

MARTIM PORTUGAL V. FERREIRA
Coordenação

A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos

VOL. 2 • RECURSOS GEOLÓGICOS E FORMAÇÃO



Coimbra • Imprensa da Universidade

CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS DO MACIÇO CRISTALINO DO NORTE DE PORTUGAL: IMPLICAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO REGIONAL

J. M. CARVALHO ¹, H. I. CHAMINÉ ² e N. PLASENCIA ³

PALAVRAS-CHAVE: planos de bacia hidrográfica, recursos hídricos subterrâneos, maciço antigo, norte de Portugal.

KEY WORDS: basin master plan, groundwater resources, hesperian massif, Northern Portugal.

RESUMO

É apresentada uma síntese das condições geológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas regionais das bacias hidrográficas do Norte de Portugal (Minho, Lima, Cávado, Ave, Leça e Douro). São abordados aspectos sobre a produtividade e a vulnerabilidade das águas subterrâneas, recarga e recomendações concretas sobre a gestão racional dos aquíferos. Foram tidos em conta os resultados dos Planos de Bacia Hidrográfica contíguos às bacias estudadas, e considerados os dados do Plano Hidrológico de Espanha. Numa primeira fase, foi elaborada uma síntese cartográfica das condições geológicas, morfoestruturais e tectónicas do substrato cristalino e cristalofílico, preparando as bases para a incorporação dos escassos dados de índole hidrogeológica disponíveis. O passo seguinte foi a elaboração da denominada "Carta

245

¹ Departamento de Geociências da Universidade de Évora. Apartado 94, 7002-554 Évora Codex, Portugal, e Centro de Geologia da Universidade do Porto. (martinscarvalho@mail.telepac.pt).

² Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431, P-4200-072 Porto, Portugal, e Centro de Minerais Industriais e Argilas da Universidade de Aveiro. (hchamine@geo.ua.pt).

³ Hidrorumo-Projecto e Gestão, SA (Grupo EDP). Rua do Bolhão, 4000 Porto, Portugal. (nadir.plasencia@em.edpproducao.edp.pt).

Hidrogeológica de Bacia Hidrográfica” que, reflectindo as condições litológicas e tectónicas ocorrentes, estabelece a hierarquização do respectivo comportamento hidrogeológico, com vista à definição das grandes unidades hidrogeológicas regionais. Foi dado relevo a aspectos que interessam directamente ao utilizador como o tipo de captação mais adequado, as produtividades por captação isolada, o risco geológico de insucesso e o custo da água para abastecimento público incluindo as incidências das imposições legais nacionais e comunitárias.

ABSTRACT: Groundwater resources in the crystalline massifs of Northern Portugal: its role on regional development

The hydrographic basins of Minho, Lima, Cávado, Ave, Leça and Douro rivers, located in the northern Portugal, are supported by an igneous and metamorphic substratum. A synthesis of the geological, morphostructural and hydrogeological features of the area is presented, aiming to define the main hydrogeological units at a regional level. Aspects as productivity, vulnerability to pollution, and recharge are discussed in relation to the characteristics of neighbourhood basins in Portugal and Spain. The elaboration of the hydrogeological map took particularly into account the specific needs of water users. Indeed, it includes practical information regarding: type of flow, vulnerability, recommended exploitation systems, geological risk of failure (dry wells), expected exploitation yield and water cost for public supply. The estimated cost includes exploration and exploitation, pumping, servicing and monitoring according to the relevant Portuguese and European regulations.

1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho é apresentada uma síntese das condições geológicas, morfoestruturais e hidrogeológicas regionais ocorrentes nas bacias hidrográficas do Norte de Portugal. Esta síntese corresponde ao desenvolvimento de estudos efectuados a propósito da elaboração dos Planos de Bacia Hidrográfica dos rios Lima, Cávado, Ave, Leça e Douro (*cf.* HIDRORUMO, 2000; INAG, s/d; CARVALHO *et al.*, 2000, e referências incluídas). Assim, são abordados aspectos sobre a produtividade das unidades hidrogeológicas regionais e das captações, vulnerabilidade à contaminação, e, por fim, recomendações concretas que incidem sobre a gestão racional das águas subterrâneas. Foram tidos em conta, entre outros, os resultados recentes dos Planos de Bacia Hidrográfica do Minho, do Vouga, do Mondego e do Tejo, contíguas às bacias estudadas (INAG, s/d). Foram ainda considerados os dados hidrogeológicos e hídricos dos planos de bacia internacionais compilados no ‘Libro Blanco del Agua en España’ (MMA, 1998).

A estratégia da abordagem adoptada consistiu na elaboração de uma síntese cartográfica das condições geológicas, morfoestruturais e tectónicas do substrato cristalino e cristalofílico das bacias hidrográficas do Norte de Portugal procurando simplificar, de forma coerente, as informações bibliográficas, preparando simultaneamente, as bases para a incorporação dos dados de índole hidrogeológica disponíveis. Nesta perspectiva foi elaborada a denominada “Carta Hidrogeológica de Bacia Hidrográfica” que constitui uma proposta de sistematização da informação na óptica do utilizador, i.e., deu-se prioridade à representação de vários parâmetros, tais como, as unidades hidrogeológicas regionais, a tipologia de captação mais adequada, o caudal de exploração sustentado por captação unitária e o risco geológico de insucesso associado à pesquisa. Foi tentada, também, uma avaliação preliminar do custo da água para abastecimento público, factor sistematicamente ignorado, em Portugal, ao nível do Planeamento Regional e Ordenamento do Território.

2. CONSTRANGIMENTOS GEOTECTÓNICOS E GEOMORFOLÓGICOS

2.1. GENERALIDADES

As Bacias Hidrográficas do Norte de Portugal integram-se no Maciço Hespérico [ME] que é constituído, essencialmente, por um substrato rochoso de idade paleozóica e precâmbria (e.g., RIBEIRO *et al.*, 1979; GAMA PEREIRA, 1998; NORONHA & LETERRIER, 2000). Do ponto de vista geotectónico regional a área em estudo insere-se na Zona Centro-Ibérica [ZCI] e na Zona Galiza-Trás-os-Montes [ZGTM] (RIBEIRO *et al.*, 1979; FARIAS *et al.*, 1987). Apenas a estreita faixa de rochas metamórficas entre o Porto (Foz do Douro) e Espinho-Albergaria-a-Velha se encontra integrada na Zona de Ossa-Morena [ZOM] (CHAMINÉ, 2000). A região, na sua maior parte, inclui-se no Terreno Tectonoestratigráfico Autóctone Ibérico e, uma série de afloramentos em Trás-os-Montes, no Terreno Ofiolítico do NW e no Terreno Polimetamórfico do NW (RIBEIRO *et al.*, 1990c).

A evolução geotectónica do substrato (ante-)Varisco do ME é imposta pela orogenia Alpina correspondendo à reactivação das falhas tardi-variscas e por consequência está na origem dos actuais traços morfoestruturais. Assim, salientam-se na região duas importantes megaestruturas, com orientação geral NNE-SSW, a saber: a falha de Penacova-Réguia-Verín e a falha de Bragança-Vilariça-Manteigas. Estes acidentes têm rejogado até ao presente, registando actividade sísmica (e.g., FREIRE DE ANDRADE, 1937; SOARES DE CARVALHO, 1992; CABRAL, 1995; BAPTISTA, 1998; BAPTISTA *et al.*, 1998), e, constituem e controlam as linhas fundamentais da morfologia do Norte de Portugal segmentando-o em três sectores maiores, o ocidental, o central e o oriental (BRUM FERREIRA, 1978). As megaestruturas, com

direcção geral NW-SE, tal como o Sulco Carbonífero Dúrico-Beirão e a faixa de cisalhamento de Vigo-Vila Nova de Cerveira-Régua, são também lineamentos tectónicos de importância capital na mega-compartimentação da morfoestrutura do Norte de Portugal. A presença de alguns depósitos plio-quadernários, discordantes sobre o substrato, representa, ou o testemunho do arrasamento do relevo e modelação da superfície do ME, ou o resultado do entalhe da rede hidrográfica actual (e.g., ARAÚJO, 1991; MARTIN-SERRANO, 1994).

2.2. UNIDADES GEOLÓGICAS

Na figura 1 apresenta-se os principais traços tectonoestratigráficos do Norte de Portugal, e uma sistematização das distintas unidades geológicas baseada em critérios litológicos e tectónicos. A sistematização apresentada pretende constituir a ossatura de unidades hidrogeológicas regionais homólogas baseadas, predominantemente, em critérios litológicos e estruturais.

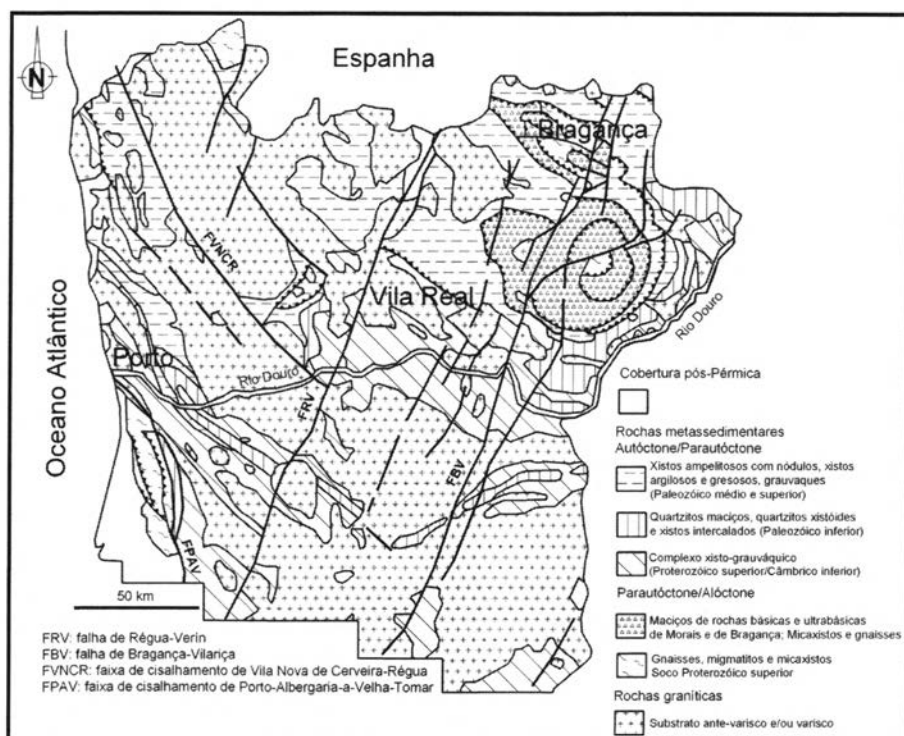


Fig. 1 – Enquadramento geológico regional do Norte de Portugal (muito simplificado de OLIVEIRA *et al.*, 1992).

Dada a índole deste trabalho consideraram-se as seguintes unidades (pormenores em RIBEIRO *et al.*, 1979; 1990a,b; FERREIRA *et al.*, 1987; OLIVEIRA *et al.*, 1992, PEREIRA *et al.*, 1989, 2000): i) *depósitos cobertura* (dunas, aluviões, terraços flúvio-marinhos e/ou conglomeráticos, cascalheiras de vertente e arcoses); ii) *rochas metassedimentares* (xistos, grauvaques, quartzo-filitos, e quartzitos); iii) *rochas básicas e ultrabásicas* (xistos anfibólicos, anfibolitos, complexo ofiolítico [*s.l.*] – rochas máficas, gabros e anfibolitos); iv) *rochas graníticas*, destacam-se os granitos de duas micas (de grão médio a grosseiro, por vezes porfiróide), os granitos biotíticos porfiríoides (de grão variável, desde fino a grosseiro, sendo este último dominante; normalmente associados a faixas de deformação dúctil-frágil), e os granitos gnáissicos e migmatitos (ocorrem, essencialmente, na faixa de cisalhamento de Porto–Espinho–Albergaria-a-Velha, na região de Melgaço e na região de Miranda do Douro).

3. SÍNTESE HIDROGEOLÓGICA

3.1. GENERALIDADES

O espaço temporal da realização dos Planos de Bacia Hidrográfica do Norte de Portugal e o facto de não estarem previstos trabalhos de campo colocou a equipa que os autores integraram perante uma situação difícil, ou seja, o de terem de executar uma carta hidrogeológica regional de síntese, praticamente, sem inventário representativo de pontos de água, situação que ainda agora se mantém! Assim, o trabalho apresentado resultou somente de pesquisa e de síntese bibliográfica, e pode ser entendido como uma tentativa de elaboração de cartas hidrogeológicas temáticas preparadas na óptica do utilizador. O utilizador é aqui entendido aos níveis do ordenamento do território e também da utilização local, i.e., neste caso, as naturezas da escala e do nível de informação obrigam a que haja recurso a apoio técnico hidrogeológico credenciado de pormenor.

De uma forma geral a depressão tectónica de Régua–Verín (CHOFFAT, 1917; FREIRE DE ANDRADE, 1937; BAPTISTA, 1998) estabelece a grande compartimentação hidrogeológica da bacia hidrográfica (figura 1). A Oeste desta megaestrutura geológica, que corresponde sensivelmente à isoietas 1000mm, as precipitações são relativamente elevadas, atingindo 3000mm no maciço da Peneda–Gerês o que se reflecte na quantidade de água disponível para a recarga dos sistemas. A Este da estrutura de Régua–Verín acentuam-se as características de aridez, mais nitidamente, ainda a partir do Vale da Vilariça, a Este das Serras de Nogueira e de Bornes, chegando a registar-se precipitações anuais médias inferiores a 500mm em Barca de Alva e Figueira de Castelo Rodrigo. A densidade relativa de ocorrência de rochas metassedimentares, por oposição aos granitóides, cresce de Oeste para Este o que, como se verá, tem incidências na disponibilidade dos recursos hídricos (figura 1).

A temperatura anual média do ar varia entre cerca de 12,5°C no litoral até 15° a 17,5°C na Terra Quente e Douro Superior, com valores mínimos da ordem de 10°C nas Terras Altas (DAVEAU, 1985).

A grande questão da utilizabilidade da água subterrânea no Norte de Portugal está ligada a domínios do conhecimento hidrogeológico (e outros) que continuam mal resolvidos, nomeadamente (CARVALHO, 2000): (i) a disponibilidade de caudais sustentados no espaço e no tempo; (ii) a insuficiência de medidas concretas de defesa da qualidade química e bacteriológica dos recursos; (iii) a incapacidade demonstrada pela sociedade para aplicar a legislação existente no que concerne ao licenciamento de captações e à definição de Perímetros de Protecção a captações para abastecimento público; e, (iv) a visão tecnocrática de sucessivas gerações de gestores que tendencialmente esquecem o papel das águas subterrâneas nos pequenos abastecimentos urbanos.

Tenha-se em conta e releve-se o facto de não serem apresentados aqui elementos de natureza hidroquímica. AFONSO (1997), ALENCOÃO (1998), MARQUES (1999), M. R. PEREIRA (1999), CALADO (2001), e LIMA (2001), dentre outros, mostraram que as águas captadas são generalizadamente hipossalinas e que, geralmente, as águas de rochas metassedimentares são ligeiramente mais mineralizadas que as de rochas granitóides. Porém, todas são, em situações de não contaminação, adequadas para consumo humano à luz do Dec.-Lei n.º 236/98 e para agricultura (HIDROPROJECTO *et al.*, 1987, 1988, 1989). Portanto, raramente o quimismo é constrangimento à utilização da água subterrânea nesta área do País.

3.2. UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS: LITOLOGIA VS. APTIDÃO AQUIFERA

Não foi possível, no âmbito das investigações realizadas, definir novos aquíferos para além dos que constam em INAG (1997) nem tampouco associar às grandes estruturas tectónicas comportamentos hidrogeológicos específicos à escala regional. O papel dessas estruturas nas condições hidrogeológicas locais revela-se, essencialmente, à escala métrica ou decamétrica.

Nalgumas situações bem definidas, que correspondem a cerca de 5% da área estudada (Bacia de Chaves, Bacia de Sendim, aluviões dos grandes rios), ocorrem aquíferos ou sistemas aquíferos bem definidos, maioritariamente porosos, nalguns casos costeiros, e em muitas situações em ligação hidráulica com as linhas de água superficiais. A situação mais comum, nas rochas cristalinas e cristalofílicas com porosidade, predominantemente, fissural do Maciço Antigo, como é o caso aqui, corresponde à ocorrência de sistemas hidrogeológicos descontínuos de dimensões espaciais decamétricas, porventura hectométricas. Estamos, portanto longe das condições em que é legítima a utilização vinculativa da classificação de aquífero, pois não há continuidade espacial do reservatório, e portanto do fluxo.

Neste trabalho foram consideradas as unidades hidrogeológicas regionais seguintes, herdeiras directas das grandes unidades geológicas (figura 2): (i) depósitos de cobertura (*s.l.*); (ii) rochas metassedimentares, (iii) rochas graníticas, e, (iv) rochas básicas e filonianas.

A cada unidade hidrogeológica foi atribuída uma hierarquização em termos de tipologia hidrogeológica e produtividade a nível local e regional, conforme seguidamente se descreve (quadros 1 e 2): (i) Classificação geográfica: aquíferos costeiros ou continentais; (ii) Ligação hidráulica à rede hidrográfica; (iii) Permeabilidade tipo fissural ou intersticial; (iv) Horizontes de alteração (só para as rochas metassedimentares, graníticas e afins): espessura e tipo; (v) Tipo de captação mais produtiva: arranjos de nascente, poços, minas e furos; (vi) Caudal de exploração por captação isolada: muito baixo ($Q < 1\text{l/s}$), baixo (Q de 1 a 2l/s) e elevado ($Q > 2\text{l/s}$); (vii) Risco geológico de insucesso avaliado em termos de Índice Metros Caudal (IMC): muito elevado ($\text{IMC} > 120\text{m/l/s}$), elevado ($80 < \text{IMC} < 120\text{m/l/s}$) e baixo ($\text{IMC} < 80\text{m/l/s}$); (viii) Fracturação e/ou grau de alteração profunda e a presença de rochas filonianas que podem induzir comportamento drenante ou de barreira hidrogeológica.

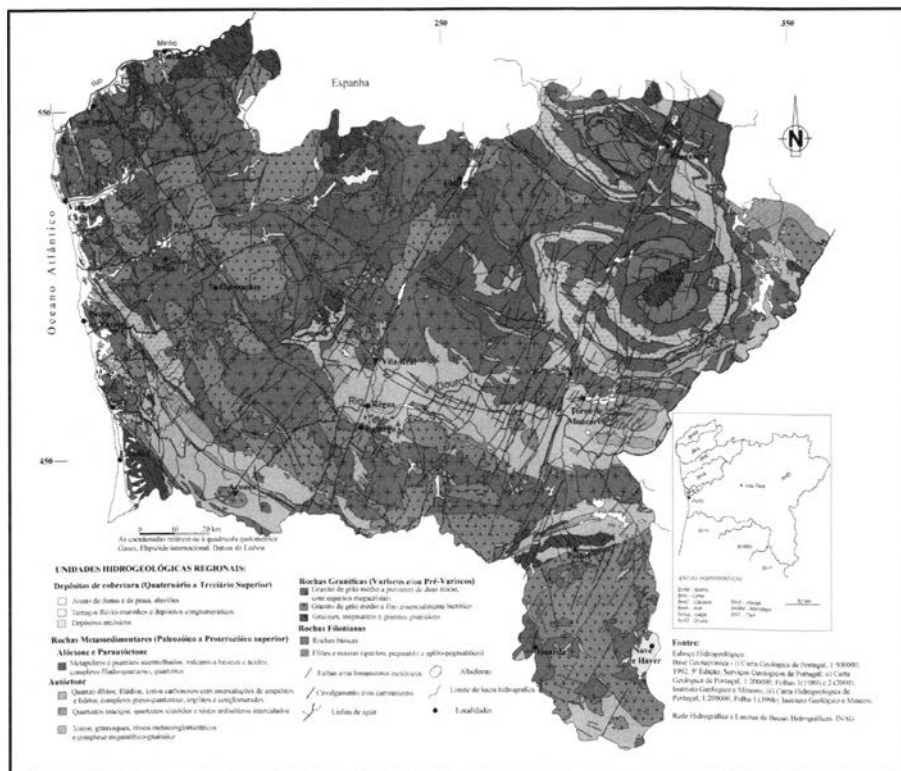


Fig. 2 – Esboço hidrogeológico regional do Norte de Portugal

Quadro I – Tipologia dos aquíferos do Norte de Portugal (cf. figura 2).

Unidades Litológicas	TIPOLOGIA DOS AQUÍFEROS												
	Localização aquífero		Ligação à rede hidrográfica			Tipo de escoamento		Horizonte de alteração					
	costeiro	continental	tem	não tem	pode ter	meio poroso	meio fissurado	espessura baixa	espessura alta	argiloso	arenoso		
Aluviões e/ou eluviões; áreas de dunas; depósitos sedimentares detriticos geralmente pouco consolidados	x ¹⁾	x	x				x			n. a.	n. a.	n. a.	n. a.
Terraços flúvio-marinhos e conglomeráticos; Depósitos sedimentares detriticos pouco consolidados	x ¹⁾	x	x				x			n. a.	n. a.	n. a.	n. a.
Depósitos arenosos; Depósitos sedimentares detriticos geralmente consolidados		x			x	x	x			n. a.	n. a.	n. a.	n. a.
Metapelitos e psamitos avermelhados, vulcanitos básicos e ácidos, complexo filado-quartzoso, quartzitos		x			x		x		x	x			
Quartzos-filitos, filados, xistos carbonosos com intercalações de argilitos e fíldos, complexo grosso-quartzítico, argilitos e conglomerados		x			x		x	x	x				x
Quartzitos maciços, quartzitos xistoides e xistos ardósiferos intercalados		x		x	x		x	x					x
Xistos, granitoques, níveis metaconglomeráticos e complexo migmatítico-gnaissico		x			x		x		x	x			
Grânito de grão médio a grosseiro de duas micas, com espessos megacrítas		x			x		x		x				x
Grânito de grão médio a fino essencialmente biotítico		x			x		x		x				x
Gnaisses, migmatitos e granitos gnaissicos		x			x		x	x					x
Rochas básicas (peridotitos, rochas máficas, gabros e anfibolitos complexos ofiolíticos ± l.)		x			x		x	x			x		
Fíldos e massas (quartzos, pegmatitos e apáto-pegmatíticos)		x			x		x	x					x

1) Apenas na orla costeira Porto-Ovar

Esta abordagem semi-quantitativa é justificada pela indisponibilidade de dados hidrodinâmicos que permitam tipificar o comportamento, isolado ou conjunto, dos vários domínios litológicos considerados na horizontal e na vertical.

O Índice Metros Caudal (IMC), expresso em m³/l/s, para uma dada área corresponde ao somatório dos metros perfurados, em furos produtivos e não produtivos, a dividir pelo caudal total obtido em captações fornecendo pelo menos 0,5 l/s (HIDROPROJECTO *et al.*, 1989; CARVALHO, 1993). Considerou-se que o caudal de 0,5 l/s é o mínimo que justifica aproveitamento. De facto, com este caudal é possível abastecer cerca de 200 habitantes e regar 1 hectare (considerando captações de cerca de 200l/habitante/dia e tecnologias de rega conservacionistas). Na aplicação deste método de avaliação há que ter em conta que se deve considerar o caudal de exploração e nunca o caudal de perfuração (i.e., o caudal obtido durante a perfuração com martelo de fundo de furo, actualmente método de utilização universal nas rochas compactas e fissuradas). O IMC serve, também, para calcular o custo da água incorporando, como é necessário, o custo da pesquisa, isto é dos furos não aproveitados.

A consideração do caudal de perfuração como representativo do caudal de exploração tem levado a inúmeros e trágicos erros por sobreavaliação dos caudais disponíveis (CARVALHO, 2000, 2002). A adopção de um factor de correcção de pelo menos 2 para 1 é imperativa, mas são conhecidos casos de diminuição de 10 para

Quadro II – Produtividade e custo da água para o abastecimento público no Norte de Portugal (cf. figura 2 e quadro I).

Unidades Litológicas	PRODUTIVIDADES E CUSTO DA ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO										
	Captações mais produtivas		Risco geológico de insucesso (IMC*, m 4/s)			Caudal de exploração por captação (l/s)**			Custo da água tratada (€/m ³)		
	poços, minas, nascentes	furos	muito elevado IMC>120	elevado 80<IMC<120	baixo IMC<80	muito baixo Q< 1l/s	baixo 1<Q<2	elevado Q>2	elevado a muito elevado m ³ <0,24	médio 0,21<m ³ <0,24	baixo a muito baixo m ³ <0,21
Ahrviões e/ou ahrviões; areias de dunas; depósitos sedimentares detriticos geralmente pouco consolidados	x ²⁾				x		x	x ²⁾			x
Terraços fluvio-marinhos e conglomeráticos. Depósitos sedimentares detriticos pouco consolidados	x				x		x				x
Depósitos arcóicos: Depósitos sedimentares detriticos geralmente consolidados		x			x		x				x
Metapelitos e pomitos avermelhados, vulcanitos básicos e ácidos, complexo filado-quartzoso, quartzitos		x		x			x			x	
Quartzos-filtos, filódos, xistos carbonosos com intercalações de ampolitos e lídolos, complexo greso-quartzilico, argilitos e conglomerados		x		x	x		x			x	x
Quartzitos maciços, quartzitos xistóides e xistos ardósferos intercalados		x		x	x		x			x	x
Xistos, grauvaques, níveis metaconglomeráticos e complexo migmatítico-granítico		x	x	x	x	x	x		x	x	x
Granito de grão médio a grosseiro de duas micas, com espessos megacrístais		x	x	x			x		x	x	
Granito de grão médio a fino essencialmente biotítico		x	x	x			x		x	x	
Gnaisses, migmatitos e granitos graníticos		x	x				x		x		
Rochas básicas (peridotitos, rochas maficas, gabros e metabólitos: complexo ofiolítico «I»)		x	x	x			x		x	x	
Filões e massas (quartz, pegmatito e apólito-pegmatítico)		x			x		x				x

2) à excepção da Veiga de Chaves onde as captações mais produtivas são furos; 3) apenas na Veiga de Chaves.

* IMC [Índice Metro Caudal] numa dada área, comprimento total de metros realizados com um ou vários furos necessário para captar 1l/s; ** caudal mediano de exploração

1 ou, 15 para 1, em bacias hidrogeológicas muito pequenas e/ou em que se verificam declives (e gradientes hidráulicos) muito fortes com elevada variação sazonal dos escoamentos subterrâneos.

O IMC tem equação de dimensões ($L^2 T^{-1}$), inversa da transmissividade. Assim, baixos IMC significam risco de insucesso menor, transmissividades elevadas e caudais de exploração mais altos, dentro das gamas esperadas. Alguns valores indicativos de IMC na bacia hidrográfica do Douro (HIDROPROJECTO *et al.* 1989; CARVALHO, 1993): (i) quartzitos, 40 a 80 m/l/s, (ii) xistos e grauvaques, 40 a 120 m/l/s, (iii) granitos, >120 m/l/s.

As estruturas geológicas, tais como filões, filonetes de quartzito e caixas de falha (e.g., HIDROPROJECTO *et al.*, 1997, 1988, 1989; M. R. PEREIRA, 1992, 1999)

com função drenante assumem-se como factores de favorabilidade para a diminuição do IMC. Outros factores com incidência no IMC são a topografia, a espessura da camada de alteração e sua natureza e a profundidade das perfurações. Não é possível, a nível deste documento de síntese, indicar correlações porventura existentes localmente entre esses factores, o IMC e o caudal por captação unitária. A profundidade das pesquisas, que tem a ver com a acessibilidade ao recurso, tende a estabilizar, actualmente, nos 150m mas são conhecidas captações aproveitadas com níveis produtivos até aos 300m.

Para a maioria dos autores (e.g., LARSSON *et al.*, 1987; WRIGHT & BURGESS, 1992; LLOYD, 1999; SINGHAL & GUPTA 1999; ROBINS & MISSTEAR, 2000; STOBER, 2000; ERHSA, 2003; CARVALHO & CHAMINÉ, 2002) os caudais de exploração sustentados raramente ultrapassam 1 a 3l/s por captação unitária, geralmente com elevadas taxas de insucesso, correspondentes ao risco mineiro ou risco geológico. Era já essa a gama de valores indicada por P. S. M. CARVALHO (1969) antes, ainda do advento do sistema de perfuração com martelo de fundo de furo. Estes factos apoiam a ideia, geralmente, veiculada de que não há correlação positiva entre os caudais de exploração e a profundidade de perfuração (M. R. PEREIRA, 1999; LIMA, 2001). Geralmente, verifica-se que os caudais de exploração medianos, por furo vertical, são mais elevados nas unidades metassedimentares que nas rochas graníticas e afins (e.g., HIDROPROJECTO *et al.*, 1987, 1988, 1989; ALENCOÃO, 1998; MENDONÇA *et al.*, 1999; M. R. PEREIRA, 1999; LIMA, 2001).

A avaliação de recursos hídricos subterrâneos à escala regional é um problema complexo. Em Portugal, os pioneiros MOITINHO DE ALMEIDA (1970), PARADELA (1975, 1984) e GONÇALVES HENRIQUES (1985) tentaram abordagens que conduziram a avaliações conservativas (recursos inferiores a 50m³/dia/km², menos de 0,6l/s/km²) em rochas do Maciço Antigo. Este tema, ultimamente, tem congregado o esforço de vários investigadores como, por exemplo, ABRUNHOSA (1988), OLIVEIRA (1995), AFONSO (1997, 2003), ALENCOÃO (1998), M. R. PEREIRA (1999), PEDROSA (1998, 1999), OLIVEIRA & FERREIRA (1997, 1999, 2000), LIMA (2001), e ERHSA (2003). No geral foram usadas técnicas hidrometeorológicas, como balanços hídricos sequenciais diários ou mensais, balanço de cloretos e análise de hidrogramas. Os resultados obtidos, geralmente expressos em termos de taxa de infiltração, testemunham grande dispersão com valores a variar (para o Norte do País) entre 1 e 30%.

CARVALHO *et al.* (2000) apresentaram uma análise sistemática de hidrogramas de escoamento seleccionados nas bacias hidrográficas dos rios Douro, Lima, Cávado, Ave e Leça, com o método de Castany–Berkalof (*cf.* CASTANY *et al.*, 1970). Esse estudo contou, também, com a oportunidade de se dispor de nove locais no Maciço Antigo (ZCI) onde existe controlo de caudais em vários anos hidrológicos. Esses locais correspondem a campos de captação de águas engarrafadas, ou estâncias termais, geralmente de ciclo hidrogeológico curto, de que é razoavelmente conhecido

o modelo de fluxo, as áreas de influência e a precipitação anual média. Da análise conjunta dos dados verificou-se que taxas de infiltração médias de 17% são representativas do Maciço Antigo. Contudo a aplicação do Modelo de Temez conduziu a taxas de infiltração máximas de 6% (HIDRORUMO, 2000; INAG, s/d).

CARVALHO *et al.* (2000) concluíram, então, que a nível do Planeamento Regional, e tendo em conta a baixa função capacitiva dos reservatórios geológicos, a consideração de taxas de infiltração de 17% parece razoável, devendo, contudo, no combate às secas contar-se apenas com taxas de infiltração da ordem de 3 a 6%. A estas taxas, considerando, as precipitações anuais médias ocorrentes, teríamos produtividades na gama de 80 a 255m³/dia/km² (1 a 3l/s/km²), ligeiramente mais baixas que as apresentadas por PEDROSA (1998, 1999). Os valores atrás apresentados, a sazonalidade acentuada das precipitações, a baixa “capacidade de ingestão” das rochas e as enormes variações laterais das condições de reservatório levaram-nos a não preparar um mapa de distribuição das produtividades das formações hidrogeológicas que poderia, até, induzir em erro os potenciais utilizadores.

3.3. VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS

Ao nível de área tão extensa não é possível senão hierarquizar grandes grupos, o que foi feito seguindo o critério de INAG (1998):

- (i) Vulnerabilidade alta: aquíferos em sedimentos não consolidados com ligação hidráulica com a água superficial. Esta classe de aquíferos é representada maioritariamente por depósitos aluvionares;
- (ii) Vulnerabilidade média: aquíferos em sedimentos não consolidados sem ligação hidráulica com a água superficial. Genericamente os depósitos, onde se desenvolvem estes aquíferos, são depósitos de terraço, depósitos de vertente e outros sedimentos não consolidados;
- (iii) Vulnerabilidade baixa: aquíferos em sedimentos consolidados, tipificados nos depósitos arcóscicos de Nave de Haver (na Bacia hidrográfica do Douro);
- (iv) Não ocorrem unidades classificáveis de muito alta vulnerabilidade a não ser algumas manchas metacarbonatadas, carsificadas, da região de Bragança (FERNANDES, 1992).

Este tema, só por si, mereceria maior detalhe, dada o mau uso que tem sido feito da água subterrânea e dos incontáveis focos de contaminação instalados. Apesar da ausência de redes de monitorização, os resultados dos Planos de Bacia Hidrográfica mostram que a maioria das origens usadas para abastecimento público disponibilizam águas com parâmetros contidos nos limites do Dec.-Lei n.º 236/98, mormente em relação ao teor de nitrato.

3.4. ZONAS DE MÁXIMA INFILTRAÇÃO

Conforme era solicitado nos termos de referência do INAG (1998), interpretamos, quando da elaboração dos Planos de Bacia (HIDRORUMO, 2000) o pedido que era formulado de serem elaboradas “Cartas de Máxima Infiltração”. Trata-se de um conceito vago, consagrado pela legislação relativa à REN (Reserva Ecológica Nacional), e de difícil conceptualização e concretização no terreno. Não corresponde exactamente a áreas de recarga de aquíferos concretos que importe definir e proteger com Perímetros de Protecção, como deve ser prática corrente e o Dec.-Lei n.º 382/99 consagra. Na ausência de qualquer indicação em relação às metodologias a utilizar consideramos à partida dois grandes grupos de acordo com a classificação dos tipos hidrológicos do solo do “USA Soil Conservation Service” (cf. LENCASTRE & FRANCO, 1984) : (i) Solos do tipo B e (ii) Solos do tipo C e D. Atente-se que nas Bacias Hidrográficas consideradas, segundo este autor, não existiriam solos do tipo A, de maior capacidade transmissiva.

Na categoria dos solos do tipo B, de razoável capacidade transmissiva, foram considerados dois grandes sub-grupos: (i) os de declives superiores a 20% e (ii) os de declives inferiores a 20%. Finalmente para as zonas mais aplanadas e mais permeáveis (declives menores que 20% e solos do tipo B) foram consideradas 4 categorias de acordo com a precipitação anual média. O critério seguido provavelmente subavalia as áreas de “máxima infiltração”, pois elimina para os solos de tipo C e D a hipótese de acederem a uma das categorias de “máxima infiltração”. Trata-se, por isso, de avaliação a nível global que deve ser relativizada a escalas de pormenor.

3.5. O CUSTO DA ÁGUA PARA ABASTECIMENTOS URBANOS

Julgou-se oportuno juntar aqui uma breve nota sobre o custo da água subterrânea no Norte de Portugal de forma a ajudar a compreender o papel que efectivamente os caudais disponíveis podem jogar (ou continuar a desempenhar) em pequenos abastecimentos urbanos. Trata-se de um facto que não necessita de demonstração para pequenos abastecimentos domésticos e para pequenos regadios, i.e., os milhares de furos realizados anualmente e as indústrias de perfuração e de montagem de bombas associadas a este mercado são a prova inequívoca de que a água assim captada é interessante para os consumidores que a ela recorrem. Mas a suspeição continua a manter-se em relação aos abastecimentos públicos. Ora são os caudais que não são sustentados ou têm grande sazonalidade, ou é a água que não apresenta boa qualidade, ou é a dificuldade de gestão de múltiplos pequenos abastecimentos, particularmente tendo em vista o cumprimento das directivas comunitárias.

O tema das vantagens e inconvenientes das águas subterrâneas em rochas cristalinas para pequenos abastecimentos urbanos foi desenvolvido por um dos autores (e.g., CARVALHO, 2000, 2002) pelo que não valerá a pena retomá-lo aqui. Importa, sim, conhecer o custo da água subterrânea de forma desapaixonada considerando a aleatoriedade de obtenção de caudais, isto é, o risco geológico de insucesso avaliado em termos de IMC. Foi este o exercício a que se procedeu considerando os parâmetros seguintes: (i) custos de investimento em pesquisa, e captação (foi considerado o valor de € 100 por metro de perfuração acabado, muito acima do valor médio actualmente praticado no mercado Português para captações deste tipo) e montagem do equipamento de bombagem e tratamento da água: correcção de pH e cloragem); (ii) custos de exploração e manutenção (energia para a bombagem, manutenção do sistema de tratamento e manutenção geral); e (iii) assistência técnica, monitorização e controlo analítico para cumprimento dos Dec.-Lei n.º 236/98 e 243/2001. As despesas de investimento atenderam a uma longevidade de 30 anos para as captações.

Para as classes de IMC consideradas chega-se aos valores seguintes do custo da água tratada, sem incluir a distribuição:

- (i) Unidades com $IMC < 80$ m/l/s: custo da água tratada igual ou menor que € 0,21/ m³;
- (ii) Unidades com $80 < IMC < 120$ m/l/s: custo da água tratada entre € 0,21 e € 0,24 m³;
- (iii) Unidades com $IMC > 120$ m/l/s: custo da água tratada superior a € 0,24 m³;

Uma constatação interessante é a de que os custos de infraestruturas, de que a pesquisa e captação fazem parte, representam apenas cerca de 17% do valor final calculado. Assinale-se, também, que no caso do Maciço Antigo o custo final da água é pouco afectado pela litologia. Estas ilações ilustram como é destituída de sentido a opção por serviços e materiais de qualidade medíocre para a construção das captações para fins urbanos como geralmente acontece em Portugal. Opção que não acautela a qualidade da obra, a eficácia da mesma, o custo final da água e a conservação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos.

3.6 RECURSOS HIDROMINERAIS E GEOTÉRMICOS E ÁGUAS DE NASCENTE

Os recursos hidrominerais e geotérmicos e águas de nascente são recursos tutelados pelo IGM – Instituto Geológico e Mineiro (Ministério da Economia) e, por isso, geralmente esquecidos em sínteses de recursos hídricos “normais”, tutelados pelo INAG – Instituto da Água (Ministério das Cidades e do Ambiente). São recursos geológicos de alto valor económico, utilizados na indústria de engarrafamento e/ou em termas (CRUZ, 2002), e no caso do Norte de Portugal em

pequenas utilizações de baixa entalpia (CARVALHO & COSTA, 2002). Correspondem, maioritariamente a circuitos hidrogeológicos longos e períodos de circulação até centenas e milhares de anos (e.g., MARQUES, 1999; ESPINHA MARQUES *et al.*, 2001a,b; MARQUES *et al.*, 2003).

Justifica-se aqui uma breve referência para enfatizar que a gestão da água no território, não pode ser feita de costas voltadas entre organismos muito distanciados pois as zonas de recarga dos recursos agora evocados são comuns às águas “normais”, e há enormes interdependências nas zonas de descarga.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No maciço cristalino do Norte de Portugal é feita, em regra, uma exploração anárquica, intensiva, de água subterrânea. A legislação actual (Dec.-Lei n.º 46/94), que não pode ser rotulada de má, mas tão somente de desajustada, não é cumprida. Desta situação resulta que as águas subterrâneas, como origem para abastecimentos públicos estão desacreditadas junto dos decisores e de muitos utilizadores. Uma ou duas centenas de equipamentos de perfuração actuam impunemente, na sua maioria à margem da lei, sem que se vislumbre vontade séria de inverter a situação. Um dos autores (JMC) teve ocasião, há alguns meses, de dar parecer sobre um projecto de Dec-lei destinado a disciplinar o sector da pesquisa e captação de água subterrânea. Se for aprovado tal como está concebido, apesar da introdução de algumas ideias positivas, será mais um passo para a manutenção da situação de irresponsabilidade que actualmente se vive. Nomeadamente ficará consagrado que a pesquisa e captação se fará a nível de Estudo-Prévio, sem aprovação ou a consagração da figura do Projecto de Captação. Assim, paira uma questão: há obras de engenharia em Portugal que podem ser formalmente realizadas sem Projecto de Execução ?

No Norte de Portugal não se pode afirmar que existam situações de sobreexploração, mas é óbvio o risco para a qualidade dos recursos. Os recursos hídricos subterrâneos do Norte de Portugal estão avaliados de várias formas, nomeadamente ao nível dos Planos de Bacia (INAG, s/d) e da cartografia hidrogeológica (PEDROSA, 1998). Os recursos não são abundantes, nem bem distribuídos e apresentam dificuldades específicas de desenvolvimento pelo facto de ocorrerem em rochas compactas e fissuradas de baixa permeabilidade.

A experiência comprova, porém, que as águas subterrâneas se adaptam excelentemente ao abastecimento de pequenos núcleos urbanos. O presente trabalho pretende demonstrar que essa adaptação é boa por razões de qualidade, de baixa vulnerabilidade e porque estão disponíveis a custos baixos. Mas não podem ser queimadas etapas no seu estudo. Toda a informação disponível mostra que não foi nunca feito um esforço sistemático de inventariação e monitorização que permita encarar a gestão deste recurso de forma adequada. Muitas das opções em relação

ao aproveitamento dos recursos, ou do ordenamento do território, são tomadas com base em “estudos hidrogeológicos” sem grande suporte ao nível de estudos de campo; e os trabalhos de pesquisa, geralmente, são realizados com recurso a tecnologia de baixo nível (pormenores em CARVALHO & CHAMINÉ, 2002).

A margem de incerteza associada ao conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos e a importância local dos mesmos sugere que é absolutamente indispensável montar sistemas de monitorização quantitativa e qualitativa que permitam avaliar correctamente os recursos hídricos subterrâneos na óptica do ordenamento do território.

O desenvolvimento sustentado do território das áreas estudadas contará com a disponibilidade qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos subterrâneos, em complemento aos grandes sistemas de distribuição em alta com base em águas superficiais, nomeadamente tendo em conta a necessidade de fixação de população em lugares remotos e o custo efectivo da água no consumidor. O conhecimento existente permite perspectivar que continuarão em funcionamento largas centenas, senão milhares, de captações para abastecimento público para os quais será necessário realizar estudos específicos para cumprimento do Dec.-Lei n.º 382/99 para delimitação de perímetros de protecção. E exige-se que esses perímetros não sejam letra-morta, isto é, sejam efectivamente aplicados no terreno. Têm, por isso, de serem tecnicamente bem estabelecidos e consensualmente aceites.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam agradecer ao INAG e à DRAOT (Norte) pela autorização para publicação deste artigo síntese. HIC recebeu apoio pelo projecto SFRH/BPD/3641/2000 (Centro de Minerais Industriais e Argilas da Universidade de Aveiro). Ao Dr. José Teixeira pelo apoio na execução das ilustrações. Por fim, gostaríamos de expressar um agradecimento muito especial a todos os colegas investigadores e profissionais contactados, no espírito do projecto dos Planos de Bacias Hidrográficas, das Universidades (Minho, Trás-os-Montes e Alto Douro, Porto, Aveiro, Coimbra, Lisboa, Técnica de Lisboa e Évora), dos Institutos Politécnicos (Bragança e Porto), dos Institutos de Investigação (INAG e IGM), e de algumas empresas do sector, por disponibilizarem generosamente os seus trabalhos.

BIBLIOGRAFIA

- ABRUNHOSA, M. J. F. (1988) – *Síntese hidrogeológica da Bacia Hidrográfica do Rio Ave*. 22º Curso Internacional de Hidrologia Subterrânea, Barcelona. 52 pp. + Anexos. (Relatório Inédito).

- AFONSO, M. J. C. (1997) – *Hidrogeologia de rochas graníticas da região do Porto*. Universidade de Lisboa. 150 pp + Vol. Anexos. (Tese de Mestrado).
- AFONSO, M. J. C. (2003) – Hidrogeologia de rochas graníticas da região do Porto (NW de Portugal) *Cad. Lab. Xeol. Laxe*, A Coruña, 28 (in press).
- ALENCOÃO, A. M. P. (1998) – *Os recursos hídricos na Bacia hidrográfica do Rio Pinhão*. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. 331 pp. Vila Real. (Tese de doutoramento).
- ARAÚJO, M. A. (1991) – *Evolução geomorfológica da plataforma litoral da região do Porto*. Universidade do Porto. 534 pp.; Vol. Anexos: 87 pp. (Tese de doutoramento).
- BAPTISTA, J. (1998) – *Estudo neotectónico da zona de falha Penacova-Régua-Verin*. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real. 280 pp. (Tese de doutoramento).
- BAPTISTA, J.; CABRAL, J. & RIBEIRO, A. (1998) – Seismotectonics of Chaves and Moledo mineral springs in Penacova-Régua-Verin Fault Zone. In: AZERÊDO, A. C., (coord.), *Actas do V Congresso Nacional de Geologia. Comun. Inst. Geol. Min.*, Lisboa, 84 (1): D69-D72.
- BRUM FERREIRA, A. (1978) – Planaltos e montanhas do Norte da Beira: estudo de geomorfologia. *Mem. Centr. Est. Geogr.*, Lisboa, 4: 1-374.
- CABRAL, J. (1995) – Neotectónica em Portugal Continental. *Mem. Inst. Geol. Min.*, Lisboa, 31: 1-256.
- CALADO, C.M.A. (2001) – *A ocorrência de água sulfúrea alcalina no Maciço Hespérico: quadro hidrogeológico e quimiogénese*. Universidade de Lisboa. 462 pp (Tese de doutoramento).
- CARVALHO, J. M. (1993) – Ground water exploration in hard rocks for small scale irrigation in Trás-os-Montes, Portugal. In: SHEILA & DAVID BANKS (eds.). *Hydrogeology of hard rocks. Memoires 24th Congr. Int. Ass. Hydr.*, Oslo, Norway, 24 (2): 1021-1030.
- CARVALHO, J. M. (1996) – Mineral water exploration and exploitation at the Portuguese Hercynian massif. *Environmental Geology*, 27: 252-258.
- CARVALHO, J. M. (2000) – As águas subterrâneas no abastecimento de núcleos urbanos no Norte de Portugal In: SAMPER, J.; LEITÃO, T.; FERNÁNDEZ, L. & RIBEIRO, L. (eds.). *Jornadas Hispano-Lusas sobre 'Las Aguas Subterráneas en el Noroeste de la Península Ibérica'*. Textos de las Jornadas, Mesa Redonda y Comunicaciones, A Coruña. AIH-GE & APRH. *Publicaciones ITGE*, Madrid. pp. 237-259.
- CARVALHO, J. M. (2002) – Desenvolvimento e Gestão de Recursos Hidrominerais. In: *Prospecção, Pesquisa e Captação de Águas Minerais Naturais, Recursos Geotérmicos e Águas de Nascente*. IIª Sessões Técnicas do Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa. pp. 17-34.
- CARVALHO, J. M. & CHAMINÉ (2002) – O papel da fracturação e da alteração profunda em estudos de prospecção hidrogeológica: os casos das regiões de Oliveira de Azeméis e de Fafe (Maciço Ibérico, NW de Portugal). *Est. Not. Trab. Inst. Geol. Min.*, Porto. (submetido)
- CARVALHO, J. M. & COSTA, L. (2002) – Geotermia. In: GONÇALVES, H.; JOYCE, A. & SILVA, L. (eds.), *Forum energias renováveis em Portugal: uma contribuição para os objectivos de política energética e ambiental*. Edição da Agência para a Energia/Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Lisboa. pp. 138-161.
- CARVALHO, J. M.; PLASÊNCIA, N.; CHAMINÉ, H. I.; RODRIGUES, B. C.; DIAS, A. G. & SILVA, M. A. (2000). Recursos hídricos subterrâneos em formações cristalinas do Norte de Portugal. In: SAMPER, J.; LEITÃO, T.; FERNÁNDEZ, L. & RIBEIRO, L. (eds.). *Jornadas Hispano-Lusas sobre 'Las Aguas Subterráneas en el Noroeste de la Península Ibérica'*. Textos de las Jornadas, Mesa Redonda y Comunicaciones, A Coruña, AIH-Grupo Español & APRH. *Publicaciones ITGE*, Madrid. pp. 163-171.

- CARVALHO, J. M. & SILVA, L. F. (1988) – Recursos e metodologias de desenvolvimento dos pólos geotérmicos de Trás-os-Montes: *Anais UTAD*, Vila Real, 2: 23-45.
- CARVALHO, P. S. M. (1969) – Prospecção de água em formações cristalinas e cristalofílicas. *Bol. Minas*, 6, 1: 3-10.
- CASTANY, G. *et al.* (1970) – Evaluation rapide des ressources en eaux d'une région. In: Simposio Internacional sobre Aguas Subterráneas de Palermo. *AIH, Ente de Desarrollo Agrícola*, Palermo. pp. 462-682.
- CHAMINÉ, H. I. (2000) – *Estratigrafia e estrutura da faixa metamórfica de Espinho-Albergaria-a-Velha (Zona de Ossa-Morena): implicações geodinâmicas*. Universidade do Porto. 497 pp, 2 anexos, 3 mapas. (Tese de doutoramento).
- CHOFFAT, P. (1917) – La ligne de dépressions Régua-Verín et ses sources carbonatées. Remarques et considérations. *Comun. Serv. Geol. Portg.*, Lisboa, 12: 35-69.
- CRUZ, J. F. A. (2002) – Engarrafamento de águas minerais naturais e de nascente e termalismo em 2001. *Bol. Minas*, Lisboa, 39, 2: 87-108.
- DAVEAU, S. [coord.] (1985) – Mapas climáticos de Portugal. Nevoeiro e nebulosidade. Contrastes térmicos. *Mem. Centr. Estud. Geogr.*, Lisboa, 7: 1-72.
- E.R.H.S.A. (2003). *Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo*. Comissão de Coordenação Regional do Alentejo. Edição em CD-rom.
- ESPINHA MARQUES, J.; CHAMINÉ, H. I., CARVALHO, J. M. & BORGES, F. S. (2001a) – Tectónica regional do sector de Caldas do Moledo-Granjão-Cidadelhe (Falha de Penacova-Régua-Verín, N de Portugal): implicações no controlo das emergências hidrominerais. *Comun. Inst. Geol. Min.*, Lisboa, 88: 203-212.
- ESPINHA MARQUES, J.; MARQUES, J. M.; CHAMINÉ, H. I.; GRAÇA, R. C.; CARVALHO, J. M.; AIRES-BARROS, L. & BORGES, F. S. (2001b) – The newly described 'Poço Quente' thermal spring (Granjão-Caldas do Moledo sector, N Portugal): hydrogeological and tectonic implications. *Geociências*, Aveiro, 15: 19-35.
- FARIAS, P.; GALLASTEGUI, G.; GONZALEZ-LODEIRO, F.; MARQUÍNEZ, J.; MARTÍN PARRA, L. M.; MARTÍNEZ CATÁLAN, J. R.; PABLO MACIA, J. G. & RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, L. R., (1987) – Aportaciones al conocimiento de la litoestratigrafía y estructura de Galicia Central. *Mem. Mus. Lab. Min. Geol. Fac. Ciênc. Univ. Porto*, 1: 411-431.
- FERNANDES, L. F. (1992) – *Hidrogeologia de dois importantes aquíferos (Sabariz/Cova de Lua) do maciço polimetamórfico de Bragança*. Universidade de Lisboa. 176 pp. (Tese de mestrado).
- FERREIRA, N.; IGLÉSIAS, M.; NORONHA, F.; PEREIRA, E.; RIBEIRO, A. & RIBEIRO, M. L. (1987) – Granitóides da Zona Centro-Ibérica e seu enquadramento geodinâmico. In: F. BEA; A. CARNICERO; J. C. GONZALO; M. LÓPEZ PLAZA & M. D. RODRÍGUEZ ALONSO (eds). *Geología de los granitoides y rocas asociadas del Macizo Hesperico*. Editorial Rueda. Madrid. (Libro de Homenaje a L. C. García de Figuerola). 37-51 pp.
- FREIRE DE ANDRADE, C., 1937 – *Os vales submarinos portugueses e o diastrofismo das Berlengas e da Estremadura*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa. 236 pp.
- GAMA PEREIRA, L. C. (1998) – A faixa de cisalhamento Porto-Tomar, no sector entre o Espinhal e Alvaiázere (Portugal Central). In: CHAMINÉ, H. I., DIAS, A. G., RIBEIRO, M. A. & BORGES, F. S. (coords.). 4ª Conferência Anual GGET'98. *GEOLOGOS*, Porto. 2: 23-27.
- GONÇALVES HENRIQUES, A. (1985) – Avaliação dos Recursos Hídricos de Portugal Continental. Contribuição para o ordenamento do território. *Instituto de Estudos para o Desenvolvimento*, Caderno 9, Lisboa. 151 pp.

- HIDROPROJECTO, ACAVACO & TAHAL (1987) – *Estudo de Viabilidade de Rega do Vale de Chaves e Seus Vales Secundários*. (Relatório inédito).
- HIDROPROJECTO, ACAVACO & TAHAL (1988) – *Estudo de Viabilidade de Rega do Vale de Chaves e Seus Vales Secundários. Apêndice I.3.4 - Modelação Numérica do Sistema Hidrogeológico do Vale de Chaves*. (Relatório inédito).
- HIDROPROJECTO, ACAVACO & TAHAL (1989) – *Estudo de Viabilidade de Rega do Vale de Chaves e Seus Vales Secundários e Prospecção de Águas Subterrâneas em algumas zonas de Trás-os-Montes*. Memória Geral. (Relatório inédito).
- HIDRORUMO (2000) – *Plano de Bacia Hidrográfica*. HIDRORUMO – Projecto e Gestão, SA (Grupo EDP). [Relatórios inéditos de recursos hídricos subterrâneos e de caracterização do meio biofísico, no âmbito dos Plano de Bacia Hidrográfica dos Rios Lima, Cávado, Ave, Leça e Douro, para o INAG]
- INAG-INSTITUTO DA ÁGUA (1997) – *Caracterização e cartografia dos sistemas Aquíferos de Portugal Continental*. INAG, Lisboa (relatório inédito).
- INAG-INSTITUTO DA ÁGUA (1998) – *Informação cartográfica dos Planos de Bacia*. Revisão nº 1 de Outubro de 1998. INAG, Lisboa (relatório inédito).
- INAG-INSTITUTO DA ÁGUA s/d. – *Plano de Bacias Hidrográficas*: Lisboa (http://www.inag.pt/inag2002/port/a_intervencao/planeamento/pbh/pbh.html).
- LARSSON, I (1987) – Ground water in hard rocks. *International Hydrological programme*. Unesco, Paris. 284 pp.
- LENCASTRE, A. & FRANCO, F. M. (1984) – *Lições de Hidrologia*. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa. 451 pp.
- LIMA, A. S. (2001) – *Hidrogeologia de Terrenos Graníticos. Minho-Portugal*. Universidade do Minho, Braga. 451 pp. (Tese de doutoramento).
- LLOYD, J W (1999) – Water resources of hard-rock aquifers in arid and semi-arid zones. *Studies and Reports in Hydrology*, Unesco, Paris, 58: 1-284.
- MARQUES, J. M. (1999) – *Geoquímica dos fluidos e da interação água-rocha: os casos das águas mineralizadas quentes e frias de Chaves, Vilarelho da Raia, Vidago e Pedras Salgadas*. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. 276 pp. (Tese de doutoramento).
- MARQUES, J. M.; ESPINHA MARQUES, J.; CARREIRA, P. M.; GRAÇA, R. C.; AIRES-BARROS, L., CARVALHO, J. M.; CHAMINÉ, H. I. & BORGES, F. S. (2003) – Geothermal fluids circulation at Caldas do Moledo area, Northern Portugal: geochemical and isotopic signatures. *Geofluids*, 3 (3): 189-201.
- MARTÍN-SERRANO, A. (1994) – Macizo Hespérico septentrional. In: M. GUTIÉRREZ ELORZA (ed.). *Geomorfología de España*. Editorial Rueda, Madrid. pp. 25-62.
- MENDONÇA, J. L., ALMEIDA, C. C. & MARQUES DA SILVA, M. (1999) – Produtividade de captações e características hidrogeológicas dos sistemas aquíferos descontínuos do Maciço Hespérico na Área da Bacia Hidrográfica do rio Mondego. *Seminário sobre Águas Subterrâneas*. APRH, 11 pp.
- MMA – MINISTÉRIO DE MEDIO AMBIENTE (1998) – *Libro blanco del Agua en España*. Madrid. 864 pp.
- MOITINHO DE ALMEIDA, F (1970) – *Carta Hidrogeológica de Portugal*, escala 1/1000000. Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos. Lisboa.
- NORONHA, F. & LETERRIER, J. (2000) – Complexo metamórfico da Foz do Douro (Porto). Geoquímica e geocronologia. *Rev. Real Acad. Galega Ciencias*, Santiago de Compostela, 19: 21-42.

- OLIVEIRA, A. S. (1995) – *Hidrogeologia da região de Pedras Salgadas*. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real. 229 pp. (PAPCC).
- OLIVEIRA, J. T.; PEREIRA, E.; RAMALHO, M.; ANTUNES, M. T. & MONTEIRO, J. H. [coords.] (1992) – *Carta Geológica de Portugal* à escala 1/500 000. 5ª edição. 2 folhas. *Serv. Geol. Portg.*, Lisboa.
- OLIVEIRA, M. & LOBO FERREIRA, J.P.C. (1999) – Comparação dos valores da recarga das Águas Subterrâneas obtidos pela aplicação de diferentes métodos em áreas selecionadas dentro da área do plano de bacia do Tejo. *Seminário sobre Águas Subterrâneas*, APRH., Lisboa. 18 pp.
- OLIVEIRA, M.; MOINANTE, J. & LOBO FERREIRA, J. P.(1997) – Determinação da recarga de águas subterrâneas a partir da análise de hidrogramas de escoamento. In: *Seminário sobre Águas Subterrâneas*. APRH., Lisboa.
- OLIVEIRA, M. M. & FERREIRA J.P.L. (2000) – Estudo da recarga de águas subterrâneas em áreas do Maciço Antigo do Norte de Portugal In: SAMPER, J.; LEITÃO, T.; FERNÁNDEZ, L. & RIBEIRO, L. (eds.). Jornadas Hispano-Lusas sobre 'Las Aguas Subterrâneas en el Noroeste de la Península Ibérica'. Textos de las Jornadas, Mesa Redonda y Comunicaciones, A Coruña, AIH-Grupo Español & APRH. *Publicaciones ITGE*, Madrid. pp. 191-198.
- PARADELA, P. L. (1975) – *Recursos Hidricos Subterrâneos. Atlas do Ambiente de Portugal*. Comissão Nacional do Ambiente, Lisboa.
- PARADELA, P. L. (1984) – *Recursos Hidricos Subterrâneos. Atlas do Ambiente de Portugal*. Notícia Explicativa. Comissão Nacional do Ambiente. Lisboa. 15 pp.
- PEDROSA, M. Y. [coord.] (1998) – *Carta Hidrogeológica de Portugal*, à escala 1/200 000. Folha 1. Inst. Geol. Min., Lisboa.
- PEDROSA, M. Y. (1999) – *Notícia explicativa da Carta Hidrogeológica de Portugal*, à escala 1/200 000. Folha 1. Inst. Geol. Min., Lisboa. 70 pp.
- PEREIRA, E., RIBEIRO, A., CARVALHO, G. S., NORONHA, F., FERREIRA, N. & MONTEIRO, J. H. [coords.] (1989) – *Carta Geológica de Portugal*, escala 1/200000, Folha 1. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- PEREIRA, E. *et al.* [coord.] (2000) – *Carta Geológica de Portugal*, à escala 1/200000, Folha 2. Inst. Geol. Min., Lisboa.
- PEREIRA, M. R. (1992) – Importância dos filonetes de quartzo na pesquisa de água subterrânea em rochas cristalinas. *Geolis*, Lisboa, 6 (1/2): 46-52.
- PEREIRA, M. R. (1999) – *Hidrogeologia das rochas fracturadas da Terra Quente Transmontana*. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real. 299 pp. (Tese de doutoramento).
- RIBEIRO, A. (1974) – Contribution à l'étude tectonique de Trás-os-Montes Oriental. *Mem. Serv. Geol. Portg.*, 24. 168 pp.
- RIBEIRO, A.; ANTUNES, M. T.; FERREIRA, M. P.; ROCHA, R. B.; SOARES, A. F.; ZBYSZEWSKI, G.; ALMEIDA A, F. M.; CARVALHO, D. & MONTEIRO, J. H. (1979) – *Introduction à la géologie générale du Portugal*. Serviços Geológicos de Portugal., Lisboa 114 p.
- RIBEIRO, A.; KULLBERG, M.C.; KULLBERG, J. C.; MANUPPELLA, G. & PHIPPS, S. (1990a) – A review of Alpine Tectonics in Portugal: foreland detachment in basement and cover rocks. *Tectonophysics*, 184: 357-366.
- RIBEIRO, A., PEREIRA, E. & DIAS, R. (1990b) – Structure of Centro-Iberian allocthon in the Northwest of the Iberian Peninsula. In: DALLMEYER, R. D. & MARTÍNEZ-GARCÍA, E., (Eds.), *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*, Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg. pp. 220-236.

- RIBEIRO, A.; QUESADA, C. & DALLMEYER, R.D. (1990c). Geodynamic evolution of the Iberian Massif. In: DALLMEYER, R. D. & MARTÍNEZ-GARCÍA, E. (eds.). *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. pp. 397-410.
- ROBINS, N. S. & MISSTEAR, B. D. R. (2000) – Groundwater in the Celtic Regions In: ROBINS, N. S. & MISSTEAR, B. D. R.(eds.). *Studies in hard-rocks and quaternary hydrogeology. Geological Society Special Publication*, London, 182: 5-17
- SINGHAL, B. B. S. & GUPTA, R. P. (1999) – *Applied hydrogeology of fractured rocks*. Kluwer Academic Publishers. 400 pp.
- SOARES DE CARVALHO, G. (1992) – Depósitos quaternários e cenozóico indiferenciado. In: PEREIRA, E. (Coord.), *Carta Geológica de Portugal*, à escala 1/200000. Notícia Explicativa da Folha 1. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa. 47-50 pp.
- STOBER, I & BUCHER, K (2000) – *Hydrogeology of crystalline rocks*. Water Science and Technology Library, Kluwer Academic Publishers, 34: 1-284.
- WRIGHT, E. P. & BURGESS, W. G. (1992) – The hydrogeology of crystalline basement aquifers in Africa. *Geological Society Special Publication*, London, 66: 1-264.