



A PLICAÇÃO DE SIG NA AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE AQUÍFERA E CARTOGRAFIA DA CONTAMINAÇÃO AGRÍCOLA POR PESTICIDAS E NITRATOS NA REGIÃO DO RIBATEJO

*Eduardo A. Paralta⁽¹⁾; Manuel M. Oliveira⁽²⁾; Sofia B. Batista⁽³⁾; Alain P. Francés⁽⁴⁾;
Luís F. Ribeiro⁽⁵⁾ e Maria J. Cerejeira⁽⁶⁾*

Resumo - As potencialidades dos Sistemas de Informação, ao nível do processamento e análise de dados georeferenciados e da criação de Sistemas de Apoio à Decisão, constituem modernas ferramentas de gestão e ordenamento do território com aplicação crescente em todas as áreas das Geociências e do Ambiente. No seguimento de vários estudos, realizados entre 1991 e 2000, sobre contaminação dos aquíferos por pesticidas e nitratos, na zona do Ribatejo, foram aplicadas metodologias apoiadas por suporte informático para avaliação da vulnerabilidade/susceptibilidade dos aquíferos à poluição e apresentados os respectivos mapas de qualidade ambiental relativamente aos teores de nitratos e alguns herbicidas, particularmente de alacloro, atrazina, metolaclo, metribuzina e simazina na água subterrânea. Os resultados obtidos constituem instrumentos fundamentais na gestão dos recursos hídricos subterrâneos e inclusivamente no estabelecimento de redes de monitorização adequadas em aquíferos vulneráveis.

Palavras-chave: vulnerabilidade DRASTIC, SIG, aquífero, pesticidas, nitratos.

⁽¹⁾ Licenciado em Geologia Aplicada e do Ambiente. Departamento de Hidrogeologia, Instituto Geológico e Mineiro, Estrada da Portela, Apartado 7586, 2721-866 Alfragide, Tel. 21 471 89 22. Fax 21 471 89 40. e-mail: eduardo.paralta@igm.pt

⁽²⁾ Licenciado e Mestre em Geologia Económica e Aplicada. Grupo de Investigação de Águas Subterrâneas, Departamento de Hidráulica, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Tel. 21 844 34 36, Fax 21 844 30 16, e-mail: moliveira@lnec.pt

⁽³⁾ Eng.^a Agrónoma, Doutoranda do Instituto Superior de Agronomia, Departamento de Protecção das Plantas e de Fitoecologia, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa. Tel. 21 365 31 00. e-mail: sofiabatista@isa.utl.pt

⁽⁴⁾ Licenciado em Geologia. Departamento de Hidrogeologia, Instituto Geológico e Mineiro, Estrada da Portela, Apartado 7586, 2721-866 Alfragide. Tel. 21 471 89 22, Fax 21 471 89 40. e-mail: francés.alain@igm.pt

⁽⁵⁾ Professor Auxiliar do Instituto Superior Técnico/Centro de Valorização de Recursos Minerais, Av. Rovisco Pais, 1096 Lisboa. Tel. 21 841 72 47. e-mail: nrib@ist.utl.pt

⁽⁶⁾ Professora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia, Departamento de Protecção das Plantas e de Fitoecologia, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa. Tel. 21 365 31 00.

1 - INTRODUÇÃO

As potencialidades dos Sistemas de Informação, ao nível do processamento e análise de dados georeferenciados e da criação de Sistemas de Apoio à Decisão, constituem modernas ferramentas de gestão e ordenamento do território com aplicação crescente em todas as áreas das Geociências e do Ambiente

No âmbito de vários estudos, realizados entre 1991 e 2000, sobre contaminação agrícola por pesticidas e nitratos dos aquíferos da região do Ribatejo e Oeste (BATISTA *et al.*, 1998, 2000a,b; CEREJEIRA *et al.*, 1999, 1995a,b; SILVA-FERNANDES *et al.*, 1999) detectou-se a ocorrência destes produtos, em especial herbicidas como o alacloro, atrazina, metolacloro, metribuzina e simazina em águas subterrâneas.

A prática de uma agricultura intensiva tem sido responsável pela contaminação das águas subterrâneas a nível mundial e em especial nos países desenvolvidos da Europa e América do Norte.

Os problemas ecológicos e de saúde pública decorrentes da presença de nitratos e produtos fitofarmacêuticos nos ecossistemas aquáticos e nas reservas de água para abastecimento público constituem uma preocupação crescente para as autoridades sanitárias e cidadãos em geral.

Apresentam-se neste trabalho alguns exemplos de aplicação de metodologias de avaliação da vulnerabilidade/susceptibilidade dos aquíferos à poluição, baseados em cartografia digital e os respectivos mapas de qualidade ambiental, que constituem uma abordagem multidisciplinar do problema da contaminação agrícola na região do Ribatejo.

A área de estudo tem uma extensão de 3 287 km², abrangendo maioritariamente sistemas hidrogeológicos constituídos por meios porosos de elevada permeabilidade dos “Aluviões do Tejo” e da “Bacia do Tejo-Sado” onde se pratica uma agricultura intensiva com abundante utilização de fertilizantes e pesticidas e apoiada por modernos sistemas de regadio.

São abordadas sucintamente as principais características hidrogeológicas da área, ocupação do solo e aspectos climáticos que condicionam as necessidades hídricas para agricultura.

A avaliação da vulnerabilidade à poluição dos sistemas aquíferos na área de estudo tem por base a cartografia DRASTIC desenvolvida para o Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo (Oliveira *et al.*, 2000).

O mapa do índice de vulnerabilidade à poluição DRASTIC e DRASTIC PESTICIDE foi depois comparado com o mapa de Índice de Susceptibilidade (IS) e com os registos da monitorização espaço-temporal desenvolvida por investigadores do Instituto Superior de Agronomia (BATISTA *et al.*, 2000a; CEREJEIRA *et al.*, 1999; SILVA-FERNANDES *et al.*, 1999).

2 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde parcialmente aos concelhos de Abrantes, Almeirim, Azambuja, Benavente, Cartaxo, Chamusca, Coruche, Golegã, Montijo, Palmela, Salvaterra de Magos, Santarém e Vila Franca de Xira.

Do ponto de vista hidrogeológico, a área de estudo integra-se na Bacia Sedimentar do Tejo-Sado, correspondente a 22 cartas militares 1: 25 000, totalizando cerca de 3 287 km² (Figura 1).

Nesta área podem definir-se duas situações com características hidrogeológicas distintas:

- a) um aquífero freático, superficial, captado maioritariamente por poços e furos de pequena profundidade;
- b) aquíferos confinados e/ou semiconfinados captados a diferentes profundidades por meio de furos, constituindo os aquíferos com interesse regional para abastecimento público e rega.

De acordo com INAG (1997), as formações aquíferas dominantes são os aluviões modernos e terraços e as formações carbonatadas e detríticas do Miocénico (Grés da Ota e Calcários de Almoester) e do Pliocénico (grés argilosos, conglomerados e argilas).

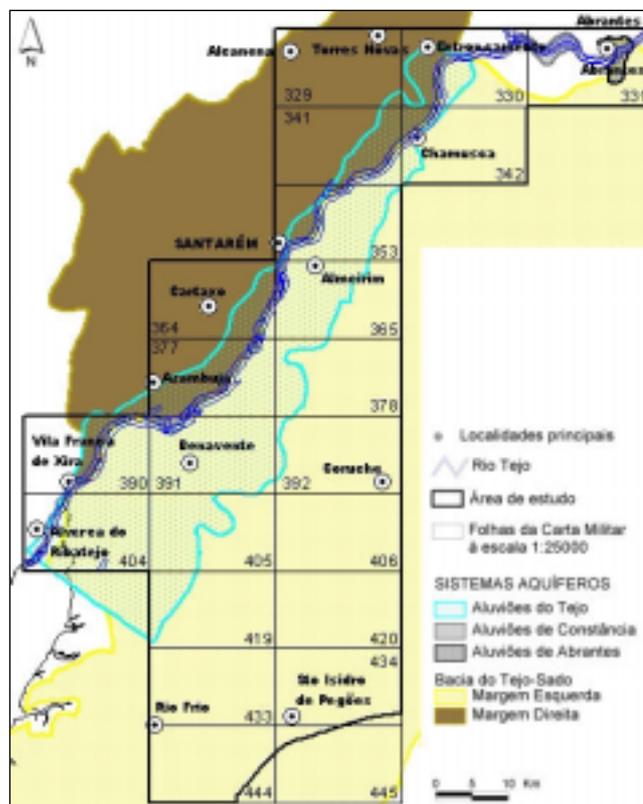


Figura 1 – Mapa das principais formações hidrogeológicas com indicação da área de aplicação do método DRASTIC

Dado o ambiente de sedimentação em que se formaram, os sistemas são muito heterogéneos, tanto no que se refere às espessuras das camadas aquíferas como no que se refere às propriedades hidráulicas. Trata-se de sistemas aquíferos porosos complexos, multicamada, em que os níveis aquíferos podem ser livres, confinados ou semiconfinados.

Estes sistemas caracterizam-se por uma porosidade média admissível, na ordem dos 20%, elevada permeabilidade horizontal, directamente relacionada com a continuidade espacial dos níveis aquíferos e uma permeabilidade vertical variável, dependendo da sucessão de leitos menos permeáveis de natureza argilosa. Os caudais médios são elevados, normalmente acima dos 6 l/s e as transmissividades atingem nalguns locais valores superiores a 1000 m²/d.

Segundo dados da APDA para o ano de 1999, a água captada na área da bacia hidrográfica do Rio Tejo para abastecimento da Grande Lisboa atingiu 248,4 hm³, dos quais 84% de origem superficial e 16% a partir de captações subterrâneas instaladas nos calcários da Ota e Alenquer, captações profundas nas Lezírias e Valada e ainda diversas captações em aluviões do Tejo.

Na área do PBH do Tejo foram contabilizadas 1577 hm³/ano de extracções de água subterrânea, dos quais 89% destinados a rega (Oliveira *et al.*, 1999). A agricultura é, portanto, o principal utilizador dos recursos hídricos subterrâneos, como aliás se verifica em outras bacias hidrográficas, nomeadamente no conjunto das bacias da região do Alentejo, onde cerca de 90 % das extracções de água subterrânea se destinam à agricultura.

Em termos climatológicos a região corresponde a um clima temperado, mediterrâneo, sub-húmido, de influência oceânica, com temperatura média anual de 16 °C e precipitação média anual entre 600 e 700 mm. Considerando a estação meteorológica de Salvaterra de Magos, situada 20 km a NE de V. Franca de Xira (séries de 1951-1970), e admitindo uma capacidade de campo de 100 mm, o déficit hídrico acumulado é de 317 L/m² para o período de Junho a Setembro (CASIMIRO MENDES e BETTENCOURT, 1980). As necessidades úteis de água das culturas em ano médio são de 6310 m³/ha.ano para o milho, 5600 m³/ha.ano para a batata, 4950 m³/ha.ano para o tomate e 4875 m³/ha.ano para os pomares.

No que se refere à ocupação agrícola na área do modelo, obtida a partir de dados de Detecção Remota (CNIG/Corine Land-Cover, 1987) e calculada através de SIG, as culturas dominantes são: sobreiro (477 km²), zonas agrícolas indiferenciadas (477 km²), sistemas culturais e parcelares complexos (473 km²), agro-floresta (270 km²), floresta (246 km²), eucalipto (215 km²), olivais (215 km²), vinhas (195 km²) e arrozais (142 km²). Na região do Ribatejo e, em particular, na área de aplicação do modelo DRASTIC predominam as culturas regadas de milho, batata e tomate para indústria.

Os solos dominantes podem ser agrupados em 3 grandes classes, correspondentes a Podzóis, Regossolos e Fluvissois (CNA, 1978).

3 - MONITORIZAÇÃO AMBIENTAL

No âmbito de um projecto de investigação financiado pelo INIA entre 1996 e 1998 (SILVA-FERNANDES *et al.*, 1999) e pela DGA entre 1998 e 2000 (BAPTISTA *et al.*, 2000b) foi possível realizar centenas de colheitas de amostras de água subterrânea, para despistagem de nitratos e pesticidas, dando continuidade a um trabalho iniciado em 1991 na região do Ribatejo (CEREJEIRA *et al.*, 1995a,b).

Nestes estudos verificou-se a ocorrência de vários pesticidas, em particular dos herbicidas alacloro, atrazina, metolacoloro, metribuzina e simazina em águas subterrâneas. Foram detectados resíduos de pesticidas em concentrações superiores a 0,1 µg/L (VMA em água para consumo humano para os pesticidas individualizados) em captações de abastecimento público e, mais frequentemente, em captações para rega. Nalgumas captações foi observada a presença conjunta de vários pesticidas, nomeadamente em concentrações superiores a 0,5 µg/L (VMA em água para consumo humano para o total de pesticidas individuais). Uma análise pluritemporal da evolução do teor em herbicidas parece indicar que as variações sazonais se relacionam com diversos factores, nomeadamente com o período de aplicação do pesticida e a prática de rega. Relativamente ao teor em nitratos detectaram-se, também, importantes variações sazonais, com a ocorrência de valores frequentemente acima do VMA de 50 mg/L (Figura 2A).

Na região do Ribatejo a dotação média de azoto fornecido pela adubação mineral é de 200 kg N/ha para o milho, 140 kg N/ha para a batata, 130 kg N/ha para o tomate e 60 kg N/ha para a vinha e pomóideas. Quanto aos herbicidas, o alacloro é aplicado na dose de 1,7 a 2,7 kg s.a./ha, a atrazina de 0,7 a 1,5 kg s.a./ha, o metolacoloro de 1,5 a 1,8 kg s.a./ha e a metribuzina de 0,5 a 0,7 kg s.a./ha (BAPTISTA *et al.*, 2000b).

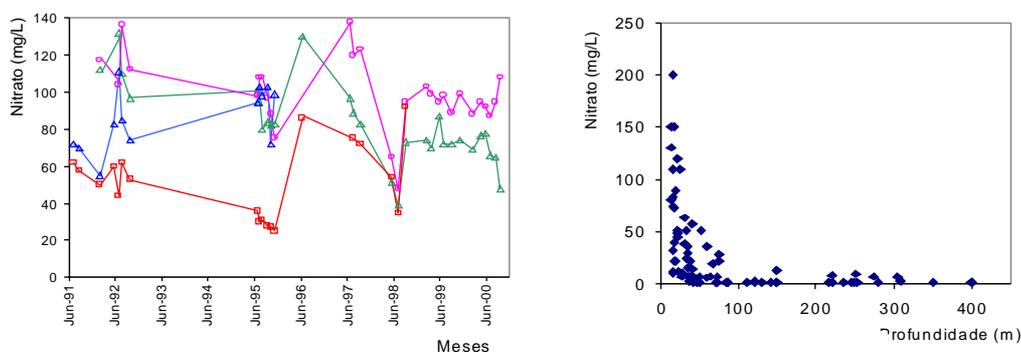


Figura 2 – (A) Evolução temporal do teor em nitratos em 4 captações na região da Golegã entre 1991 e 2000; (B) Relação entre a profundidade e o teor em nitratos

No caso dos nitratos confirma-se que se trata de uma contaminação persistente e difusa com teores médios elevados em captações com menos de 50 metros, progressivamente decrescente em profundidade. Na campanha de 1996 foram medidos nitratos em 82 estações, verificando-se que o valor da mediana até 25 metros de profundidade é de 75 mg/L e até 50 m (45 registos) de 32 mg/L (Figura 2B). Na campanha de 1998 foram medidos nitratos em 90 estações, verificando-se que o valor

da mediana até 25 metros de profundidade é de 60 mg/L e até 50 m (49 registos) é de 38 mg/L.

4 - AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE

4.1 - Método DRASTIC

O método DRASTIC de avaliação e mapeamento da vulnerabilidade foi proposto por ALLER *et al.* (1987). Segundo LOBO-FERREIRA e CABRAL (1991) entende-se por vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas “a sensibilidade da qualidade das águas subterrâneas a uma carga poluente, função apenas das características intrínsecas do aquífero”.

O método DRASTIC foi aplicado pela primeira vez em Portugal à escala nacional por LOBO-FERREIRA e OLIVEIRA (1993) a que se seguiram outros trabalhos de cartografia automática da vulnerabilidade de aquíferos (OLIVEIRA *et al.*, 1997).

A avaliação da vulnerabilidade à poluição dos sistemas aquíferos na área de estudo desta comunicação tem por base a cartografia DRASTIC desenvolvida para o Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo (OLIVEIRA *et al.*, 2000).

Exemplos de aplicação do método DRASTIC a casos particulares de estudo em áreas afectadas pela poluição agrícola no Alentejo e Algarve estão descritos em PARALTA e FRANCÉS (2000ab) e STIGTER e DILL (1999), respectivamente.

O índice de vulnerabilidade DRASTIC corresponde ao somatório ponderado dos 7 parâmetros ou indicadores hidrogeológicos que a seguir se referem:

Quadro 1
Parâmetros DRASTIC

Letra	Significado	Factor de Ponderação
D	profundidade da zona não saturada	5
R	recarga do aquífero	4
A	material do aquífero	3
S	tipo de solo	2
T	topografia	1
I	impacto da zona não saturada	5
C	condutividade hidráulica	3

Cada um dos 7 parâmetros DRASTIC é dividido quer em escalas quer em tipos de meios significativos que condicionam o potencial de poluição. O valor mínimo do índice DRASTIC é 23 e o valor máximo 226. O índice determinado é independente da carga poluente. No caso de se pretender determinar o risco de uma área à contaminação é necessário considerar igualmente o tipo de cargas poluentes, intensidade de aplicação e persistência do contaminante, no caso de estudo representado pelos fertilizantes azotados e pesticidas.

4.1.1 - Caracterização dos Parâmetros

A avaliação do índice de vulnerabilidade intrínseca do sistema determinou-se por aplicação do método DRASTIC segundo os critérios definidos por Aller *et al.* (1987), com alguns ajustamentos inerentes à escala do trabalho.

- **D** (Profundidade do topo do aquífero): Adoptou-se a profundidade do nível da água em poços e furos constante dos dados inseridos na BD <Inventar PBHTEjo.mdb> do GIAS/LNEC, aplicando polígonos de Thiessen com área de influência máxima de 5 000 metros. Corresponde maioritariamente ao índice 7, 9 e 10.
- **Recarga do aquífero**: Quantidade de água que atinge a zona saturada. Este parâmetro condiciona o transporte dos poluentes. De uma forma geral quanto maior for a recarga maior o potencial de poluição. Segundo trabalhos de diversos autores, complementados com a aplicação do método de Vermeulen *et al.* (1993, 1994) considerou-se uma recarga média entre 150 e 250 mm/ano, a que corresponde maioritariamente o índice 8.
- **A** (material do aquífero): Este parâmetro refere-se à capacidade de atenuação do aquífero que é função do material que o constitui. Uma rocha de grão mais grosseiro ou mais fracturada possui uma menor capacidade de atenuação. Adoptou-se a caracterização constante da Carta Geológica de Portugal 1:500 000 e descrição litológica das notícias explicativas das cartas geológicas 1:50 000 do IGM, a que corresponde maioritariamente o índice 7 e 8.
- **S** (tipo de solo): Este parâmetro corresponde à zona vadosa onde ocorrem as raízes das plantas. Na sua caracterização utilizou-se a Carta de Solos na escala 1:1000 000 (CNA, 1978) complementada pela descrição de Cardoso *et al.* (1973). A classificação do parâmetro S está de acordo com o Quadro de VERMEULEN *et al.* (1993 in LOBO FERREIRA e OLIVEIRA, 1993) a que corresponde o índice 8, 9, 6 e 3.
- **Topografia**: Este parâmetro condiciona a velocidade de escoamento superficial do poluente e também o gradiente hidráulico e as direcções de fluxo preferenciais, em especial nos aquíferos freáticos. O mapa de declives foi elaborado com base no Modelo Digital de Terreno (MDT) construído em SIG, com malha de 500 metros de lado. A maioria da área corresponde ao índice 10.
- **Impacto da zona não saturada**: O tipo de material da zona acima do nível freático (zona vadosa) determina o tempo de percurso do poluente, permitindo a ocorrência de diversos processos de atenuação. A caracterização deste parâmetro baseou-se na Carta Geológica de Portugal 1:500 000 e descrição litológica das notícias explicativas das cartas geológicas 1:50 000 do IGM, a que corresponde maioritariamente o índice 6 e 8.
- **Condutividade hidráulica**: Refere-se à capacidade do aquífero para transmitir água. Na sequência dos trabalhos desenvolvidos por Mendonça (1990), na área dos “Aluviões do Tejo”, Constância e Abrantes atribuiu-se índice 8 a 10, correspondente a um $K > 40$ m/d. Para as restantes áreas, utilizando ábacos que relacionam os tipos

litológicos com intervalos de variação da condutividade hidráulica (FREEZE e CHERRY, 1979), atribuiu-se maioritariamente o índice 4 ($12,2 \text{ m/d} < K < 28,5 \text{ m/d}$)

O índice DRASTIC para a área de estudo varia entre 100 e 200 com a maior parte da área (59%) incluída na subclasse 160 a 200, o que representa uma vulnerabilidade alta (Figura 3A).

4.2 - Método DRASTIC PESTICIDE

Este método é derivado do precedente. Foram apenas modificados os factores de ponderação atribuídos aos parâmetros DRASTIC tendo em conta os processos de atenuação dos pesticidas nos solos e na zona vadosa (Quadro 2).

Quadro 2
Parâmetros DRASTIC PESTICIDE

Parâmetro	D	R	A	S	T	I	C
Factor de Ponderação	5	4	3	5	3	4	2

O índice DRASTIC PESTICIDE para a área de estudo varia entre 120 e 225, com 79% da área do modelo incluída na sub-classe 180 a 230, o que representa uma vulnerabilidade alta relativamente à contaminação dos aquíferos freáticos a partir da aplicação de pesticidas na agricultura (Figura 3B).

4.3 - Índice de Susceptibilidade

O Índice de Susceptibilidade (IS), foi inicialmente testado no Projecto ERHSA (FRANCÉS *et al.*, 2001) e inspira-se no método DRASTIC sendo calculado a partir da soma ponderada de alguns parâmetros comuns: a profundidade do nível freático (D), a taxa anual de recarga (R), a natureza litológica do aquífero (A), a topografia (T) e o tipo de ocupação do solo (OS). Os pesos atribuídos a cada parâmetro foram modificados em relação ao método DRASTIC depois da consulta de técnicos e especialistas em hidrogeologia (Quadro 3).

Os quatro primeiros parâmetros foram seleccionados do método DRASTIC, tendo sido mantidos os valores correspondentes às classes e as amplitudes dos intervalos, sendo apenas reajustados para percentagem por razões de maior facilidade de interpretação do resultado final. Assim, o valor final do Índice de Susceptibilidade varia entre 0 e 100 %.

Quadro 3

Parâmetros IS

Parâmetro	D	R	A	T	OS
Factor de Ponderação	0.186	0.212	0.259	0.121	0.222

O parâmetro Ocupação do Solo (OS) foi obtido a partir de informação de satélite disponibilizada pelo CNIG (Corine Land-Cover, 1987) tendo sido definidas as classes e os respectivos índices para cada tipo de ocupação do solo através de processamento em SIG.

O resultado final da aplicação do IS para a área de estudo varia entre 46% e 90%, com a maior parte da área (54%) incluída na sub-classe 66% a 85%, que representa uma susceptibilidade alta, e ainda 15% incluídos na classe de muito alta susceptibilidade (Figura 4).

5 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

Relativamente aos resultados da monitorização do teor em nitratos na água subterrânea realizada em 1996 e 1998 verifica-se que a maioria das captações se encontra abaixo do VMA, sendo as zonas mais críticas as áreas de aquífero freático superficial na região da Golegã-Chamusca e na zona de Abrantes.

O mapeamento da vulnerabilidade DRASTIC (Figura 3A) indica como áreas de alta vulnerabilidade à poluição a zona envolvente do Rio Tejo, correspondente às formações hidrogeológicas dos “Aluviões do Tejo”. A projecção dos resultados da monitorização do teor em nitratos tem melhor correspondência na região da Golegã-Chamusca, com várias captações acima de 50 mg/L.

A cartografia DRASTIC PESTICIDE define uma extensa área a sul do Rio Tejo de vulnerabilidade alta, ampliando consideravelmente a área de vulnerabilidade alta obtida pelo método anterior, por influência do tipo de ocupação do solo. A projecção dos resultados da monitorização dos pesticidas em 1998 sobre a cartografia obtida (Figura 3B) confirma que a área mais afectada pela aplicação dos produtos fitofarmacêuticos corresponde à região da Golegã-Chamusca, com a atrazina a constituir o elemento mais frequentemente detectado, com teores entre 0,1 e 0,5 µg/L. A ocorrência de valores acima do VMA para a totalidade dos pesticidas (0,5 µg/L) em captações com mais de 50 metros de profundidade evidencia contaminações pontuais, resultantes, provavelmente, de uma contaminação da própria captação, por refluxo da calda para o seu interior na ocasião da preparação e aplicação dos produtos fitofarmacêuticos, portanto sem representatividade geográfica.

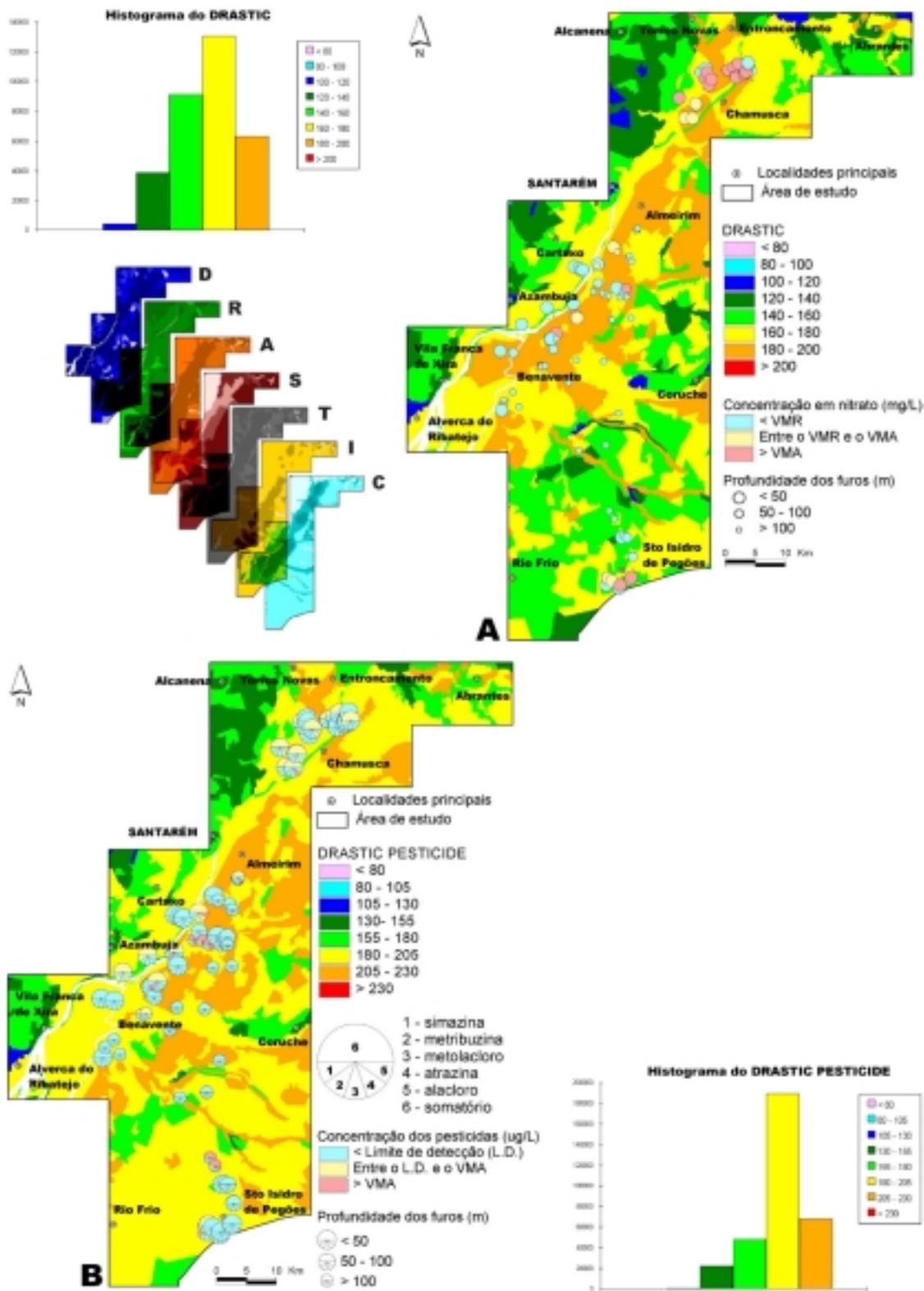


Figura 3 – Mapas de vulnerabilidade DRASTIC (A) e DRASTIC PESTICIDE (B) com indicação dos resultados da monitorização de 1998 relativa aos nitratos e pesticidas, respectivamente

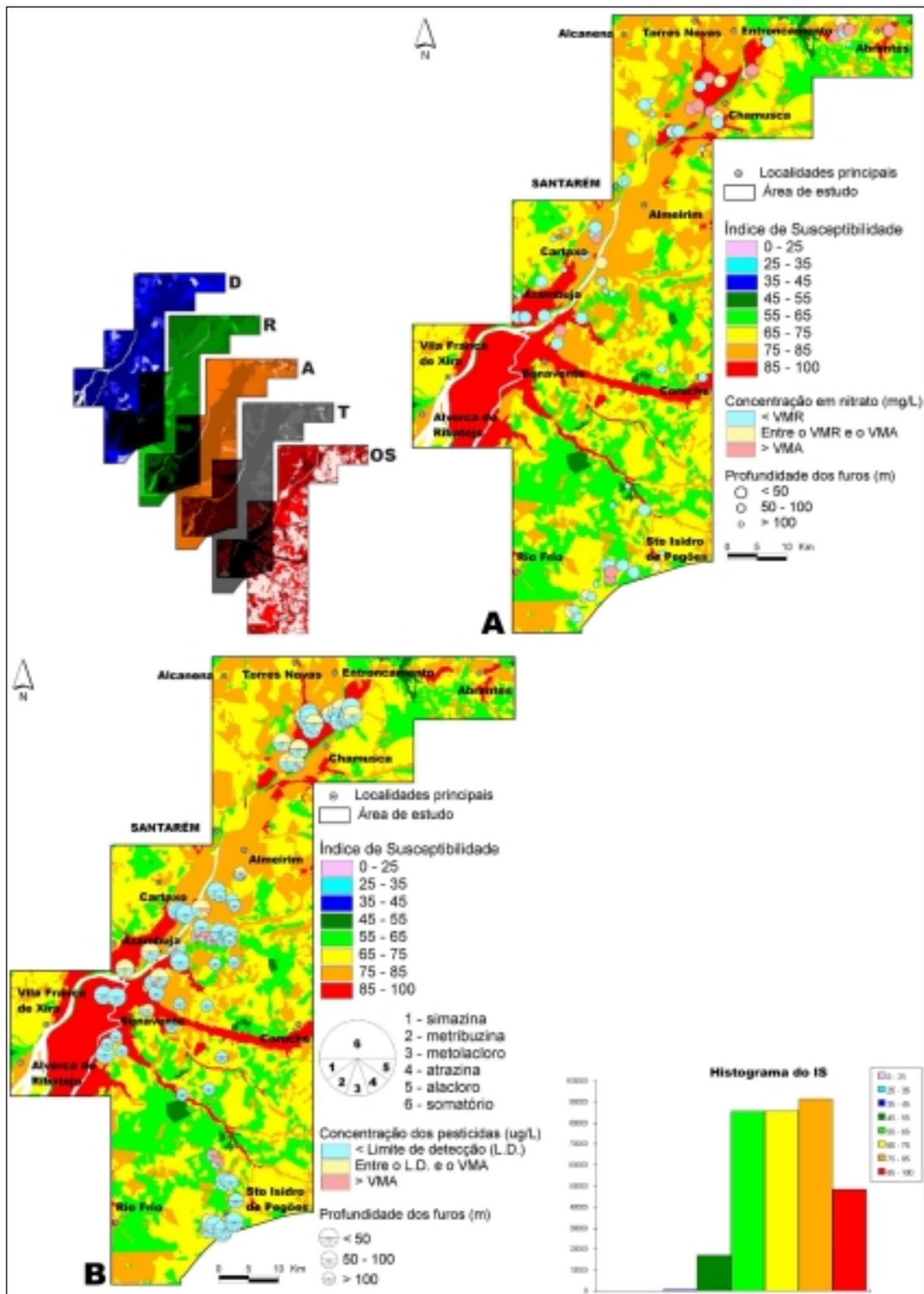


Figura 4 – Mapas do Índice de Susceptibilidade (IS) com indicação dos resultados da monitorização de 1996 relativa aos nitratos (A) e resultados das campanhas de pesticidas de 1998 (B)

O mapeamento do Índice de Susceptibilidade IS (Figura 4) indica como áreas de alta susceptibilidade à contaminação a região da Golegã-Chamusca, Abrantes e o polígono Cartaxo-Benavente-Alverca-V. Franca de Xira correspondentes a áreas de agricultura intensiva e ainda zonas de muita alta susceptibilidade correspondentes a afluentes do Rio Tejo onde estão instalados extensos arrozais.

O quadro 4 resume os resultados obtidos com os três métodos com indicação das classes de vulnerabilidade consideradas e a correspondente área do modelo, em percentagem.

Quadro 4

Distribuição das áreas do modelo em função da classe de vulnerabilidade

	Vulnerabilidade / Susceptibilidade							
	Baixa			Intermédia		Alta		Muito Alta
classes DRASTIC	< 80	80 - 100	100 - 120	120 - 140	140 - 160	160 - 180	180 - 200	> 200
classes DRASTIC PESTICIDE	< 80	80 - 105	105 - 130	130 - 155	155 - 180	180 - 205	205 - 230	> 230
classes IS	0 - 25	25 - 35	35 - 45	45 - 55	55 - 65	65 - 75	75 - 85	85 - 100
DRASTIC (%)	0	0	1	12	28	40	19	0
DRASTIC PESTICIDE (%)	0	0	0	7	15	58	21	0
IS (%)	0	0	0	5	26	26	28	15
DRASTIC (%)	1			40		59		0
DRASTIC PESTICIDE (%)	0			21		79		0
IS (%)	0			31		54		15

nota: 1% = 32.8 Km²

As metodologias aplicadas apresentam elevada correspondência entre as zonas mais vulneráveis e os registos mais elevados da mediana dos teores em nitratos, com excepção da campanha de 1998 para o método DRASTIC, porventura devido ao reduzido número de amostras na classe intermédia (Quadro 5).

Quadro 5

Estatística dos registos de nitratos (mg/L) em função das classes de vulnerabilidade

		Classes de Vulnerabilidade / Susceptibilidade											
		Intermédia				Alta				Muito Alta			
		N	Min	Med	Máx	N	Min	Med	Máx	N	Min	Med	Máx
Nitratos 96 (N = 82)	DRASTIC	18	< 2	3	38	63	< 2	16	200				
	IS	11	< 2	< 2	38	49	< 2	10	150	22	< 2	36	200
Nitratos 98 (N = 90)	DRASTIC	7	< 2	35	75	83	< 2	13	146				
	IS	9	< 2	8	59	58	< 2	13	146	23	< 2	22	140

nota: não está representada 1 amostra < 2 mg/L na classe de baixa vulnerabilidade DRASTIC 1996

A validação dos métodos empíricos com os registos da monitorização revela que apesar da elevada vulnerabilidade do sistema ainda não estamos em presença de uma situação de contaminação sistematicamente acima dos valores máximos admissíveis.

Contudo, em determinadas áreas, verificou-se que em captações até 50 metros de profundidade, os teores de nitratos ultrapassam frequentemente o respectivo VMA.

Relativamente aos produtos fitofarmacêuticos verifica-se a ocorrência frequente da atrazina, embora em valores normalmente abaixo do VMA, com excepção de algumas captações mais profundas contaminadas durante a preparação e aplicação dos pesticidas.

Em face dos resultados e dada a importância dos sistemas aquíferos em causa, poderá ser útil de futuro, proceder a uma análise a escala bastante maior, por exemplo 1:50 000, recorrendo a toda a informação disponível sobre a qualidade da água, histórica e actual, em articulação com as entidades municipais e nacionais dos Ministérios da Agricultura e do Ambiente.

Será necessário definir um programa de monitorização e uma densidade de amostragem das águas subterrâneas especialmente direccionada para as zonas consideradas de risco, que não foram objecto de estudos de pormenor nas campanhas anteriores, como é o caso da área de 500 km² no polígono Cartaxo-Benavente-Alverca-V. Franca de Xira. Esta região está referenciada como de alta a muito alta vulnerabilidade pelas três metodologias aplicadas.

A estrutura espacial da rede de monitorização é fundamental na determinação da incerteza da ocorrência de determinado elemento, de forma a permitir que essa variável possa ser modelizada através de abordagens não paramétricas, no domínio da Geoestatística (PARALTA e RIBEIRO, 2000). Os modelos estocásticos são particularmente ajustados aos problemas de poluição, em que é normal a ocorrência de valores anómalos (RIBEIRO, 1998).

Para a elaboração pormenorizada de cartografia digital das áreas de risco deverão ser igualmente considerados os aspectos de ocupação do solo, a partir de cadastro actualizado, e incorporada a informação relativa às dotações médias de fertilizantes e pesticidas, bem como dos volumes de água e eficiência dos sistemas de rega das culturas dominantes e alternativas.

Afigura-se urgente a transposição das directivas comunitárias para a protecção integrada dos recursos hídricos subterrâneos e a adopção e aplicação efectiva do Código de Boas Práticas Agrícolas (MADRP, 1997), que constituem ferramentas indispensáveis para a utilização sustentável dos recursos hídricos e protecção do meio ambiente.

As medidas de protecção das águas subterrâneas devem considerar a vulnerabilidade dos sistemas aquíferos, em função das suas características hidrogeológicas e dos riscos de contaminação efectivos ou potenciais associados às actividades humanas.

Neste contexto, os Sistemas de Informação apresentam actualmente elevadas potencialidades ao nível do processamento e análise de dados georeferenciados e da criação de Sistemas de Apoio à Decisão, constituindo portanto modernas ferramentas de gestão e ordenamento do território, com aplicação crescente em todas as áreas das Geociências e do Ambiente.

BIBLIOGRAFIA

- ALLER, L.; BENNET, T.; LEHR, J.H.; PETTY, R. J. (1987) – *DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings*, U.S. EPA Report 600/2-85/018, 1987.
- APDA (1999) – *Quem é Quem*, Revista da Associação Portuguesa de Distribuidores de Água, Lisboa, 1999, 186 pp.
- BATISTA, S.; CEREJEIRA, M.J.; SILVA, E.; VIANA, P. e SERÓDIO, L. (2000a) - *Contaminação de águas subterrâneas no Ribatejo e Oeste e no Centro Litoral com pesticidas e nitratos*, in *5º Congresso da Água - A Água e o Desenvolvimento Sustentável: Desafios para o Novo Século*, Lisboa, APRH, pp. 12, 2000.
- BATISTA, S.; CEREJEIRA, M. J. e VIANA, P. (2000b) – *Exposição de águas subterrâneas a pesticidas e nitratos (1998-2000)*. Relatório Final do Protocolo DGA / ISA, ISA, 93 pp.
- BATISTA, S.; CEREJEIRA, M.J.; TRANCOSO, A.; CENTENO, M. e SILVA-FERNANDES (1998) - *Pesticidas e nitratos em águas subterrâneas na região do Ribatejo e Oeste em 1996*. 4º Congr. Água, Lisboa, 23-27 Março 1998, 15pp.
- CARDOSO, J.C.; BESSA, M.T.; MARADO, M.B. (1973) - *Carta dos Solos de Portugal*. Agronomia Lusitana, 33, PP. 481-602.
- CASIMIRO MENDES, J.; BETTENCOURT, M. L. (1980) - *O clima de Portugal. Contribuição para o estudo do balanço climatológico de água no solo e classificação climática de Portugal continental*. Fascículo XXIV, Lisboa, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, 1980, pp. 287.
- CEREJEIRA, M.J.; BATISTA, S.; SILVA, E.; VIANA, P.; CENTENO, M. e SILVA-FERNANDES (1999) - *Avaliação do impacte da aplicação de pesticidas na qualidade da água subterrânea de ecossistemas agrícolas do País de 1989 a 1999*. 6ª Conferência Nacional da Qualidade do Ambiente, Lisboa, 20-22 Outubro 1999, Vol. 2, pp. 39-48.
- CEREJEIRA, M.J.; BACCI, E.; SILVA-FERNANDES, A. e MATOS, J. (1995a) - *Atrazine and nitrates in the drinking groundwater of the Chamusca agricultural area (Portugal)*, Toxicological and Environmental Chemistry, 51, 1995, pp.153-160.
- CEREJEIRA, M.J., SILVA-FERNANDES, A., VIANA, P. E BACCI, E. (1995b) - *Atrazine and nitrates levels in the ground water of irrigation wells in the agricultural area of Chamusca (Portugal)*, Toxicol. Environ. Chem., 49, 1995, pp. 123-128.
- CNA (1978) - *Atlas do Ambiente*. Reprodução da Carta dos Solos do Serviço de Reconhecimento e de Ordenamento Agrário, à escala 1:1 000 000, delineada por J. Carvalho Cardoso, M. Teixeira Bessa e M. Branco Marado, 1971 Comissão Nacional do Ambiente.
- CNIG (1987) – *Corine Land Cover (www.cnig.pt)*
- FRANCÉS, A.; PARALTA, E.; FERNANDES, J. e RIBEIRO, L. (2001) - *Development and application in the Alentejo region of a method to assess the vulnerability of groundwater to diffuse agricultural pollution: the susceptibility index*. 3rd

- Internacional Conference on Future Groundwater Resources at Risk, Lisbon, Portugal, IAH, 25 – 27 June, 2001.
- FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. (1979) – *Groundwater*. Prentice-Hall Inc., New York, 604 pp.
- INAG (1997) – *Definição, Caracterização e Cartografia dos Sistemas Aquíferos de Portugal Continental*. Estudo coordenado pelo Prof. Costa Almeida, Fac. de Ciências de Lisboa, para o Instituto da Água, Direcção de Serviços de Recursos Hídricos, Divisão de Recursos Subterrâneos, Lisboa, 236 pp.
- LOBO-FERREIRA, J. P.; OLIVEIRA, M. M. (1993) - *Desenvolvimento de um inventário das águas subterrâneas de Portugal – Caracterização dos recursos hídricos subterrâneos e mapeamento DRASTIC da vulnerabilidade dos aquíferos de Portugal*. Lisboa, LNEC, Relatório 179/93 – GIAS, 1993.
- LOBO-FERREIRA, J. P.; CABRAL, M. (1991) - *Proposals for an Operational Definition of Vulnerability for the European Community's Atlas of Groundwater Resources*, in the framework of the Meeting of the European Institute for Water, Groundwater Work Group, Brussels, 1991.
- MADRP (1997) - *Código de Boas Práticas Agrícolas para a protecção da água contra a poluição com nitratos de origem agrícola*. Lisboa, Ministério da Agricultura, Desenvolvimento Rural e Pescas, 1997.
- MENDONÇA, J. J. (1990) – *Sistema Aquífero Aluvionar do Vale do Tejo (V. N. da Barquinha a Alverca): Características e Funcionamento Hidráulico*. Coimbra, Tese de Doutoramento, Centro de GeoCiências da Universidade de Coimbra, 343 pp.
- OLIVEIRA, M. M.; NOVO, M. E.; MOINANTE, M. J. e LOBO-FERREIRA, J. P. (2000) – *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo - 1ª Fase, Análise e Diagnóstico da Situação Actual*. Anexo Temático 4, Tomo A- Revisão 2, GIAS, Lisboa, 379 pp.
- OLIVEIRA, M. M.; LOBO-FERREIRA, J. P. e NOVO, M. E. (1999) – *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo - 1ª Fase, Análise e Diagnóstico da Situação Actual*. Anexo Temático 4, Tomo B, GIAS, Lisboa, LNEC, 302 pp.
- OLIVEIRA, M. M.; MOINANTE, M. J. e LOBO-FERREIRA, J. P. (1997) – *Cartografia Automática da Vulnerabilidade de Aquíferos com Base na Aplicação do Método DRASTIC* – Relatório Final 60/97 GIAS, Lisboa, LNEC, 1997, 532 pp.
- PARALTA, E.; FRANCÉS, A. (2000b) - *Caracterização hidrogeológica e avaliação da vulnerabilidade à poluição do complexo gabro-diorítico de Serpa-Brinches (sector oriental do sistema aquífero dos Gabros de Beja)*. GeoNovas, Revista da Associação Portuguesa de Geólogos, nº14, Porto, 2000, pp 27-35.
- PARALTA, E. ;RANCÉS, A. (2000a) - *Avaliação da vulnerabilidade à poluição DRASTIC e cartografia de risco do aquífero gabro-diorítico da região de Beja*, in 5º Congresso da Água, Lisboa, 25 a 29 de Setembro de 2000, 15 pp.
- PARALTA, E.; RIBEIRO, L. (2000) - *Análise variográfica e cartografia de risco da contaminação por nitratos na região de Beja*. APRH, vol. 21, nº3, Lisboa, 2000, pp. 47-58.

- RIBEIRO, L. (1998) - *Probabilidades e Probabilidades Condicionais em Hidrogeologia*, in 4º Congresso da Água, Lisboa, 10 pp.
- STIGTER, T. Y.; DILL, A. C. (1999) - *Limitações do modelo DRASTIC. Aplicação a duas regiões algarvias contaminadas por nitratos*, in Seminário sobre Águas Subterrâneas. Lisboa, LNEC, 1999.
- SILVA-FERNANDES, A. M.; CEREJEIRA, M. J.; CURTO, M.; CENTENO, M. (1999) - *Avaliação do efeito poluente dos agroquímicos em águas subterrâneas do Ribatejo e Oeste*. Relatório Final do Projecto PAMAF-IED nº 4024, ISA, 124 pp.
- VERMEULEN, H.; LOBO-FERREIRA, J. P. E OLIVEIRA, M. M. (1994) - *A method for estimating aquifer recharge in DRASTIC vulnerability mapping*. Proceedings of the Second European Conference on Advances in Water Resources Technology and Management, Junho 1994, Lisboa. Rotterdam, EWRA.
- VERMEULEN, H.; LOBO-FERREIRA, J. P. E OLIVEIRA, M. M. (1993) - *A method for estimating aquifer recharge in DRASTIC vulnerability mapping*. Seminário “Águas Subterrâneas e Ambiente”, Lisboa, APRH, Maio de 1993.