

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PELO MÉTODO DRASTIC NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SORDO

Fernando A. L. PACHECO

Prof. Auxiliar, UTAD, Departamento de Geologia, Quinta de Prados, Vila Real, +351259350280, fpacheco@utad.pt

Alcino S. OLIVEIRA

Prof. Auxiliar, UTAD, Departamento de Geologia, Quinta de Prados, Vila Real, +351259350279, soliveir@utad.pt

Ana M. P. ALENCOÃO

Prof. Auxiliar, UTAD, Departamento de Geologia, Quinta de Prados, Vila Real, +351259350280, alencoao@utad.pt

Isabel Cristina RIBEIRO

Licenciada em Engª Ambiental e dos Recursos Naturais

Maria João FARIA

Licenciada em Engª Ambiental e dos Recursos Naturais

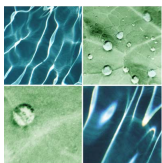
RESUMO

A bacia hidrográfica do rio Sordo, com 50,2 km², situa-se na região de Trás-os-Montes e Alto Douro (Norte de Portugal). Sob o ponto de vista geológico, é caracterizada por afloramentos de rochas cristalinas em que dominam metassedimentos paleozóicos que foram intruídos por granitos hercínicos, estes com expressão cartográfica na zona jusante da bacia. Os depósitos recentes constituem uma mancha de aproximadamente 3,2 km², localizada na zona de vale. Os sistemas aquíferos dominantes, de tipo fissural, dependem da fracturação, do estilo de dobramento dos metassedimentos e da alteração dos afloramentos. As espessas camadas de alteração que se associam em particular às rochas metassedimentares originam sistemas hidrogeológicos com elevado potencial de armazenamento.

A albufeira da bacia do Sordo é usada para abastecimento público aos concelhos de Vila Real e Santa Marta de Penaguião. O presente trabalho foi desenvolvido no contexto da prevenção contra a contaminação dos recursos hídricos. O método escolhido de avaliação da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas foi o método DRASTIC, que assenta na combinação ponderada de 7 parâmetros considerados importantes no controlo da propagação de contaminantes. Os resultados encontrados apontam para uma vulnerabilidade média baixa para a bacia já que mais de 90% da área é caracterizada por um índice DRASTIC igual ou inferior a 140. Os 6,8% de área com índice no intervalo 140-160 (valores médios a altos) concentram-se na área coberta por aluviões e em sectores do contacto entre granitos e xistos. Estes sectores deveriam ser considerados como zonas sensíveis no âmbito do Plano de Desenvolvimento Regional de Vila Real.

Palavras Chave

DRASTIC, vulnerabilidade, contaminação, hidrogeologia, recursos hídricos



1. INTRODUÇÃO

Actualmente, os problemas de qualidade da água constituem uma preocupação dos agentes responsáveis pela gestão dos recursos hídricos, em consequência de uma maior consciencialização relativamente ao uso da água. Em Portugal recorre-se por vezes a águas subterrâneas, tanto para o abastecimento doméstico como para os sectores agrícola e industrial. A qualidade da água subterrânea é em geral superior à da água superficial, sendo no entanto frequente a ocorrência de problemas de contaminação de aquíferos relacionados com práticas agrícolas incorrectas, actividades pecuárias menos cuidadas, ou rejeição de efluentes domésticos e industriais não tratados.

A gestão sustentada dos recursos hídricos implica uma atitude de pré-estudo e precaução que deverá integrar uma visão estratégica e holística.

O presente trabalho pretende quantificar os parâmetros de vulnerabilidade à poluição dos sistemas aquíferos da bacia hidrográfica do Rio Sordo, através da utilização do modelo DRASTIC, de modo a contribuir para a gestão e protecção dos recursos hídricos subterrâneos nesta zona de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Assim, a construção de um mapa DRASTIC, que constitui o objectivo geral do trabalho, enquadra os seguintes objectivos específicos:

- Quantificar espacialmente os diferentes parâmetros que integram o índice DRASTIC;
- Identificar zonas vulneráveis à contaminação das águas subterrâneas;
- Contribuir para a gestão e protecção dos recursos hídricos subterrâneos da região;
- Disponibilizar informação para o refinamento das cartas temáticas do Plano Director Municipal de Vila Real, no domínio dos recursos hídricos.

2. METODOLOGIA

A estimativa do índice DRASTIC (*in* LOBO FERREIRA, 1995) resulta da soma ponderada de 7 valores correspondentes aos seguintes parâmetros ou indicadores hidrogeológicos:

- D** - Profundidade da zona não-saturada (**D**epth to the water table)
- R** - Recarga profunda dos aquíferos (**R**echarge)
- A** - Material do aquífero (**A**quifer material)
- S** - Tipo de solo (**S**oil type)
- T** - Topografia (**T**opography)
- I** - Impacto da zona não-saturada (**I**mpact of the unsaturated zone)
- C** - Condutividade hidráulica (**C**onductivity)

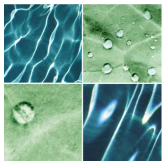
mediante a aplicação da expressão:

$$\text{DRASTIC} = D_p \times D_i + R_p \times R_i + A_p \times A_i + S_p \times S_i + T_p \times T_i + I_p \times I_i + C_p \times C_i \quad (1)$$

em que:

- i - índice atribuído ao parâmetro em causa;
- p - peso atribuído ao parâmetro em causa.

Para a área de estudo a atribuição dos índices a cada parâmetro baseou-se em informação específica relativa a dados hidrogeológicos, à geologia, à fracturação, aos solos, e à topografia, procurando que desta forma se obtivesse uma carta de vulnerabilidade tão real quanto possível. A informação disponível foi digitalizada no programa MICROSTATION SE transformando-se em mapas de base para processamento subsequente.



Na elaboração dos mapas relativos a cada parâmetro foi utilizado o programa SURFER que interpreta cada mapa de base sob a forma de uma grelha a cujos nós é atribuído o código relativo a esse parâmetro. O mesmo programa permite ainda a ponderação de cada grelha e a sua soma com vista à elaboração do mapa DRASTIC.

3. ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, com 51,2 km², situa-se no norte de Portugal na Região de Trás-os-Montes e Alto Douro. Trata-se de uma pequena bacia hidrográfica drenada pelo rio Sordo, com aproximadamente 20 km de extensão, que se insere na bacia hidrográfica do rio Douro.

3.1. Geologia e fracturação

Sob o ponto de vista geológico (figura 1), afloram na área rochas cristalinas em que dominam metassedimentos paleozóicos intruídos por granitos hercínicos, estes com expressão na zona a jusante da bacia hidrográfica. Os depósitos recentes têm uma representação significativa na zona de vale, constituindo uma mancha de aproximadamente 3,2 km².

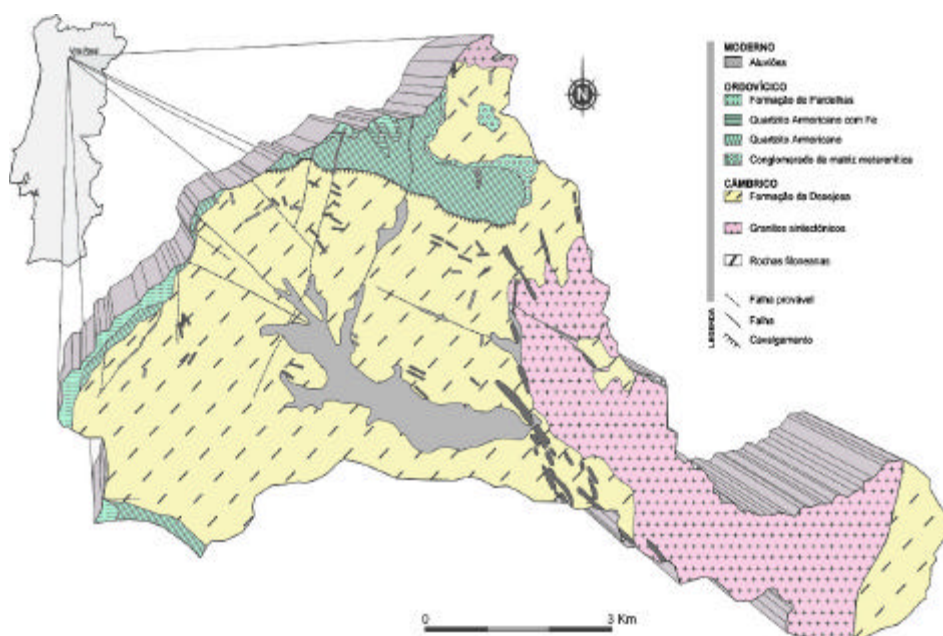
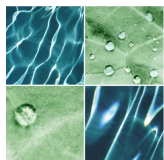


Figura 1 - Enquadramento e geologia da área de estudo (Adaptado das cartas geológicas, 1:50 000, 10-A e 10-C)

Os terrenos mais antigos são datados do Câmbrio e pertencem à Formação da Desejosa, definida por SOUSA (1982) e incluída no Grupo do Douro do Complexo Xisto Grauváquico. Constituem o afloramento de maior representatividade, caracterizado litologicamente pela alternância de filitos cinzentos e negros com níveis de metassiltitos e metagrauvaques, pontualmente carbonatados. O Ordovício surge na bordadura noroeste da bacia hidrográfica, estando representadas formações datadas do Ordovício inferior e médio. A sequência dos terrenos ordovícicos inicia-se por um conglomerado de matriz metarenítica na base, seguido da Formação do Quartzito Armoricano, uma alternância de quartzitos, metassiltitos e filitos com níveis de ferro intercalados, que, no sector norte da bacia hidrográfica, cavalga a Formação da Desejosa. A Formação de Pardelhas, datada do Ordovício médio, está escassamente representada, tratando-se de xistos micáceos e filitos com intercalações de metassiltitos.



Os granitos ocupam uma área relativamente reduzida e são considerados sin-tectónicos relativamente a F3 da orogenia hercínica. Trata-se de granitos de duas micas de grão médio a grosseiro com esparsos megacristais (PEREIRA, 1989).

Na zona de contacto, entre os granitos e os xistos da Formação da Desejosa, são frequentes intrusões filoneanas de aplitos cuja orientação é predominantemente NW-SE. Este dique aplítico serviu de barreira à drenagem do vale da Campeã, favorecendo a acumulação dos depósitos coluviais-aluviais provenientes dos cumes do Marão e do Alvão. São ainda frequentes filões de quartzo, de direcção variável, que surgem dispersos nas formações de rochas cristalinas.

A fracturação é intensa salientando-se como dominantes o sistema com direcção NE-SW a NNE-SSW e o sistema conjugado NW-SE.

A partir de fotografias aéreas à escala 1:25 000 foi feita a interpretação de lineamentos estruturais que serviu de base ao mapa de densidade de lineamentos (figura 2), no qual se representa o comprimento de lineamentos por unidade de área.

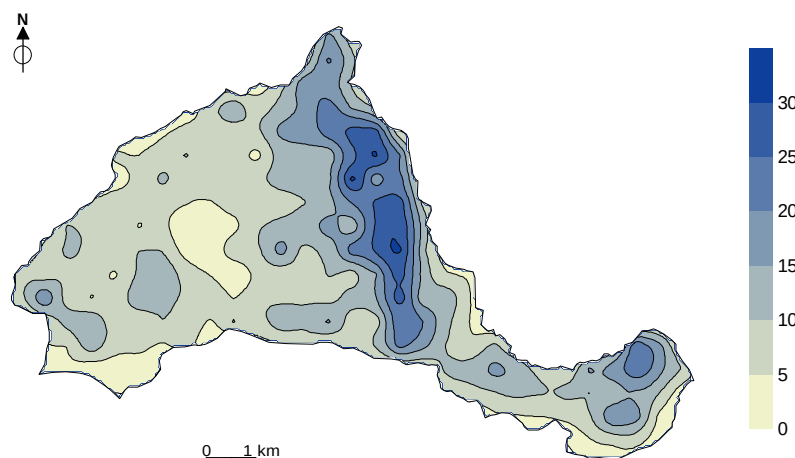


Figura 2 - Mapa de densidade de lineamentos (km lineamentos/km²) da bacia hidrográfica do rio Sordo

3.2. Tipo de solo e uso da terra

De acordo com AGROCONSULTORES e COBA (1991), os tipos de solo na bacia hidrográfica do rio Sordo são os leptossolos, que cobrem uma área significativa, surgindo também, com menor representação, fluvisolos na zona do vale da Campeã e antrossolos no sector mais a jusante da bacia hidrográfica. As diferentes unidades especificam-se no quadro 1 e a distribuição espacial das mesmas ilustra-se na figura 3.

Quadro 1 - Unidades de solo presentes na bacia hidrográfica do Sordo

Unidade	Designação
Lux	leptossolos úmbricos de xistos e rochas afins
Lug	leptossolos úmbricos de granitos e rochas afins
Idox	leptossolos dístricos órticos de xistos e rochas afins
Isg	leptossolos líticos de granitos e rochas afins
Jua	fluvisolos úmbricos de aluviões
Jdoa	fluvisolos dístricos órticos de aluviões recentes e antigas
Tatug	antrossolos áricos terrácicos úmbricos em zonas de granitos e rochas afins
Tasdx	antrossolos áricos surribicos dístricos em zonas de xistos e rochas afins
Tatdg	antrossolos áricos terrácicos dístricos em zonas de xistos e rochas afins

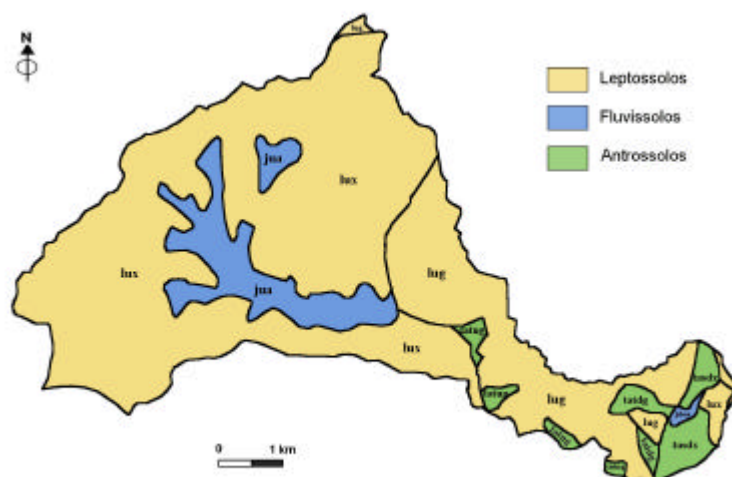
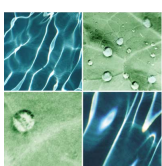


Figura 3 - Carta de solos da bacia hidrográfica do rio Sordo

O uso da terra é condicionado fundamentalmente pela morfologia da bacia hidrográfica. As regiões menos acidentadas, mais frescas e férteis, implantadas em zonas de baixa são, na maioria das situações, utilizadas para agricultura diversificada. As áreas mais elevadas e de solos mais pobres são ocupadas por floresta, demarcando-se na região mais a jusante manchas em que é cultivada a vinha em consórcio com a oliveira. Nas encostas mais elevadas a norte e noroeste da bacia hidrográfica surge vegetação espontânea constituída por cobertura herbácea e arbustiva.

3.3. Topografia

A topografia da bacia do Sordo mostra uma zona pouco acidentada, situada na parte central, que é marginada por encostas com relevo mais acidentado, particularmente na bordadura norte a sudoeste da bacia hidrográfica. Em termos altimétricos as cotas situam-se aproximadamente entre os 200 m e os 1400 m (figura 4), possuindo declives no intervalo compreendido entre os 8 e os 25 %.

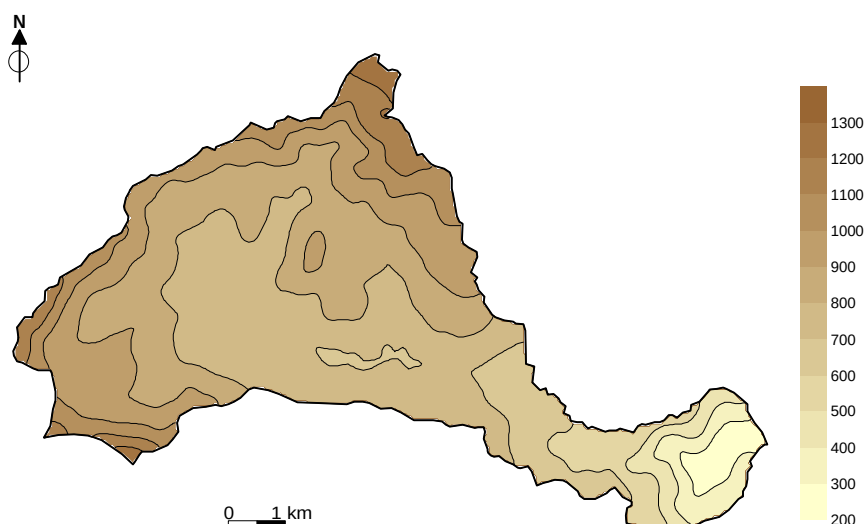
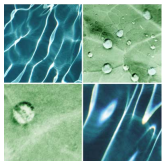


Figura 4 - Esboço da altimetria (m) da bacia hidrográfica do rio Sordo



3.4. Recursos hídricos

Os sistemas aquíferos dominantes são de tipo fissural e dependem, naturalmente, da fracturação e alteração dos afloramentos. Os depósitos de cobertura, pela elevada produtividade, poderão constituir bons sistemas aquíferos. As espessas camadas de alteração que se associam em particular às rochas metassedimentares originam sistemas hidrogeológicos com elevado potencial de armazenamento, constituindo aquíferos subsuperficiais significativos que servem também de elementos de recarga profunda.

A drenagem superficial e as direcções de fluxo subterrâneo são condicionadas pelas condições topográficas e geomorfológicas (PEREIRA, 1989). Relativamente a recursos hídricos superficiais salienta-se a existência de uma barragem, na zona mais a jusante da bacia, com uma albufeira cuja capacidade de 1 000 000 m³ permite o abastecimento de água aos concelhos de Vila Real e de S^{ta} Marta de Penaguião.

3.5. Fontes de contaminação

As principais fontes de contaminação antrópica a considerar na bacia hidrográfica do rio Sordo relacionam-se fundamentalmente com actividades agro-pecuárias, domésticas e industriais, cuja distribuição espacial se pode identificar na figura 5.

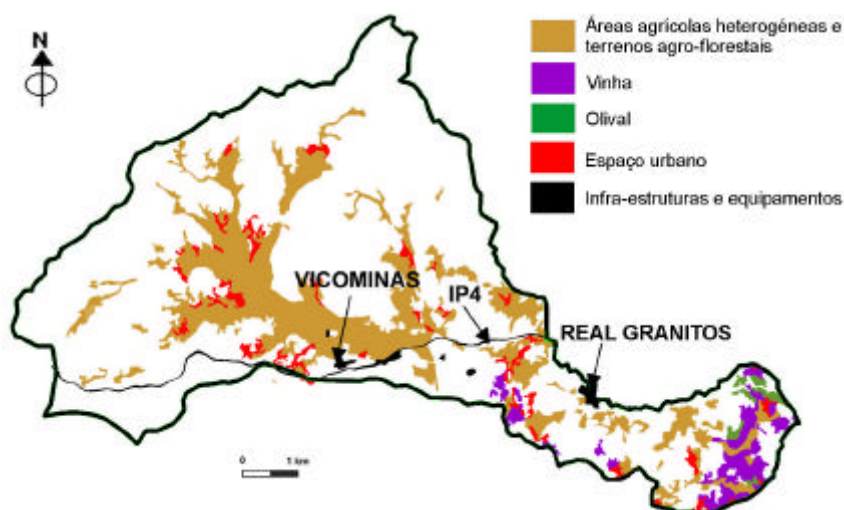
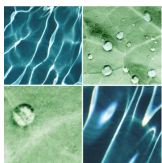


Figura 5 - Localização de eventuais focos de contaminação na bacia do rio Sordo

A actividade agro-pecuária cobre as regiões baixas da bacia hidrográfica, salientando-se os aspectos protagonizados pelas pastagens e pela existência de vacarias, coelheiras e estufas. A poluição gerada pelas actividades agrícola e pecuária caracteriza-se pelos efluentes resultantes da degradação de adubos orgânicos e inorgânicos, da utilização de fitossanitários e correctivos do solo e da acumulação de resíduos que apresentam um espectro de poluição orgânica e inorgânica.

As fontes de poluição com origem doméstica estão associadas às povoações. Têm origem nas fossas sépticas e outros dispositivos sanitários, de construção deficiente, que são de uso corrente nestes locais. Refere-se a quase inexistência de infra-estruturas de saneamento, à escala da bacia hidrográfica, e a ausência de estações de tratamento de águas residuais.

A actividade industrial é muito reduzida, podendo referir-se a antiga siderurgia da VICOMINAS, na freguesia da Campeã, que findou a sua actividade no início da década de 80 mas manteve as suas escombrelas no local sem qualquer tipo de recuperação. Além desta infra-estrutura existe uma indústria



de transformação de granitos e mármore e uma pedreira de granito ornamental, pertencentes à empresa REAL GRANITOS, SA.

Existem outras fontes de poluição não directamente relacionadas com as referidas anteriormente, nas quais se incluem poços mal construídos e abandonados, sucatas de origem diversa, lixeiras isoladas, a área de influência do traçado do IP4, etc.

4. APLICAÇÃO DO MODELO DRASTIC À BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SORDO

Utilizando todos os dados disponíveis quantificaram-se, em termos de índice, os diferentes parâmetros hidrogeológicos para bacia hidrográfica do rio Sordo com os quais foi possível calcular o índice DRASTIC e a sua representação em termos espaciais.

4.1. Profundidade da zona não saturada (D)

Este parâmetro foi estimado a partir dos dados do nível hidrostático (NHE) de 42 poços inventariados. Ainda que a distribuição espacial dos mesmos não cubra regularmente toda a bacia hidrográfica, uma vez que os mesmos não existem nas zonas de cota mais elevada, utilizou-se toda a informação disponível. Na figura 6 apresenta-se a distribuição espacial do parâmetro **D** em acordo com os valores do NHE.

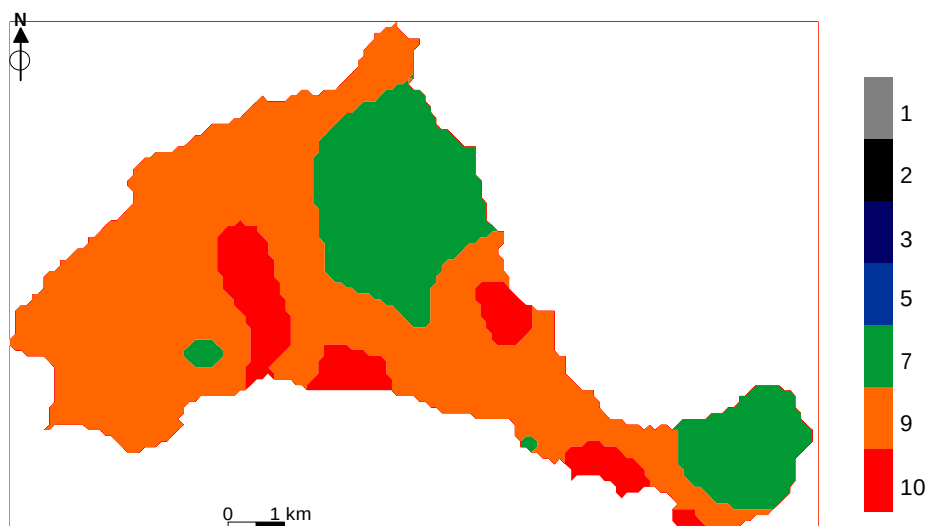


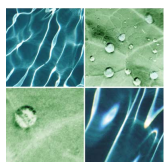
Figura 6 - Distribuição espacial do parâmetro **D** na bacia hidrográfica do rio Sordo

4.2. Recarga profunda de aquíferos (R)

Não existe informação disponível que permita caracterizar a distribuição espacial da recarga no seio da bacia hidrográfica do rio Sordo. Por esse motivo assumiu-se um valor constante para toda a bacia, valor igual ao determinado por ALENCOÃO e PORTUGAL FERREIRA (2000) para a bacia do rio Corgo, do qual o rio Sordo é afluente. O valor da referida recarga é 153 mm/ano a que corresponde o índice 6 do parâmetro **R**.

4.3. Material do aquífero (A)

O mapa temático relativo ao parâmetro **A** combina o factor litológico com o factor estrutural. Por outras palavras, o índice relativo a este parâmetro foi determinado com base no mapa geológico e no mapa de densidade de lineamentos (figura 2). A definição de categorias de vulnerabilidade a partir do



mapa geológico foi feita considerando que os depósitos aluvionares se integram na *categoria 1* e as rochas ígneas e metassedimentares na *categoria 2*. Aos locais da bacia do Sordo abrangidos por terrenos da categoria 1 foi atribuído o índice 6. Relativamente aos terrenos da categoria 2 foram atribuídos os índices 4 ou 5, consoante a densidade de lineamentos é inferior ou superior a 16 km de lineamentos/km². Os resultados obtidos apresentam-se na figura 7.

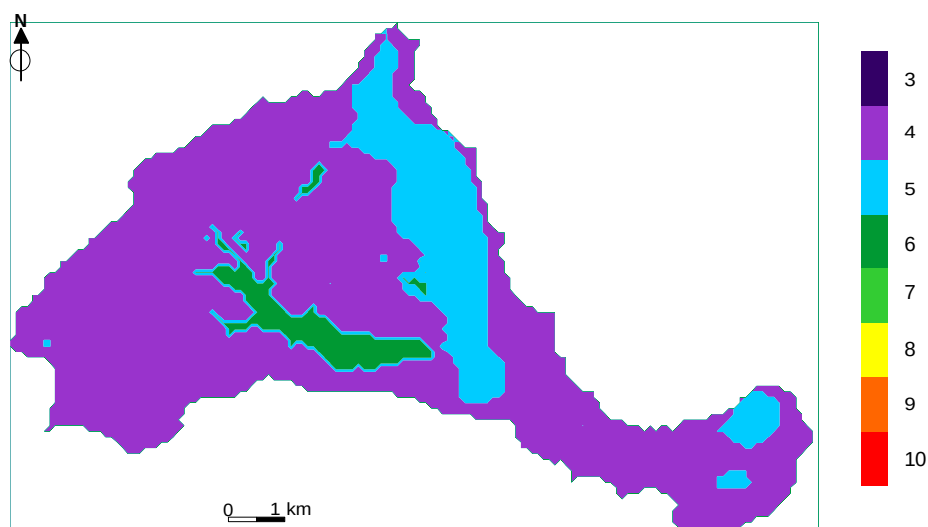


Figura 7 - Distribuição espacial do parâmetro **A** na bacia hidrográfica do rio Sordo

4.4. Tipo de solo (**S**)

Para as unidades de solo definidas no ponto 3.3., e de acordo com AGROCONSULTORES e COBA (1991), fez-se a caracterização textural das diferentes unidades a qual permitiu definir os índices relativos ao parâmetro **S** conforme se apresenta no quadro 2.

Quadro 2 - Caracterização textural das unidades de solo presentes na bacia do Sordo e respectivo índice

Unidade	Areia (%)	Argila (%)	Limo (%)	Textura	Índice
Lux	62	27	11	Franco arenoso	5
Lug	71	18	11	Franco arenoso	5
Idox	63	25	12	Franco arenoso	5
Isg	86	8	6	Franco arenoso	8
Jua	63	19	17	Franco arenoso(próximo do franco arenoso argiloso)	4
Jdoa	66	19	14	Franco arenoso	7
Tatug	75	15	10	Franco arenoso(próximo do arenoso franco)	8
Tasdx	66	27	8	Franco arenoso	7
Tatdg	75	15	10	Franco arenoso(próximo do arenoso franco)	8

A distribuição espacial do parâmetro **S** ilustra-se na figura 8.

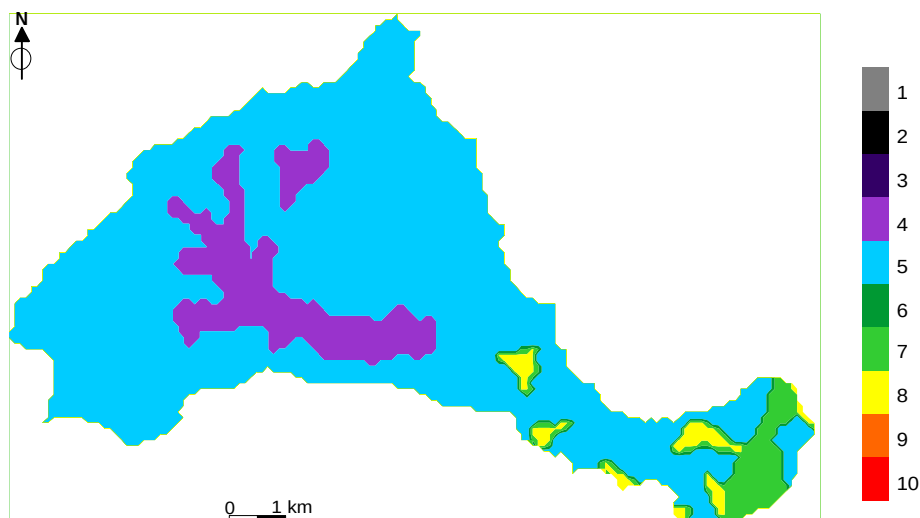
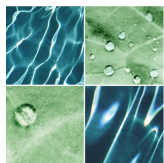


Figura 8 - Distribuição espacial do parâmetro **S** na bacia hidrográfica do rio Sordo

4.5. Topografia (T)

A partir dos dados altimétricos da bacia hidrográfica obteve-se o mapa de declives, que serviu de base para a execução do mapa relativo ao parâmetro **T**, ilustrado na figura 9.

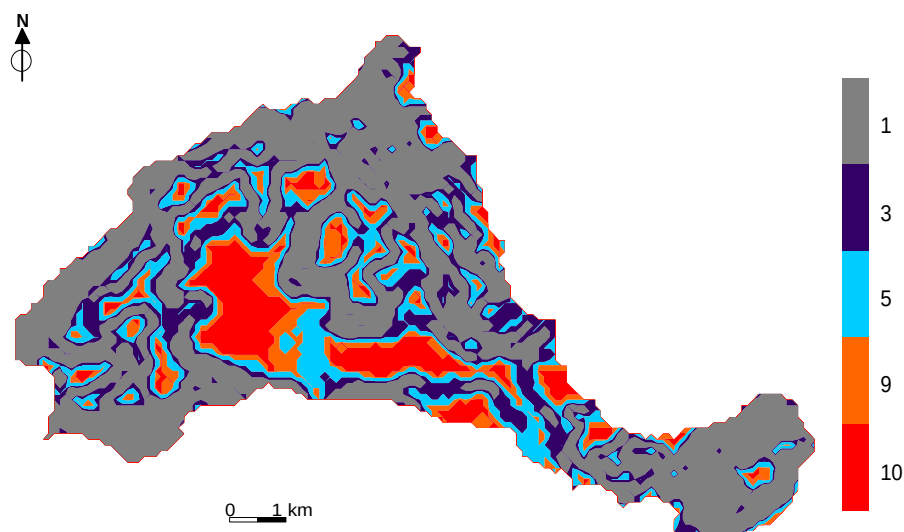
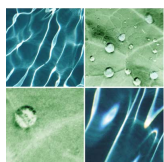


Figura 9 - Distribuição espacial do parâmetro **T** na bacia hidrográfica do rio Sordo

4.6. Impacto da zona não saturada (I)

A estimativa deste parâmetro teve em consideração os dados litológicos e os dados associados à densidade de lineamentos. O tipo de material existente na zona não saturada, e no caso das rochas cristalinas a sua densidade de fracturação (km de lineamentos/km²), condiciona o tempo de contacto do poluente com o sistema natural permitindo, ou não, processos de remoção desses mesmos elementos nocivos. Os índices adoptados para o parâmetro **I**, tendo em consideração os elementos anteriormente referidos, apresentam-se no quadro 3.



Quadro 3 - Índices adoptados para o parâmetro I

Litologia			Índice
Granito Quartzito Xisto	Densidade lineamentos (km/km ²)	0-8	5
		9-16	6
		17-24	7
		25-32	8
Aluvião			6

A distribuição espacial do parâmetro I apresenta-se na figura 10. Salienta-se que os sectores mais vulneráveis destacam os alinhamentos correspondentes às principais famílias de fracturas que retalham a bacia hidrográfica.

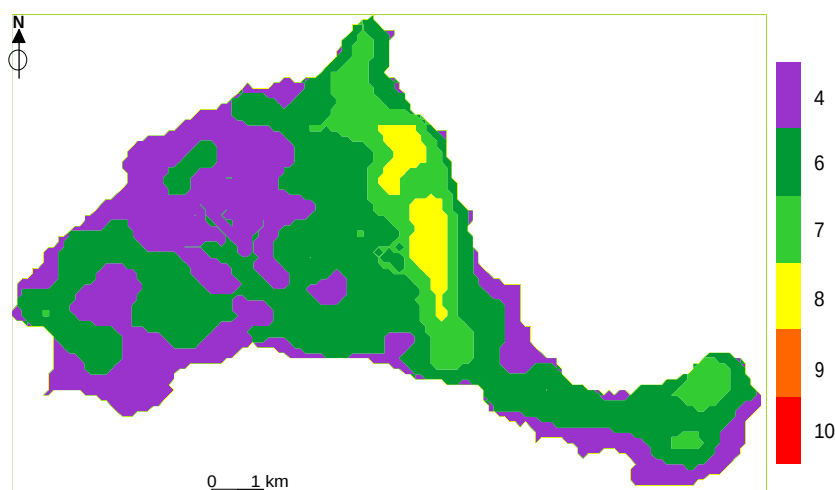


Figura 10 - Distribuição espacial do parâmetro I na bacia hidrográfica do rio Sordo

4.7. Condutividade hidráulica (C)

Os índices relativos ao parâmetro C foram determinados com base na litologia e na densidade de ineamentos. De acordo com os valores representativos da condutividade hidráulica, existentes na literatura da especialidade (DOMENICO e SCHWARTZ,1990), e tendo em conta os factores anteriormente referidos apresentam-se no quadro 4 os índices adoptados para o parâmetro C e na figura 11 a distribuição espacial deste parâmetro.

Quadro 4 - Índices adoptados para o parâmetro C

Litologia			Cond. hidráulica (m/d)	Índice
Granito	Densidade de lineamentos (km/km ²)	0-8	8,64x10 ⁻³	1
		9-16	8,64x10 ⁻²	1
		17-24	8,64x10 ⁻¹	1
		25-32	8,64x10 ⁰	2
Quartzito		0-8	8,64x10 ⁻²	1
		9-16	8,64x10 ⁻²	1
		17-24	8,64x10 ⁻¹	1
		25-32	8,64x10 ⁰	2
Xisto		0-8	8,64x10 ⁻⁴	1
		9-16	8,64x10 ⁻³	1
		17-24	8,64x10 ⁻²	1
		25-32	8,64x10 ⁻¹	1
Aluvião			8,64x10 ⁰	2

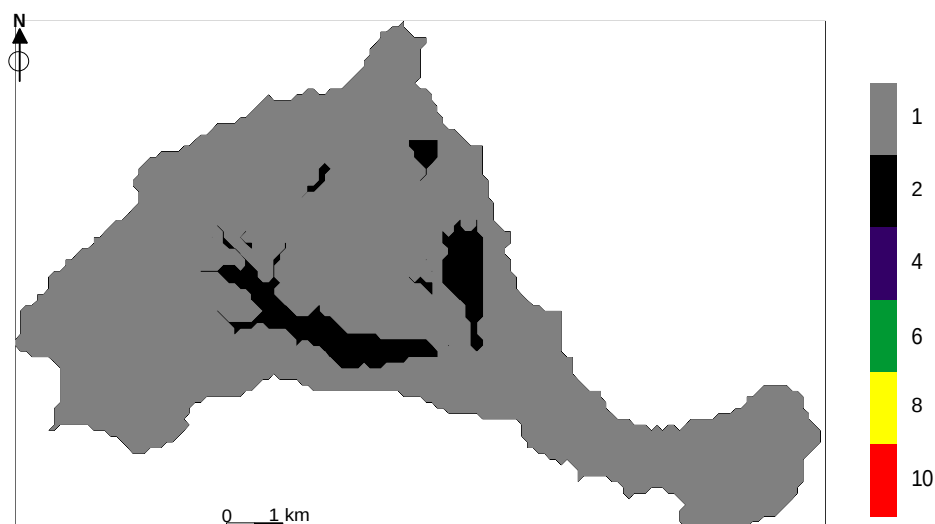
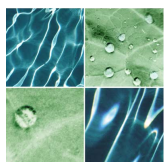


Figura 11 - Distribuição espacial do parâmetro **C** na bacia hidrográfica do rio Sordo

4.8. Mapa de índice DRASTIC

Da ponderação e soma dos diferentes parâmetros, mediante a aplicação da equação (1), obteve-se o mapa DRASTIC que se apresenta na figura 12. Os sectores de vulnerabilidade encontrados para a bacia hidrográfica do rio Sordo enquadram-se no intervalo 100 a 160, com predomínio, em termos espaciais, do intervalo 120 a 140.

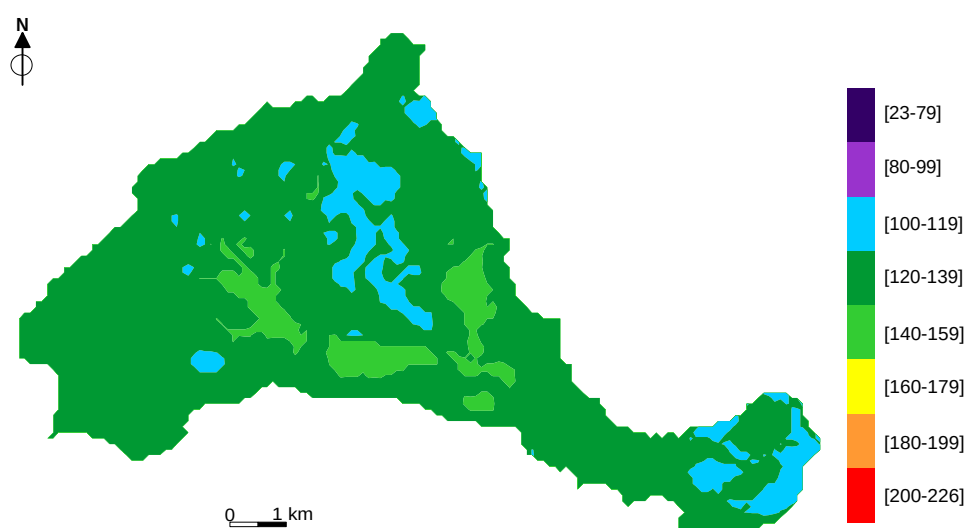
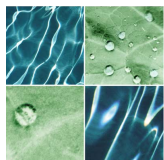


Figura 12 - Mapa DRASTIC para a bacia hidrográfica do rio Sordo

CONCLUSÕES

Destaca-se do mapa que, tomando em atenção os diferentes parâmetros que condicionam a vulnerabilidade do meio à contaminação, e os pesos atribuídos aos mesmos, as zonas com índice DRASTIC mais elevado e consequentemente mais vulneráveis (140 a 160) são as zonas cobertas por aluviões, a zona de contacto entre granitos e formações metassedimentares e a zona de maior



concentração de estruturas filoneanas. A generalidade da bacia é caracterizada por valores de índice DRASTIC moderados a baixos (120-140), ou baixos (100-120), não se verificando a predominância de nenhum dos parâmetros.

Salienta-se a proximidade ou coincidência de importantes focos potencialmente contaminantes com sectores de maior vulnerabilidade: 1) a trajectória do IP4, na zona central da bacia; 2) alguns núcleos urbanos; e 3) áreas agrícolas.

Os planos de gestão territorial e uso dos solos desta região deveriam considerar estas realidades nomeadamente: 1) na adopção de medidas preventivas e de protecção ambiental contra eventuais contaminações decorrentes do tráfego associado ao IP4; 2) na concepção de sistemas de saneamento básico e tratamento de águas residuais; 3) na prática de actividades agropecuárias, cujos níveis de contaminação não devem ultrapassar a capacidade de neutralização pelo sistema natural.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho beneficiou de verbas do projecto POCTI/CTA/40772/2001, aprovado pela FCT e POCTI, participado pelo fundo comunitário europeu FEDER.

BIBLIOGRAFIA

AGROCONSULTORES & COBA - UTAD (1991). *Carta de solos, carta do uso actual da terra e carta de aptidão da terra do nordeste de Portugal*. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Projecto de desenvolvimento rural integrado de Trás-os-Montes e Alto Douro (PDRITM).

ALENCOÃO, A. M. P. E PORTUGAL FERREIRA, M. (2000). "Groundwater runoff and effective infiltration in hydrographic basins of Trás-os-Montes e Alto Douro region (Northen of Portugal)". In *CD-Rom Abstracts of 31st International Geological Congress*. Rio de Janeiro.

DOMENICO, P. A. & SCHWARTZ, F. W. (1990). *Physical and chemical hydrogeology*. New York: John Wiley & Sons.

LOBO-FERREIRA, J. P.; OLIVEIRA, M. M.; CIABATTI, P. (1995). "*Desenvolvimento de um inventário das Águas Subterrâneas de Portugal*", 1º Volume, LNEC, Departamento de Hidráulica, Grupo de Investigação de Águas subterrâneas.

PEREIRA, E. (1989). *Notícia Explicativa da folha 10-A Celorico de Basto*. Direcção Geral de Geologia e Minas. Serviços Geológicos de Portugal.

SOUSA, M. B. (1982). *Litoestratigrafia e Estrutura do "Complexo Xisto-Grauváquico ante-Ordovícico" - Grupo do Douro (Nordeste de Portugal)*. Tese de doutoramento, Universidade de Coimbra.