uma classificação de integridade de um determinado local, ou tendo como objetivo avaliar perturbações específicas como o efeito de um açude ou atividades industriais^{23,33,34}.

A partir do início do século XXI foram introduzidas abordagens mais complexas na avaliação ecológica, como é o caso dos modelos

preditivos que permitem prever a comunidade biológica esperada num rio a partir das suas características abióticas e compará-la com a comunidade observada. O desvio na composição da comunidade observada em relação à esperada é um indicador quantitativo de perturbação. O primeiro modelo preditivo em Portugal foi elaborado para a bacia do rio Mondego³⁵ ao qual se seguiram modelos para todo o país utilizando abordagens estatísticas diferentes^{15,36} (Capítulo 14).

As proporções relativas dos *traits* dos invertebrados de uma comunidade podem também ser usados para avaliar a qualidade de um ambiente sob o ponto de vista funcional³⁷. Por exemplo, diminuições na abundância de fragmentadores podem revelar uma perturbação no corredor ripária (como o corte da vegetação ou introdução de espécies exóticas). Mais recentemente, têm sido desenvolvidos estudos no sentido de testar a utilização destes *traits* considerando toda a comunidade^{38,39} ou apenas uma parte, por exemplo, só os Diptera Chironomidae^{40,41} na avaliação funcional dos rios.

Em Portugal, e no âmbito da Diretiva Quadro da Água (DQA)²⁵, foi estabelecido um protocolo de amostragem oficial e standardizado para a utilização de macroinvertebrados bentónicos na classificação ecológica dos rios⁴². A amostragem é realizada nos habitats mais bem representados no rio (multi-habitat) utilizando uma rede de mão com uma abertura de 25 cm de largura e malha de 0,5 mm colocada no fundo do rio (Capítulo 14).

8. Endemismos

As espécies endémicas são as que têm uma distribuição limitada a certas áreas, requerendo habitats particulares. As suas características próprias e fatores externos determinaram o isolamento (geográfico ou comportamental) das populações, de forma que, deixando de se cruzar com outras populações da mesma espécie, evoluíram sepa-

radamente originando outra espécie. A Península Ibérica, incluindo Portugal, está entre as áreas mais relevantes da Europa no que diz respeito à concentração de espécies endémicas.

Entre outros, os fatores históricos foram determinantes na distribuição atual das espécies na Península: enquanto as populações do norte se extinguíam a cada era de gelo, as populações do sul sobreviveram à severidade destas eras, subindo ou descendo montanhas. Além disso, a região mediterrânica fica na transição entre duas ecozonas (paleártico e paleotrópico) albergando espécies típicas das duas regiões.

No território continental Português está confirmada a ocorrência de espécies endémicas Europeias, como é caso de duas libélulas: *Gomphus graslinii* e *Macromia splendens*, listadas como ameaçadas na Europa e restritas a poucos rios no sudoeste da França, Espanha e Portugal⁴³. Também são encontrados endemismos Ibéricos, como o *Sericostoma vittatum* (Trichoptera; Figura 7.3a), o *Echinogammarus meridionalis* (Amphipoda) e o *Unio tumidiformis* (Bivalvia)⁴⁴⁻⁴⁶. O *Unio tumidiformis* considera-se vulnerável pela destruição do seu habitat, apresentando uma distribuição restrita à bacia dos rios Guadiana, Mira e Sado, onde vive enterrado em sedimentos finos ou lodo, em áreas próximas às margens dos rios, e muitas vezes associadas a raízes da vegetação ripária em rios com regime torrencial no inverno e reduzidos a poças no verão.

Endemismos de invertebrados de rio confinados ao território nacional são conhecidos sobretudo nos arquipélagos dos Açores e da Madeira²⁸, como por exemplo: os Diptera da família Chironomidae *Diamesa alata* e *Microsepta freyi*, ambos endémicos da Madeira e dos Açores; os Trichoptera *Polycentropus flavostictus* e *Limnephilus atlanticus* endémicos da Madeira e dos Açores, respetivamente; os Coleoptera *Agabus maderensis* e *Anacaena conglobata* confinados à Madeira, enquanto o *Hydroporus guernei* apenas pode ser encontrado nos Açores; dentro dos Odonata, a libélula *Sympetrum nigrifemur* é exclusiva da Madeira e das Canárias⁴⁷.

Sendo os endemismos limitados em distribuição e muitas vezes representados por populações pouco numerosas, encontram-se frequentemente ameaçados pela destruição do seu habitat pelo que a sua conservação deverá ser auxiliada pelo interesse e mobilização do público em geral.

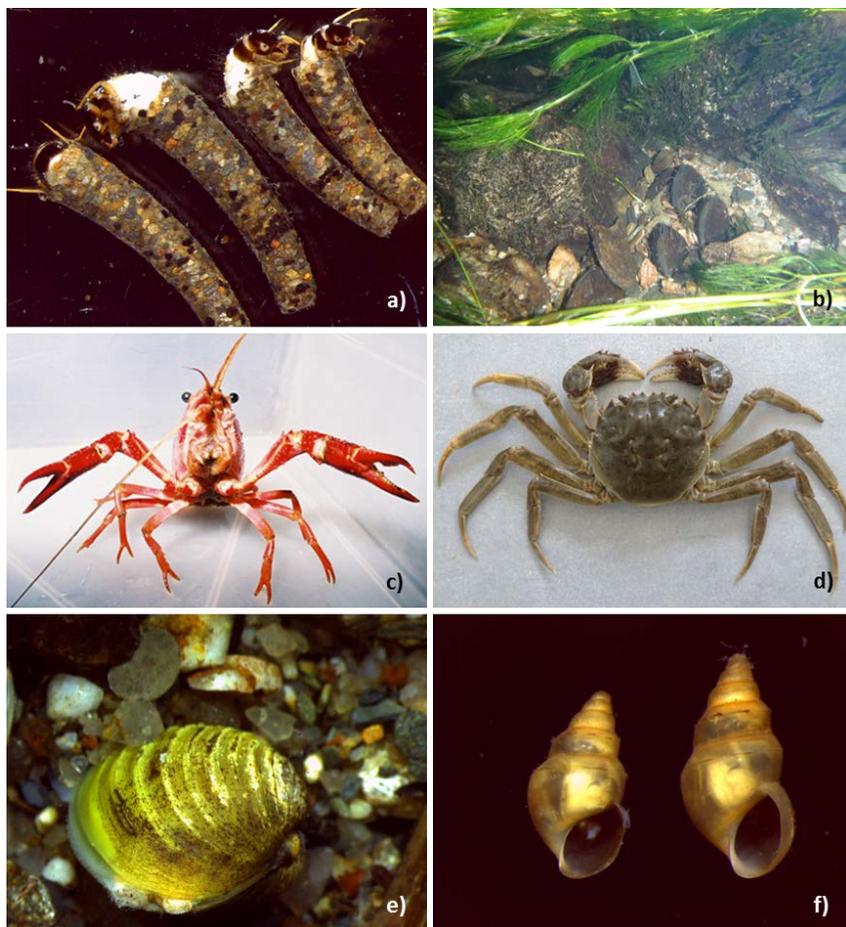


Figura 7.3. Exemplos de espécies endémicas e/ou ameaçadas ou invasoras: a) indivíduos de *Sericostoma vittatum*, endemismo Ibérico; b) indivíduos de *Margaritifera margaritifera*, espécie ameaçada; c) *Procambarus clarkii*, espécie invasora; d) *Eriocheir sinensis*, espécie invasora; e) *Corbicula fluminea*, espécie invasora; f) indivíduos de *Potamopyrgus antipodarum*, espécie invasora. Fotografias: a, e–f, Sónia Serra; b, Simone Varandas; c–d, Pedro Anastácio.

9. Espécies ameaçadas

As comunidades de macroinvertebrados dos sistemas Mediterrânicos encontram-se sujeitas a inúmeras ameaças, relacionadas com o aumento constante da pressão humana e com as alterações climáticas, como períodos de seca mais alargados e aumento dos incêndios, que se refletem na perda de qualidade da água e conectividade fluvial⁴⁸⁻⁵⁰. No entanto, a incerteza taxonómica e a falta de informação acerca da distribuição e abundância da maior parte das espécies de macroinvertebrados aquáticos fazem com que seja impossível a atribuição de estatutos de conservação adequados⁵¹. Só alguns grupos de macroinvertebrados mais emblemáticos estão melhor estudados, como os Moluscos⁵² e os Odonata⁵³, e têm já definido o seu estatuto de conservação a nível europeu. Um desses casos é o do bivalve *Margaritifera margaritifera* (Figura 7.3b), redescoberto em seis rios da bacia do Douro depois de ter sido dado como extinto em Portugal⁵⁴. O seu estatuto de conservação está definido como “Em Perigo”, uma vez que, apesar da sua distribuição holártica, sofreu um decréscimo populacional muito acentuado em todas as regiões da sua distribuição (90% na Europa) fruto da poluição das águas, da construção de barragens, da regularização dos caudais e do desaparecimento progressivo dos salmonídeos, hospedeiros das larvas desta espécie⁵⁵.

Quanto aos Odonata (Libélulas e Libelinhas), ocorrem nos rios portugueses várias espécies consideradas ameaçadas a nível europeu⁴⁷, como por exemplo: *Onychogomphus costae* (espécie considerada “Em Perigo” na Europa), *Lestes macrostigma*, *Macromia splendens*, *Ortbetrum nitidinerve* ou *Zygonyx torridus* (espécies com o estatuto de conservação “Vulnerável”). Em alguns casos, os estatutos de conservação desfavoráveis estão intimamente relacionados com o grau de endemismo das espécies, como no caso de *Ischnura bastata*, considerada vulnerável, encontrada no continente Americano e com uma única população conhecida nos Açores que se reproduz

exclusivamente por partenogénese (reprodução assexuada de animais em que o embrião se desenvolve de um óvulo sem ocorrência da fertilização)⁴⁷. As principais ameaças a estas populações de Odonata são comuns às dos outros macroinvertebrados, nomeadamente a fragmentação e a deterioração do habitat.

10. Invertebrados invasores

Só na União Europeia os danos causados anualmente por espécies invasoras (transportadas pelo homem para uma área de onde não são nativas e aí estabelecidas) são superiores a 12 mil milhões de euros⁵⁶. As águas doces são profíceas em espécies invasoras, com tendência para aumentar com o tempo. O invertebrado aquático invasor mais conhecido em Portugal é o lagostim-vermelho da Luisiana (*Procambarus clarkii*; Figura 7.3c), proveniente de duas introduções intencionais em Espanha, respetivamente em 1973 e 1974. Esta espécie expandiu-se para Portugal, estando neste momento presente em todas as nossas bacias hidrográficas, e também nos Açores, presumivelmente introduzido por aquarofilistas⁵⁷. São conhecidos, por exemplo, os seus estragos sobre a produção de arroz, sobre a biodiversidade de macroinvertebrados e sobre a comunidade de anfíbios⁵⁸. No entanto, vários predadores passaram a utilizar este lagostim como recurso como é o caso da lontra e da cegonha.

Outro invertebrado invasor importante é o caranguejo-peludo-chinês (*Eriocheir sinensis*; Figura 7.3d), espécie migradora muito bem implantada no rio Tejo⁵⁹, mas que necessita de estuários para se reproduzir. Os efeitos ecológicos desta espécie em Portugal ainda não são bem conhecidos, mas causa danos avultados à pesca fluvial⁶⁰.

Ainda em relação a crustáceos decápodes, há outra invasão relativamente recente: o lagostim-sinal (*Pacifastacus leniusculus*) que se encontra em expansão no interior norte do país⁶¹. É importante

referir que o lagostim-sinal e o lagostim-vermelho da Luisiana são portadores do fungo parasita *Aphanomyces astaci*, causador da afanomicose, uma doença que dizima as populações de lagostins europeus. Finalmente, há ainda outro exemplo de crustáceos com carácter invasor e em plena expansão: o anfípode *Crangonyx pseudogracilis* de origem norte-americana, mas bem estabelecido em vários países europeus, foi detetado recentemente em Portugal, sendo a primeira espécie invasora conhecida deste grupo na Península Ibérica⁶².

Dentro dos moluscos, a amêijoia-asiática (*Corbicula fluminea*; Figura 7.3e) está presente em Portugal pelo menos desde os anos 1980⁶³. Esta é uma espécie muito tolerante a uma gama vasta de condições ambientais e os seus impactos negativos relacionam-se com a sua capacidade para crescimento populacional rápido, por vezes com mortalidades súbitas em massa⁶⁴, e para potencialmente competir com populações de bivalves nativos. Podem também colmatar sistemas de transporte e bombagem de água. Também duas espécies de caracóis aquáticos comuns, *Potamopyrgus antipodarum* (Figura 7.3f) e *Physella acuta* (mesmo que: *Physa acuta*) são invasoras^{65,66}, no entanto, não sendo invasões recentes, pode ser difícil estimar os danos reais provocados.

Para evitar a chegada de novas espécies invasoras ou dificultar a expansão das que já invadiram território nacional, é importante agir sobre os vetores conhecidos e que possam ser controlados, bem como sobre as áreas de maior risco de entrada. Sabe-se que as invasoras aquáticas podem ser transportadas através de inúmeras atividades humanas ligadas à água e cujo risco pode de algum modo ser minimizado. A prevenção é a melhor medida evitando a libertação de espécies exóticas, bem como o transporte de espécies entre regiões/continentes. Caso a prevenção falhe é importante saber identificar as espécies invasoras (algumas podem ser difíceis de distinguir imediatamente das nativas) para que possam ser erradicadas travando sua proliferação sem afectar as populações

naturalmente presentes. No entanto, também é possível o transporte por vetores animais, sendo neste caso virtualmente impossível um controlo eficiente.

11. Outras leituras

AQUAWEB: <http://aquaweb.uc.pt/>, Feio M.J. (ed.). Plataforma online para a avaliação da qualidade das águas dos rios com base nas suas comunidades e chave digital para famílias de invertebrados.

Fauna Ibérica IX: <http://www.fauna-iberica.mncn.csic.es/>, Ramos M.A. (coordenador), CGL2007-66786-C8. Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC). Departamento de Biodiversidad y Biología Evolutiva. España, Madrid

Serra S., Coimbra N. & Graça M.A.S. 2009. *Invertebrados de água doce: chave de identificação das principais famílias*. Imprensa da Universidade de Coimbra. Portugal, Coimbra

Tachet H., Richoux P., Bournaud M. & Usseglio-Polatera P. 2010. *Invertébrés d'eau douce*, Nouvelle Edition. Centre National de la Recherche Scientifique Press. France, Paris

12. Referências bibliográficas

¹Graça M.A., Coimbra N., Carvalho M.J., Oliveira R. & Abelho M. 2002. Freshwater macroinvertebrates in the Mondego river basin. In: Pardal M.A., Marques J.C. & Graça M.A. (eds.) *Aquatic ecology of the Mondego River Basin: Global importance of local experience*. Imprensa da Universidade de Coimbra. Portugal, Coimbra, pp. 115–124

²Schmidt-Kloiber A. & Hering D. 2015. www.freshwaterecology.info - an online tool that unifies, standardises and codifies more than 20,000 European freshwater organisms and their ecological preferences. *Ecol. Ind.* 53: 271–282

³Schmidt-Kloiber A. & Hering D. (eds.) www.freshwaterecology.info - the taxa and autecology database for freshwater organisms, version 7.0. (ultimo acesso: 22-07-2017)

⁴Serra S., Coimbra N. & Graça M. 2009. *Invertebrados de água doce: chave de identificação das principais famílias*. Imprensa da Universidade de Coimbra. Portugal, Coimbra

⁵Likens G.E. (ed.) 2010. *River ecosystem ecology: a global perspective*. Academic Press Inc./ Elsevier Science Publishing Co. Inc. USA, San Diego

⁶Rosenberg D.M. & Resh V.H. (eds.) 1993. *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Chapman & Hall. USA, New York

- ⁷Wallace J.B. & Webster J.R. 1996. The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. *Annu. Rev. Entomol.* 41: 115–139
- ⁸Cummins K.W. 1974. Structure and function of stream ecosystems. *BioScience* 24: 631–641
- ⁹Covich A.P., Palmer M.A. & Crowl T.A. 1999. The role of benthic invertebrate species in Freshwater ecosystems: zoobenthic species influence energy flows and nutrient cycling. *BioScience* 49: 119–127
- ¹⁰Graça M.A.G., Pinto P., Cortes R., Coimbra N., Oliveira S., Morais M., Carvalho M.J. & Malo J. 2004. Factors affecting macroinvertebrate richness and diversity in Portuguese streams: a two-scale analysis. *Int. Rev. Hydrobiol.* 89: 151–164
- ¹¹Graça M.A.S., Ferreira R.C. & Coimbra C.N. 2001. Litter processing along a stream gradient: the role of invertebrates and decomposers. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 20: 408–420
- ¹²Angermier P.L. & Karr J.R. 1994. Biological integrity versus biological diversity as policy directives. *BioScience* 44: 690–97
- ¹³Ward J.V. 1992. *Aquatic Insect Ecology. Vol 1: Biology and Habitat.* John, Wiley & Sons Ltd. USA, New York
- ¹⁴Ziglio G., Siligardi M. & Flaim G. 2006. *Biological monitoring of rivers.* John Wiley & Sons Ltd. UK, Chichester
- ¹⁵Feio M.J., Norris R.H., Graça M.A.S. & Nichols S. 2009. Water quality assessment of Portuguese streams: Regional or national predictive models? *Ecol. Ind.* 9: 791–806
- ¹⁶Chaves M.L., Costa J.L., Chainho P., Costa M.J. & Prat N. 2011. Are Water Framework Directive stream types biologically relevant? The case of the Mondego river, Portugal. *Ann. Limnol. - Int. J. Limol.* 47: 119–131
- ¹⁷Feio M.J., Vieira-Lanero R., Ferreira V. & Graça M.A.S. 2005. The role of the environment in the distribution and composition of Trichoptera assemblages in streams. *Arch. Hydrobiol.* 164: 493–512
- ¹⁸Graça M.A.S., Fonseca D.M. & Castro S.T. 1989. The distribution of macroinvertebrate communities in two Portuguese rivers. *Freshwat. Biol.* 22: 297–308
- ¹⁹Vannote R.L.G., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedell J.R. & Cushing C.E. 1980. The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 130–137
- ²⁰Pinto P.P., Rosado J., Morais M. & Antunes I. 2004. Assessment methodology for southern siliceous basins in Portugal. *Hydrobiologia* 516: 191–214
- ²¹Cortes R.M.V. 1992. Seasonal pattern of benthic communities along the longitudinal axis of river systems and the influence of abiotic factors on the spatial structure of those communities. *Arch. Hydrobiol.* 126: 85–103
- ²²Feio M.J. & Pinto P. 2009. Tipologia e cenários biológicos do elemento macroinvertebrados. *Recursos Hídricos* 30: 29–37
- ²³Coimbra C.N., Graça M.A.S. & Cortes R.M. 1996. The effects of a basic effluent on macroinvertebrate community structure in a temporary Mediterranean River. *Environ. Pollut.* 94: 301–307
- ²⁴Graça M.A.S. & Coimbra C.N. 1998. The elaboration of indices to assess biological water quality. A case study. *Water Res.* 32: 380–392

- ²⁵Comissão Europeia. 2000. Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Outubro de 2000, que estabelece um Quadro de Acção Comunitária no Domínio da Política da Água. *J. Oficial Com. Europeias* L327: 1-72
- ²⁶Alves M.H., Bernardo J.M., Cortes R.V., Feio M.J., Ferreira J., Ferreira M.T, Figueiredo H., Formigo N., Ilhéu M., Morais M., Pádua J., Pinti P. & Rafael T. 2006. Tipologia de rios em Portugal Continental no âmbito da Diretiva Quadro da Água. *Actas do 8º Congresso da água*, Portugal, Figueira da Foz
- ²⁷INAG. 2008. *Tipologia de Rios em Portugal continental no âmbito da implementação da directiva quadro da água. I. Caracterização abiótica*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Instituto da Água, I. P. Portugal, Lisboa
- ²⁸Raposeiro P.M., Cruz A.M., Hughes S.J. & Costa A.C. 2012. Azorean freshwater invertebrates: status, threats and biogeographic notes. *Limnetica* 31: 13–22
- ²⁹Bonada N., Prat N., Resh V.H. & Statzner B. 2006. Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. *Annu. Rev. Entomol.* 51: 495–523
- ³⁰Chaves M. L., Costa J. L., Chainho P., Costa M. J. & Prat N. 2006. Selection and validation of reference sites in small river basins. *Hydrobiologia* 573: 133–154
- ³¹Fontoura A.P. 1984. Les communautés de macro-invertébrés du bassin hydrographique du fleuve Lima comme indicateurs de la qualité biologique de l'eau. *Publ. Inst. Zool. Fac. Ciênc. Porto.* 183: 1–20
- ³²Moreira M.H., Canha A.P., Franco O.M. & Moura A.M. 1988. Comunidades de macroinvertebrados do rio Caima e do curso superior e médio do Vouga: cartografia da qualidade biológica da água. *Rev. Biol. Aveiro* 2: 41–85
- ³³Fontoura P. & Moura A.M. 1984. Effects of some industrial effluents in the biological quality of the water of the river Lima. *Publ. Inst. Zool. Fac. Ciênc.* 184: 1–21
- ³⁴Graça M.A.S., Coimbra C.N. & Santos L.M. 1995. Identification level and comparison of biological indicators in biomonitoring programs. *Ciênc. Biol. Ecol. Syst. (Portugal)* 15: 9–20
- ³⁵Feio M.J., Reynoldson T.B., Ferreira V. & Graça M.A.S. 2007. A predictive model for the water quality bioassessment of the Mondego catchment, central Portugal. *Hydrobiologia* 589: 55–68
- ³⁶Feio M.J., Viana-Ferreira C. & Costa C. 2014. Combining multiple machine learning algorithms to predict taxa under reference conditions for streams bioassessment. *River Res Appl.* 30: 1157–1165
- ³⁷Statzner B., Bis B., Dolédec S. & Usseglio-Polatera P. 2001. Perspectives for biomonitoring at large spatial scales: a unified measure for the functional composition of invertebrate communities in European running waters. *Basic Appl. Ecol.* 2: 73–85
- ³⁸Feio M.J. & Doledec S. 2012. Integration of invertebrate traits into predictive models for indirect assessment of stream ecological functioning: a case study in Portugal. *Ecol. Ind.* 15: 236–247
- ³⁹Hughes S.J., Santos J.M., Ferreira M.T., Caraça R. & Mendes A.M. 2009. Ecological assessment of an intermittent Mediterranean river using community structure

- and function: evaluating the role of different organism groups. *Freshwat. Biol.* 54: 2383–2400
- ⁴⁰Serra S.R.Q., Graça M.A.S., Dolédec S. & Feio M.J. 2017. Chironomidae traits and life history strategies as indicators of anthropogenic disturbance. *Environ. Monit. Assess.* 189: 326
- ⁴¹Serra S.R.Q., Graça M.A.S., Dolédec S. & Feio M.J. 2017. Discriminating permanent from temporary rivers with traits of chironomid genera. *Ann. Limnol. - Int. J. Lim.* 53: 161–174
- ⁴²INAG 2008. *Manual para a avaliação biológica da qualidade da água em sistemas fluviais segundo a Directiva Quadro da Água – Protocolo de amostragem e análise para os macroinvertebrados bentónicos*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Instituto da Água, I. P. Portugal, Lisboa
- ⁴³Sahlén G., Bernard R., Cordero Rivera A., Ketelaar R. & Suhling F. 2004. Critical species of Odonata in Europe. *Int. J. Odonatol.* 7: 385–398
- ⁴⁴Feio M.J. & Graça M.A.S. 2000. Food consumption by larvae of *Sericostoma vittatum* (Trichoptera), an endemic species from the Iberian Peninsula. *Hydrobiologia* 439: 7–11
- ⁴⁵Gama M., Marquéz L., Banha F. & Anastácio P. 2017. Coexistence patterns between the invasive amphipod *Crangonyx pseudogracilis* and native *Echinogammarus meridionalis*: a laboratory approach. *Fundam. Appl. Limnol.* 190: 133–140
- ⁴⁶Reis J. & Araújo R. 2009. Redescription of *Unio tumidiformis* Castro, 1885 (Bivalvia, Unionidae), an endemism from the south-western Iberian Peninsula. *J. Nat. Hist.* 43: 1929–1945
- ⁴⁷Ferreira S., Grosso-Silva J.M., Lohr M., Weihrauch F. & Jödicke R. (2006) Critical checklist of Odonata of Portugal. *Int. J. Odonatol.* 9: 133–150
- ⁴⁸Filipe A.F., Lawrence J.E. & Bonada N. 2013. Vulnerability of stream biota to climate change in mediterranean climate regions: a synthesis of ecological responses and conservation challenges. *Hydrobiologia* 719: 331–351
- ⁴⁹Merenlender A.M. & Matella M.K. 2013. Maintaining and restoring hydrologic habitat connectivity in Mediterranean streams: an integrated modeling framework. *Hydrobiologia* 719: 509–525
- ⁵⁰Strayer D.L. 2006. Challenges for freshwater invertebrate conservation. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 25: 271–287
- ⁵¹Bouchet P., Falkner G. & Seddon M.B. 1999. Lists of protected land and freshwater molluscs in the Bern Convention and European Habitats Directive: are they relevant to conservation? *Biol. Conserv.* 90: 21–31.
- ⁵²Lopes-Lima M., Teixeira A., Froufe E., Lopes A., Varandas S. & Sousa R. 2014. Biology and conservation of freshwater bivalves: past, present and future perspectives. *Hydrobiologia* 735: 1–13
- ⁵³Kalkman V., Boudot J.P., Bernard R., Conze K.J., Knijf G., Dyatlova E., Ferreira S., Jović M., Ott J., Riservato E. & Sahlén G. 2010. *European red list of dragonflies*. IUCN Publications.
- ⁵⁴Reis J. 2003. The freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* (L.) (Unionoida: Bivalvia) rediscovered in Portugal and threats to its survival. *Biol. Conserv.* 114: 447–452

- ⁵⁵Geist J. 2010. Strategies for the conservation of endangered freshwater pearl mussels (*Margaritifera margaritifera* L.): a synthesis of conservation genetics and ecology. *Hydrobiologia* 644: 69–88
- ⁵⁶European Commission 2013. *Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on the prevention and management of the introduction and spread of invasive alien species*. (COM(2013)0620 – C7-0264/2013 – 2013/0307(COD)). Bélgica, Bruxelas
- ⁵⁷Costa A.C., Correia A.M. & Rodrigues M.L. 1996. Monitoring a population of *Procambarus clarkii* (Decapoda, Cambaridae) in Sao Miguel (Azores, Portugal). *Freshwat. Crayfish* 11: 203–212
- ⁵⁸Souty-Grosset C., Anastácio P.M., Aquiloni L., Banha F., Choquer J., Chucholl C. & Tricarico E. 2016. The red swamp crayfish *Procambarus clarkii* in Europe: Impacts on aquatic ecosystems and human well-being. *Limnologia* 58: 78–93
- ⁵⁹Wójcik D., Wojtczak A., Anastácio P. & Normant M. 2014. The highly invasive Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* in the Tagus Estuary, Portugal: morphology of the specimens 20 years after the first captures. *Ann. Limnol. - Int. J. Lim.* 50: 249–251
- ⁶⁰Coelho A.F. 2014. *Distribuição e abundância da espécie exótica Eriocheir sinensis no estuário do Tejo*. Tese de Mestrado. Universidade de Évora. Portugal, Évora
- ⁶¹Anastácio P.M., Banha F., Capinha C., Bernardo J.M., Costa A.M., Teixeira A. & Bruxelas S. 2015. Indicators of movement and space use for two co-occurring invasive crayfish species. *Ecol. Indic.* 53: 171–181
- ⁶²Grabowski M., Rachalewski M., Banha F. & Anastácio P. 2012. *Crangonyx pseudogracilis* Bousfield, 1958 – the first alien amphipod crustacean in freshwaters of Iberian Peninsula (Portugal). *Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst.* 404: 11
- ⁶³Mousson J. 1981. Sur la présence en France et au Portugal de *Corbicula* (Bivalvia, Corbiculidae) originaire d'Asie. *Basteria* 45: 109–116
- ⁶⁴Ilarri M., Antunes C., Guilhermino L. & Sousa R. 2011. Massive mortality of the Asian clam *Corbicula fluminea* in a highly invaded area. *Biol. Inv.* 13: 277–280
- ⁶⁵Heuss K. 1961. *Potamopyrgus jenkinsi* (E. A. Smith) in Portugal. *Arch. für Molluskenkd.* 90: 249
- ⁶⁶Morelet A. 1845. *Description des mollusques terrestres et fluviatiles du Portugal, par Arthur Morelet*. J.-B. Baillière. France, Paris