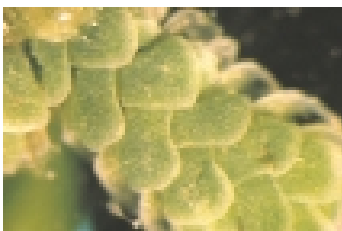
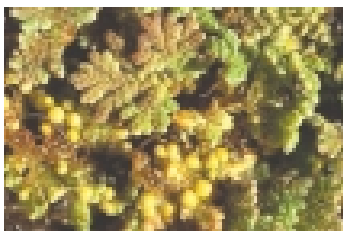
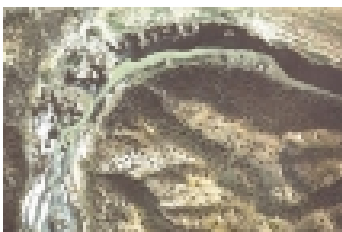
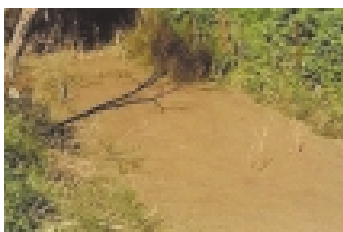
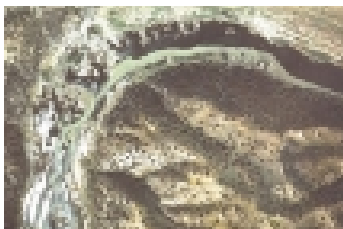


AZOLLA EM PORTUGAL



AZOLLA, O QUE É ?
CLASSIFICAÇÃO
REPRODUÇÃO
ASSOCIAÇÃO SIMBIÓTICA
HABITAT E DESENVOLVIMENTO
LOCALIZAÇÃO EM PORTUGAL
EFEITOS NOS CURSOS DE ÁGUA
UTILIZAÇÃO
GESTÃO INTEGRADA
LEITURA COMPLEMENTAR

Edição: Instituto da Água
Ministério do Ambiente
e do Ordenamento do Território
Centro de Biologia Ambiental
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Coordenação: Francisco Carrapico
Centro de Biologia Ambiental
Departamento de Biologia Vegetal
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
Telef.: 21 750 00 00 ext.: 22 147 • Fax: 21 750 00 08
Email: f.carrapico@fc.ul.pt
Homepage: <http://azolla.fc.ul.pt>

Fotografia: Equipa do Centro de Biologia Ambiental

Design Gráfico: Maria Helena Cortes

ISBN: 972-9412-58-8

Dezembro 2001

O trabalho agora apresentado integra-se no âmbito do Protocolo estabelecido entre o Instituto da Água e o Centro de Biologia Ambiental da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, com o objectivo do desenvolvimento de estudos sobre o pteridófito aquático do género *Azolla* no nosso país. Os aspectos agora apresentados contemplam uma vertente claramente orientada para a difusão do conhecimento científico, pretendendo sensibilizar o leitor para algumas das principais questões ligadas a esta planta e em última instância “relembrar e recolocar” o problema da gestão das infestantes aquáticas em meios dulçaquícolas dentro da perspectiva da prevenção e educação ambiental.

Francisco J. Nascimento Carrapiço
(Coordenador do Programa)

Equipa do Programa

CBA

Francisco Carrapiço
Teresa Antunes
Isabel Sevinate-Pinto
Generosa Teixeira
Rita Serrano
Virgínia Baioa
Ana L. Pereira
Florabela Elias
Miguel Bastos

INAG

Raul Caixinhas
Teresa Rafael
Manuela Falcão

Azolla, o que é ?

Azolla é um pteridófito (feto) aquático flutuante que apresenta uma estrutura muito peculiar. Os caules são delgados e ramificados, estendem-se horizontalmente e estão cobertos por folhas. Possuem numerosas raízes simples que emergem nos pontos de ramificação do lado ventral do caule. As folhas são pequenas, alternas, imbricadas (dispostas como as telhas dum telhado) profundamente bilobadas e dispostas em duas fiadas no lado dorsal dos caules (Figs. 1 e 2).



Fig.1 - *Azolla filiculoides*. Aspecto global da planta. Observa-se a presença de pequenas estruturas esféricas amarelo-acastanhadas que são microsporocarpos.



Fig. 2 - Ampliação da Fig.1, observando-se distintamente as folhas imbricadas.

Cada folha está dividida em dois lobos: um lobo dorsal, espesso, aéreo, clorofílico e papiloso à superfície e um lobo ventral, delgado, submerso e hialino (Fig. 3). Normalmente apresentam cor verde, mas em condições de stress ambiental o lobo dorsal adquire uma coloração avermelhada devido à presença de pigmentos (antocianinas) (Fig. 4).



Fig. 3 – Seção transversal de uma folha adulta de *Azolla* (Adaptado de Sevillano et al., 1984).

Pt – pêlo de transferência; cianob- cianobactéria;
bact – bactérias; het – heterocisto; cv – célula vegetativa.



Fig. 4 - Espesso tapete de *Azolla filiculoides* cobrindo grande parte da superfície da água da Lagoa de Alverca (Golegã). A coloração vermelha que a planta apresenta deve-se à presença de antocianinas existentes nas folhas.

O género *Azolla* foi descrito pela primeira vez por Lamarck em 1783 e inclui presentemente sete espécies originárias de zonas com clima tropical a temperado quente. Algumas espécies foram introduzidas no continente europeu onde, graças à sua grande capacidade de adaptação, têm ocupado novos habitats e mesmo zonas mais setentrionais. Em Portugal têm sido tradicionalmente referenciadas duas espécies: *A. filiculoides* e *A. caroliniana*, embora após a última edição da Flora Europaea, a espécie *A. caroliniana* tenha sido substituída por *A. mexicana*. Contudo, a sua distribuição não é totalmente clara devido ao facto dos caracteres taxonómicos tradicionalmente utilizados na sua classificação dificultarem a sua distinção ou mesmo provocarem alguma confusão. Estudos em curso, desenvolvidos pela nossa equipa e utilizando caracteres mais fiáveis, indicam a existência apenas de uma espécie no nosso país: *A. filiculoides*.

A distinção precisa das espécies de *Azolla* em estudo não é uma questão meramente académica, pois o conhecimento detalhado da sua taxonomia tem repercussões muito importantes nas estratégias de gestão desta planta, nomeadamente quando a mesma apresenta desenvolvimentos explosivos em diversos cursos de água.

Classificação (Saunders and Fowler, 1993)

Divisão: Pteridophyta
Classe: Filicopsida
Ordem: Salviniiales
Família: Azollaceae
Género: *Azolla*
Subgénero: *Azolla*
Secção: *Azolla*
Espécie: *Azolla filiculoides*

Reprodução

Os espécimes do género *Azolla* são constituídos por plantas monóicas (no mesmo indivíduo encontram-se estruturas reprodutoras femininas e masculinas) e heterospóricas (formam-se 2 tipos diferentes de esporos). As estruturas de reprodução sexuada, esporocarpos (Fig. 5), frequentemente em número de 2, apresentam uma forma esférica ou oval,

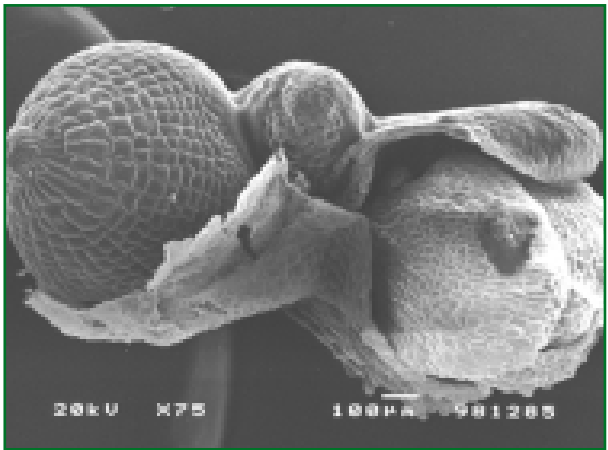


Fig. 5 - Esporocarpos de *Azolla filiculoides* observados em microscopia electrónica de varrimento.

cor acastanhada quando maduras e encontram-se no lobo ventral das primeiras folhas dos ramos laterais. As maiores são masculinas (microsporocarpos) e as mais pequenas são femininas (macrosporocarpos), sendo os microsporocarpos facilmente visíveis a olho nu. Os esporocarpos são estruturas de resistência formadas em condições ambientais desfavoráveis e que se mantêm viáveis durante vários meses. A reprodução assexuada é o processo mais frequente e ocorre por fragmentação e crescimento dos caules permitindo uma rápida propagação da planta. O ciclo de vida desta planta encontra-se representado na Fig. 6.



Fig. 6 - Esquema do ciclo de vida de *Azolla filiculoides*.

Associação simbiótica

Estes pteridófitos possuem a particularidade de alojar uma comunidade procariótica constituída por cianobactérias da espécie *Anabaena azollae* e por bactérias de várias espécies. As cianobactérias são de natureza colonial e filamentosa com capacidade de fixarem o azoto atmosférico, tendo sido descritas pela primeira vez por Strasburg em 1873. Encontram-se dentro de uma cavidade ovóide no interior do lobo dorsal das folhas (Fig. 7) e estabelecem uma associação simbiótica específica com *Azolla*. Estes procariontes estão também presentes nos esporocarpos e, após a fecundação e formação da nova planta, infectam as folhas em desenvolvimento assegurando a sua continuidade no ciclo de vida deste feto.

Tratando-se de uma simbiose, tanto *Azolla* como a cianobactéria beneficiam desta associação. A primeira fornece aos endossimbiontes, em particular *Anabaena azollae*, compostos carbonados resultantes da fotossíntese, enquanto que esta, assegura ao hospedeiro, o fornecimento de azoto essencial ao seu desenvolvimento graças à existência de um complexo enzimático (nitrogenase) capaz de converter o azoto atmosférico em amónia, existente em células especiais do filamento denominadas heterocistos.

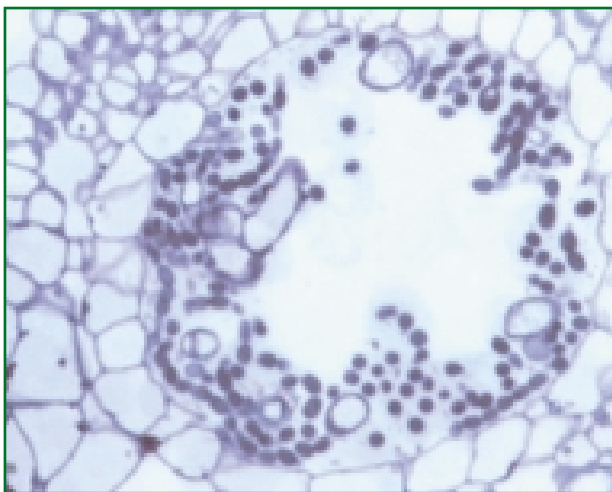


Fig. 7 - Secção do lobo dorsal da folha de *Azolla filiculoides*, observando-se a cavidade com numerosos filamentos de *Anabaena azollae* (cianobactéria). Microscopia óptica, ampliação X400.

Habitat e desenvolvimento

Estas plantas preferem habitats com águas paradas ou de fraca corrente, sendo frequentes nos arrozais. Vários factores podem condicionar o seu desenvolvimento: temperaturas da água e do ar, nutrientes inorgânicos, teor de humidade baixo, intensidade luminosa e salinidade. Em condições favoráveis (temperatura elevada, caudais reduzidos e disponibilidade em nutrientes, principalmente fósforo) multiplicam-se rapidamente dando origem a tapetes de cor tipicamente verde - avermelhada que cobrem a superfície da água (Fig. 8).

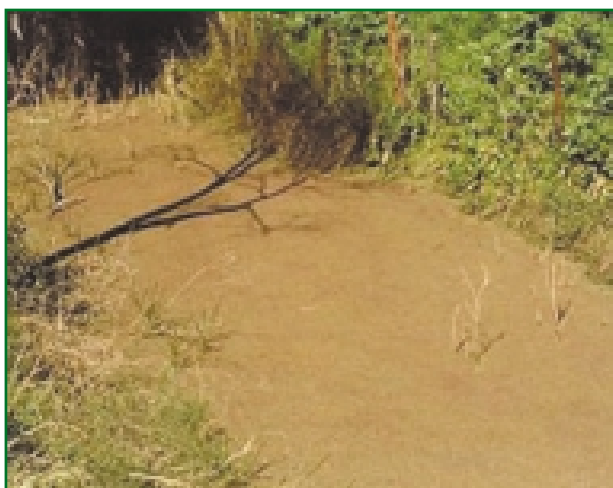


Fig. 8 - Tapete de *Azolla filiculoides* existente numa vala na zona de Samora Correia.

Localização em Portugal

A distribuição de *Azolla* no nosso país não está ainda totalmente clarificada, já que a sua localização tem variado ao longo dos últimos anos, embora diversos estudos apontem para uma localização permanente nas seguintes bacias hidrográficas: Vouga, Coa, Mondego, Tejo, Sado e Guadiana. Na Fig. 9 apresentamos uma carta da distribuição desta planta no nosso país, baseada, quer nos dados por nós recolhidos, quer obtidos por outros autores. Apesar de não

haver completa certeza, já que tem havido várias flutuações ao longo dos últimos anos, *Azolla* parece estar a expandir-se e a adquirir um comportamento mais agressivo, como sugerem os blooms de 1993 e 1995 na bacia hidrográfica do rio Guadiana.

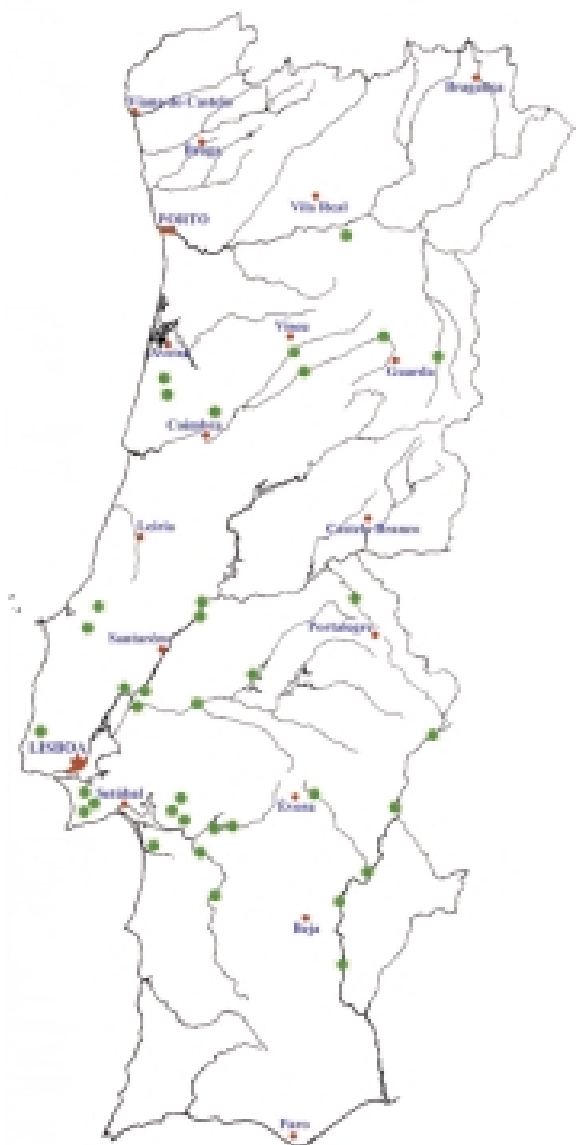


Fig. 9 - Carta de distribuição do género *Azolla* em Portugal.

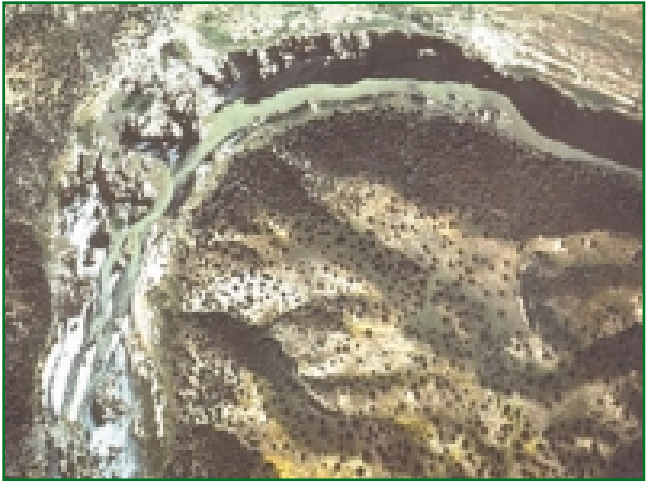


Fig. 10 - Fotografia aérea efectuada em Abril de 1993 dum troço do rio Guadiana, na zona entre Pedrógão e Mourão, sendo visível uma extensa mancha de *Azolla*.

Efeitos nos cursos de água

As extensas populações de *Azolla* que surgem nos cursos de água fornecem protecção e alimento para o desenvolvimento de numerosos organismos aquáticos. Contudo, a ocorrência de um crescimento explosivo desta planta (*bloom*), bem como de outras infestantes aquáticas, pode provocar graves problemas a nível ecológico, social e económico. Dos impactes mais significativos e imediatos devemos referir os seguintes:

- a) deterioração da qualidade da água e conseqüente eutrofização;
- b) diminuição do fluxo de água;
- c) interferência com a navegação e actividades piscatórias;

- d) prejuízos em complexos hidroelétricos e sistemas de rega;
- e) impactes sobre a fauna e flora locais;
- f) problemas de saúde pública;

Situações desta natureza têm-se verificado um pouco por todo o país, mas em 1993 e 1995 ocorreram *blooms* de *Azolla filiculoides* no rio Guadiana que cobriram largas extensões do curso do rio (Figs. 10 e 11), o que parece indiciar um comportamento mais agressivo desta planta, a exemplo do que sucede em algumas regiões da África do Sul.



Fig. 11 - *Azolla* no rio Guadiana, em Abril de 1993, perto de Mértola

O *boom* de 1993 resultou da conjugação de 3 factores principais: baixos caudais, elevadas concentrações de nutrientes na água, principalmente fosfatos e por último, altas taxas de esporulação da planta nos anos anteriores. Este fenómeno provocou, numa fase inicial, reacções de receio, de algum alarmismo e simultaneamente de curiosidade por parte da população, quer a nível local quer nacional. Para isto contribuíram o desconhecimento, a divulgação desajustada por parte da comunicação social da situação em causa, e a falta dum plano de emergência face a este tipo de riscos ambientais.



Fig. 12 - Utilização de *Azolla* (*A. pinnata*) como biofertilizante na cultura do arroz na República da Guiné-Bissau.

Utilização

A associação simbiótica com cianobactérias referida anteriormente permite que *Azolla* possa desempenhar um importante papel na agricultura como fonte de azoto (biofertilizante), substituindo parcialmente a utilização de adubos químicos (Fig. 12). Verifica-se que a incorporação de *Azolla*, fresca ou em composto, em solos pobres promove o seu enriquecimento em matéria orgânica e nutrientes, não só em azoto, mas também em fósforo e potássio que a planta acumula durante o desenvolvimento. É principalmente a nível da cultura do arroz que estas práticas tem sido aplicadas com resultados bastante positivos. Em muitos países, este feto aquático é integrado nas rações para animais (aves, suínos, peixes, coelhos, gastrópodes) devido à sua riqueza em proteínas. Mas *Azolla* tem sido igualmente objecto de estudo e aplicabilidade noutras áreas, como o tratamento de efluentes domésticos e industriais, em que é utilizada na remoção de fosfatos, nitratos e metais pesados.

Gestão integrada

Para que no futuro situações semelhantes às que ocorreram no rio Guadiana possam ser evitadas, ou reduzidos os seus impactes, é necessário integrar o estudo de *Azolla*, nomeadamente a biologia e etologia deste pteridófito, num

programa nacional de gestão de plantas infestantes aquáticas (micrófitos e macrófitos), em que as vertentes da prevenção e da educação ambiental sejam privilegiadas. Independentemente de algumas especificidades que a gestão deste fato possa requerer, a implementação deste programa deve integrar diversas vertentes comuns, entre as quais salientamos:

- a) levantamento da situação existente e avaliação da eficácia e operacionalidade dos sistemas de prevenção e monitorização existentes face a este tipo de perigos ambientais;
- b) eventual necessidade de implementação de novos sistemas de prevenção e monitorização a nível regional e nacional;
- c) estruturação efectiva duma rede de unidades laboratoriais adequadamente apetrechada com meios humanos e materiais a nível regional em ligação com os laboratórios centrais, nomeadamente através da utilização de meios telemáticos;
- d) correcta articulação entre a componente infestantes e as componentes física e química do ecossistema;
- e) reciclagem, formação e responsabilização dos quadros técnicos e gestores envolvidos nesta problemática;
- f) acções de educação ambiental junto das populações, Autarquias e comunidade educativa;
- g) medidas de controlo e eventual rentabilização de algumas espécies de infestantes;
- h) enquadramento legislativo;
- i) estabelecimento de planos de emergência face a este tipo de perigos ambientais integrados nos Planos de Bacia Hidrográfica.

As medidas sugeridas só terão sucesso através duma efectiva colaboração e interligação salutar entre os vários agentes envolvidos nesta matéria e sobretudo com a definição e implementação duma filosofia e praxis coerentes na gestão dos nossos recursos hídricos superficiais.

Leitura complementar

- Baioa, M. V., 1997 - Impacte ambiental do bloom de *Azolla* no Concelho de Mértola. *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Évora.
- Braun-Howland, E. B. & Nierzwicki-Bauer, S. A. 1990 - *Azolla-Anabaena* symbiosis: biochemistry, physiology, ultrastructure, and molecular biology. In *Handbook of Symbiotic Cyanobacteria*: 65-117. R. Haeselkorn (Eds.). CRC Presse, Boca Raton, FL.
- Carrapiço, F. & Baioa, M.V., 1998 - Contribuição para a definição duma estratégia de gestão de infestantes aquáticas em Portugal. *Resumos do 1º Congresso Ibérico de Limnologia*, Universidade de Évora.
- Carrapiço, F., Teixeira, G & Diniz, M. A., 1996 - *Azolla*. Projecto de Cooperação. FCUL / DBV, 1 CD-ROM.
- Carrapiço, F., 2001 - The *Azolla* Page. <http://azolla.fc.ul.pt>
- Carrapiço, F., 1991 - Are bacteria the third partner of the *Azolla-Anabaena* symbiosis? *Plant and Soil*, 137: 157-160.
- Carrapiço, F., 1990 - As populações de *Azolla* e o seu impacte ambiental. Contributo para a gestão e aproveitamento integrados desta planta. *Actas da 2ª Conferência Nacional sobre Qualidade do Ambiente*, vol. 1 : 183 - 189.
- Carrapiço, F., Costa, M. H., Costa, M. L., Teixeira, G., Frazão, A. A., Santos, M. C. R. & Baioa, M.V., 1996 - The uncontrolled growth of *Azolla* in the Guadiana River. *Aquaphyte*, 16 (2) : 11.
- Carrapiço, F., Costa, M. L., Teixeira, G., Costa, M. H., Frazão, A. A. & Santos, M. C. R., 1994 - O bloom de *Azolla* no rio Guadiana. Análise das suas causas e consequências. *Actas da 4ª Conferência Nacional sobre Qualidade do Ambiente*: 110-123.
- Costa, M. L., Santos, M. C. R. & Carrapiço, F., 1998 - Biomass Characterization of *Azolla filiculoides* grown in natural ecosystems and wastewater. *Proceedings of the 10th EWRS International Symposium on Aquatic Weeds - Management and Ecology of Aquatic Plants*, pp. 415-418.
- Flora Europaea. Vol I. *Lycopodiaceae to Platanaceae*, 1993. T. G. Tutin, N. A. Burges, A. O. Chater, J. R. Edmonson, V. H. Heywood, D. M. Moore, D. A. Webb, D. H. Valentine & S. M. Walters (Eds), Cambridge University Press, London.
- Franco, J. A., 1971 - *Nova Flora de Portugal*, vol. I, 1ª ed., Lisboa, 658 p.
- Franco, J. A. & Afonso, M. L. R., 1982 - Distribuição de pteridófitos e gimnospérmicas em Portugal. *Colecção "Parques Naturais"*, nº 14, Serviço Nacional de Parques, Reservas e Património Paisagístico, 327 p.
- Moreira, I., Monteiro, A., Catarino, L. & Ferreira, T., 1998 - Gestão das infestantes aquáticas. *Estudos e Documentos de Trabalho*, nº 4, INAG, 60 p.
- Pereira, A. L., Teixeira, G., Sevinate-Pinto, I., Antunes, T & Carrapiço, F., 2000 - Taxonomy of the genus *Azolla* Lam. in Portugal. *Port. Acta Biol* 19: 227-282.
- Pereira, A. L., Teixeira, G., Sevinate-Pinto, I., Antunes, T & Carrapiço, F., 1998 - How many *Azolla* species exist in Portugal ? A preliminary approach. *Proceedings of the 10th EWRS International Symposium on Aquatic Weeds - Management and Ecology of Aquatic Plants*: 103-106.
- Saunders, R. M. K. & Fowler, K., 1993 - The supraspecific taxonomy and evolution of the fern genus *Azolla* (Azollaceae). *Pl. Syst. Evol.*, 184: 175-193.
- Serrano, R., 1999 - Contribuição para o estudo de bactérias simbióticas existentes no sistema *Azolla-Anabaena*. *Dissertação de Doutoramento*, Universidade de Lisboa.
- Sevillano, F., Subramanian, P. & Rodriguez-Barrueco, C., 1984 - La asociación simbiótica fijadora de nitrogenio atmosférico *Azolla-Anabaena*. *An. CEBA*, vol.II.
- Teixeira, G., 1999 - Estudo biológico e fitoquímico em *Azolla filiculoides* Lam. e *Azolla pinnata* subsp. africana (Desv.) R.M.K. Saunders & K. Fowler. *Dissertação de Doutoramento*, Universidade de Lisboa.
- Wagner, G.M., 1997 - *Azolla*: A review of its biology and utilization. *The Botanical Review*, 63 (1): 1-26.

