

Os inventários de recursos hídricos subterrâneos como ferramenta de suporte à gestão dos recursos hídricos à escala local

J. Teixeira^(a,b), E. Silva^(c), R. Gomes^(d), A. Gomes^(b), F. Rocha^(a)

^(a) Centro GeoBioTec, Universidade de Aveiro, jateixeira@letras.up.pt; tavares.rocha@ua.pt

^(b) CEGOT, Universidade do Porto, albgomes@gmail.com

^(c) Faculdade de Letras, Universidade do Porto, epqsilva@gmail.com

^(d) Câmara Municipal de Castelo de Paiva, rui.flupgeo@gmail.com

Resumo

Nos últimos anos a União Europeia produziu diversa legislação relativa aos recursos hídricos subterrâneos, tendo por base a sua preservação, conservação e gestão eficiente. Portugal transpôs e implementou estas orientações, incorporando assim a questão da proteção das águas subterrâneas no planeamento, nomeadamente à escala municipal.

Este trabalho pretende evidenciar a utilidade dos inventários de emergências, bem como a sua relação com a análise de vulnerabilidade preconizada na Lei Portuguesa, constituindo assim, metodologias importantes de suporte à gestão destes importantes recursos, tanto a nível municipal como local.

Deste modo, apresentam-se os resultados de um inventário de recursos hídricos subterrâneos realizado na pequena bacia hidrográfica da Ribeira de Sá, localizada no concelho de Castelo de Paiva, em Portugal.

Os resultados obtidos nesta área reforçam claramente a importância do conhecimento inicial dos recursos existentes, nomeadamente através da inventariação, para que se definam medidas de proteção e gestão adequadas.

Palavras chave: Águas subterrâneas; Nascentes; Inventário; Base de dados espacial; SIG

1. Introdução

Nos últimos anos, as questões relacionadas com a preservação, conservação e gestão eficiente dos recursos hídricos subterrâneos ganharam uma importância acrescida, tendo a União Europeia e os diversos estados membros, incluindo Portugal, produzido legislação diversa relacionada com este tema.

Assim, a Diretiva 2000/60/CE estabelece orientações para que cada Estado-Membro proteja, melhore e reconstitua as massas de água subterrâneas, evitando e limitando as descargas de poluentes (sólidos, líquidos e gasosos), de modo a obter uma boa qualidade das águas subterrâneas. É, por isso, importante que as águas subterrâneas sejam vistas como um elemento importante nas sociedades atuais, e que se consciencialize os decisores da necessidade de investimentos na sua proteção e valorização (Foster & Chilton, 2003).

Em Portugal, o Decreto-Lei n.º 208/2008 indica as medidas de prevenção e controlo da contaminação das águas subterrâneas, bem como os critérios para a avaliação do seu estado químico, da concentração de

poluentes, e para a definição de um ponto de partida para o início do melhoramento do estado da qualidade das massas de água e dos aquíferos. Além disso, o Decreto-Lei 130/2012 aponta, no artigo 8º “... para a necessidade de promover a proteção e o planeamento das águas, através da elaboração e execução do plano nacional da água, dos planos de gestão de bacia hidrográfica e dos planos específicos de gestão de águas, e assegurar a sua revisão periódica”. À escala municipal e a um nível operacional, as águas subterrâneas ganham relevância acrescida na definição de áreas a incluir na Reserva Ecológica Nacional (REN). Estas áreas são definidas com base numa identificação de áreas vulneráveis, nomeadamente através dos critérios referidos na Resolução do Conselho de Ministros (RCM) 81/2012.

Além destes elementos contidos na Lei Portuguesa, preconiza-se com este trabalho a necessidade de aprofundamento dos estudos sobre os sistemas aquíferos, tendo em vista a sua gestão integrada. O conhecimento das dinâmicas de um determinado aquífero é de extrema importância (Carvalho, 2006), e o seu estudo deve iniciar-se pela inventariação dos pontos de água dessa área (Custodio & Llamas, 1996; Carvalho, 2006), sendo estes dados uma importante base de trabalho para todos os estudos hidrogeológicos subsequentes. Como tal, o inventário hidrogeológico e a modelação de fluxos da água subterrânea constituem elementos importantes de suporte à gestão e ordenamento do território, a nível regional e municipal (Carvalho, 2006; Carneiro & Carvalho, 2010; Freitas, 2010; Teixeira, 2011; Gomes, 2014; Silva, 2015; Silva et al., 2015, 2016).

O estudo que aqui se apresenta corresponde a uma abordagem multidisciplinar sobre o tema das águas subterrâneas, centrada nas nascentes e na análise da vulnerabilidade, visando uma gestão integrada dos recursos hídricos subterrâneos, à escala local. O objetivo principal visou a criação de um inventário detalhado das emergências da água, de modo a obter e interpretar padrões de distribuição das águas subterrâneas, assim como uma análise de vulnerabilidade, conforme preconizado no RCM 81/2012.

A área de estudo corresponde ao território da bacia hidrográfica da Ribeira de Sá e parte terminal do Rio Sardoura (Castelo de Paiva, Norte de Portugal). Os dados de campo foram recolhidos com o apoio de uma ficha-inventário, onde se registaram aspetos hidrogeológicos, geomorfológicos e hidroclimatológicos. Retomam-se neste trabalho alguns dados apresentados nos trabalhos de Gomes (2014) e Silva et al. (2016). Estes reportam-se ao inventário hidrogeológico e aos parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas desta área. Estes dados serão então aqui retomados, relacionando a ocorrência das águas subterrâneas com a vulnerabilidade à contaminação.

2. Materiais e métodos

Em termos metodológicos, numa primeira fase (figura 1) procedeu-se à pesquisa e recolha de dados bibliográficos e documentais relativos ao tema das águas subterrâneas para a área considerada, bem como

à análise de cartografia militar da década de 1940, 1970, 1990 e 2000, tendo em vista a identificação dos elementos relacionados com os recursos hídricos subterrâneos cartografados. A partir das cartas militares, foram vetorizados todos os pontos indicadores de água subterrânea nas áreas de estudo, *i.e.*, nascentes, poços, chafarizes/fontes, poços com engenho e tanques. Paralelamente, realizou-se o pré-processamento de diversa informação *raster* e vetorial.

Numa segunda fase, adaptou-se uma ficha-invenário para o registo das nascentes, a partir dos trabalhos de Carvalho (2006), Teixeira (2011), Gomes (2014) e Silva (2015), abrangendo dados sobre a localização, tipo de emergência da água, utilização, geomorfologia, hidrogeologia e hidroclimatologia. Esta ficha foi preenchida durante o trabalho de campo, registando-se os diversos parâmetros dos pontos de água, bem como, o registo fotográfico de cada ponto de água.

Por último, foi criada uma Base de Dados Espacial (BDE) no software *Arcgis – ArcCatalog 10.2* da *ESRI*, denominada *HidroGeoSá*, na qual se procedeu ao armazenamento e organização da informação recolhida sobre as nascentes, decorrente da análise bibliográfica/documental e do levantamento de campo (Figura 1). Seguiu-se a análise dos dados recolhidos, o cruzamento com outros parâmetros, designadamente, geologia, uso do solo e declives, e a elaboração de cartografia temática em ambiente SIG.

O trabalho de campo foi realizado essencialmente no ano de 2014. Ao longo do trabalho de campo foram anotadas informações relativas à identificação e localização de cada nascente, através do equipamento *GPSmap 62S* da *Garmin*, no sistema de coordenadas latitude e longitude, *datum* *WGS84*. Mediram-se também alguns parâmetros da água *in situ* (pH, condutividade elétrica e temperatura da água) diretamente no local de emergência de águas subterrâneas, com recurso a um medidor portátil da marca *Hanna*, modelo *HI 9811-5*.

A utilização do Índice de Suscetibilidade (IS) na análise da vulnerabilidade dos aquíferos a problemas de contaminação, constitui uma metodologia importante na definição das áreas que devem constituir a REN (Ribeiro, 2000; Ribeiro, 2005; Silva, 2015). Assim, seguindo as diretrizes do RCM nº 81/2012, atribuíram-se valores, por cada classe, variando entre 10 a 100 para os critérios “D” (profundidade do nível freático) e “T” (topografia), entre 10 a 90 para o critério “R” (taxa anual de recarga), entre 20 a 90 para o critério “A” (natureza geológica do aquífero) Após a classificação dos cinco critérios calculou-se o IS através da seguinte soma ponderada:

$$IS = 0,24 D + 0,27 R + 0,33 A + 0,16 T$$

Posteriormente, analisaram-se os dados relativos à ocorrência de águas subterrâneas, fazendo o cruzamento com a carta de vulnerabilidade obtida, visando uma gestão integrada dos RHS na área de estudo.

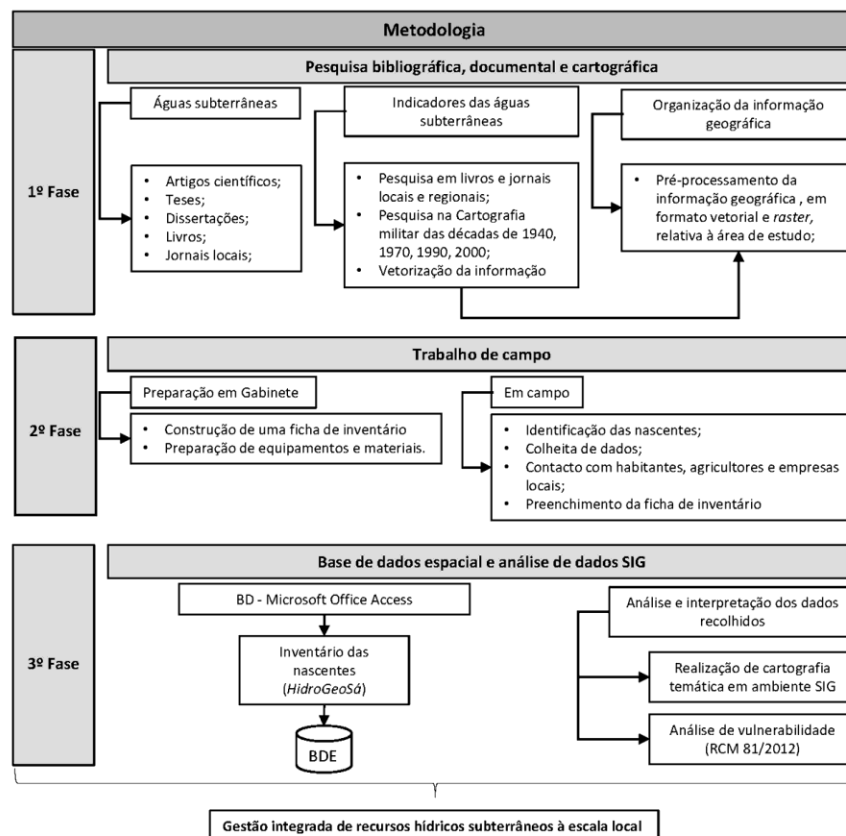


Figura 1 – Esquema metodológico seguido neste estudo (adaptado de Gomes, 2014; Silva et al., 2016).

3. Enquadramento da área de estudo

A área de estudo localiza-se no Norte de Portugal, numa sub-bacia de um pequeno afluente da margem esquerda do Rio Douro, localizada na parte terminal da sua bacia hidrográfica.

Esta corresponde à bacia hidrográfica da ribeira de Sá-Sardoura, no concelho de Castelo de Paiva, a qual, com uma área de 18,68 Km² (Figura 2), abrange parte das freguesias de Santa Maria de Sardoura, São Martinho de Sardoura, Real, União das freguesias de Raiva, Pedorido e Paraíso e União das freguesias Sobrado e Bairros. Topograficamente, o relevo da bacia hidrográfica da ribeira de Sá é marcado pelo alinhamento orográfico mais setentrional do concelho, no qual se incluem as elevações, como o Alto de S. Paúl (360m) e o Alto de S. Gens (328m).

Relativamente ao contexto morfo-estrutural, a área de estudo abrange terrenos do Maciço Hespérico, sendo este caracterizado por uma rede significativa de acidentes tectónicos, que se encontram, geralmente, subordinados aos sistemas de fraturação NNE-SSW a ENE-WSW e NW-SE a NNW-SSE, estando na base das atuais linhas de água (Carvalho, 2006). Em termos geológicos, a área de estudo abrange terrenos da Zona Centro Ibérica (Ribeiro et al., 1979). Relativamente à litologia, a composição é diversificada,

destacando-se as rochas metassedimentares (quartzitos, xistos, corneanas, conglomerados), as rochas ígneas (granito de grão médio a grosseiro, de duas micas; granito porfiroide, de grão grosseiro), as rochas sedimentares (aluviões) e as rochas filonianas (quartzo) (Chaminé & Gomes, 2005).

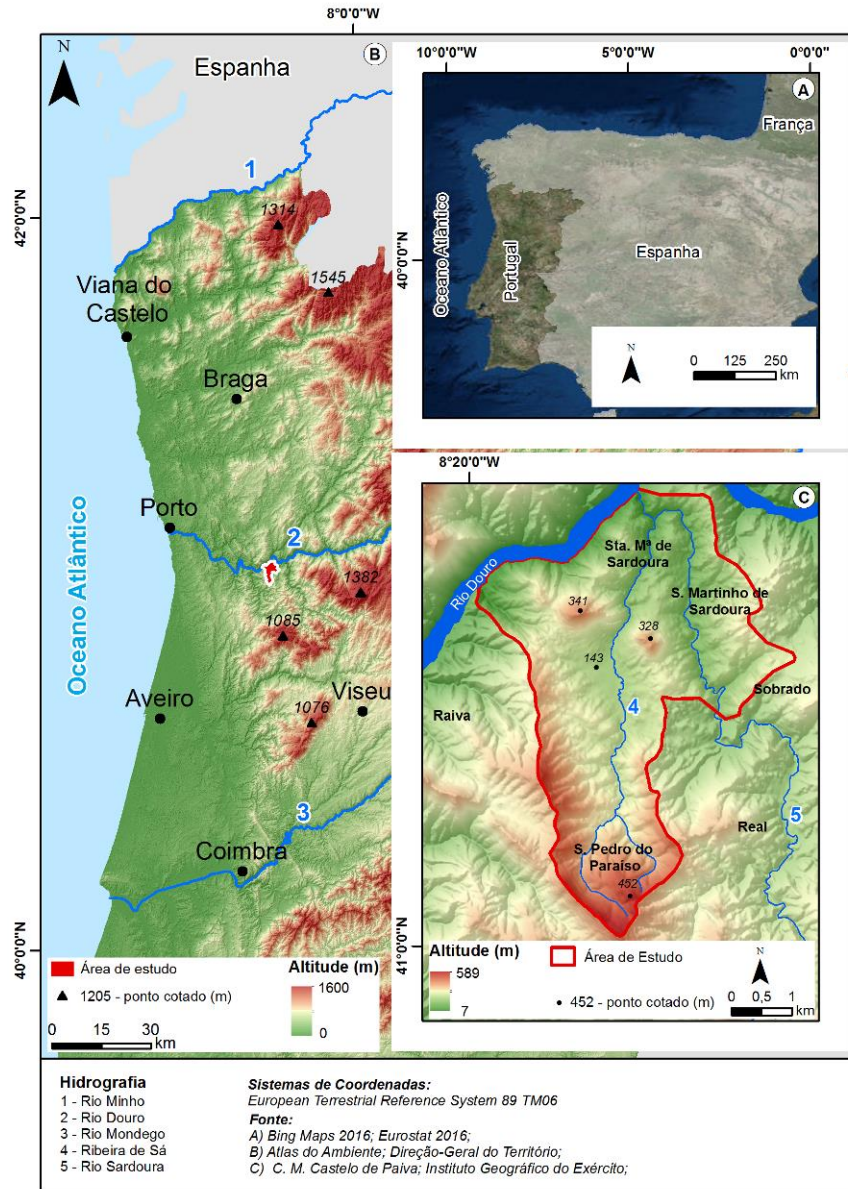


Figura 2 – Localização da área de estudo: a) enquadramento na península; b) enquadramento no NW de Portugal; c) detalhe da área de estudo.

Em termos climáticos encontra-se na área da fachada Atlântica, que possui um clima mediterrânico de feições marítimas, de acordo com o quadro provisório das regiões climáticas de Portugal, definido por Daveau (1985). Contudo, junto do vale encaixado do Rio Douro observam-se características de feição continental (Daveau, 1985). A distribuição da precipitação está relacionada com a disposição orográfica e varia entre 1000 a 1600mm (Daveau, 1985). De acordo com a classificação de Köppen-Geiger (Peel et al.,

2007), a área de estudo apresenta um clima temperado, com um Verão seco e temperado (Csb), correspondendo o pico do calor ao longo do ano ao período de menores precipitações, e naturalmente ao período de maior secura.

4. Resultados e discussão

Os resultados provenientes dos inventários mostram a existência de 206 nascentes na área de estudo, verificando-se que estas se encontram sobretudo a cotas relativamente baixas, estando a sua maioria localizada a cotas entre os 70 e os 210 metros. Verifica-se também que as nascentes se localizam nas proximidades de linhas de água, alimentando-as, bem como nas áreas de fundo de vale da Ribeira de Sá. Cremos que as áreas mais elevadas corresponderão predominantemente a áreas de infiltração/recarga, em que a água, após o seu circuito subterrâneo, emerge a cotas mais baixas (figura 3a).

Na área de estudo, das 206 nascentes, apenas foi possível medir o caudal em 107 nascentes. Verificou-se que os valores variavam entre os 104,4 L/hora e os 9000 L/hora. Destas 107 nascentes, 76 apresentavam um caudal reduzido (< 2500 L/h), com caudais intermédios registaram-se 24 nascentes, e com caudais elevados (>5000 L/h) apenas se registaram 7 nascentes (figura 3b).

Os valores inferiores a 2500 L/hora registados poderão ser explicados pela baixa permeabilidade do substrato rochoso (essencialmente xistento na área a SW, e granítico a NE), mas também, pelo facto das nascentes identificadas indicarem um circuito subterrâneo curto e rápido, implicando que o caudal destas nascentes seja irregular e muito relacionado com as condições meteorológicas associadas à precipitação (Carvalho, 2006). Nas áreas xistentas o número de nascentes é menor. No entanto, parece verificar-se uma tendência para a ocorrência de caudais mais elevados neste tipo de litologia.

A condutividade elétrica das nascentes da área de estudo varia entre $10\mu\text{S/cm}$, e $1330\mu\text{S/cm}$. Os valores registados permitem afirmar que a maioria das nascentes apresenta valores de condutividade elétrica relativamente baixos ($< 150\mu\text{S/cm}$). Com valores intermédios, encontra-se um conjunto de 33 nascentes. Na classe que indica valores mais elevados ($>300\mu\text{S/cm}$), situam-se apenas 7 nascentes (figura 3c). Verifica-se ainda que os valores mais baixos de condutividade, ou seja $>150\mu\text{S/cm}$, localizam-se junto à povoação de São Pedro do Paraíso, numa área de maior altitude e com menor ocupação humana.

Os valores elevados de condutividade elétrica encontram-se próximos de antigas explorações mineiras, o que indicia que estes valores elevados de condutividade elétrica poderão estar associados a processos de contaminação das águas subterrâneas. Porém, convém referir que os valores elevados de condutividade elétrica podem também estar associados ao tipo de rocha que a água subterrânea atravessa e ao tempo de circulação da água. Na generalidade, as águas subterrâneas com condutividades baixas correspondem

essencialmente a circuitos rápidos e curtos, implicando que estas estejam pouco tempo em contacto com o substrato rochoso (Foster & Chilton, 2003).

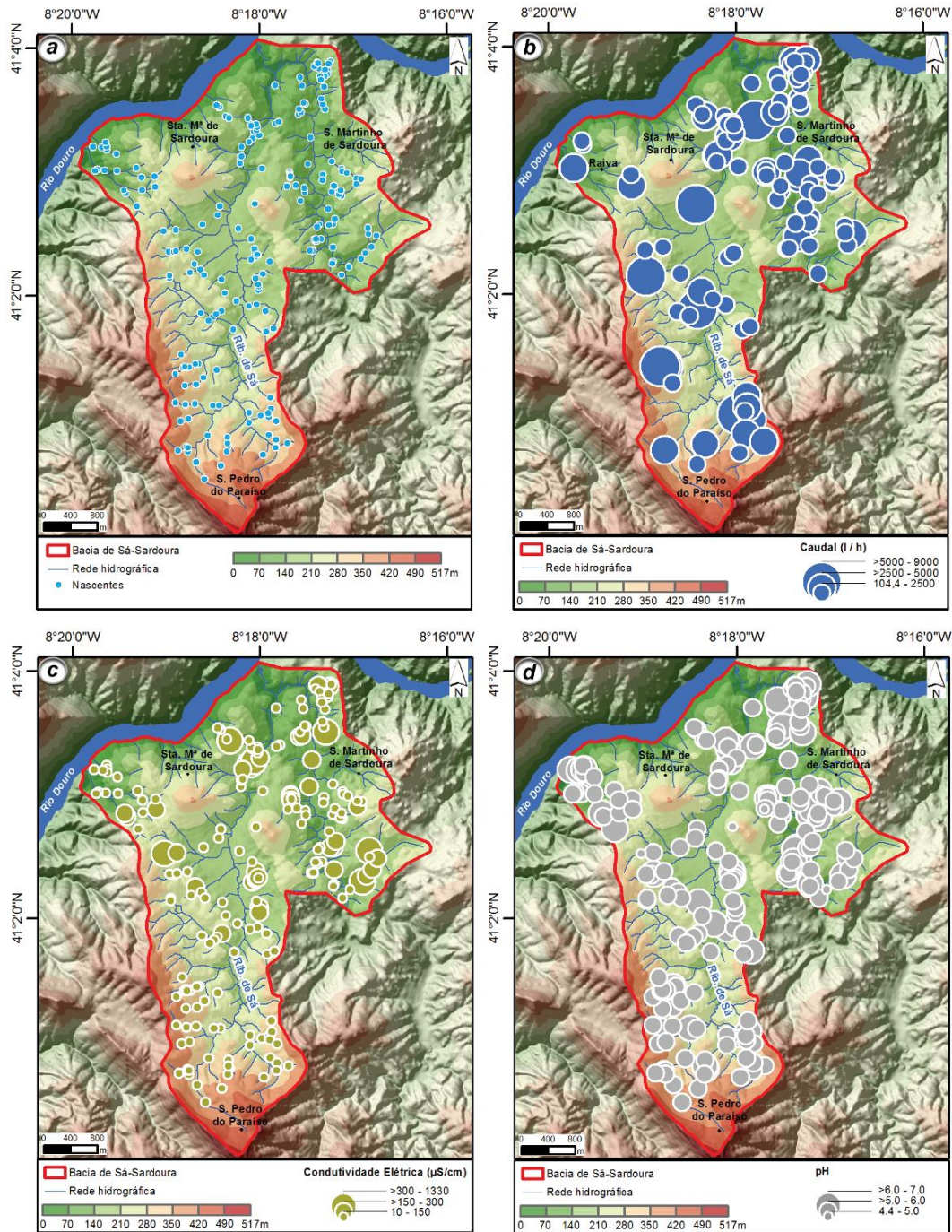


Figura 3 – Localização (a), caudal (b), condutividade elétrica (c) e pH (d) das nascentes inventariadas.

Relativamente aos registos de pH das nascentes, estes variaram entre 4.4 e 7.0. Estes valores apontam essencialmente para a ocorrência de águas com pH ligeiramente ácido. A maioria das nascentes (cerca de

150) apresentam valores de pH entre 5 e 6, algo esperado para o tipo de litologia da área de estudo. Estes valores devem estar associados ao substrato rochoso, visto que este é composto por rochas graníticas e metassedimentares. Este padrão é semelhante ao que ocorre, por exemplo na cidade do Porto, registado por Afonso et al., (2007). Alguns dos valores anómalos poderão estar relacionados com as atividades antrópicas desenvolvidas junto às nascentes, mas estes casos devem ser despistados com análises complementares, sempre que possível.

Na figura 4 apresenta-se o Índice de Suscetibilidade para a bacia da Ribeira de Sá, com base no disposto na RCM 81/2012.

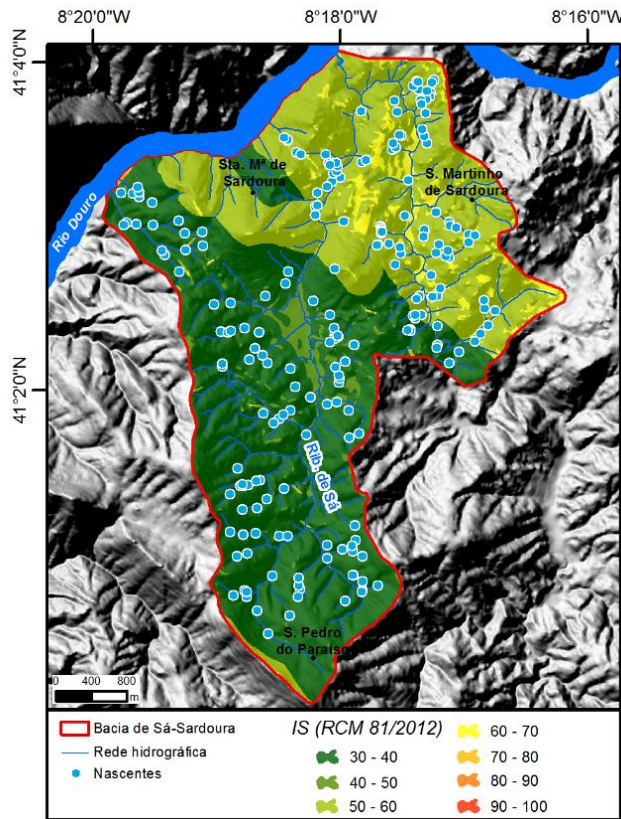


Figura 4 – Índice de Suscetibilidade (IS) e localização das nascentes, na Ribeira de Sá.

Assim, verifica-se que cerca de 60% da área de estudo apresenta valores de vulnerabilidade bastante baixos ($IS < 50$), correspondendo a setores onde os declives são mais fortes, bem como a áreas de substrato rochoso xistento, correspondendo, na generalidade, aos terrenos do Complexo Xisto-Grauváquico. Na área NE surgem valores de vulnerabilidade médios a altos, facto também ligado aos declives ligeiramente mais baixos desta área, mas essencialmente ao domínio do substrato granítico. Os setores de vulnerabilidade elevada a extrema surgem apenas numa percentagem de área muito pequena ($< 0.5\%$), e correspondem essencialmente a uma pequena área de aluviões, junto ao rio Douro.

Avaliando a ocorrência de nascentes por classe de vulnerabilidade, verifica-se que as classes com elevada e extrema vulnerabilidade não registam qualquer emergência de água subterrânea. Nas áreas com suscetibilidade média a alta registam-se 73 nascentes, estando as restantes localizadas em áreas com baixa suscetibilidade. Assim, o efeito protetor e depurativo do substrato geológico da área de estudo permitirá que as ocorrências de águas subterrâneas estejam relativamente bem protegidas de possíveis ações antrópicas, que resultem na contaminação das águas subterrâneas, especialmente no setor SW.

5. Conclusões

O caso de estudo apresenta um inventário detalhado das ocorrências de águas subterrâneas, o que constitui um elemento fundamental em qualquer estudo hidrogeológico. Esta recolha de dados é geralmente morosa, mas quando aliada a uma metodologia bem estruturada e a ferramentas SIG adequadas, permite a identificação, análise e interpretação de padrões de ocorrência, bem como a produção de cartografia fundamental na formulação de linhas de apoio à tomada de futuras decisões de gestão destes recursos pelos municípios.

Estes recursos são ainda bastante valorizados, essencialmente pelas populações mais rurais, que os utilizam quer para consumo humano, quer para consumo animal e/ou rega.

Os valores obtidos indicam que as nascentes aparentam ter boa qualidade, em termos físicos. No entanto, os melhores valores dos parâmetros físico-químicos medidos surgem nos sectores montante das bacias, piorando à medida que se avança para jusante. Tal facto pode estar associado à prática agrícola e ao uso de adubos e pesticidas, quer a problemas de drenagem de águas residuais, nas povoações mais a jusante.

A vulnerabilidade à contaminação na área de estudo está ligada diretamente ao substrato geológico, sendo mais elevada nas áreas a NW, onde predominam rochas graníticas.

Com este trabalho, pretendeu-se alertar para a importância da inventariação e conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos, como fator primordial na gestão deste importante recurso. As ferramentas SIG permitem realizar cartografia fundamental para os processos de decisão, contribuindo assim para o ordenamento do território à escala municipal, no que à proteção das águas subterrâneas diz respeito.

6. Bibliografia

Afonso, M. J., Chaminé, H. I., Carvalho, J. M., Marques, M. J., Gomes, A., Araújo, M. A., Fonseca, P. E., Teixeira, J. & Rocha, F. (2007) Urban groundwater resources: a case study of Porto metropolitan area (Iberian Massif, NW Portugal). In: K. W F. Howard (Ed). *Urban Groundwater: Meeting the Challenge (Chapter 20 - Urban Aquifer Management)*. *Selected Papers on Hydrogeology* (pp. 278 - 294). IAH/Taylor & Francis CRC Press, SP8.

- Carneiro, J., & Carvalho, J. M. (2010). Groundwater modelling as an urban planning tool: issues raised by a small-scale model. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 43(2), 157-170.
- Carvalho, J. M. (2006). *Prospecção e pesquisa de recursos hídricos subterrâneos no Maciço Antigo Português: Linhas metodológicas*. Tese de Doutoramento. Aveiro: Universidade de Aveiro.
- CE (2000). Diretiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho Europeu de 23 de Outubro de 2000. *Enquadramento para as Acções Comunitárias no Domínio da Política da Água*. Jornal Oficial da CE, 22 de Dezembro de 2000, L 327/1. Bruxelas: Comissão Europeia.
- Chaminé, H. I. & Gomes A. (2005). Cartografia geológica e geomorfológica para a caracterização de riscos naturais à escala do planeamento regional: aplicação ao concelho de Castelo de Paiva (NW de Portugal). *Xeográfica, Revista de Xeografia, Território e Medio Ambiente*, nº 5, 86- 106.
- Custódio, E & Llamas, M. R. (1996). *Hidrologia subterrânea*, 2 Vols, Barcelona, Omega Press.
- Daveau, S. (1985). *Mapas climáticos de Portugal. Nevoeiro e Nebulosidade. Contrastes térmicos*. Memórias do Centro de Estudos Geográficos, Lisboa, nº7, 84 pp.
- DR (Diário da Republica), (2008). Decreto-Lei n.º 208/2008. Diário da República, Série I, nº 209, de 2008-10-28.
- DR (Diário da Republica), (2012). Decreto-Lei n.º 130/2012. Diário da República, Série I, nº 120, de 2008-06-22.
- DR (Diário da Republica), (2012). Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2012. Diário da República, Série I, nº192, 2012-10-03.
- Foster, S. & Chilton, P. J. (2003). Groundwater: the processes and global significance of aquifer degradation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, 358(1440), 1957-1972. doi: 10.1098/rstb.2003.
- Freitas, L. (2010). *Análise hidro-histórica das águas subterrâneas do Porto, séculos XIX a XXI: inventário, base de dados e cartografia SIG*. Dissertação de Mestrado. Porto: Faculdade de Letras da Universidade do Porto.
- Gomes, R. (2014). *Recursos hídricos subterrâneos: inventário, cartografia SIG, metodologia e potencialidades. Caso de estudo: bacia hidrográfica da Ribeira de Sá, Sardoura, Castelo de Paiva*. Dissertação de Mestrado. Porto: Faculdade de Letras da Universidade do Porto.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L. & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11(5), 1633-1644.
- Ribeiro, A., Antunes, M. T., Ferreira, M. P.; Rocha, R. B., Soares, A. F., Zbyszewski, G., Moitinho De Almeida, F., Carvalho, D. & Monteiro, J. H. (1979). *Introduction à la géologie générale du Portugal*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 114 pp.
- Ribeiro, L. (2000) – *Development of a susceptibility index to be used in agricultural diffuse pollution, internal report*, ERSHA-CVRM, 9pp.
- Ribeiro, L. (2005) – *Um novo índice de vulnerabilidade específico de aquíferos – formulação e aplicações*. Publicações do VII Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa (SILUSBA). Évora, 30 de Maio a 2 de Junho de 2005.
- Silva, E. (2015). *Recursos hídricos subterrâneos e potenciais focos de contaminação na Bacia do Rio Uíma, Santa Maria da Feira: Um contributo para o ordenamento do território a nível municipal*. Dissertação de Mestrado. Porto: Faculdade de Letras da Universidade do Porto.
- Silva, E., Teixeira, J., Gomes, R. & Gomes, A. (2015). Recursos hídricos subterrâneos na Bacia do Rio Uíma, Santa Maria da Feira: Um contributo para o ordenamento do território a nível municipal. *VII Congresso Nacional de Geomorfologia*. IGOT. Lisboa.
- Silva, E., Gomes, R., Gomes, A. & Teixeira, J. (2016). Os inventários de recursos hídricos subterrâneos como suporte de políticas de ordenamento do território. In *Livro de Homenagem ao Professor A. Pedrosa*. Riscos – Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança (in press).
- Teixeira, J. (2011). *Hidrogeomorfologia e sustentabilidade de recursos hídricos subterrâneos*. Tese de doutoramento. Aveiro: Universidade de Aveiro e Universidade do Porto.