



CAPTAR
ciência e ambiente para todos

volume 4 • número 1 • p 57-71

Efeitos de alterações ambientais em populações de invertebrados: uma abordagem prática

Mudanças climáticas podem alterar a dinâmica de ecossistemas e, sendo um problema que atualmente motiva preocupações, tem integrado agendas internacionais, designadamente no âmbito das Nações Unidas e da União Europeia. Numa perspetiva de Educação para Desenvolvimento Sustentável (EDS), importa promover o desenvolvimento de competências necessárias à compreensão de dimensões sociais e económicas de mudanças ambientais globais, em particular as relacionadas com comportamentos quotidianos necessários para implementar estratégias de resolução ou mitigação de problemas ambientais. Neste texto apresentam-se e discutem-se atividades realizadas com alunos do Ensino Secundário, no âmbito do programa de Ocupação Científica de Jovens nas Férias 2010, em se procurou envolvê-los na aprendizagem de conceitos estruturantes em Biologia, abordando problemas globais atuais, associados a alterações climáticas (e.g. salinização de lagoas costeiras de água doce e aumento de temperatura). As atividades práticas realizadas incluíram um *design* experimental: duas espécies de cladóceros de água doce (*Daphnia longispina* e *Daphnia magna*) foram sujeitas a agentes de *stress* abióticos – salinidade e temperatura. Verificou-se que a salinidade, em conjunto com a temperatura, pode causar perturbações em populações das espécies de cladóceros estudadas e, conseqüentemente, alterar a sua função na regulação das teias tróficas, e.g. num lago, comprometendo todo o ecossistema. Com base na observação dos desempenhos dos alunos e na análise das suas respostas a um questionário de avaliação, verificou-se que as atividades práticas realizadas fomentaram o desenvolvimento de competências necessárias para tratar e interpretar dados, assim como para estabelecer relações entre os resultados obtidos e problemas ambientais.

Palavras-chave

alterações climáticas
salinidade
temperatura
Daphnia longispina
Daphnia magna
educação científica

Cláudia Loureiro^{1,2*}

Fernando Gonçalves^{1,2}

Maria Arminda Pedrosa³

Joana Luísa Pereira^{1,2}

Sara Cristina Antunes^{2,4}

Bruno Branco Castro^{1,2}

¹ Departamento de Biologia da Universidade de Aveiro, Portugal.

² CESAM-Centro de Estudos do Ambiente e do Mar, Universidade de Aveiro, Portugal.

³ Unidade de Química-Física Molecular; Departamento de Química, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Portugal.

⁴ Departamento de Biologia, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Porto, Portugal.

* claudialoureiro@ua.pt

INTRODUÇÃO

Problemas globais atuais, nomeadamente as alterações climáticas relacionadas com o aumento global da temperatura (aquecimento global), têm causado preocupação e discussão a diversos níveis - ambiental, económico e social (UNDP, 2007; UNEP, 2007; AEA, 2010). Em particular, a preocupação ambiental no domínio da água e da biodiversidade tem sido amplamente discutida e analisada por diversas organizações, como a Agência Europeia do Ambiente (AEA) e o Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC), resultando em propostas para resolver ou mitigar os problemas que lhes estão associados (IPCC, 2008; AEA, 2010). Numerosos problemas ambientais e económicos, fortemente interrelacionados com perdas de biodiversidade, resultam dos danos causados à biodiversidade e aos ecossistemas e repercutem-se em problemas sociais. Uma vez que travar a perda de biodiversidade requer políticas articuladas e sustentáveis de conservação (UNEP, 2007, 2012), são muito pertinentes as preocupações ambientais ao nível dos ecossistemas aquáticos, que decorrem da previsível subida do nível médio da água do mar provocada pelo aumento da temperatura média do planeta (IPCC, 2008). Adicionalmente, períodos de seca prolongada e a sobre-exploração de aquíferos podem causar redução do nível freático (água doce subterrânea), levando à entrada de água salgada nos aquíferos costeiros (IPCC, 2002, 2008). Consequentemente podem ocorrer intrusões salinas em lagoas costeiras de água doce, provocando o aumento dos valores da salinidade das suas águas (Schallenberg et al., 2003), de formas brusca ou progressiva. Os organismos que vivem nestes sistemas de água doce terão de desenvolver estratégias para fazer face a alterações, esporádicas ou regulares, da sua salinidade. Alguns estudos sugerem que pequenos incrementos de salinidade podem causar alterações profundas na estrutura das comunidades lacustres (Schallenberg et al., 2003; Jeppesen et al., 2007), podendo traduzir-se em perda da biodiversidade local (IPCC, 2002; AEA, 2007, 2010) e, consequentemente levar à alteração do estado trófico destes ecossistemas aquáticos, nomeadamente ao nível da transparência da água (Jeppesen et al., 2007), uma vez que se modificam condições ambientais que regulam o funcionamento das teias tróficas destes ecossistemas.

Numa perspetiva ecológica, o zooplâncton (*e.g.* pulgas de água, *Daphnia* spp.) é um grupo chave no estudo de sistemas aquáticos (Benzie, 2005) e um excelente modelo animal para investigação e ensino em temáticas ambientais, por exemplo relacionadas com alterações climáticas. As pulgas-de-água (nome genérico dado aos animais pertencentes à ordem Cladocera, ver outros artigos da CAPTar – Castro et al., 2009; Claro et al., 2010) são seres consumidores característicos de ecossistemas de água doce (Schallenberg et al., 2003; Gonçalves et al., 2007), assumindo um papel fundamental como reguladores de produção primária, reciclagem de nutrientes e transferência de energia para níveis tróficos superiores (Hall e Burns, 2002; Sarma et al., 2006; Gonçalves et al., 2007; Castro et al., 2009; Claro et al., 2010). Assim, estes organismos regulam o funcionamento das teias tróficas nos ecossistemas de água doce (Jeppesen et al., 1999; Castro, 2007) e são importantes na avaliação da qualidade ambiental desses sistemas (Castro, 2007). O seu desempenho ecológico constitui um indicador importante na monitorização da qualidade ambiental, podendo ser um fator decisivo na tomada de decisões relativas à utilização de recursos pelas populações humanas.

Os dafniídeos (sobretudo *Daphnia*) têm sido utilizados como modelos biológicos em estudos de Ecologia e Ecotoxicologia e apresentam grande potencialidade para se integrarem em recursos educativos. Apesar de

serem característicos de água doce, várias populações já foram encontradas em ecossistemas aquáticos de água salobra (salinidade entre 0,1 e 2,3), com alguma ligação com o mar (Jeppesen et al., 1994; Schallenberg et al., 2003; Marques et al., 2006; Santangelo et al., 2008; Loureiro et al., 2012). A ocorrência destes zooplânctons em água salobra pode estar associada com a sua capacidade de adaptação a níveis de salinidade baixos, que requer alterações fisiológicas de osmorregulação, dependentes de fatores genéticos (Arnér e Koivisto, 1993; Aladin e Potts, 1995; Martínez-Jerónimo e Martínez-Jerónimo, 2007). A sua tolerância à salinidade pode também estar associada a fatores ambientais, como a temperatura (Hall e Burns, 2002). A interdependência entre salinidade e temperatura pode ser testada experimentalmente em modelos biológicos, como *Daphnia*, para demonstrar efeitos complexos das alterações climáticas. Estudos desta natureza podem corroborar as evidências apresentadas em estudos paleontológicos que correlacionam períodos mais quentes com níveis mais reduzidos de biodiversidade (UNEP, 2008).

Numa perspetiva socioeconómica, cidadãos, enquanto consumidores, devem desenvolver consciência ambiental e ética sobre problemas ambientais. Na estratégia da CEE/ONU reconhece-se *Educação para Desenvolvimento Sustentável* (EDS) como “*um pré-requisito para se atingir o desenvolvimento sustentável e um instrumento essencial à boa governação, às tomadas de decisão informadas e à promoção da democracia*” (UN, 2005). Reafirmando-se a educação como um direito humano fundamental, reconhece-se que a EDS engloba questões de natureza ambiental, social e económica, pelo que *Educação Ambiental* (EA) deve articular-se e complementar-se “*com outras áreas educativas, numa abordagem integrada conducente à EDS*” (UN, 2005). Como a vida quotidiana dos cidadãos depende da biodiversidade, a sua contribuição para a degradação dos ecossistemas e perda de biodiversidade (muitas vezes irreversíveis) põe em causa o desenvolvimento futuro (UNEP, 2007, 2012).

Assim, alterações climáticas e outras problemáticas, de importância crescente, devem articular-se com ideias estruturantes identificáveis em documentos oficiais para todos os níveis de ensino, procurando que os membros das comunidades escolares desenvolvam competências necessárias à implementação de estratégias de resolução ou mitigação de problemas ambientais (OECD, 2009). Para tal, é necessário promover e desenvolver uma educação básica forte que contemple esses problemas (UNEP, 2007) e valorize as dimensões de educação *pelas e sobre* ciências, equilibradamente com educação *em* ciências – educação científica tripolar (Pedrosa e Moreno, 2007). É importante que professores e alunos desenvolvam competências necessárias para decidirem e atuarem mais conscienciosa e fundamentadamente no seu quotidiano, integrando princípios de sustentabilidade e valorizando o desenvolvimento de competências, designadamente de literacia científica (OECD, 2009), como se preconiza em EDS (UN, 2005). Requerendo inovações profundas, integrar EDS em educação científica formal depende prioritariamente da clarificação e articulação de ideias, normalmente não contempladas em perspetivas educativas tradicionais (UNEP, 2007). Tal como sugerem o *Currículo Nacional do Ensino Básico* (CNEB), as *Orientações Curriculares de Ciências Físicas e Naturais* (OCCFN) e os programas de disciplinas de ciências do Ensino Secundário, deve estimular-se o desenvolvimento de competências, nomeadamente competências científicas (Mintzes et al., 2000; OECD, 2009), numa perspetiva complexa que radique na inclusão de princípios de sustentabilidade, na valorização de literacia científica e no desenvolvimento de valores em educação científica para todos (Loureiro et al., 2008; Aikenhead, 2009; Vieira et al., 2011).

O estudo aqui apresentado desenvolveu-se no âmbito de atividades com alunos do Ensino Secundário que se inscreveram no programa de *Ocupação Científica de Jovens nas Férias 2010* (financiado pela Ciência Viva – Agência Nacional para a Cultura Científica de Tecnológica) no Departamento de Biologia e Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM) da Universidade de Aveiro. Os alunos, apoiados por investigadores, tiveram oportunidade de se envolver em atividades práticas relativas à influência da temperatura na tolerância à salinidade em organismos-modelo, representativos dos ecossistemas de água doce, através de ensaios rápidos de tolerância que permitem medir o tempo até à imobilização dos organismos. Utilizaram-se duas espécies de dafnídeos (*Daphnia longispina* e *Daphnia magna*) como modelos biológicos para ajudar a articular problemas globais (e.g., alterações climáticas) e ideias estruturantes em Biologia (e.g., a dinâmica dos ecossistemas). Esta articulação deve constituir uma preocupação das comunidades científicas responsáveis pela construção de conhecimento científico (Loureiro et al., 2008) e requer cooperação entre Universidades e escolas - essencial numa perspetiva de EDS -, de que este estudo é um exemplo.

Assim, recursos didáticos que articulem ideias pertinentes e resultantes da exploração de documentos produzidos por comunidades científicas e/ou de relatórios de organizações internacionais credíveis, podem contribuir para ajudar professores de ciências a clarificar e relacionar conceitos necessários para compreenderem problemas que importam aos cidadãos e, se possível, contribuir para os resolver ou mitigar - fundamental numa perspetiva de EDS. A construção e utilização de recursos, como o da Figura 1, é importante para promover aprendizagens significativas (Mintzes et al., 2000; Novak, 2000), integrar ideias estruturantes em Biologia e em EDS, e indicar algumas organizações internacionais importantes neste âmbito e fontes credíveis de informação pertinente.



MATERIAL E MÉTODOS

Descrição das atividades

As atividades do *Programa de Ocupação Científica no Verão* decorreram durante uma semana no Departamento de Biologia da Universidade de Aveiro, conforme previamente planificadas. Nelas participaram quatro alunas de quatro escolas de Ensino Secundário dos distritos de Aveiro e de Coimbra. As alunas tinham idades compreendidas entre 15 e 17 anos e frequentavam o 10^o e 11^o ano de escolaridade. No primeiro dia, após a receção às alunas, foi feita uma visita ao laboratório onde se iriam realizar as atividades, com apresentação das instalações e familiarização com o material a utilizar. Seguiu-se a apresentação das normas de segurança, uma breve preleção introdutória acerca de conceitos teóricos subjacentes às propostas de atividades e a preparação de meios de cultura a utilizar posteriormente. Nos dias seguintes, foram realizados ensaios experimentais (ver abaixo), registo, interpretação e tratamento de dados, e discussão dos resultados obtidos. Seguidamente foi feita uma reflexão sobre o modo de analisar e de apresentar os dados, com ênfase em construção de gráficos, e discutiu-se meios para o fazer. Após discussão dos resultados obtidos, as alunas escreveram individualmente um relatório sucinto (resultados esperados, metodologias e resultados observados). No final, as alunas avaliaram as atividades realizadas, respondendo individualmente a um questionário escrito correspondente à estrutura da tabela I (em que se apresenta uma síntese das respostas) e às frases apresentadas na primeira coluna.

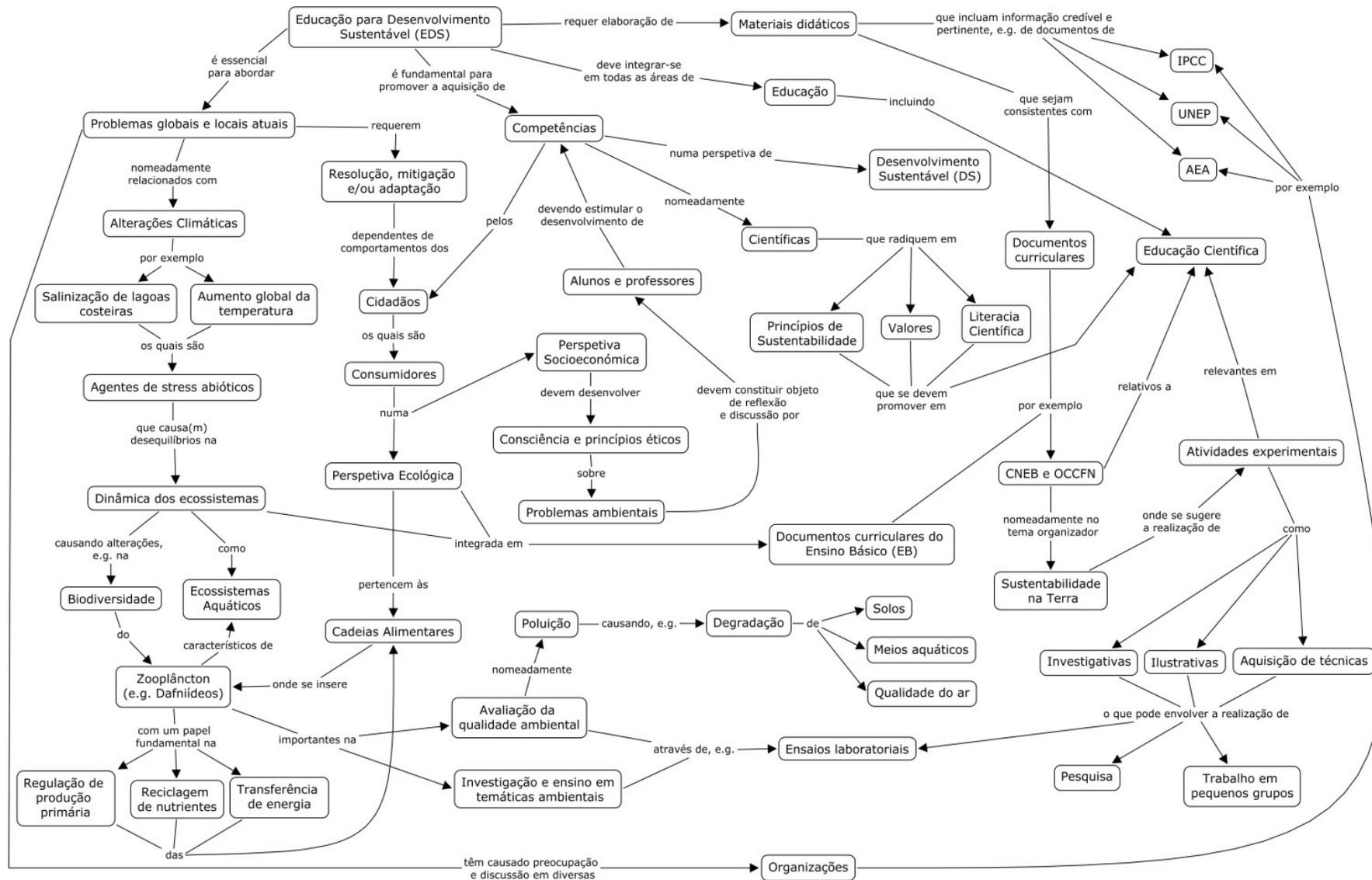


FIGURA 1: Diagrama com conceitos inerentes à problemática da biodiversidade, nomeadamente em ecossistemas aquáticos e respetiva regulação, e comportamentos dos cidadãos, visando o seu envolvimento em alternativas mais sustentáveis – centrais em educação para desenvolvimento sustentável.

Material biológico

As culturas de *D. longispina* (O.F. Müller) (espécie existente em Portugal) e *D. magna* Straus (espécie padrão, não nativa) foram implementadas a partir de exemplares de campo. Ambas são cultivadas há vários anos no Laboratório de Ecologia de Águas Doces, Ecotoxicologia e Risco (LEADER, <http://leader.web.ua.pt>), no Departamento de Biologia da Universidade de Aveiro (<http://www.ua.pt/bio>). As culturas de *D. longispina* foram implementadas pela equipa do LEADER (clone EV20, ver Antunes et al., 2003), ao passo que *D. magna* foi obtida a partir de culturas laboratoriais padrão em laboratórios europeus.

Ambas as espécies foram mantidas em laboratório ao longo de várias gerações em condições de cultura controladas, com temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e fotoperíodo de 16h^{LUZ} ; $8\text{h}^{\text{ESCURO}}$. Os organismos foram cultivados em frascos de vidro de 1 L, em grupos de aproximadamente 40 indivíduos, usando como meio de cultura água reconstituída moderadamente rica em cálcio e magnésio (NaHCO_3 : 81 mg L^{-1} , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: 60 mg L^{-1} , MgSO_4 : 60 mg L^{-1} e KCl : 4 mg L^{-1}) (ASTM, 1980; USEPA, 2002). De forma a proporcionar alguns oligoelementos essenciais, o meio de cultura foi aditivado com um extrato orgânico padronizado (Baird et al., 1989). Instituições internacionais (OCDE e USEPA) recomendam este meio semiartificial (água reconstituída e extrato) para o cultivo de dafnídeos.

A renovação do meio de cultura foi efetuada de 2 em 2 dias. Com a mesma periodicidade, os organismos foram alimentados com a microalga *Pseudokirchneriella subcapitata*, em concentrações de $1,5 \times 10^5$ e $3,0 \times 10^5$ célula mL^{-1} , para *D. longispina* e *D. magna*, respetivamente. As culturas foram renovadas ciclicamente com juvenis nascidos entre a 3ª e a 5ª ninhada. O cultivo de *Daphnia* assenta na sua capacidade de reprodução assexuada, que garante a produção contínua de descendência geneticamente idêntica. Este facto, aliado à padronização das condições de cultura, minimiza a variabilidade das respostas dos organismos entre ensaios experimentais.

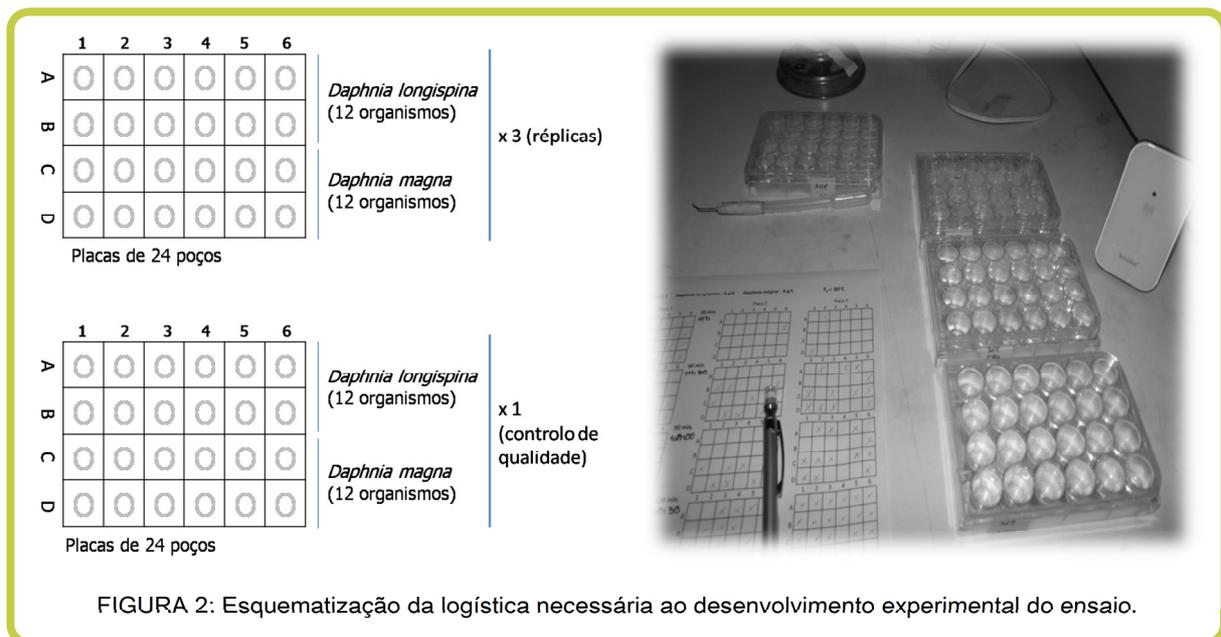
Ensaio de sensibilidade a agentes de stress

Nos ensaios de sensibilidade, monitorizou-se o tempo à imobilização de *D. longispina* e *D. magna* durante a exposição ao stress. Os organismos utilizados tinham 4 a 5 dias e foram recolhidos entre a 3ª e a 5ª ninhada das respetivas culturas. Normalmente, nos ensaios com dafnídeos utilizam-se juvenis com menos de 24 h (neonatos), por estes representarem o estado mais sensível do seu desenvolvimento. Todavia, a utilização de organismos maiores facilita a sua visualização e manuseamento.

De forma a testar o efeito da temperatura sobre a tolerância à salinidade, submeteram-se os organismos a concentrações fixas de cloreto de sódio (NaCl : 6 g L^{-1} para *D. longispina* e 8 g L^{-1} para *D. magna*), que foram definidas com base no conhecimento prévio da tolerância de ambas as espécies a este agente de stress (NaCl). As soluções foram preparadas dissolvendo 6 g e 8 g de NaCl , respetivamente, em 1 L de meio de cultura (ver acima). Foram utilizadas duas condições experimentais: temperatura ótima (20°C), à qual os organismos estavam já aclimatados, e temperatura elevada (30°C). Os ensaios decorreram em placas de 24 poços (4 linhas x 6 colunas) – ver Figura 2. Em cada poço colocaram-se 2 mL da respetiva solução de cloreto de sódio (NaCl). Posteriormente, colocou-se um organismo em cada poço até perfazer um total de 12 organismos de cada espécie (as duas primeiras linhas com *D. longispina* e as outras duas com *D. magna*). Cada placa constituiu uma réplica experimental, tendo-se utilizado 3 réplicas por cada condição experimental. Para cada temperatura, realizou-se o respetivo controlo negativo (meio de cultura

sem adição de NaCl), de forma a dissociar o efeito isolado da temperatura na imobilização dos organismos. A realização de controlos negativos permitiu também assegurar a qualidade do lote de organismos utilizados; a placa do controlo consistia em 12 organismos de cada espécie individualmente expostos às mesmas condições de temperatura (20° e 30°C), mas na ausência de NaCl.

Os organismos foram observados à lupa, em intervalos de 30 min, desde o início dos ensaios até à imobilização de todos os indivíduos; em cada observação, os indivíduos foram considerados imóveis quando não respondiam ao estímulo do observador (toque subtil e repetido com agulha de dissecação). Para cada indivíduo, foi registado o tempo à imobilização, em minutos (ver mais detalhes em Loureiro et al., 2012). Os controlos foram monitorizados com uma periodicidade mais alargada (em intervalos de 2 h ou de 3 h) apenas para confirmar a validade do ensaio.



Análise Estatística

Realizaram-se testes de *t* (bilateral ou com duas caudas) para observações independentes e grupos com variâncias iguais¹ para determinar a significância estatística das diferenças de sensibilidade observadas – expressas em tempo à imobilização (min) – entre as duas temperaturas testadas. As diferenças de tolerância foram consideradas significativas quando a probabilidade (*p*) associada ao teste de *t* foi inferior a 0,05 (i.e., 5%).

RESULTADOS

Desenvolvimento de competências pelo grupo de alunas

As alunas participaram de forma empenhada nas atividades propostas, manifestando interesse pelo trabalho, colocando questões e procurando responder a todas as solicitações dos investigadores. Todas atribuíram um grau de dificuldade adequado ao trabalho realizado e a avaliação global das atividades foi

¹ <http://office.microsoft.com/pt-pt/excel-help/acerca-das-ferramentas-de-analise-estatistica-HP005203873.aspx> (consultado em Agosto de 2013)

Excelente para três alunas e *Boa* para uma aluna. Quanto à duração do estágio, foi considerada *Adequada* por três alunas e *Curta* por uma aluna. O horário foi considerado *Bom* por todas as alunas.

Na avaliação final da semana de trabalho na Universidade, as alunas referiram várias situações de que mais gostaram, e.g.: *“trabalhar em laboratório e com equipamentos que ainda não tinha tido hipótese de trabalhar”*; *“ver de perto como se processa uma investigação científica”*; *“trabalhar em laboratório (...) tendo uma certa autonomia ao realizar o procedimento experimental aprendendo assim processos e técnicas que poderão ser necessárias para aplicar em laboratório no próximo ano letivo”*; *“(…) poder manipular instrumentos de observação e investigação a que não tenho acesso na escola”*; *“a dedicação exigida neste estágio foi outro aspeto importante que me tornou, com certeza, mais esforçada e responsável, o que é uma mais-valia para o meu futuro académico e profissional”*. Gostaram menos de: *“não ter a oportunidade de continuar a estudar e a fazer experiências para perceber quais as razões que levaram a ter alguns resultados inconclusivos”*; *“da parte teórica em que descrevemos os materiais e métodos utilizados no procedimento experimental”*. As maiores dificuldades apontadas foram: *“perceber alguns termos mais técnicos mas, rapidamente essa dificuldade foi superada com a ajuda dos investigadores”*; *“manusear algum equipamento”*; *“trabalhar em folhas de cálculo com fórmulas e também alguma dificuldade em fazer gráficos”*. Sugeriram: *“extensão do tempo de estágios”*, *“continuar a oferecer estágios para o ano para que os alunos tenham oportunidade de aprender mais durante as suas férias de forma divertida”* e *“permitir a participação de maior número de alunos em cada estágio”*.

A tabela I mostra que as alunas consideraram importante o contato com investigadores da Universidade e a oportunidade de aprenderem novas técnicas experimentais autonomamente, pois, de uma forma geral, as apreciações relativamente às atividades foram bastante positivas. Em alguns pontos há unanimidade nas respostas, ressaltando-se a concordância com o papel dos investigadores no incentivo à reflexão e à interrogação, relativamente a terem executado as técnicas necessárias ao desenvolvimento da atividade experimental e relativamente ao trabalho de equipa com os investigadores, o que permitiu perceber o trabalho diário cooperativo de uma equipa de investigação.

TABELA I: Respostas das alunas do *Programa de Ocupação Científica* a perguntas do questionário de avaliação das atividades realizadas.

Afirmação	Concordo totalmente	Concordo	Discordo	Discordo totalmente
<i>Este estágio ajudou-me a escolher a minha carreira futura</i>		3	1	
<i>Tive oportunidade de participar no trabalho científico desenvolvido por profissionais</i>	2	2		
<i>A componente prática do estágio foi importante: aprendemos a teoria e como aplicá-la na prática</i>	2	2		
<i>Os investigadores incentivaram-nos a refletir e a questionarmo-nos sobre todo o processo</i>	4			
<i>Este estágio permitiu-nos executar as técnicas estudadas em vez de ficarmos apenas a observar “como se faziam as coisas”</i>	4			
<i>Formou-se um espírito de equipa fantástico que ajudou ao desenvolvimento do trabalho</i>	4			
<i>Adquiri conhecimentos que podem vir a ser bastante importantes para o meu futuro profissional</i>	3	1		

Os investigadores estiveram sempre disponíveis para nos ajudar e para esclarecer todas as dúvidas que iam surgindo	4	
Os investigadores ajudaram-nos a perceber para que serve o que aprendemos na teoria	3	1
Trabalhei com materiais e equipamentos que não existem na minha escola	1	3
Este estágio permitiu-me “entrar na pele” de um cientista, vivendo “in loco” o dia-a-dia da atividade científica	4	
Gostaria de recomendar este estágio aos meus amigos	4	

Ensaio de sensibilidade a agentes de stress

Perante concentrações relativamente baixas de NaCl (e.g. na água do mar, a concentração de sais – sobretudo NaCl – é superior a 30 g L⁻¹), os dafniídeos foram muito sensíveis, tendo morrido em minutos ou horas. Os resultados dos tempos à imobilização não podem ser comparados entre espécies, na medida em que se usaram concentrações de NaCl diferentes para cada espécie, face às suas diferentes tolerâncias. Contudo, é possível comparar o perfil de sensibilidade ao NaCl das espécies quando expostas às diferentes temperaturas (Figura 3). Nesse aspeto, os resultados foram contraditórios, com *D. longispina* ligeiramente mais sensível ao NaCl (i.e., demorou menos tempo a imobilizar-se) a 30°C, enquanto *D. magna* foi significativamente mais sensível ao NaCl a 20°C. Estatisticamente, esta observação foi marginalmente não significativa para *D. longispina* (teste t: $p = 0,07$) e significativa ($p = 0,01$), para *D. magna*.

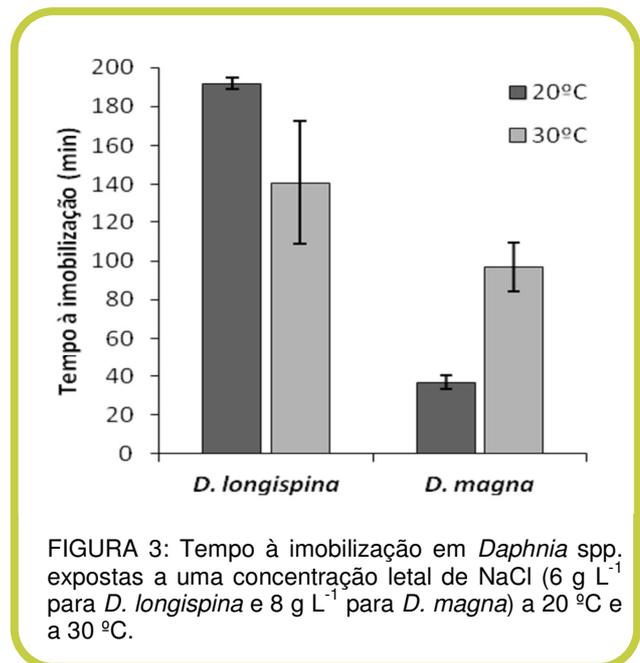


FIGURA 3: Tempo à imobilização em *Daphnia* spp. expostas a uma concentração letal de NaCl (6 g L⁻¹ para *D. longispina* e 8 g L⁻¹ para *D. magna*) a 20 °C e a 30 °C.

DISCUSSÃO

Análise do desenvolvimento de competências pelo grupo de alunas

Numa perspetiva de EDS e de educação científica tripolar (Pedrosa e Moreno, 2007), relacionaram-se ideias estruturantes em Biologia com problemas globais, visando contribuir para estimular o desenvolvimento de competências necessárias para utilizar conhecimento científico e tecnológico em resolução de problemas. As atividades realizadas integraram uma abordagem experimental, envolveu cooperação entre investigadores de uma Universidade e quatro alunas do ensino secundário que participaram no estágio e revelou-se importante para a sua motivação e, conseqüentemente, para aprenderem, como evidenciam as respostas acerca do manuseamento dos materiais e a autonomia e entusiasmo revelados na execução das tarefas. Desta forma, foi possível sensibilizar as alunas para a

importância das atividades de investigação sobre os efeitos de flutuações ambientais na dinâmica das populações. Mais ainda, estas flutuações são causadas por alterações climáticas (como a salinização de ecossistemas de água doce e o aumento de temperatura), nas quais os cidadãos têm tido responsabilidade. Esta atividade permitiu também consciencializar as alunas para o erro que envolve as atividades de investigação, reforçando a componente de educação sobre ciências, normalmente descurada no ensino formal, e necessária para uma EDS, de carácter tripolar (em, sobre, pelas ciências).

As maiores dificuldades reveladas pelas alunas resultaram de falta de competências específicas em ciências, como para identificar e compreender questões científicas, utilizar meios para analisar dados, explicar cientificamente fenómenos e formular conclusões com base em evidências (OECD, 2009). O desenvolvimento de competências científicas que habilite os alunos para tomar decisões conscientes e fundamentadas, numa perspetiva de Educação para Desenvolvimento Sustentável, é fundamental para promover literacia científica e deve ocorrer ao longo de toda a escolaridade (UN, 2005). O reconhecimento das situações que envolvem ciências e tecnologias, a compreensão do mundo natural com base em conhecimentos científicos e as atitudes perante as ciências (interesse e motivação por questões científicas) são outras dimensões importantes de literacia científica (OECD, 2009). Os recursos utilizados pelos professores serão relevantes para eles próprios desenvolverem competências, incluindo científicas, que os habilitem a estimular os alunos em processos idênticos (McNeill e Krajcik, 2008). Um professor que não se limite a transmitir conteúdos e utilize estratégias diferenciadas que interliguem ciências e tecnologias com a vida quotidiana, melhora a literacia científica dos seus alunos (UN, 2005; OECD, 2009) e pode estimulá-los a participar ativa e fundamentadamente na sociedade (Galvão e Freire, 2004; UN, 2005). Assim, sustentadas por conhecimentos científico-tecnológicos sólidos, os seus contributos para resolver ou mitigar problemas atuais, particularmente locais com implicações globais, serão mais eficazes e terão impactos mais fortes.

Numa perspetiva de EDS, as comunidades científicas têm um papel fundamental no desenvolvimento de abordagens de questões local e globalmente relevantes, importantes para vencer barreiras de organização disciplinar tradicional (Loureiro et al., 2008). O desenvolvimento de parcerias entre universidades e escolas, além de ajudar a superar dificuldades, como as apresentadas pelas alunas, é essencial para abordar questões local e globalmente relevantes e construir conhecimento nesse âmbito. Além disso, seria importante que no ensino superior existissem disciplinas de ciências de largo espetro, tendo como eixo estruturante a orientação CTS – Ciência-Tecnologia-Sociedade (Martins, 2002) e se implementassem reformas educativas que promovessem o estabelecimento de parcerias entre investigadores e professores dos ensinos básico e secundário. Assim, em ensino das ciências poderia utilizar-se formas mais aliciantes de abordar questões atuais, aproximando os jovens das ciências e tecnologias e contribuindo para melhorar a qualidade de vida, principalmente de grupos mais desfavorecidos (Martins, 2002; Vieira et al., 2011).

O desenvolvimento de trabalho prático pode também motivar os alunos, quando continuamente estimulados, uma vez que, de contrário, podem desinteressar-se por aprender ciências (Abrahams, 2009; OECD, 2009). A realização de atividades em pequenos grupos é também importante para motivar os alunos e melhorar as suas aprendizagens, pois permite desenvolver capacidades de argumentação fundamentada, por exemplo, em contextos de aulas de ciências (Bennett et al., 2010). É, pois, imperioso desenvolver, testar e avaliar recursos educativos inovadores que, numa perspetiva de EDS e articulando conteúdos

disciplinares, enfatizem sustentabilidade ambiental e valorizem as dimensões de educação *pelas* e *sobre* ciências, equilibradamente com a de educação *em* ciências. Recursos educativos inovadores deveriam remeter para padrões e qualidade de vida dos cidadãos, nomeadamente de alunos a que se destinam, e suas relações com problemas ambientais, perda de biodiversidade e imperativos de promoção de qualidade ambiental daí decorrentes. No entanto, existem constrangimentos na implementação de estratégias que recorram a recursos inovadores (Martins, 2002), tal como se constatou nas dificuldades referidas pelas alunas, por exemplo de construção de folhas de cálculo e de gráficos, assim como de análise e discussão de resultados (ver acima).

Ensaio de sensibilidade a agentes de stress

Vários estudos (e.g. Teschner, 1995; Sarma et al., 2006; Martínez-Jerónimo e Martínez-Jerónimo, 2007; Santangelo et al., 2008) mostraram que a halotolerância varia de espécie para espécie. A temperatura também influencia o funcionamento fisiológico dos organismos e das teias tróficas em que estes se inserem (Van Doorslaer et al., 2007; Van Doorslaer et al., 2010). A interação entre os dois agentes de *stress* abióticos, salinidade e temperatura, mostrou interferir com as respostas dos organismos testados, no entanto os resultados não foram consistentes entre espécies. No caso de *D. longispina*, a sua sensibilidade parece não ter sido afetada pelo aumento de temperatura, mas sugere um aumento de sensibilidade a temperatura superior; pelo contrário, no caso de *D. magna*, há um claro efeito protetor da temperatura. Os resultados referentes a *D. longispina* confirmam o observado por Hall e Burns (2002), enquanto os relativos a *D. magna* contradizem a tendência de aumento de sensibilidade à salinidade com o incremento de temperatura. Estas evidências permitiram ajudar as alunas a aperceberem-se de que as simulações experimentais estão sujeitas a erros e contradições, especialmente quando utilizam organismos vivos.

Estas experiências terão que ser repetidas mais vezes de modo a verificar se o padrão obtido é consistente; só então, será possível diminuir a incerteza associada a resultados contraditórios. Não obstante, as diferentes espécies possuem mecanismos fisiológicos diferentes em termos de termorregulação (Van Doorslaer et al., 2007; Van Doorslaer et al., 2010) e osmorregulação (Aladin, 1991; Arnér e Koivisto, 1993; Aladin e Potts, 1995), pelo que é possível que espécies aparentadas mas diferentes (como *Daphnia* spp.) respondam diferentemente aos mesmos estímulos ambientais.

Estes resultados mostram que num ecossistema de água doce que esteja sujeito a flutuações ambientais, como incrementos de salinidade e de temperatura num lago, haverá perturbações na regulação da teia trófica do lago, a qual depende da tolerância dos organismos a essas flutuações. Dado que os organismos testados, devido ao seu papel central nas cadeias alimentares, desempenham funções de regulação entre os diferentes níveis tróficos, pode ocorrer o colapso ecológico do sistema na sua ausência (Jeppesen et al., 1994; Lampert, 2006; Sarma et al., 2006; Jeppesen et al., 2007), comprometendo o funcionamento do ecossistema e os serviços que ele proporciona aos humanos.

APLICAÇÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

O estudo da dinâmica de ecossistemas e de perturbações destes, como variações de temperatura e de salinidade, são assuntos contemplados no *Currículo Nacional do Ensino Básico*, enquadrados no tema organizador “Sustentabilidade na Terra” (DEB, 2001a). Deste modo, as atividades aqui apresentadas

podem ser adaptadas pelos professores nas escolas para serem desenvolvidas, de acordo com o nível do ensino, de modo a promover o desenvolvimento de competências específicas de literacia científica dos alunos, tal como preconizado em documentos oficiais para o ensino das ciências (e.g. DEB, 2001a, 2001b). Assim, o envolvimento dos alunos em atividades práticas experimentais pode ser motivador e facilitar a aprendizagem de conceitos e o desenvolvimento de competências, que dependem do problema em estudo e do grau de abertura das atividades. É importante que mais sugestões de atividades práticas, por exemplo decorrentes de trabalhos de investigação em universidades, cheguem ao conhecimento de professores e de alunos, inseridas em manuais escolares ou noutros documentos.

No futuro, será desejável construir e desenvolver este tipo de atividades em parceria com professores dos ensinos básico e secundário, de diferentes áreas disciplinares, de modo a incentivar articulações interdisciplinares. A participação de professores dos ensinos básico e secundário neste tipo de atividades, além de fundamental para a sua validação, proporciona oportunidades de formação e desenvolvimento profissional, numa perspetiva de educação científica tripolar, ou, no caso de envolvimento apenas de atividades de biologia, nas dimensões de educação em biologia, sobre biologia e pela biologia. Em qualquer dos casos, o interesse de professores por atividades do tipo das aqui apresentadas e o seu envolvimento nelas, permite-lhes desenvolver competências naquelas três dimensões, que se afigura essencial para poderem ajudar os seus alunos a envolverem-se em atividades que similarmente lhes permitam aprender desenvolvendo competências numa perspetiva de educação científica tripolar orientada para a integração de EDS em áreas curriculares.

agradecimentos • Cláudia Loureiro e Joana L. Pereira agradecem o apoio financeiro da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), através de uma bolsa de doutoramento (SFRH/BD/36333/2007) e pós-doutoramento (SFRH/BPD/44733/2008), respetivamente. Os autores agradecem a colaboração das alunas Ana Filipa Rocha, Andreia Mortágua, Cecília Moreira e Linda Inês Ramos, que participaram neste estudo no âmbito do programa de Ocupação Científica de Jovens nas Férias 2010 (financiado pela Ciência Viva – Agência Nacional para a Cultura Científica de Tecnológica). Os autores estão gratos ainda ao secretariado do CESAM pela ajuda disponibilizada na preparação e decurso do estágio Ocupação Científica de Jovens nas Férias. Bruno B. Castro está presentemente contratado como Investigador Auxiliar no Dept. Biologia e CESAM, no âmbito do programa Ciência 2008 (FCT), co-financiado pelo Programa Operacional do Potencial Humano (POPH; QREN 2007-2013) e Fundo Social Europeu.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrahams I (2009). Does Practical Work Really Motivate? A study of the affective value of practical work in secondary school science. *International Journal of Science Education* 31:2335-2353.
- AEA (2007). O Ambiente na Europa - Quarta Avaliação. Agência Europeia do Ambiente, Copenhaga.
- AEA (2010). O Ambiente na Europa - Situação e Perspectivas 2010: Síntese. Agência Europeia do Ambiente, Copenhaga.
- Aikenhead GS (2009). Educação científica para todos. Edições Pedagogo, Lda, Mangualde.
- Aladin NV (1991). Salinity tolerance and morphology of the osmoregulation organs in Cladocera with special reference to Cladocera from the Aral sea. *Hydrobiologia* 225:291-299.

- Aladin NV , Potts WTW (1995). Osmoregulatory capacity of the Cladocera. *Journal of Comparative Physiology B-Biochemical Systemic and Environmental Physiology* 164:671-683.
- Antunes SC, Castro BB , Gonçalves F (2003). Chronic responses of different clones of *Daphnia longispina* (field and ehippia) to different food levels. *Acta Oecologica-International Journal of Ecology* 24:S325-S332.
- Arnér M , Koivisto S (1993). Effects of salinity on metabolism and life history characteristics of *Daphnia magna*. *Hydrobiologia* 259:69-77.
- ASTM (1980). Standard practice for conducting acute toxicity tests with fishes, macroinvertebrates and amphibians. American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
- Baird DJ, Soares AMVM, Girling A, Barber I, Bradley MC , Calow P (1989). The long-term maintenance of *Daphnia magna* Straus for use in ecotoxicity tests: problems and prospects. In Lokke, H., Tyle, H. & Bro-Rasmussen, F. (eds) Proceedings of the First European Conference on Ecotoxicology. Lyngby, 144-148.
- Bennett J, Hogarth S, Lubben F, Campbell B , Robinson A (2010). Talking Science: The research evidence on the use of small group discussions in science teaching. *International Journal of Science Education* 32:69-95.
- Benzie JAH (2005). Cladocera: the Genus *Daphnia* (including *Daphniopsis*). Kenoby Productions & Backhuys Publishers, Ghent & Leiden.
- Castro BB (2007). Ecologia e seleção de *habitat* em crustáceos zooplânctônicos de lagos pouco profundos. Dissertação de Doutorado, Universidade de Aveiro.
- Castro BB, Consciência S , Gonçalves F (2009). Comunicação química em sistemas predador-presa alterados: um contributo para a controvérsia. *CAPTAR* 1:54-66.
- Claro MT, Castro BB, Alves A, Correia A, Loureiro C , Gonçalves F, 2010. “Impressões digitais moleculares” – um caso de estudo com populações naturais de zooplâncton CAPTAR. vol 2, Aveiro, 6-20.
- DEB (2001a). Currículo Nacional do Ensino Básico: Competências essenciais. Ministério da Educação, Departamento do Ensino Básico, Lisboa.
- DEB (2001b). Ensino Básico: Ciências Físicas e Naturais - Orientações Curriculares para o 3º Ciclo do Ensino Básico. Ministério da Educação, Departamento do Ensino Básico, Lisboa.
- Galvão C , Freire A (2004). A perspectiva CTS no currículo das Ciências Físicas e Naturais em Portugal. In: Perspectivas Ciência-Tecnologia-Sociedade na Inovação da Educação em Ciência III Seminário Ibérico CTS no Ensino das Ciências, Aveiro. Universidade de Aveiro, Departamento de Didáctica e Tecnologia Educativa.
- Gonçalves AMM, Castro BB, Pardal MA , Gonçalves F (2007). Salinity effects on survival and life history of two freshwater cladocerans (*Daphnia magna* and *Daphnia longispina*). *Annales De Limnologie-International Journal of Limnology* 43:13-20.
- Hall CJ , Burns CW (2002). Mortality and growth responses of *Daphnia carinata* to increases in temperature and salinity. *Freshwater Biology* 47:451-458.
- IPCC (2002). Climate change and biodiversity - Technical Paper of Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Secretariat, Geneva.
- IPCC (2008). Climate change and water - Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Secretariat, Geneva.
- Jeppesen E, Sondergaard M, Kanstrup E, Petersen B, Eriksen RB, Hammershoj M, Mortensen E, Jensen JP , Have A (1994). Does the impact of nutrients on the biological structure and function of brackish and freshwater lakes differ? *Hydrobiologia* 276:15-30.
- Jeppesen E, Jensen JP, Søndergaard M , Lauridsen T (1999). Trophic dynamics in turbid and clearwater lakes with special emphasis on the role of zooplankton for water clarity. *Hydrobiologia* 408/409:217-231.
- Jeppesen E, Sondergaard M, Pedersen AR, Jurgens K, Strzelczak A, Lauridsen TL , Johansson LS (2007). Salinity induced regime shift in shallow brackish lagoons. *Ecosystems* 10:47-57.
- Lampert W (2006). *Daphnia*: model herbivore, predator and prey. *Polish Journal of Ecology* 54:607-620.
- Loureiro C, Pedrosa MA , Gonçalves F (2008). Problemas Globais e Educação Científica Formal Tripolar. In: Vieira, e.a. (ed) Ciência-Tecnologia-Sociedade no Ensino das Ciências – Educação Científica e Desenvolvimento Sustentável, V Seminário Ibérico – I Seminário Ibero-Americano Ciência-Tecnologia-Sociedade no Ensino das Ciências, Aveiro, Portugal.
- Loureiro C, Castro BB, Claro MT, Alves A, Pedrosa MA , Gonçalves F (2012). Genetic variability in the tolerance of natural populations of *Simocephalus vetulus* (Müller, 1776) to lethal levels of sodium chloride. *Annales De Limnologie-International Journal of Limnology* 48:95-103.
- Marques SC, Azeiteiro UM, Marques JC, Neto JM , Pardal MA (2006). Zooplankton and ichthyoplankton communities in a temperate estuary: spatial and temporal patterns. *Journal of Plankton Research* 28:297-312.

- Martínez-Jerónimo F , Martínez-Jerónimo L (2007). Chronic effect of NaCl salinity on a freshwater strain of *Daphnia magna* Straus (Crustacea : Cladocera): A demographic study. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 67:411-416.
- Martins I (2002). Problemas e perspectivas sobre a integração CTS no sistema educativo português. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 1.
- McNeill KL , Krajcik J (2008). Scientific Explanations: Characterizing and Evaluating the Effects of Teachers' Instructional Practices on Student Learning. *Journal of Research in Science Teaching* 45:53-78.
- Mintzes JJ, Wandersee JH , Novak JD (2000). Ensinando ciência para a compreensão - uma visão construtivista. Plátano Edições Técnicas, Lda, Lisboa.
- Novak JD (2000). Aprender, criar e utilizar o conhecimento (trad. Ana Rabaça). Plátano Edições Técnicas, Lisboa.
- OECD (2009). PISA 2009 Assessment Framework - Key competencies in reading, mathematics and science. PISA, OECD, Paris.
- Pedrosa MA , Moreno MJSM (2007). Ensino Superior, Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável. In: I Congresso Internacional de Educación Ambiental dos Países Lusófonos e Galícia, Galiza, Espanha.
- Santangelo JM, Bozelli RL, Rocha AD , Esteves FD (2008). Effects of slight salinity increases on *Moina micrura* (Cladocera) populations: field and laboratory observations. *Marine and Freshwater Research* 59:808-816.
- Sarma SSS, Nandini S, Morales-Ventura J, Delgado-Martínez I , González-Valverde L (2006). Effects of NaCl salinity on the population dynamics of freshwater zooplankton (rotifers and cladocerans). *Aquatic Ecology* 40:349-360.
- Schallenberg M, Hall CJ , Burns CW (2003). Consequences of climate-induced salinity increases on zooplankton abundance and diversity in coastal lakes. *Marine Ecology-Progress Series* 251:181-189.
- Teschner M (1995). Effects of salinity on the life-history and fitness of *Daphnia magna* - variability within and between populations. *Hydrobiologia* 307:33-41.
- UN (2005). Estratégia da CEE/ONU para a Educação para o Desenvolvimento Sustentável. Instituto do Ambiente, Vilnius.
- UNDP (2007). Human Development Report - Fighting climate change: Human solidarity in a divided world. United Nations Development Programme, New York.
- UNEP (2007). Global Environment Outlook GEO4. United Nations Environment Programme, Malta.
- UNEP (2008). An overview of our changing environment. United Nations Environment Programme, Nairobi.
- UNEP (2012). Global Environment GEO 5 - Environment for the future we want. United Nations Environment Programme, Malta.
- USEPA (2002). Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms - 5th edition. US Environmental Protection Agency, Washington.
- Van Doorslaer W, Stoks R, Jeppesen E , De Meester L (2007). Adaptive microevolutionary responses to simulated global warming in *Simocephalus vetulus*: a mesocosm study. *Global Change Biology* 13:878-886.
- Van Doorslaer W, Stoks R, Swillen I, Feuchtmayr H, Atkinson D, Moss B , De Meester L (2010). Experimental thermal microevolution in community-embedded *Daphnia* populations. *Climate research* 43:81-89.
- Vieira RM, Tenreiro-Vieira C , Martins I (2011). A educação em ciências com orientação CTS - atividades para o Ensino Básico. Areal Editores, Maia.