

SISTEMAS AQUÍFEROS DE PORTUGAL CONTINENTAL

**C. Almeida
J. J. L. Mendonça
M. R. Jesus
A. J. Gomes**



Dezembro 2000



MACIÇO ANTIGO (A)

Introdução

O Maciço Antigo (Maciço Hespérico, ou Ibérico), é a unidade geológica que ocupa a maior extensão em Portugal, sendo constituído, essencialmente, por rochas eruptivas e metassedimentares. As litologias correspondentes àqueles tipos de rochas, são habitualmente designadas pelos hidrogeólogos por rochas cristalinas ou rochas duras, ou, ainda por rochas fracturadas ou fissuradas. Em termos gerais, podem-se considerar como materiais com escassa aptidão hidrogeológica, pobres em recursos hídricos subterrâneos. No entanto, apesar da escassez de recursos hídricos subterrâneos, eles desempenham um papel importante, tanto nos abastecimentos à população, como na agricultura. De facto, além de milhares de pequenas captações particulares, a maioria dos concelhos dispõe de grande número de captações de águas subterrâneas para abastecimento.

As rochas carbonatadas paleozóicas constituem, em geral, uma excepção em termos de produtividade, podendo assumir uma importância regional assinalável.

Embora o Maciço Hespérico seja caracterizado por uma relativa uniformidade, em termos hidrogeológicos, é possível considerar algumas subunidades, com características próprias e que correspondem às divisões geoestruturais daquele Maciço.

Assim, a Zona Centro-Ibérica é caracterizada pela grande extensão que ocupam as rochas granitóides, seguida pelos xistos afectados por graus de metamorfismo variável. São também de assinalar, pela sua importância hidrogeológica, os quartzitos que formam alguns dos relevos importantes. A zona de Ossa-Morena embora seja constituída, maioritariamente, por rochas eruptivas e metassedimentares, distingue-se das restantes, pela presença de alguns maciços carbonatados importantes e pela extensão de alguns maciços de rochas básicas, praticamente ausentes nas restantes zonas. A zona Sul-Portuguesa, a mais pobre em recursos hídricos subterrâneos, é constituída fundamentalmente por xistos e grauvaques, afectados por um metamorfismo de grau baixo, assinalando-se, ainda, a presença de uma faixa onde afloram metavulcanitos e depósitos de sulfuretos maciços.

Dadas as suas características, o Maciço Hespérico não tem atraído muito a atenção dos hidrogeólogos pelo que se trata de uma unidade ainda pouco estudada. Exceptua-se a área correspondente à região do Alentejo que foi objecto de um estudo recente, no âmbito de um projecto denominado Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo (ERHSA) e, ainda, tema de estudo de dissertações de mestrado e doutoramento (Chambel, 1990, Vieira da Silva, 1991, Cupeto, 1991, Monteiro, 1993, Duque, 1997, Candeias, 1997, Chambel, 1999, Midões, 1999). Algumas áreas de Trás-os-Montes e Minho foram também objecto de estudo no âmbito de dissertações de mestrado e doutoramento (Pereira, 1999, Fernandes, 1992, Lima, 2000).

Tendo em consideração a existência de alguns caracteres distintivos entre as diferentes regiões, que coincidem aproximadamente com as unidades geotectónicas que se consideram actualmente, a caracterização da hidrogeologia do Maciço Hespérico será feita individualmente para cada uma das três unidades: Zona Centro-Ibérica (ZCI), Zona de Ossa-Morena (ZOM) e Zona Sul-Portuguesa (ZSP).

Zona Centro-Ibérica (ZCI)

Enquadramento Geológico

Soco hercínico

Um dos traços fundamentais desta zona é a grande extensão ocupada por rochas granitóides e por metassedimentos de uma unidade designada por Supergrupo Dúrico-Beirão (ou Complexo Xisto-Grauváquico das Beiras). Assinala-se a existência de uma zona com características próprias, ocupando uma grande parte de Trás-os-Montes e prolongando-se para Espanha, designada Sub-zona Galiza Média Trás-os-Montes, onde ocorrem dois maciços de rochas básicas e ultrabásicas, interpretados como sendo complexos ofiolíticos.

Outra característica assinalável da ZCI é a ocorrência de numerosas dobras, geralmente sinclinais, alongadas muitas vezes segundo a direcção NW-SE, onde, assentando em discordância angular sobre o Supergrupo Dúrico-Beirão, ou sobre uma formação intercalar (Formação de Vale do Grou), ocorrem espessas bancadas de quartzitos da Formação dos Quartzitos Armoricanos, a que se podem seguir sequências essencialmente xistentas, do Ordovícico e Silúrico, podendo ir até ao Devónico.

O Supergrupo Dúrico-Beirão é uma unidade muito extensa e monótona com fácies flysch, onde só recentemente foram reconhecidas e descritas as formações que o compõem. É constituído essencialmente por xistos e grauvaques, embora possam estar representadas outras litologias: conglomerados, calcários, etc.

Sousa (1985) considera a existência de dois grupos: o Grupo do Douro e o Grupo das Beiras, cada um deles, por sua vez, constituídos por várias formações. A datação desta unidade tem sido dificultada pela escassez de fósseis, mas, comprovadamente inclui terrenos do Câmbrico inferior, e, provavelmente, do Pré-Câmbrico superior.

As rochas desta unidade foram afectadas por metamorfismo de grau variado, quer regional quer de contacto, ocorrendo corneanas, xistos mosqueados, xistos profiroblásticos, etc.

O Ordovícico está representado por uma unidade arenítica inferior (Formação dos Quartzitos Armoricanos), uma unidade essencialmente pelítica média e uma unidade arenítica superior, localmente com calcários e vulcanitos (Vimioso, Penacova). Assenta em discordância sobre o Supergrupo Dúrico-Beirão, por intermédio de um membro conglomerático de base ou sobre uma formação intercalar, por sua vez assente discordantemente sobre o referido Supergrupo.

Os principais afloramentos são: Valongo, Marão, Moncorvo, Marofa, Buçaco, Espinhal-Envendos, Ródão, Fajão e Penha Garcia.

O Silúrico ocupa uma extensão reduzida, excepto na Sub-zona da Galiza Média Trás-os-Montes. O contacto com o Ordovícico corresponde a lacuna estratigráfica, com mudanças acentuadas nas condições de sedimentação, estando ausentes o topo do Ordovícico e a base do Silúrico.

As litologias dominantes são os xistos, normalmente de cores escuras, com intercalações de xistos ampelitosos, liditos, ftanitos, quartzitos, calcários, etc.. São comuns os xistos com nódulos, por vezes de grande tamanho.

Em Trás-os-Montes as formações silúricas estão organizadas em dois grupos:

- Grupo Peritransmontano, que compreende uma alternância de pelitos, arenitos e grauvaques, no topo com intercalações de pelitos e liditos, coroada por um nível de arenitos quartzíticos, passando lateralmente a conglomerados;
- Grupo Centrotransmontano que compreende, de baixo para cima, uma alternância de filitos, quartzofilitos e grauvaques a que se seguem quartzitos com sericite, terminando a sequência com um complexo vulcano-silicioso, representado por metavulcanitos ácidos e básicos, intercalados com xistos cloríticos e xistos borras de vinho, filitos siliciosos com lenticulas de calcário e liditos.

O Devónico (inferior e médio) está representado em S. Félix de Laundos, Valongo, Dornes, Serra da Amêndoa e Portalegre. As litologias incluem xistos finos fossilíferos, arenitos, quartzitos e calcários (Dornes e Portalegre).

Os granitos que ocorrem na ZCI são, na sua grande maioria, hercínicos, monzoníticos, de grão grosseiro, porfiróides, tardi a pós-tectónicos, da série tardia e granitos e granodioritos porfiróides, sin-tectónicos, da série intermédia. Ocorrem alguns corpos menores de granitóides sin-tectónicos mais antigos: granodioritos precoces, granitos de duas micas e granitos gnaissóides.

Perto da sutura com a Zona de Ossa Morena, estão implantados alguns pequenos maciços graníticos ante-hercínicos: Figueiró, Pedrógão, Dornes, Tancos, Portalegre, etc..

Na Sub-zona Galiza Média Trás-os-Montes assinalam-se dois maciços ultrabásicos: o de Morais e o de Bragança. O maciço de Morais, tem forma arredondada e é constituído por peridotitos, anfibolitos, granulitos, gnaisses e micaxistos. O maciço de Bragança tem forma alongada, segunda a direcção NW-SE, e é constituído por duas unidades: unidade de Soeira, na base, formada por rochas básicas e semibásicas com textura xistosa e Complexo Polimetamórfico de Bragança, no topo, consistindo em anfibolitos, granulitos, migmatitos eclogistas, etc., com textura maciça.

Quer as rochas magmáticas, quer as metassedimentares são intersectadas por numerosas falhas e filões. De acordo com Ribeiro *et al.* (1979), podem ser distinguidos dois episódios de fracturação: no primeiro, a direcção de compressão máxima, aproximadamente N-S, originou dois sistemas de desligamentos conjugados, um sistema esquerdo, de direcção NNE-SSW a ENE-WSW e um sistema direito, de direcção NNW-SSE a NW-SE; no segundo, a compressão máxima é de direcção E-W, tendo afectado sobretudo o bordo ocidental do maciço. As falhas que afectam o soco hercínico sofreram vários episódios de reactivação, podendo algumas delas permanecer activas até à actualidade.

Depósitos modernos

No Maciço Hespérico assinalam-se algumas manchas de formações detríticas de idade cretácica ou terciária, ocupando pequenas depressões tectónicas ou cobrindo plataformas de aplanção. Os dados disponíveis sobre captações implantadas naquelas formações, embora escassos, indicam que as mesmas possuem uma fraca aptidão aquífera, algumas vezes inferior às próprias rochas cristalinas do substrato. Por esse motivo, apenas se fará uma caracterização sumária dos principais aspectos sedimentológicos daquelas formações, bem como uma breve caracterização das captações nelas implantadas e da qualidade da água.

Região de Lousã e Arganil

Na região de Lousã e Arganil encontram-se formações detríticas de idade cretácica e terciária que se traduzem num enchimento sedimentar que atinge um máximo de 440 m de espessura.

A sequência deposicional basal corresponde a uma unidade litoestratigráfica constituída por sedimentos siliciclásticos de origem predominantemente granítica, com forte componente arcósica, denominada Grupo do Buçaco (Reis e Cunha, 1989). Assenta, em discordância angular, sobre o Supergrupo Dúrico-Beirão, sobre metassedimentos ordovícicos, ou, ainda, sobre sedimentos mesozóicos. O limite superior corresponde a uma descontinuidade sedimentar regional, sobre a qual assentam, as areias do Buçaqueiro, as arcoses de Coja ou depósitos mais recentes (*ibidem*).

O Grupo do Buçaco integra três formações: Arcoses de Lomba do Alveite, Arenitos de Choisa e os Conglomerados de Picadouro (Reis e Cunha, 1986, *in* Reis e Cunha, 1989).

As Arcoses de Lomba do Alveite, de idade ante-cenomaniana (Albiano médio), assentam por discordância angular sobre o Supergrupo Dúrico-Beirão, sobre rochas paleozóicas ou sobre sedimentos mesozóicos. O seu limite superior corresponde a uma passagem gradual aos Arenitos de Choisa.

A unidade tem uma espessura máxima de 60 metros e uma geometria tabular. É constituída por conglomerados e arenitos arcósicos mal calibrados, grosseiros a médios, alternantes com lentículas lutíticas. Os conglomerados localizam-se preferencialmente na base da formação e nos afloramentos mais meridionais (Reis e Cunha, 1989).

A formação Arenitos de Choisa tem uma espessura máxima de 20 metros e é caracterizada por corpos tabulares e alternantes de arenitos feldspáticos médios a finos e lutitos.

A formação Conglomerados de Picadouro é constituída por arenitos arcósicos imaturos grosseiros, alternando com níveis conglomeráticos formados por clastos de quartzito e quartzo muito mal calibrados. Os conglomerados localizam-se preferencialmente no tecto da formação e nos afloramentos mais próximos da crista quartzítica do Buçaco (região a sul de Góis).

As areias avermelhadas do Buçaqueiro são constituídas por níveis de areias espessos, com calhaus de quartzo no seu interior, alternando com níveis de areia muito fina, mais ou menos argilosa. A espessura desta formação é muito irregular, podendo atingir algumas dezenas de metros. Sobre ela assenta, nalguns locais, uma formação grosseira heterométrica, de fácies tipo raña, com blocos de quartzito e de espessura pequena (*ibidem*).

Mortágua

A pequena bacia de Mortágua constitui um graben dissimétrico, limitado por uma falha do lado ocidental e por uma flexura do lado oriental.

Os depósitos que preenchem a bacia são constituídos, na base, em contacto com os xistos que a envolvem, por um arenito argiloso, geralmente fino, pouco consolidado, por vezes muito duro devido a posterior cimentação siliciosa (Grés do Buçaco). Sobre este arenito assenta, principalmente na faixa central, um arenito grosseiro, apresentando leitos de calhaus, geralmente de quartzo (Grés de Coja). Sobre estes arenitos assenta uma formação argilosa

amarelada, com intercalações de pequenos calhaus (Brum Ferreira, 1978). Esta formação ocorre no sector ocidental da bacia, onde deverá atingir uma centena de metros, e os arenitos no sector oriental.

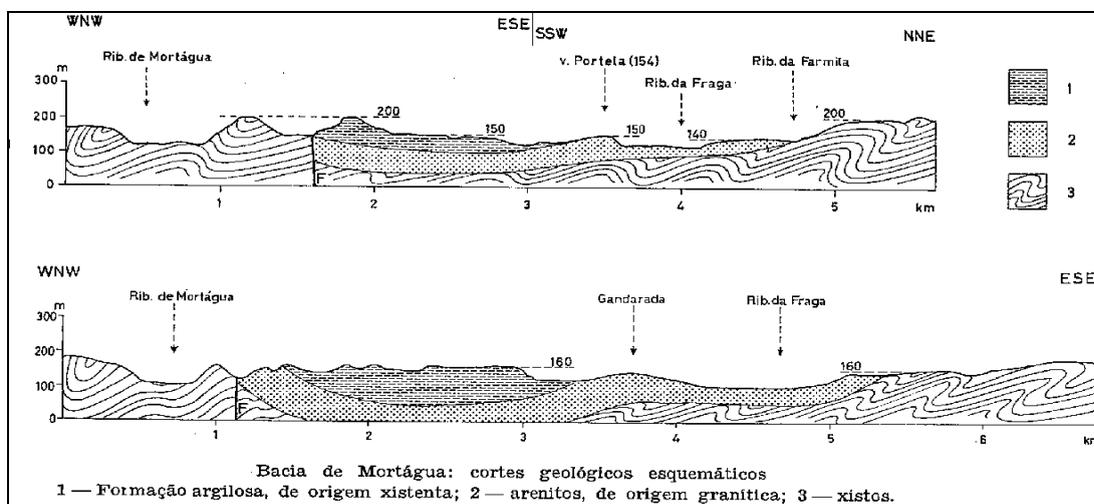


Figura A.1 – Perfis geológicos esquemáticos da bacia de Mortágua (in Brum Ferreira, 1978)

A grande profundidade da bacia no sector ocidental é confirmada por uma sondagem para captação de águas, realizada em 1960, perto da estação de Mortágua. Segundo H. F. Carvalho (in Brum Ferreira, 1978), a sondagem cortou primeiro a formação argilosa, entrou depois nos arenitos, tendo atingido a profundidade de 207 metros sem alcançar o substrato. Por outro lado, a fraca espessura dos depósitos no sector oriental confirma-se pela presença de alguns afloramentos de xisto no fundo da depressão, perto de Vila Nova.

Nave de Haver

A depressão de Nave de Haver encontra-se preenchida por depósitos que constituem a extremidade sudoeste de uma mancha de depósitos paleogénicos continentais com grande desenvolvimento no território espanhol.

São constituídos por duas formações sobrepostas: uma formação inferior, a mais espessa, que consiste num arenito arcósico de cimento argiloso a que se segue uma outra, que atinge uma espessura de 3 a 15 metros, constituída por um arenito arcósico grosseiro, de cor avermelhada, com abundantes veios de calhaus de quartzo, alternando com areias e lenticulas argilosas (Brum Ferreira, 1978).

Depressão da Longroiva

Este pequeno graben encontra-se preenchido por um arenito de grão fino, de cor esbranquiçada, pouco consolidado, com calibragem deficiente, contendo importante fracção fina, embora com percentagens muito variáveis. Apresenta uma espessura da ordem de 60 metros (Brum Ferreira, 1978).

Sarzedas

A região de Sarzedas corresponde a uma depressão alongada segundo NE-SW, localizada a sudeste da Cordilheira Central. O seu enchimento sedimentar ocupa cerca de 160 km² e assenta em discordância angular sobre uma paleotopografia escavada em rochas metamórficas de idade ordovícica e ante-ordovícica.

A caracterização litoestratigráfica seguinte, baseia-se em estudos sedimentológicos de pormenor dos sedimentos terciários (Cunha, 1987). Deste estudo resultou a definição das seguintes unidades litoestratigráficas, cujos limites são materializados por discontinuidades sedimentares (da base para o topo): Unidade Areno-conglomerática de Cabeço do Infante, Unidade Arenosa de Silveirinha dos Figos e Unidade Conglomerático-argilosa de Sarzedas.

Na região de Sarzedas, a Unidade Areno-conglomerática de Cabeço do Infante aflora segundo uma faixa NE-SW, desde a crista ordovícica de Castelo Branco até à Ribeira do Alvito. Trata-se de um corpo areno-conglomerático que é mais espesso (75 m) junto do bordo tectónico (a sudeste) biselando-se, quer para noroeste, quer lateralmente. Esta unidade é composta por uma alternância de níveis com elementos finos e mais grosseiros, sendo caracterizada por rápidas variações, quer de espessura, quer de extensão lateral. A parte superior é afectada por silicificação cuja espessura é variável aumentando junto do bordo. Também ocorrem, particularmente no sector nordeste da região, níveis com cimentação dolomítica que se situam preferencialmente na metade inferior da unidade (*ibidem*).

A Unidade Arenosa de Silveirinha dos Figos é exclusivamente arenosa e silto-argilosa e é composta por arcoses, subarcoses e quartzo-arenitos. A área de maior importância corresponde à base da lomba de Sarzedas, existindo outras áreas no sector SW da região de menor extensão e espessura (*ibidem*). A espessura máxima é da ordem dos 60 metros.

A unidade Conglomerático-argilosa de Sarzedas pode ser descrita em termos de duas associações de fácies: fácies conglomeráticas, predominantes no sopé das escarpas de falha, e fácies areno-lutíticas.

Imediatamente a sudeste das falhas de Grade-Pousafotes e de Rapoula existem três edifícios de cone aluvial. O de Vale Bonito apresenta cerca de 45 m de espessura máxima e constitui a mancha cartográfica mais extensa. O de Grade, conserva pequena espessura e extensão lateral. O da lomba de Sarzedas, apresenta uma espessura máxima com cerca de 30 m e é constituído por dois conjuntos distintos:

- Um inferior (com cerca de 20 m de espessura) de cor verde acinzentada, constituído por níveis alternantes de conglomerados e arenitos;
- Um superior de cor borra de vinho, constituído por uma alternância de conglomerados e argilo-siltitos.

Apesar da falta de argumentos paleontológicos significativos na totalidade da bacia, os estudos de índole sedimentológica regional (Carvalho, 1968) permitiram associar o primeiro conjunto litológico desta bacia ao Paleogénico, o segundo ao Miocénico, e o terceiro ao Plio-Plistocénico.

Castelo Branco

Os sedimentos terciários da Beira Baixa foram agrupados em dois grupos. O mais antigo, com predomínio arenoso, apresenta 140 m de espessura máxima, sendo designado por Grupo da Beira Baixa, designação que visa substituir a de Arcoses da Beira Baixa. Este grupo integra a Formação de Cabeço do Infante e a Formação de Silveirinha dos Figos. O grupo mais recente, designado por Grupo de Murracha, possui um predomínio de conglomerados, e é muito mais espesso (250 m na serra da Murracha), integrando a Formação de Torre, Formação de Monfortinho e a Formação de Falagueira.

A Formação de Cabeço do Infante é constituída por sedimentos muito mal calibrados, onde predominam arenitos muito grosseiros e conglomerados. Um dos aspectos mais típicos é a existência de cimentação siliciosa que afecta o tecto da formação, com espessura variável. Também existem conjuntos de camadas dolomíticas que podem atingir 45 m de espessura (Vale da Medronheira - Monte dos Cancelos), susceptíveis de representação cartográfica à escala 1:50 000 e que constituem calcretos (Reis & Cunha, 1989). Outra característica é a ocorrência de óxi-hidróxidos de ferro e de manganês, quer sob a forma de carapaças, quer sob a forma de concentrações dendríticas manganésíferas.

O limite inferior faz-se por discordância angular sobre o Grupo das Beiras, embora localmente possa assentar em rochas ordovícicas ou, por inconformidade, sobre rochas granitóides. O limite superior corresponde a uma desconformidade, com passagem à Formação de Silveirinha dos Figos, localmente (na Murracha, no contacto com a falha do Ponsul) faz-se por discordância angular com a Formação de Torre.

Existem variações laterais de fácies significativas, as fácies conglomeráticas localizam-se preferencialmente no sector de Monforte da Beira. Na área de Sarzedas verifica-se biselamento gradual para noroeste, acompanhado de diminuição granulométrica. As fácies são essencialmente areno-conglomeráticas.

A Formação de Silveirinha dos Figos é de composição quase exclusivamente arenosa sendo os sedimentos friáveis e geralmente mal calibrados. As principais manchas localizam-se na região de Sarzedas, em Vila Velha de Ródão e a sudeste de Idanha-a-Nova. A unidade tem uma geometria tabular, apresentando cerca de 60 m de espessura a ocidente (Sarzedas e Vila Velha de Ródão) e cerca de 100 m a oriente (região de Idanha). Não exhibe significativa variação de fácies

A Formação de Torre é constituída por sedimentos detríticos aluviais apresentando níveis alternantes de conglomerados, arenitos e lutitos. Apresenta junto das falhas do Ponsul e de Sarzedas fácies quase exclusivamente conglomeráticas ou alternando com níveis arenolíticos, com uma espessura máxima de 100 m. Os sedimentos são heterométricos a mal calibrados, possuindo uma abundante matriz argilosa. Esta formação pode ser atribuída ao Tortoniano superior a Messiniano.

A Formação de Monfortinho é geralmente constituída por depósitos conglomeráticos, embora para sudeste às vezes predominem fácies arenosas (na lomba de Sarzedas e ao longo da estrada para as Termas de Monfortinho). Nos cerros da Murracha e da Murrachinha apresenta 80 m de espessura, mas atinge 130 m junto da crista quartzítica das Termas de Monfortinho. A estratificação é sub-horizontal.

O limite inferior corresponde a uma discordância, sobre a Formação de Torre, embora localmente assente, directamente, sobre a Formação de Silveirinha dos Figos e no Grupo das

Beiras (em Pedras Ninhas e na Murrachinha). O limite superior corresponde a uma desconformidade sendo limitada superiormente pela Formação de Falagueira ou por depósitos quaternários. Para sudeste, a formação apresenta gradual diminuição granulométrica e de espessura. A formação é atribuída ao Pliocénico.

A Formação de Falagueira corresponde aos anteriormente designados depósitos de tipo raia (Ribeiro, 1942) e cascalheiras de planalto (Ribeiro *et al.*, 1965, 1967; Dias, 1973). Atinge 107 m de espessura máxima e apresenta atitude horizontal. Os sedimentos são mal calibrados, possuindo uma matriz arenosa grosseira e siltosa de composição essencialmente quartzítica e quartzosa. No sopé da serra do Moradal e da crista quartzítica de Penha Garcia são muito heterométricos, mas mais para sul tornam-se menos grosseiros. A formação geralmente assenta por desconformidade sobre a Formação de Monfortinho, sendo atribuída ao Placenciano.

Hidrogeologia

Sob o ponto de vista de comportamento hidrogeológico podemos agrupar os terrenos que afloram na ZCI em:

- Rochas granitóides
- Xistos e grauvaques, afectados por metamorfismo de grau variável
- Rochas básicas e ultrabásicas
- Quartzitos
- Calcários
- Depósitos detríticos pós-paleozóicos
- Aluviões

As rochas granitóides e metassedimentos (xistos metamórficos e metagrauvaques) são os grupos litológicos que ocupam, de longe, a maior extensão. Em Trás-os-Montes ocupam também uma extensão significativa os metavulcanitos e quartzitos. No entanto, o seu comportamento hidrogeológico, em termos de produtividade, não se distingue muito dos xistos e grauvaques. Os outros grupos litológicos têm uma representatividade menor, mas, devido à sua especificidade, serão tratados em separado.

Rochas granitóides, xistos e grauvaques, afectados por metamorfismo de grau variável

A circulação nestes tipos litológicos é, na maioria dos casos, relativamente superficial, condicionada pela espessura da camada de alteração e pela rede de fracturas resultantes da descompressão dos maciços. Na maior parte das situações, a espessura com interesse hidrogeológico é da ordem de 70 a 100 metros.

Alguns acidentes tectónicos de maior expressão podem dar origem a circulação mais profunda, mas, muitas vezes, esta cai já no domínio do hidrotermalismo.

Nalgumas regiões o tipo de captação predominante ainda é a galeria de mina, que tem sido tradicionalmente utilizada em zonas constituídas por rochas de permeabilidade baixa, sendo bastante adequada a áreas com relevo vigoroso. Outros tipos de captação tradicionais são os

poços de grande diâmetro e o aproveitamento de nascentes. Actualmente, verifica-se uma tendência para aqueles tipos de captação serem progressivamente substituídos por furos verticais, dado que as tecnologias actuais permitem a sua construção por um custo mais vantajoso.

Como nas rochas cristalinas a circulação se faz sobretudo numa camada superficial, constituída por rochas alteradas ou mais fracturadas, devido à descompressão, os níveis freáticos acompanham bastante fielmente a topografia e o escoamento dirige-se em direcção às linhas de água, onde se dá a descarga. Os níveis freáticos são normalmente muito sensíveis às variações observadas na precipitação.

A quantidade de dados disponíveis é insuficiente para fazer uma caracterização muito pormenorizada, em termos de produtividades e parâmetros hidráulicos. No entanto, alguns estudos sectoriais permitem ter uma imagem que não deverá afastar-se muito do panorama geral. Com base em alguns desses trabalhos pode-se fazer um estudo comparativo entre as características dos dois grupos litológicos com maior representatividade: as rochas granitóides e os xistos e grauvaques.

Pereira (1999) e Pereira e Almeida (1997) fazem um estudo comparativo entre as produtividades dos três tipos litológicos mais representados em Trás-os-Montes oriental: granitóides, xistos e quartzitos. Os dados de base que foram usados nestes trabalhos têm um significado particular, por se terem utilizado todas as sondagens para prospecção de água, executadas no concelho de Mirandela, no âmbito de uma campanha de prospecção, ou seja, incluindo aquelas que foram consideradas improdutivas. Sublinha-se este aspecto pois, em geral, os dados disponíveis não incluem uma informação completa sobre aquele tipo de sondagens.

Verificou-se que as captações implantadas em xistos e quartzitos apresentavam produtividades significativamente maiores que as dos granitos. Os xistos apresentam um caudal médio de 1,5 L/s e os granitos de apenas 0,2 L/s.

Na mesma região verificou-se existir uma correlação significativa entre a produtividade das captações nos xistos e a presença de filonetes de quartzo. Assim, a ocorrência daqueles constitui um bom indicador da probabilidade de obter melhores caudais do que em outras situações. Verificou-se, igualmente, que a situação topográfica da captação (em vales, encostas ou áreas planas) não exercia um controlo significativo no valor do caudal.

As transmissividades estimadas a partir de 10 ensaios de bombagem em Trás-os-Montes Oriental, são, como era de esperar, bastantes baixas situando-se entre 3,5 e 36 m²/dia (Pereira e Almeida, 1997b).

Um tratamento de dados de captações na região do Porto mostrou uma tendência semelhante na distribuição das produtividades por grupos litológicos. Neste trabalho (Lopes *et al*, 1997), baseado em 82 dados de captações, 44 em granitos e 38 em xistos, verificou-se que o caudal médio dos granitos era de 1,1 L/s enquanto para os segundos era de 2,1 L/s. No Quadro A.1 apresenta-se uma caracterização estatística mais completa da distribuição dos caudais nos dois grupos, em L/s.

	n	Média	Desvio padrão	Mínimo	Q ₁	Mediana	Q ₃	Máximo
Granitos	44	1,1	1,1	0,1	0,4	0,8	1,6	0,1
Xistos	38	2,1	1,6	0,2	0,8	1,9	2,8	6,3

Quadro A.1 - Principais estatísticas dos caudais de furos verticais, na região do Porto

Outro estudo, realizado na bacia hidrográfica do rio Pinhão, mostrou que os dois grupos litológicos dominantes, já referidos, são caracterizados por densidades diferentes de ocorrência de nascentes, apresentando os granitos uma maior densidade, 3,8 por km², contra 1,9 por km² nos xistos (Alencão e Portugal Ferreira, 1997). Este estudo mostra que o maior número de nascentes ocorre quando o desnível entre a área de recarga e aquelas é da ordem de 40 m nos granitos e 70 m nos xistos. Estes factos parecem indicar que nos granitos a circulação é mais superficial. Assim, nos granitos a bacia de recepção drenada por cada nascente seria de menor tamanho, daí a maior densidade observada, e menos profunda, o que vem corroborar as diferenças de produtividade referidas anteriormente.

Na bacia do Vouga, no âmbito dos planos de bacia hidrográfica, foram inventariadas 97 captações por furo vertical, cujas produtividades mostram a mesma tendência, conforme se pode apreciar no quadro seguinte (A.2). Por falta de dados sobre caudais de exploração, foram usados caudais de ensaio, realizados aquando da construção dos furos. Não se dispõe de informação sobre captações consideradas improdutivas.

	n	Média	Desvio padrão	Mínimo	Q ₁	Mediana	Q ₃	Máximo
Granitos	70	0,5	1,0	0,02	0,15	0,3	0,5	8,0
Xistos	27	1,1	1,4	0,6	0,67	0,67	1,0	6,9

Quadro A.2 - Principais estatísticas de caudais de furos verticais na bacia do Vouga

Nos quadros seguintes apresentam-se as características das captações existentes na Bacia do Mondego e respectivas produtividades.

	n	Média	Desvio padrão	Mínimo	Q ₁	Mediana	Q ₃	Máximo
Profundidade (m)	61	74,4	44,2	30,0	50,0	63,5	84,1	306,6
Caudal (L/s)	61	0,54	0,83	0,01	0,16	0,28	0,56	5,0

Quadro A.3 - Características das captações por furos em granitos na bacia do Mondego

	n	Média	Desvio padrão	Mínimo	Q ₁	Mediana	Q ₃	Máximo
Profundidade (m)	52	74,2	27,1	38,0	52,0	67,5	90,0	140,0
Caudal (L/s)	51	2,4	2,4	0,13	0,97	1,5	2,6	10,0

Quadro A.4 - Características das captações por furos em xistos na bacia do Mondego

Não se verifica nenhuma correlação assinalável entre a profundidade dos furos e o caudal o que pode sugerir que o caudal depende predominantemente de uma ou poucas fracturas bem localizadas, em vez de ocorrências mais ou menos espaçadas e repetidas com a profundidade.

Na região da Lousã conhecem-se furos com caudais excepcionalmente elevados (≥ 5 L/s). Estes furos localizam-se num sector fortemente tectonizado onde se destacam: a falha de Coimbra, que separa o Complexo Cristalofílico (zona de Ossa-Morena) do Grupo das Beiras, da zona Centro-Ibérica; o segmento do desligamento NNE-SSW, que se prolonga desde a região de Verin (na Galiza) e vai terminar de encontro à falha de Coimbra; a falha Lousã-Pombal-Leiria, de direcção ENE-WSW.

Nos quadros seguintes apresentam-se as estatísticas da produtividade de poços e minas, inventariados na bacia do Mondego.

	n	Média	Desvio padrão	Mínimo	Q ₁	Mediana	Q ₃	Máximo
Profundidade (m)	10	7,1	4,5	1,0	2,0	6,8	9,6	15,0
Caudal (L/s)	10	1,6	1,6	0,17	0,25	1,0	1,9	5,0

Quadro A.5 - Características das captações por poços em granitos na bacia do Mondego

	n	Média	Desvio padrão	Mínimo	Q ₁	Mediana	Q ₃	Máximo
Comprimento (m)	72	40,9	46,2	4,0	11,0	25,0	50,0	190,0
Caudal (L/s)	126	1,37	1,92	0,05	0,35	0,6	1,33	10,0

Quadro A.6 - Características das captações por minas em granitos na bacia do Mondego

	n	Média	Desvio padrão	Mínimo	Q ₁	Mediana	Q ₃	Máximo
Comprimento (m)	22	41,4	57,9	1,50	9,5	16,0	32,0	200,0
Caudal (L/s)	45	0,79	1,21	0,04	0,14	0,19	0,91	5,0

Quadro A.7 - Características das captações por minas em xistos na bacia do Mondego

Com a construção dos poços com drenos pretende-se reunir algumas das características favoráveis dos poços e das minas: a capacidade de armazenamento dos primeiros e a possibilidade, conforme a orientação dos drenos, de intersecção de escoamentos em famílias distintas de diaclases. As características principais e produtividades deste tipo de estruturas apresenta-se nos quadros A.8 e A.9.

	n	Média	Desvio padrão	Mínimo	Q ₁	Mediana	Q ₃	Máximo
Profundidade (m)	16	9,6	3,1	7,0	7,0	8,5	10,0	17,4
Comprimento (m)	7	97,5	148,1	8,0	9,5	20,0	79,3	395,0
Caudal (L/s)	21	10,0	9,4	0,23	2,0	5,6	15,0	30,0

Quadro A.8 - Características das captações por poços com drenos em granitos na bacia do Mondego

	n	Média	Desvio padrão	Mínimo	Q ₁	Mediana	Q ₃	Máximo
Profundidade (m)	7	33,9	55,8	5,0	6,1	12,0	18,8	159,0
Comprimento (m)	6	163,5	115,1	30,0	37,5	159,0	218,0	310,0
Caudal (L/s)	12	9,4	18,1	0,25	0,36	0,74	10,0	63,0

Quadro A.9 - Características das captações por poços com drenos em xistos na bacia do Mondego

Os poços, poços com drenos horizontais, nascentes e minas, captam na zona superficial, onde a alteração e a fracturação são intensas e, por isso, em meio característico de porosidade dupla, o que justifica que estas captações sejam mais produtivas que os furos. Os poços com drenos são as captações mais produtivas e a relação caudal/comprimento dos drenos, em regra, apresenta valores mais elevados que os dos furos e das minas. As nascentes são locais de afloramento da superfície freática e, na grande maioria dos casos, o caudal é inferior a 1 L/s.

A importância da fracturação e da alteração superficial, no caudal das captações, também se revela, por exemplo, pela ocorrência de casos de furos com perfuração de várias dezenas de metros e em que a zona aproveitada de captação se limita à primeira dezena.

A interpretação de resultados de ensaios de bombagem em furos, permitiu obter alguns valores da transmissividade. As estatísticas principais destes resultados constam do quadro A.10, em que os valores estão expressos em m²/dia.

n	Média	Desvio padrão	Mínimo	Q ₁	Mediana	Q ₃	Máximo
12	30,4	61,2	0,6	2,7	7,5	12,3	217

Quadro A.10 – Principais estatísticas para a transmissividade em granitos na bacia do Mondego

Para os furos em xistos não foi possível obter dados de ensaios de bombagem pelo que apenas se pode estimar a transmissividade (m²/dia) a partir dos caudais específicos. Os resultados apresentam-se no quadro A.11.

	n	Média	Desvio padrão	Mínimo	Q ₁	Mediana	Q ₃	Máximo
Transmissividade	46	21,3	26,0	0,8	3,6	10,8	18,5	90,9

Quadro A.11 – Principais estatísticas para a transmissividade em xistos na bacia do Mondego

Da comparação dos quadros acima, pode-se verificar que, também na bacia do Mondego, as produtividades dos furos em xistos são superiores às dos granitos. No caso das minas

verifica-se a tendência oposta. Finalmente, nos poços com drenos os quantis dos granitos tendem a ser superiores aos dos xistos, mas é neste grupo litológico que se obteve o caudal máximo.

No noroeste de Portugal, a distribuição das produtividades nos granitos e xistos segue as tendências já referidas. Lima (2000) com base em dados de caudais instantâneos (*air lift*) de 1079 furos em granitos e 365 em xistos, determinou as estatísticas da produtividade (em $m^3/hora$) que se resumem na figura seguinte (A.2).

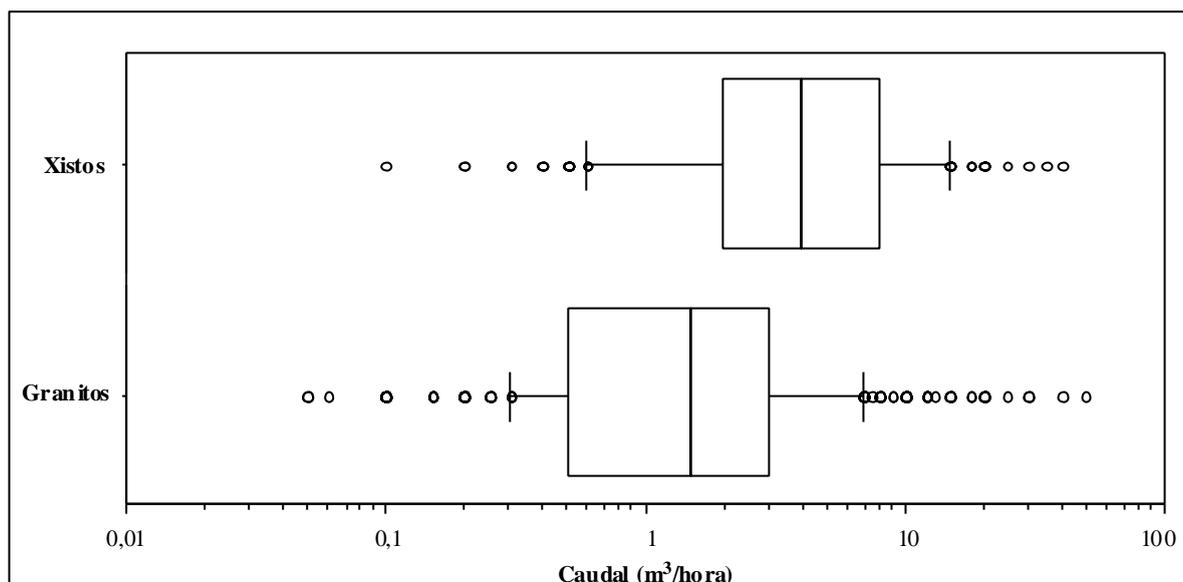


Figura A.2 – Estatísticas da produtividade para os xistos e granitos no noroeste de Portugal (*in* Lima, 2000)

Como se pode verificar a mediana dos caudais nos xistos é mais de duas vezes superior à dos granitos.

Na mesma região, Lima (2000) obteve a distribuição das transmissividades, determinada em furos em granitos e xistos, que se resume na figura seguinte (A.3). Nela se pode verificar que os valores daquele parâmetro tendem a ser superiores nos xistos, em relação aos granitos, tendência que se tem vindo a verificar noutras regiões.

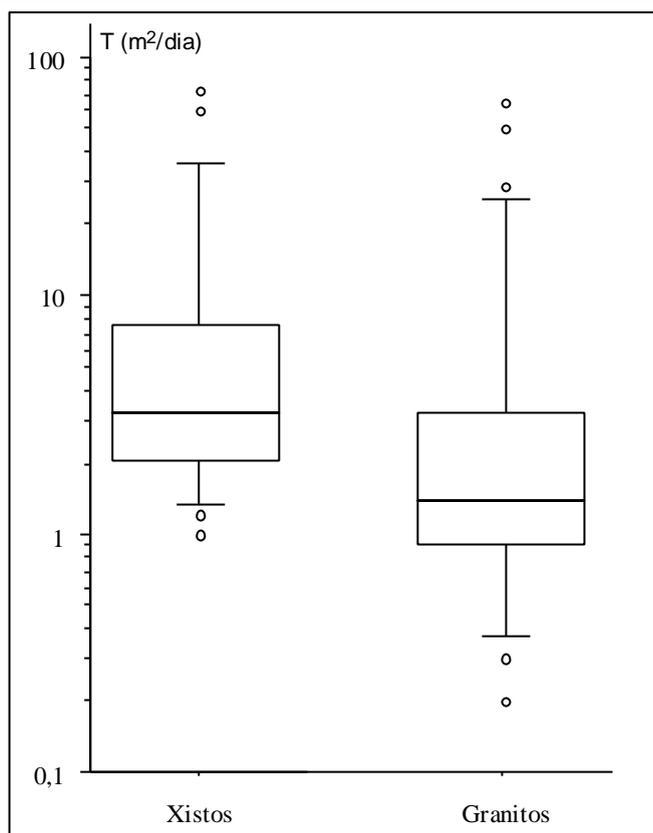


Figura A.3 - Estatísticas da transmissividade para os xistos e granitos no noroeste de Portugal (*in* Lima, 2000)

Em conclusão, pode-se afirmar que a tendência de maior produtividade dos furos em xistos, por comparação com os dos granitos, se verifica num número significativo de áreas diferentes o que faz supor que pode ser estendida, pelo menos, a toda a Zona Centro-Ibérica.

Existem dados de qualidade da água em rochas granitóides e xistos para várias regiões, uns obtidas em trabalhos publicados, outros recolhidos no âmbito dos trabalhos para elaboração dos planos de bacia.

Os aquíferos instalados naqueles tipos de rochas são bastante vulneráveis a determinados tipos de contaminação. Como a circulação se faz, em grande parte, em fissuras, a velocidade de circulação pode ser elevada e o poder de filtração do meio é reduzido. Assim, é natural que muitas das captações sejam afectadas por contaminação microbiológica, o que, aliado à dispersão das captações e consequente dificuldade de controlo dos processos de desinfecção, constitui uma das grandes dificuldades da gestão dos recursos hídricos subterrâneos naqueles meios.

Por outro lado, o facto de se tratar de pequenos aquíferos, com escasso poder regulador, torna-os muito vulneráveis a outros contaminantes de origem antropogénica, nomeadamente os que resultam de actividades agrícolas, pelo que se poderá verificar o aumento das concentrações em nitratos e outros iões.

Como os reservatórios dos aquíferos do Maciço Hespérico são constituídos por materiais estáveis, entre os quais abunda o quartzo, as águas, quando não são excessivamente

influenciadas por processos antropogénicos, apresentam uma mineralização baixa, e uma qualidade química aceitável. No entanto, em consequência da reduzida capacidade de reacção do meio, é frequente as águas subterrâneas apresentarem valores baixos de pH. Esta acidez é adquirida pela água devido à dissolução de dióxido de carbono, durante a sua passagem pelo solo, onde a pressão parcial daquele gás pode ser elevada. Em resultado daquela reacção, o pH pode baixar até valores próximos de 5. Em presença de minerais reactivos, como carbonatos e alguns silicatos, a acidez é consumida nas reacções de dissolução, com concomitante subida do pH e da alcalinidade. No caso de ausência ou pouca abundância de minerais reactivos na matriz do aquífero, a água mantém o pH baixo. Por seu lado os valores baixos de pH permitem que algumas espécies químicas, pouco solúveis noutras condições, atinjam concentrações indesejáveis: estão neste caso o alumínio, o ferro e o manganês. Embora as concentrações sejam relativamente baixas, em valor absoluto, elas ultrapassam com frequência o Valor Máximo Recomendado (VMR) e, nalguns casos, o Valor Máximo Admitido (VMA) definidos pelo Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto.

Na bacia do Mondego obtiveram-se dados de 18 pontos de água situados em granitos: 6 furos, 1 poço e 11 poços com drenos e furos horizontais. Treze das análises foram executadas entre 1975 e 1993; das restantes cinco desconhece-se a data. Só foi considerada uma análise por captação. Alguns dos valores do sódio foram obtidos por balanço iónico. As estatísticas principais apresentam-se no quadro A.12.

	n	Média	Desvio padrão	Mínimo	Q ₁	Mediana	Q ₃	Máximo
Condutividade (µS/cm)	18	106	60	33	63	88	134	266
pH	18	6,4	0,7	5,6	5,8	6,3	6,8	7,6
Bicarbonato (mg/L)	18	33,4	25,4	12,2	14,7	27,2	34,7	95,2
Cloreto (mg/L)	18	18,5	14,8	3,6	10,7	14,2	17,4	71,1
Sulfato (mg/L)	15	7,4	10,8	0,0	0,0	4,1	7,5	43,7
Nitrato (mg/L)	17	2,0	4,3	0,0	0,0	0,3	0,7	16,6
Sódio (mg/L)	15	13,9	10,5	4,0	7,8	11,9	16,2	47,0
Cálcio (mg/L)	18	8,9	11,2	0,4	2,3	5,5	7,7	45,4
Magnésio (mg/L)	17	3,1	2,3	0,5	1,3	2,7	4,2	9,9
Ferro (mg/L)	16	0,26	0,36	0,01	0,08	0,12	0,17	1,3

Quadro A.12 – Principais estatísticas das águas de granitos do Maciço Hespérico na bacia do Mondego

O catião sódio é maioritário na maioria das análises; pelo contrário, o magnésio é quase sempre minoritário. Quanto aos aniões, o cloreto e o bicarbonato são dominantes, sendo o sulfato minoritário. Na maioria das águas, a fácies é mista no que respeita aos catiões e/ou aos aniões. As águas bicarbonatas cálcicas e cloretadas sódicas constituem as fácies extremas.

No que respeita à qualidade da água para consumo humano, verifica-se que o pH e o ferro são de longe os parâmetros cujos VMR são violados com maior frequência: 67 % e 88 % de análises, respectivamente. No caso do ferro, 13 % dos valores ultrapassam o VMA. O cloreto, o sulfato e o sódio ultrapassam os VMR em 17 %, 7 % e 13 % das análises, respectivamente. A alcalinidade, em 50 % dos casos, está abaixo do VMA.

Sublinhe-se as concentrações baixas em nitrato embora com a ressalva de que a mais recente das análises tem a data de 1993.

Quanto à utilização para rega, a maioria das águas consideradas apresentam riscos de salinização e de alcalinização baixos: 94 % são da classe C_1S_1 ; só há um caso de água da classe C_2S_1 , com perigos de salinização moderado e de alcalinização baixo. Cerca de 67 % das análises tem pH abaixo do intervalo de valores recomendados pelo Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto.

Ainda na bacia do Mondego, obtiveram-se dados de análises referentes a 11 pontos de água implantados em xistos: 4 furos, 3 galerias, 2 furos horizontais e 2 poços com drenos. Três das análises foram executadas em 1979 e 1980 desconhecendo-se a data das oito restantes. Só foi considerada uma análise por captação. Os valores do sódio foram obtidos por balanço iónico, com excepção de dois valores.

As estatísticas principais referentes às análises consideradas são apresentadas no Quadro A.13.

	n	Média	Desvio padrão	Mínimo	Q ₁	Mediana	Q ₃	Máximo
Condutividade (µS/cm)	11	169,6	172,8	34,0	55,1	122,0	186,3	600,0
pH	11	6,3	0,8	5,3	5,5	6,2	7,1	7,6
Bicarbonato (mg/L)	11	62,7	69,7	15,3	18,3	24,4	58,7	213,5
Cloretos (mg/L)	10	18,5	8,9	10,0	10,7	15,8	21,2	35,0
Sulfatos (mg/L)	9	20,8	30,5	0,0	0,0	12,0	18,7	97,3
Nitratos (mg/L)	4	valores: 0,04; 0,04; 0,09; 0,24						
Sódio (mg/L)	9	14,2	9,3	5,8	6,4	7,9	20,1	30,8
Cálcio (mg/L)	11	12,1	20,4	1,0	2,0	4,2	6,0	69,2
Magnésio (mg/L)	11	8,4	6,6	1,3	2,1	7,7	13,0	20,1
Ferro (mg/L)	8	1,9	2,3	0,07	0,09	1,1	2,1	7,0

Quadro A.13 – Principais estatísticas de águas de xistos e grauvaques do Maciço Hespérico da bacia do Mondego

Tratam-se de águas com mineralização total relativamente baixa, pois menos de 25% delas apresenta condutividade superior a 200 µS/cm. No entanto, quando comparadas com as águas dos granitos nota-se uma ligeira tendência para uma maior mineralização. Na maioria das águas, a fácies é mista tanto no que respeita aos catiões como aos aniões.

No que respeita à qualidade da água para consumo humano verifica-se que o pH e o ferro ultrapassam com muita frequência o VMR: 64 % e 100 % das análises, respectivamente; no caso do ferro, 75 % dos valores ultrapassam o VMA. O cloreto, o sulfato e o sódio ultrapassam os VMR em 20 %, 22 % e 33 % das análises, respectivamente. A alcalinidade, em cerca de 55 % dos casos, está abaixo do VmA.

Todas as águas apresentam concentrações baixas em nitrato, embora se deva sublinhar que a mais recente das análises tem a data de 1980.

No que diz respeito à utilização para rega, a maioria das águas apresenta riscos de salinização e de alcalinização baixos: são da classe C_1S_1 ; há dois casos de águas da classe C_2S_1 , com perigos de salinização moderado e de alcalinização baixo. Cerca de 64 % das análises tem pH abaixo do intervalo de valores recomendados e há um valor de ferro acima do VMR (Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto).

Lima (2000) caracteriza as águas ocorrentes em granitos do NW de Portugal. Tratam-se de águas com mineralização baixa, cuja fácies dominante é a cloretada sódica, verificando-se que 65% das amostras possuem valores de condutividade iguais ou inferiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Quanto ao pH verifica-se que praticamente todas as amostras apresentam valores entre 5 e 7. Águas com pH inferior a 5 e superior a 7 constituem casos excepcionais.

Quanto à qualidade para consumo humano, os principais aspectos negativos relacionam-se com os baixos valores de pH e com alguns casos de violação do VMR, ou mesmo do VMA, relativos ao alumínio, sendo a concentração média deste metal de 0,064 mg/L, embora a maioria das amostras tenha concentrações inferiores ao primeiro limite. Como foi referido, estes factos são comuns em águas circulando em granitos, quase sempre caracterizadas por valores baixos de pH, condição que permite a existência de concentrações relativamente elevadas daquele metal.

Em relação aos nitratos, cerca de 85% das amostras apresentam valores inferiores ao VMR, mas 7% apresentam valores superiores ao VMA.

No que respeita à qualidade para uso agrícola, as águas distribuem-se pelas classes C_1S_1 e C_2S_1 .

Em Trás-os-Montes, na região de Mirandela, foram amostrados 44 pontos de água (35 furos e 9 nascentes), implantados em rochas granitóides e metassedimentares, para análise química e bacteriológica (Pereira *et al.*, 1999). As amostras foram colhidas entre Setembro e Dezembro de 1994 e em Dezembro de 1995 e as análises químicas foram efectuadas no laboratório do Instituto Geológico e Mineiro, no Porto. As amostras para análise bacteriológica, foram efectuadas no mesmo período e analisadas no Departamento de Microbiologia da U.T.A.D.

Da comparação dos resultados entre os dois meios verificou-se que: nas rochas ígneas os valores de pH oscilam entre 5,6 e 6,3 enquanto que nas rochas metassedimentares, cerca de 50% apresentam valores superiores a 7 (máximo = 9,3), embora ocorram alguns valores baixos (mínimo = 5,4). Por outro lado, as águas do segundo grupo litológico são mais mineralizadas, verificando-se uma maior dispersão dos valores da condutividade eléctrica, em $\mu\text{S}/\text{cm}$. O quadro seguinte (A.14) ilustra estas diferenças.

	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Q ₁	Mediana	Q ₃	Máximo
R. Metamórficas	306	205	30	170	253	395	1010
R. Ígneas	93	46	41	55	88	100	188

Quadro A.14 – Principais estatísticas para a condutividade eléctrica das águas de rochas metamórficas e rochas ígneas de Mirandela

As águas circulando nas rochas ígneas são de fácies cloretado sódica, as menos mineralizadas, ou bicarbonata sódica.

Os resultados das análises microbiológicas mostram que em 25 amostras foram detectadas bactérias do grupo coliforme, ultrapassando 10 colónias em 100 ml em 10 delas. Em 11 amostras foi detectada a presença de coliformes fecais.

Calcários

As rochas calcárias ocupam uma extensão reduzida na ZCI. No entanto, podem assumir, por vezes, uma importância hidrogeológica significativa, pelo que se justifica uma referência destacada. As principais ocorrências de rochas calcárias situam-se em Trás-os-Montes (calcários ordovícicos, silúricos), vale do Douro (Supergrupo Dúrico-Beirão), Buçaco (Ordovícico), Dornes e Portalegre (Devónico).

Dada a reduzida extensão da maioria das ocorrências apenas se considerou como um sistema aquífero cartografável e, portanto, com uma caracterização mais detalhada o do sinclinal de Portalegre (Sistema aquífero de Escusa).

Quanto às restantes, apenas o pequeno aquífero de Cova da Lua (Bragança) foi objecto de estudo mais desenvolvido. No âmbito deste trabalho, foram feitos também alguns reconhecimentos sumários e efectuadas colheitas e análises em 4 locais:

Vale do Douro

No Vale do Douro existem várias ocorrências de rochas calcárias, constituídas por calcários metamórficos (mármore), calcíticos e, mais raramente, dolomíticos, pertencendo à Formação de Bateiras, a formação mais antiga do Grupo do Douro. As manchas mais importantes situam-se a SW e SE de Pinhão.

Foram realizadas três colheitas e análises nestes calcários, cujos resultados e locais de colheita se indicam na tabela seguinte (Quadro A.15).

	Casais do Douro	Furo Gontelho	Fonte Covas do Douro
pH	7,29	7,35	8,03
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	726	384	295
Dureza (mg/L)	33,3	15,5	14,9
Cloreto (mg/L)	37,9	22,2	9,2
Sulfato (mg/L)	104	74	6,9
Bicarbonato (mg/L)	273	111	182
Nitrato (mg/L)	31,1	16,3	3,4
Sódio (mg/L)	38	23,2	9,7
Potássio (mg/L)	1,4	1,8	0,3
Cálcio (mg/L)	77	44,4	43,3
Magnésio (mg/L)	34,2	10,7	9,9

Quadro A.15 – Análises de águas de calcários do Vale do Douro

Campanhó

Nas imediações desta povoação existem vários afloramentos de um calcário negro, com elevada componente siliciosa, todos com reduzida extensão, tendo alguns deles sido objecto de exploração para o fabrico de cal. Apesar da reduzida área de afloramento, estes calcários dão origem a uma nascente (Olho Marinho) situado perto da aldeia de Campanhó, que

apresenta um caudal relativamente elevado. A nascente situa-se no contacto com rochas xistosas menos permeáveis. Embora não se disponha de dados de caudal que permitam uma quantificação dos volumes médios escoados, uma primeira apreciação sugere que aqueles serão muito superiores aos que se poderiam prever em função da área de afloramento, o que se poderia explicar pela existência de lentículas ocultas, ocupando uma área significativa, que poderiam drenar as rochas envolventes menos permeáveis.

Foi feita uma análise cujos resultados se apresentam em seguida, em mg/L (Quadro A.16).

pH	7,55
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	126
Dureza	6
Cloreto	4,4
Sulfato	4,9
Bicarbonato	62,4
Nitrato	4,8
Sódio	3,6
Potássio	0,7
Cálcio	18,8
Magnésio	3,06

Quadro A.16 – Análise realizada em água proveniente de formação calcária, em Campanhó

Trata-se de uma água pouco mineralizada, de excelente qualidade, sob o ponto de vista químico.

Aquífero de Cova da Lua

O reservatório principal deste aquífero é constituído por blocos de natureza calcária, de idade silúrica, aparentemente descontínuos, como uma área de afloramento muito reduzida. No entanto, os recursos e a produtividade do sistema fazem supor que o volume total do reservatório deverá ser muito superior ao que se pode deduzir a partir da observação em superfície. É provável que exista um desenvolvimento significativo dos corpos calcários, ocultos sob outras formações, e, além disso, é possível que aqueles actuem como um dreno das outras litologias, que teriam uma função semelhante à de um aquífero (Fernandes, 1992).

As características hidráulicas mostram que o comportamento do sistema se aproxima daquele que é típico de um aquífero cársico. A ocorrência de formas endocársicas (grutas) e de abatimentos ocasionais, por vezes fora das áreas de afloramento dos calcários, são comprovativos de uma dinâmica cársica que afecta os calcários.

Dada a exiguidade do afloramento, o número de captações conhecidas é muito reduzido. A produtividade apenas pode ser avaliada com base nos relatórios das captações para abastecimento público, JK1 e JK2A, que indicavam caudais de ensaio de 43 e 18 L/s, respectivamente. Fernandes (1992) considera estes valores exagerados, provavelmente por haver retorno dos caudais extraídos, que, na altura dos ensaios, estariam a ser lançados para uma linha de água próxima. Segundo o mesmo autor, os referidos furos entraram em exploração com um caudal total de 22 L/s. Num ensaio realizado na captação JK1 (Julho de

1991) obteve-se um valor de transmissividade de 540 m²/dia e coeficiente de armazenamento de 0,04 (Fernandes, 1992).

A recarga do sistema faz-se de forma directa sob a pequena superfície dos afloramentos e por drenância a partir dos sedimentos que cobrem as linhas de água, ou através de outras litologias em contacto com os calcários. Fernandes (1992), com base no balanço de cloretos, estima uma taxa de recarga de 235 mm/ano, correspondente a cerca de 37% da precipitação média caída na região. Com base naquele valor, o mesmo autor estima em cerca de 2 hm³/ano os recursos subterrâneos médios renováveis.

Actualmente o sistema é pouco explorado, por se ter optado por recurso a outras origens para o abastecimento público. No período em que o sistema foi usado para aquele fim, o total das extracções anuais não deve ter atingido 1 hm³/ano. Desconhece-se o valor das extracções para fins agrícolas, mas também não deverão atingir o referido valor, pelo que o sistema deverá ser excedentário, sendo o equilíbrio estabelecido através de escoamento para a rede superficial. Dado o reduzido volume do sistema, este é muito sensível aos períodos de seca, altura em que se poderá verificar uma sobreexploração temporária e dificuldades no abastecimento.

Quartzitos

Na ZCI são frequentes as ocorrências de quartzitos, associadas a formações de diversas idades. Pela sua importância destacam-se as do Ordovícico inferior (Formação dos Quartzitos Armorianos) pois apresentam um grande desenvolvimento, constituindo muitas vezes a ossatura de relevos importantes. Os principais afloramentos são: Valongo, Marão, Moncorvo, Marofa, Buçaco, Espinhal-Envendos, Ródão, Fajão e Penha Garcia.

Como se trata de rochas constituídas por minerais muito estáveis, não originam camadas de alteração significativas, sendo a circulação condicionada quase exclusivamente pela presença de descontinuidades (fracturas e planos de estratificação). Esta rede de descontinuidades mantém-se aberta até profundidades importantes, pelo que, os afloramentos quartzíticos estão frequentemente associados a nascentes que, nalguns casos, podem ter caudais razoáveis e que são caracterizadas, quase sempre, por possuírem água de boa qualidade, pelo que algumas deram origem a explorações para água mineral ou de nascente: Luso, Ladeira de Envendos, Monfortinho, etc.

O afloramento da serra do Buçaco, é um dos que mais se destaca, pela extensão e pela importância dos recursos hídricos a ele associados. Em parte, esses recursos caem no domínio das águas minerais ou de nascente, mas uma fracção importante é explorada para abastecimento.

Depósitos detríticos pós-paleozóicos

Os depósitos detríticos pós-paleozóicos assentes sobre o Maciço Hespérico apresentam produtividade baixa a muito baixa. As camadas aquíferas mais prometedoras respeitam a horizontes onde a componente argilosa é pouco abundante.

As bacias onde se verifica maior espessura de depósitos correspondem a sub-domínios de forte abatimento estrutural, relacionado com as estruturas: falha de Coimbra, de direcção N-S e pendor médio de 60° para W; o desligamento NNE-SSW, que se prolonga desde a região de Verin (na Galiza) e vai terminar de encontro à falha de Coimbra; a falha Lousã-Pombal-

Leiria, de direcção ENE-WSW que se correlaciona com o levantamento da Cordilheira Central.

Nos depósitos incluídos na Bacia Hidrográfica do Mondego foram inventariadas 23 captações, que incluem nascentes, minas, furos, poços e poços com drenos horizontais. Nalguns casos, como é o exemplo dos poços, não se conhecem as suas características geométricas.

Os 6 furos inventariados têm profundidades variando entre 30 e 207 m, com produtividades muito fracas, sendo 3 deles improdutivos e os restantes alcançando no máximo 1,5 L/s.

Foram também inventariadas 6 minas, com comprimentos entre 18 e 115 m. Os caudais produzidos por estas captações oscila entre 0,13 e 1,04 L/s.

Os caudais produzidos por 5 poços com drenos inventariados foram: 0,08; 0,09; 0,19; 2,0; 2,0 L/s.

Como se pode verificar, a produtividade apresentada pelas captações inventariadas na Bacia Hidrográfica do Mondego, nestes depósitos sedimentares, é, regra geral, da mesma ordem de grandeza ou inferior à dos xistos e grauvaques do substrato.

Apenas se dispõe de dados relativos a duas análises incompletas, numa das quais, datando de 1980, foi possível calcular o sódio por balanço iónico. No Quadro A.17 sintetizam-se os resultados, em mg/L.

	Poço	Galeria
Data	04/80	
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	143	63,4
pH	6,8	5,0
Bicarbonato	54,9	18,3
Cloreto	21,3	19,5
Sulfato	8,2	-
Nitrato	0,5	1,0
Sódio	15,8	-
Cálcio	17,5	3,3
Magnésio	1,3	2,7
Ferro	0,2	-

Quadro A.17 - Análises Físico-Químicas de Águas de Depósitos Arcóscicos do Maciço Hespérico

Tratam-se de águas com uma mineralização baixa embora, como sucede aliás com grande parte das águas subterrâneas, a concentração em cloretos se situe próximo do VMR. Também se verifica a violação dos VMR do pH e do ferro. No entanto, a exiguidade dos dados não permite conclusões mais fundamentadas.

Para o uso da água para regadio, a análise completa disponível pertence à classe C₁S₁, isto é, os perigos de salinização e alcalinização são baixos. Da outra análise pode-se concluir que o risco de salinização é baixo. Uma das análises tem pH abaixo do intervalo de valores recomendado.

Aluviões

Em relação com depósitos aluvionares, dispostos de forma descontínua ao longo das maiores linhas de água, aumentando de dimensão e importância nos trechos inferiores dos rios, ocorrem pequenos aquíferos, independentes uns dos outros, muitas vezes de dimensão hectométrica, só com representação cartográfica à escala 1:50 000 ou maior. As formações que constituem o sistema aquífero são aluviões modernas, constituídas essencialmente por areias e areias com seixos e calhaus. A espessura é, em regra, inferior a 20 metros. O substrato é de litologia variável, conforme a localização: granitóides, xistos e grauvaques, e depósitos arcósicos.

A captação é feita por furos, poços e poços com drenos horizontais.

Dada a reduzida espessura, os furos são, regra geral, curtos. Os que foram inventariados na bacia do Mondego, têm comprimentos situados entre 5,5 e 20 m, com média próxima de 14 m. Os poços são captações tradicionais e relativamente comuns neste tipo de aquífero. No entanto, com o objectivo de aumentar o rendimento da captação numa situação caracterizada por uma fraca espessura e uma ligação hidráulica com cursos de água, é frequente o recurso a poços com drenos.

As produtividades determinadas para a bacia do Mondego poderão dar uma ideia do comportamento dos três tipos de captação acima referidos. As estatísticas principais dão-se no quadro seguinte (A.18).

Tipo de captação	n	Média	Desvio padrão	Mínimo	Q ₁	Mediana	Q ₃	Máximo
Poços	10	40,1	32,0	0,4	5,9	43,5	56,0	95,0
Poços c/ drenos	45	39,7	46,2	0,1	5,3	22,0	49,3	198,0
Furos	15	19,0	15,5	0,0	2,5	20,0	28,3	44,0

Quadro A.18 - Produtividade das captações em depósitos aluvionares da bacia do Mondego no Maciço Hespérico (L/s)

Como se pode verificar os poços e poços com drenos, são as captações mais produtivas sendo possível, com este último tipo extrair, caudais superiores à centena de litros por segundo.

Os resultados de alguns ensaios de caudal realizados em furos, fornecem valores de transmissividade muito elevados. No entanto, o facto destes aquíferos serem caracterizados pela existência de uma barreira hidráulica positiva, pode tornar difícil a interpretação pelo que alguns valores poderão ser pouco significativos.

Na bacia do Vouga podem-se referir os seguintes aproveitamentos mais importantes:

- Assequins - Águeda, em terraço adjacente ao rio Águeda, havendo furos que produzem caudais de 32 e 34 L/s e 2 poços com drenos que, em conjunto, permitem a extracção de 150 L/s;
- Macinhata, parte Norte do concelho de Águeda, poço com dreno em aluviões do rio Vouga, desconhecendo-se o caudal de exploração;
- Moinho da Ribeira, em Salreu-Estarreja, 2 furos de captação que podem explorar cada um 30 L/s de terraço adjacente ao rio Antuã;
- Fuzeiras, Oliveira de Azeméis, poço com dreno em aluviões do rio Ínsua, debita o caudal de 45 L/s;
- Macieira de Sarnes, no sector Norte do concelho de Oliveira de Azeméis, 2 poços com drenos exploram terraço do rio Ul (Antuã), com caudal não conhecido;
- Cavadas, Couto de Cucujães, poço com dreno em terraço do rio Antuã, proporciona o caudal de 23 L/s;
- Oliveira de Azeméis, 2 poços com drenos, captam em aluviões do rio Ínsua, desconhecendo-se os caudais;
- Ponte de Burgães, Vale de Cambra, um poço com drenos horizontais capta em terraço do rio Caima caudais entre 40 a 50 L/s;
- Carvoeiro, na parte Norte do concelho de Águeda, onde o terraço fluvial do rio Vouga é explorado por várias captações que, no seu conjunto, podem em condições de rotina debitar o caudal de 600 L/s. Há dois poços com drenos horizontais que, em condições óptimas com o nível do rio alto (período de cheias), foram ensaiados com caudais de 265 L/s e 230 L/s, mas que são utilizados actualmente com caudais de trabalho menores, da ordem de 200 L/s. Foram construídos 3 furos verticais, com diâmetros de 0,5 metros e que, em ensaio, debitaram caudais entre 80 L/s e 50 L/s e actualmente trabalham com caudais idênticos.

Dispõe-se de análises referentes a 38 pontos de água implantados em aluviões no Maciço Hespérico, na bacia do Mondego: 9 furos, 5 poços e 24 poços com drenos. Vinte e oito das análises abrangem o período compreendido entre 1961 e 1983, desconhecendo-se a data das dez restantes. Só foi considerada uma análise por captação. Os valores do sódio foram obtidos por balanço iónico, com excepção de um valor.

As águas das aluviões são, em geral, pouco mineralizadas, com condutividade eléctrica muitas vezes inferior a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por norma sempre inferior a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, predominando as fácies mistas.

O pH é, por regra, inferior a 7 mas muitas das vezes desce para valores que se aproximam de 5, isto é, são águas agressivas a muito agressivas.

As estatísticas principais referentes às análises consideradas são apresentadas no Quadro A.19.

	n	Média	Desvio padrão	Mínimo	Q ₁	Mediana	Q ₃	Máximo
Condutividade (µS/cm)	38	97	31	41	79	94	107	195
pH	38	6,5	0,4	5,3	6,3	6,5	6,7	7,4
Bicarbonato (mg/l)	38	28,0	13,0	9,2	18,3	24,4	30,7	73,2
Cloreto (mg/l)	37	15,9	5,1	7,1	12,4	14,2	17,8	32,0
Sulfato (mg/l)	30	5,9	5,7	0,0	0,6	5,6	7,7	21,0
Nitrato (mg/l)	32	0,8	0,9	0,0	0,2	0,4	0,8	3,6
Sódio (mg/l)	28	12,7	5,5	3,3	7,9	12,3	16,5	25,8
Cálcio (mg/l)	38	6,1	5,0	0,6	3,6	4,9	6,9	29,2
Magnésio (mg/l)	38	2,6	1,7	0,1	1,5	2,3	3,4	9,2
Ferro (mg/l)	30	0,17	0,18	0,00	0,00	0,12	0,21	0,60

Quadro A.19 – Principais estatísticas de águas de depósitos aluvionares do Maciço Antigo

A fácies destas águas é com frequência mista, tanto no que respeita aos catiões como aos aniões. As águas onde um catião e um anião estão em maioria absoluta são de fácies bicarbonatada sódica, cloretada sódica e há um exemplo de água cloretada magnésiana.

No que respeita à qualidade da água para consumo humano, verifica-se que só o pH e o ferro ultrapassam com frequência o VMR: 47 % e 70 % das análises, respectivamente; no caso do ferro, 27 % dos valores ultrapassam o VMA. O cloreto e o sódio ultrapassam os VMR em 5% e 7% das análises, respectivamente. A alcalinidade, em cerca de 66 % dos casos, está abaixo do VmA.

Os nitratos estão presentes em concentrações baixas mas sublinhe-se que a mais recente das análises tem a data de 1983.

De acordo com o modelo de fluxo destes sistemas aluvionares, a qualidade da água, nomeadamente no que respeita às contaminações, depende fundamentalmente da qualidade da água do rio adjacente.

No que respeita à utilização para rega, as águas dos depósitos aluvionares apresentam riscos de salinização e de alcalinização baixos pois pertencem, sem excepção, à classe C₁S₁. Cerca de 47 % das análises tem pH abaixo do intervalo de valores recomendados pelo Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto.

Recursos

A recarga dos aquíferos ocorrentes na ZCI faz-se por infiltração directa da precipitação e através de influências de cursos de água superficiais. Em termos médios, estima-se que a taxa de recarga nas litologias dominantes na zona se situe perto dos 10%. No entanto, quase todos os trabalhos que têm abordado a hidrogeologia destes terrenos, no norte de Portugal, apontam para valores substancialmente maiores, podendo ultrapassar os 20%. Estas estimativas, são baseadas em diversos métodos, existindo alguma convergência, tanto nos valores fornecidos por cada método, como nos valores obtidos para as diferentes regiões onde foram aplicados (Pereira, 1999, Lima, 2000, Oliveira *et al.*, 1997). A ser assim, os recursos médios renováveis poderiam ser da ordem dos 200, ou mais, mm/ano. No entanto, é provável que uma fracção destes recursos não seja explorável, por ser rapidamente restituída à rede de drenagem superficial.

Zona de Ossa-Morena (ZOM)

Enquadramento Geológico

A Zona de Ossa-Morena apresenta algumas características particulares que a distinguem da Zona Centro Ibérica. De facto, além da ausência dos materiais do Supergrupo Dúrico-Beirão, que ocupam uma grande extensão na segunda, as rochas eruptivas apresentam maior variedade, estando presentes não só rochas granitóides, mas também outros tipos, destacando-se as rochas básicas, que ocupam extensão significativa e que assumem grande relevância hidrogeológica. Além disso, os calcários, que na Zona Centro Ibérica têm uma representação diminuta, aqui adquirem uma importância muito maior, constituindo suporte de sistemas aquíferos com importância regional.

Para abordar a caracterização da ZOM convém distinguir cinco sectores principais que apresentam traços próprios (Oliveira *et al.*, 1991):

- Faixa Blastomilonítica
- Alter do Chão-Elvas
- Estremoz-Barrancos
- Montemor-Ficalho
- Maciço de Beja

Faixa Blastomilonítica

Está representada junto ao contacto com a ZCI, sendo caracterizada pela existência de uma faixa central constituída por gnaisses, migmatitos e anfíbolitos, testemunhos de metamorfismo de alta pressão – Formação de Campo Maior – ladeada por terrenos da Série Negra (Pré-Câmbrico superior), constituídos por xistos e grauvaques com intercalações de liditos e calcários (Formação de Mosteiros a N e Formação de Morenos a S). A Formação da Urra, representada por um complexo vulcano-sedimentar na base, ao qual se segue uma sequência de xistos e grauvaques, recobre o conjunto.

Alter do Chão-Elvas

Este sector encontra-se limitado a N pela Faixa Blastomilonítica, que o cavalga, e a S pelo carreamento da Juromenha.

Os terrenos mais antigos, pertencentes à Série Negra, têm uma representação diminuta, aflorando apenas no núcleo. O Câmbrico tem um desenvolvimento importante, estando representado por uma sequência basal de carácter detrítico, constituída por conglomerados e arcoses, com extensão reduzida, a que se segue uma formação carbonatada, constituída por calcários e dolomitos muito deformados e metamorfizados, com silicificações abundantes.

À formação carbonatada seguem-se xistos, arenitos e grauvaques que constituem a Formação de Vila Boim e a esta uma sequência vulcano-sedimentar constituída por xistos e rochas vulcânicas básicas e ultrabásicas, associadas a raros vulcanitos ácidos – Formação de Terrugem.

No sector de Alter do Chão-Elvas as rochas magmáticas têm uma ampla representação, cabendo aos granitos a maior extensão. A leste de Elvas assinala-se um pequeno maciço de granito porfiróide e a NW uma mancha de granito que constitui a extensão do Maciço de Santa Eulália. Outros tipos de rochas ígneas também estão representadas: quartzodioritos, rochas hipercalinas e rochas intrusivas básicas e ultrabásicas (Gabros de Elvas).

Estremoz-Barrancos

Este sector é limitado a N pelo carreamento de Juromenha e a S pelo carreamento de Santo Aleixo da Restauração.

Podem-se individualizar os sub-domínios do Anticlinório de Estremoz e de Barrancos.

Do ponto de vista estratigráfico afloram terrenos do Pré-Câmbrico superior - Xistos de Mares – correspondentes ao topo da Série Negra, constituídos por xistos e liditos, a que se segue uma estreita faixa de conglomerados e arcoses representando a base do Câmbrico e dolomitos mais ou menos rosados, denominados localmente por *pedra cascalva* – Formação Dolomítica – a que se atribui idade do Câmbrico inferior. À Formação Dolomítica segue-se o Complexo Vulcano-Sedimentar Carbonatado de Estremoz, constituído por mármore, calcoxistos e intercalações de vulcanitos ácidos e básicos. Os mármore são objecto de intensa exploração para pedra ornamental. Dada a ausência de elementos paleontológicos decisivos, a idade atribuída a este complexo tem carácter duvidoso. Inicialmente o Complexo foi considerado com pertencente ao Câmbrico mas actualmente diversos autores tendem a considerar o Ordovícico como idade mais provável.

O Anticlinório é envolvido por xistos do Silúrico, bem datados devido à presença de graptólitos. Estão presentes xistos negros, liditos, psamitos e quartzitos finos.

A sul do Anticlinório de Estremoz distingue-se uma extensa faixa de sedimentos de carácter turbidítico, de idade devónica que constitui o Sinclinal de Terena. A estes terrenos atribuiu-se a designação de Formação de Terena. Sob o ponto de vista litológico estão representados pelitos e grauvaques, alternantes, com alguns conglomerados intercalados. A idade desta formação tem sido objecto de alguma controvérsia, tendo sido inicialmente considerada por Delgado (1908) e Teixeira (1951) como pertencente ao Devónico inferior. Posteriormente, diversos autores consideraram o Devónico superior como idade mais provável mas, recentemente, comprovou-se a idade devónica inferior com base em graptólitos (Piçarra, 1997).

Na região de Barrancos, o Sinclinal de Terena separa dois domínios, onde, no essencial, estão presentes as mesmas formações, embora com um carácter mais condensado a N. Podem distinguir-se as seguintes formações (Oliveira, 1992):

- Formação de Fatuquedo. Apenas representada a N do Sinclinal de Terena é constituída por alternâncias de pelitos micáceos cinzento-esverdeados a arenitos. Por comparação com terrenos semelhantes, situados em Espanha, atribui-se uma idade do Câmbrico médio a superior;
- Formação de Ossa. Apenas representada a sul do Sinclinal de Terena, apresenta uma extensão considerável, estendendo-se desde o contacto com a Bacia Terciária do Tejo-Sado até à fronteira, donde prossegue para Espanha. É constituída por siltitos e pelitos micáceos cinzento-esverdeados e arroxeados, por vezes com quartzo de exsudação abundante. Para norte, a formação adquire um carácter progressivamente mais

grauvácóide. Nos níveis inferiores há intercalações de vulcanitos básicos. Esta formação é considerada com equivalente à Formação de Fatuquedo, pelo que se lhe atribui uma idade do Câmbrio médio, ou mesmo superior;

- Formação de Barrancos, constituída por xistos roxos, micáceos, com intercalações métricas de xisto cinzento-esverdeado e de psamitos laminados. Admite-se como idade mais provável o Ordovícico inferior, embora não se exclua a hipótese de uma idade mais antiga;
- Formação dos Xistos com *Phyllocytes*, constituída por xistos esverdeados micáceos, com algumas passagens de xistos roxos. Uma fauna de graptólitos permite atribuir a esta formação uma idade arenigiana (Ordovícico inferior);
- Formação de Colorada, constituída por arenitos, quartzitos e conglomerados. Admite-se como idade mais provável o Ordovícico superior podendo mesmo atingir o Silúrico inferior. Esta formação ocupa uma extensão reduzida, encontrando-se mais representada na região de Barrancos;
- Formações silúricas. O Silúrico está representado por duas formações: Formação dos Xistos com Nódulos e Formação dos Xistos Raiados. São constituídas por xistos negros, liditos, quartzitos, xistos escuros alternantes com psamitos, etc.. Foram datadas com faunas de graptólitos;
- Formação de Russianas. Constituída por xistos argilosos cinzentos micáceos, psamitos e xistos argilosos com leitos de calcários detríticos. O conteúdo fossilífero permite atribuir à formação uma idade do Devónico inferior. Esta formação tem uma representação muito diminuta, aflorando na região de Barrancos.

Montemor-Ficalho

Este sector é caracterizado pela grande extensão ocupada por rochas magmáticas, sobretudo na região NW e por rochas afectadas por metamorfismo regional. Devido a este, as datações são difíceis de estabelecer. No entanto, admite-se que estejam presentes formações em grande parte equivalentes às que se encontram nos outros sectores.

No núcleo de estruturas anticlinais, na área de Ficalho, afloram xistos cinzentos escuros a negros e metagrauvas com intercalações de liditos negros que seriam os representantes da Série Negra. Noutras áreas afloram micaxistos, gnaisses biotíticos, chertes negros e anfibolitos que poderão corresponder a terrenos da mesma série, mas afectados por metamorfismo de grau mais elevado.

O Câmbrio inferior poderá estar representado por uma Formação Calcário-dolomítica. Na região de Ficalho aquela unidade começa por um episódio de vulcanismo ácido a que se segue uma espessa sequência de rochas calcárias e dolomíticas bastante silicificadas. As rochas carbonatadas estão igualmente presentes na área de Moura, Serpa e Vidigueira.

A unidade seguinte, Complexo Vulcano-Sedimentar de Ficalho, a que se atribui idade ordovícica, é constituída por uma sequência de rochas vulcânicas básicas e ácidas e mármore, podendo o conjunto alcançar uma espessura de 250 a 300 metros. O afloramento de mármore situado a NE de Vale do Vargo é o que apresenta maior extensão.

O Silúrico está representado pelo Complexo Vulcano-Sedimentar de Moura-Santo Aleixo (Xistos de Moura). Este é constituído por filitos sericito-cloríticos com abundante quartzo de exsudação, arenitos, liditos, metavulcanitos ácidos e básicos.

Como foi referido anteriormente, neste sector as rochas ígneas ocupam uma extensão notável, estando representadas por diversas litologias. Assim, assinalam-se granitos biotíticos na região entre Pedrógão e Pias, em parte cobertos por depósitos terciários e quaternários, granitos e tonalitos na região da Vidigueira. Na região de Beja assinalam-se, de N para S, a unidade Pórfiros de Baleizão-Alcáçovas, constituída por rochas subvulcânicas félsicas pouco deformadas e não metamorfizadas, o Complexo Ígneo de Beja (Gabros de Beja) formado por gabros, doleritos e lavas basálticas. A sul deste complexo aflora, numa faixa estreita mas extensa, o Complexo Ofiolítico de Beja-Acebuches (COBA). É constituído por peridotitos, serpentinitos, flasergabros e granulitos.

Hidrogeologia

A maior parte da área correspondente à ZOM é ocupada por rochas metassedimentares e eruptivas com escassa aptidão aquífera. Estas rochas dão origem a aquíferos, em geral livres, descontínuos, de produtividade baixa.

Apesar destas condições relativamente desfavoráveis, são muitos os concelhos que recebem alguma contribuição de origem subterrânea para assegurar os abastecimentos. Além disso, as águas subterrâneas concorrem com uma importante parcela para os regadios.

Algumas áreas carbonatadas constituem excepção à referida escassez de recursos subterrâneos assegurando, por si só, o abastecimento a alguns concelhos. Também uma extensa área constituída por rochas básicas, os chamados Gabros de Beja, é caracterizada por produtividades bastante elevadas, constituindo uma importante origem de água. No decorrer dos trabalhos no âmbito do projecto de estudos dos recursos hídricos subterrâneos do Alentejo (ERHSA), em fase de conclusão, têm sido reconhecidas algumas áreas, cobertas por rochas eruptivas e metamórficas, onde são conhecidas captações com produtividades notáveis. Logo que estejam disponíveis os relatórios finais correspondentes àquele projecto, far-se-á uma síntese que constituirá um anexo a este trabalho.

Sob o ponto de vista de comportamento hidrogeológico, os vários tipos de terrenos aflorantes na ZOM, apresentam características específicas que permitem agrupá-los em:

- Rochas eruptivas básicas
- Rochas eruptivas ácidas
- Xistos
- Calcários
- Depósitos Meso-Cenozóicos

Embora possam existir grandes variações dentro de cada um destes grupos, observam-se algumas tendências, tanto no que respeita às produtividades como ao quimismo das águas, que permitem uma distinção mais ou menos marcada entre eles. Ao contrário do que se passa na ZCI, onde apenas se justifica a individualização de três sistemas aquíferos, na ZOM, sobretudo devido à maior importância assumida pelos calcários, foi possível estabelecer sete sistemas aquíferos. No âmbito do projecto EHRSA, foram propostos mais sistemas, mas não é possível de momento fazer uma análise dessas propostas.

Como se poderá verificar adiante, foi possível estabelecer uma seriação, em termos de produtividade, que pode ser deduzida através da comparação intergrupos. Assim, a sequência do grupo do menos produtivo para o mais produtivo, é a seguinte: Xistos<Rochas Ácidas<Rochas Básicas<Calcários.

A caracterização hidrogeológica dos calcários será feita nos sistemas aquíferos que têm por suporte aquela litologia.

Rochas ígneas ácidas

A caracterização da produtividade deste grupo é feita com base em 134 dados. Quando comparadas com as rochas granitóides da ZCI, verifica-se uma produtividade maior, pois 50% das captações apresentam caudais superiores a 2 L/s, atingindo um máximo de 14 L/s.

Média	Desvio padrão	Mínimo	Q ₁	Mediana	Q ₃	Máximo
2,9	2,7	0,08	0,8	2,0	4,3	14,0

Quadro A.20 – Principais estatísticas da produtividade das rochas ígneas ácidas da ZOM

No âmbito do projecto EHRSA foram reconhecidas áreas com produtividades médias ainda superiores.

Os valores típicos da transmissividade deste grupo (os 50% centrais) oscilam entre 9 m²/dia e 80 m²/dia, sendo a mediana de 20 m²/dia. Do conjunto de dados disponíveis 10 ultrapassam os 100 m²/dia.

Verifica-se alguma tendência para concentração de valores mais elevados na mancha de granitos de Reguengos de Monsaraz onde se acumulam os valores acima do terceiro quartil, predominando os valores abaixo do mesmo nas restantes manchas. De acordo com estudos recentes, também a mancha de gnaisses de Évora é caracterizada por maiores transmissividades (Fialho *et al.*, 1998).

Para a caracterização da qualidade deste grupo usou-se um total de 149 análises químicas, das quais apenas 81 possuem data de análise, tendo estas sido efectuadas maioritariamente no biénio 1997/98. A qualidade química é fraca, devido fundamentalmente ao excesso de nitratos que ultrapassam em 37,8% dos casos o respectivo VMA. Em relação ao magnésio também se verifica um número relativamente elevado de violações (14,6%). Os VMR são ultrapassados na maioria das análises de sódio, sulfato e cloreto.

A caracterização completa apresenta-se no quadro A.21, onde os valores estão expressos em percentagem.

	Cálcio	Magnésio	Sódio	Potássio	Sulfato	Cloreto	Nitrito	Nitrato
<VMR	77,8	57,3	19,7	96,7	34,1	26,1		41,5
>VMR e <VMA	18	28	77	0	64,6	70,5	95,2	20,7
>VMA		14,6	3,3	3,3	1,2	3,4	4,8	37,8
Número de observações	81	82	61	61	82	88	66	82

Quadro A.21 – Distribuição dos VMR e VMA para as rochas ácidas da bacia do Guadiana

Em relação à distribuição espacial verifica-se uma pior qualidade das águas na zona do maciço cristalofílico de Évora e nos granodioritos de Reguengos. De facto, encontram-se nesta zona todos os valores de sódio que ultrapassam o VMR, todos os valores de magnésio que ultrapassam o VMA e a grande maioria dos valores de nitratos que ultrapassam o VMA. Muitos dos valores acima do VMR para os nitratos encontram-se também na zona de Elvas. A contaminação por sulfatos afecta todas estas zonas, com aproximadamente 50% dos valores acima do VMR. Observa-se o mesmo para o cloreto, mas com uma proporção maior de valores acima do VMR. No que diz respeito aos nitritos, todos os valores se encontram acima do VMR.

Rochas ígneas básicas

A produtividade deste grupo foi caracterizada com base em 162 dados. Comparativamente com as rochas ácidas, os caudais são tendencialmente superiores: a mediana assume um valor duplo; 75% das captações tem caudal superior a 2 L/s, atingindo-se um máximo de 27 L/s, conforme o mostra o quadro A.22.

	n	Média	Desvio padrão	Mínimo	Q₁	Mediana	Q₃	Máximo
R. Básicas	162	5,4	4,8	0,07	2,0	4,0	7,5	27,0

Quadro A.22 – Principais estatísticas da produtividade das rochas ígneas básicas da ZOM

Os valores típicos da transmissividade deste grupo (os 50% centrais) oscilam entre 24 m²/dia e 93 m²/dia, sendo a mediana de 50 m²/dia. Do conjunto de dados disponíveis, 23% ultrapassam os 100 m²/dia atingindo o máximo de 280 m²/dia.

Aparentemente, todas as manchas possuem propriedades semelhantes pelo que não se detectam tendências na distribuição espacial das transmissividades, incluindo o sistema aquífero dos Gabros de Beja.

De uma amostra de 104 análises químicas para este grupo litológico, apenas 81 possuem data de análise, abrangendo um intervalo de tempo que vai desde 1978 a 1998, embora a maioria seja dos anos 1995, 1997 e 1998.

A qualidade química das águas deste grupo é bastante deficiente. De facto verificam-se numerosos casos de violação dos VMA dos nitratos (56%). Também o VMA relativo ao

magnésio é ultrapassado em 10% das análises. Os VMR são superados na maioria das análises de sódio, magnésio, sulfato e cloreto e em 22,6% das análises de nitrato. No quadro A.23 sintetizam-se as características principais, com os valores em percentagem.

	Cálcio	Magnésio	Sódio	Potássio	Sulfato	Cloreto	Nitrito	Nitrato
<VMR	77	27,6	19,4	100	11,3	29,2		21,4
>VMR e <VMA	23	62,1	80,6	0	88,8	68,5	95,9	22,6
>VMA		10,3	0	0	0	2,2	4,1	56
Número de observações	87	87	67	67	80	89	76	84

Quadro A.23 – Distribuição dos VMR e VMA para as rochas ígneas básicas da bacia do Guadiana

Quanto à distribuição espacial, o sistema aquífero dos Gabros de Beja mostra valores mais críticos em relação aos gabros de Elvas e de Campo Maior, facto que se verifica para o sódio e o magnésio e também para os sulfatos e nitratos, mas, neste caso, com uma contaminação muito mais pronunciada: a maioria dos valores ultrapassam o VMA referente aos nitratos, e todos os valores estão acima do VMR referente aos sulfatos. No caso dos gabros de Elvas e de Campo Maior, esta tendência é menos acentuada. Em relação aos nitritos, observa-se uma boa quantidade de valores, e estão acima do VMR. Para o cloreto, aproximadamente 50% dos valores ultrapassam o VMR.

Xistos

Este grupo foi caracterizado com base em 197 dados de produtividade. Embora se verifique um valor excepcionalmente elevado, 19,4 L/s, que não foi verificado *in loco*, as estatísticas (Quadro A.24) mostram que este grupo é caracterizado por menores produtividades, não só quando comparadas com as das rochas ácidas e básicas da ZOM, mas também relativamente aos xistos da ZCI. Realce-se que se verifica aqui a tendência oposta à que foi referida para o caso da ZCI, isto é, na ZOM os furos em xistos tendem a produzir menores caudais dos que os implantados em rochas ácidas.

	n	Média	Desvio padrão	Mínimo	Q₁	Mediana	Q₃	Máximo
Xistos	197	1,5	1,9	0,05	0,6	1,0	2,0	19,4

Quadro A.24 – Principais estatísticas da produtividade dos xistos da ZOM

Os valores típicos da transmissividade deste grupo (os 50% centrais) oscilam entre 2,8 m²/dia e 20 m²/dia, sendo a mediana de 7,2 m²/dia. Do conjunto de dados disponíveis apenas três valores ultrapassam os 100 m²/dia.

A distribuição espacial, embora não muito bem estruturada, mostra uma tendência para valores maiores nas formações pré-câmbricas a Sul da Vidigueira e num sector a norte de Arronches e menores na região de Mourão.

Para os xistos existe um conjunto de 223 análises químicas, das quais apenas 113 possuem data de análise associada. As datas destas análises correspondem ao intervalo de tempo que vai desde 1975 a 1998 mas a maioria foi efectuada no biénio 1997/8.

A qualidade química da água deste grupo é ligeiramente melhor que a dos dois grupos anteriores, verificando-se que cerca de 3/4 se enquadram dentro dos limites de potabilidade impostos pelo Decreto-Lei N.º 236/98, de 1 de Agosto. Observam-se violações dos VMA em relação ao magnésio e cloreto em cerca de 25% dos casos, em relação ao sódio (22,5%), nitrato (19,1%) e sulfato (5,3%). Os VMR são ultrapassados em mais de metade dos casos em relação ao sódio, sulfato e cloreto. A caracterização completa pode-se observar no quadro A.25, onde os valores estão expressos em percentagem.

	Cálcio	Magnésio	Sódio	Potássio	Sulfato	Cloreto	Nitrito	Nitrato
<VMR	89,5	48,3	23,2	99,3	37,1	20,4		59,9
>VMR e <VMA	10,5	25,9	54,3	0	57,6	54,6	98,6	21,1
>VMA		25,9	22,5	0,7	5,3	25	1,4	19,1
Número de observações	143	143	138	138	151	152	71	152

Quadro A.25 – Distribuição dos VMR e VMA para os xistos da ZOM, em especial da bacia do Guadiana

Nota-se que a maioria dos valores acima do VMA para o sódio, magnésio, cloreto e sulfato se encontram nos xistos do Antiforma do Pulo do Lobo, o que leva a suspeitar de uma origem natural semelhante à que se observa no Flysch da Zona Sul Portuguesa. A contaminação por nitratos é sobretudo generalizada acima de Beja, com uma especial concentração na zona de Évora.

Recursos

Existem alguns trabalhos onde se faz uma estimativa das taxas de recarga de vários tipos de litologias aflorantes na ZOM. Em Duque, 1997 e Duque e Almeida, 1998 faz-se a estimativa da recarga para o sistema aquífero dos Gabros de Beja, através de um balanço hídrico global para todo o sistema. O valor obtido situa-se em cerca de 4% da precipitação caída na região. Este valor não se afasta muito da estimativa feita, com base no método da decomposição do hidrograma de base, para uma pequena bacia - bacia hidrográfica da Ribeira de Terres - a montante de Entradas (Oliveira *et al.*, 1997), situado no mesmo contexto geológico.

Vieira da Silva & Palma (1990) estimaram, para um complexo eruptivo da área de Reguengos de Monsaraz, uma taxa de recarga de 13% conjugando os resultados do balanço hidrometeorológico com o balanço geoquímico de cloretos.

Noutro trabalho (Vieira da Silva, 1991), foram estimadas, com base no balanço geoquímico de cloretos, taxas de recarga para o sistema aquífero de Elvas-Vila Boim situadas entre 25,3 e 29,7% da precipitação.

Finalmente, Rodrigues & Roque (1990) atribui como taxa de recarga média nas rochas xistosas do Alentejo um valor de 5% da precipitação, baseado, por sua vez, em estimativas de Costa *et al.* (1985) para os xistos e grauvaques carbónicos do Baixo Alentejo e Algarve.

Como síntese destas contribuições pode admitir-se como taxas de recarga aceitáveis as seguintes:

- Calcários - 30%;
- Xistos - 5%;
- Rochas Básicas - 4%;
- Depósitos meso-cenozóicos - entre 10 a 20%, em função das suas características;
- Rochas de fácies flysch - 4%.

Zona Sul Portuguesa (ZSP)

Enquadramento Geológico

Nesta Zona, na área coberta pela bacia, estão ausentes as rochas plutónicas e o metamorfismo é de grau muito baixo. As litologias dominantes são os xistos e grauvaques. Distinguem-se duas unidades: a norte o antiforma do Pulo do Lobo e a sul a Faixa Piritosa. A sua caracterização sumária baseia-se em trabalhos de Oliveira (1992) e Silva *et al.* (1990).

O Antiforma do Pulo do Lobo, que se encontra separado da ZOM pelo cavalgamento de Ferreira-Ficalho, é constituído pela Formação do Pulo do Lobo, a que ocupa maior extensão, sendo ladeado a sul pelo Grupo do Chança e a norte pelo Grupo de Ferreira-Ficalho. A Formação do Pulo do Lobo é constituída por filitos com intercalações de bancadas de quartzitos e psamitos, com abundantes filonetes de quartzo de exsudação. Nos níveis mais elevados ocorrem intercalações de vulcanitos ácidos e básicos. Atribui-se a esta unidade uma idade do Devónico inferior, embora a mesma seja controversa.

O Grupo de Ferreira-Ficalho está representado por três formações: Formação de Ribeira de Limas, formada por quartzovaques alternando com psamitos e filitos; Formação de Santa Iria, formada por alternâncias de pelitos, siltitos e grauvaques e a Formação da Horta da Torre, constituída por alternâncias de xistos negros siliciosos, siltitos, quartzovaques e quartzitos. A estas formações atribui-se uma idade devónica.

O Grupo do Chança está representado por três formações: a Formação da Atalaia, constituída por quartzovaques, quartzitos e filitos; a Formação de Gafo, com carácter flyshóide, à semelhança da Formação de Ribeira de Limas, mas com maior razão grauvaques/pelitos do que nesta e a Formação da Represa, também constituída por quartzovaques e grauvaques com níveis pelíticos intercalados. À semelhança do Grupo de Ferreira-Ficalho, também se atribui idade devónica a estas formações.

Faixa piritosa

Estão representadas três unidades principais: uma formação constituída por quartzitos em bancadas espessas, xistos e siltitos, denominada Formação Filito-Quartzítica; um complexo constituído por rochas vulcânicas básicas e ácidas, tufitos, xistos, chertes, etc., associados com sulfuretos maciços, denominado Complexo Vulcano-Sedimentar e uma sequência

espessa de grauvaques, siltitos e pelitos, alternantes, representada pela Formação de Freixial e Formação de Mértola. A sul, a Formação de Mértola dá lugar à Formação de Mira, com características litológicas muito semelhantes.

A Formação Filito-Quartzítica pertence ao Devónico superior (Fameniano) e as restantes têm idades compreendidas entre o topo do Devónico e o Carbónico superior (Namuriano).

Hidrogeologia

A produtividade de furos verticais nos xistos e grauvaques pode ser avaliada a partir das estatísticas principais obtidas a partir de 278 dados de caudais (L/s) que se apresentam no quadro A.26.

Média	Desvio padrão	Mínimo	Q ₁	Mediana	Q ₃	Máximo
1,1	0,9	0,05	0,6	0,8	1,4	6

Quadro A.26 – Principais estatísticas dos caudais

Como se pode verificar apenas 25% dos furos apresentam caudais superiores a 1,4 L/s e menos de 50% ultrapassam 1 L/s.

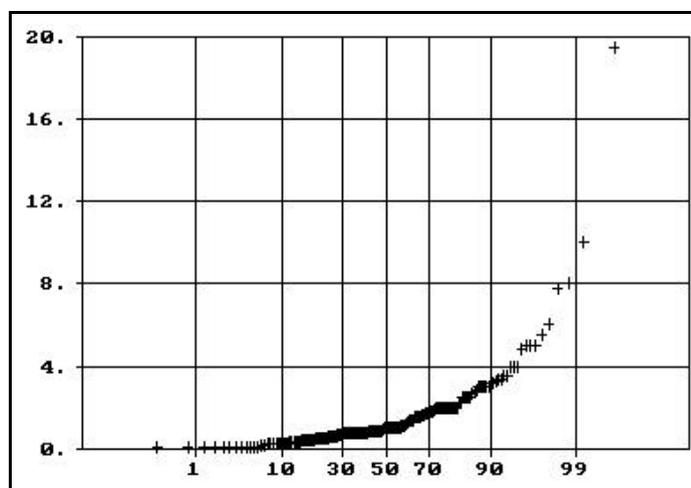


Figura A.4 - Distribuição empírica dos caudais (L/s) do Flysch

Os valores típicos da transmissividades deste grupo (os 50% centrais) oscilam entre 1,1 m²/dia e 6,7 m²/dia, sendo a mediana de 2,7 m²/dia. Do conjunto de dados disponíveis apenas um valor ultrapassa os 100 m²/dia.

Quanto à distribuição espacial nota-se uma tendência bastante nítida para valores menores se disporem a Sul de Mértola, na Formação de Mértola, que tem, portanto, menos potencialidade do que a Formação de Mira. Os valores maiores tendem a concentra-se no sul e a oeste, em volta da faixa piritosa.

Dispõe-se de um total de 605 análises, umas completas, outras não. Estas análises foram feitas em captações que se situam maioritariamente na bacia hidrográfica do Guadiana. Mas também existem pontos que pertencem à bacia das ribeiras do Algarve. O período de amostragem está compreendido entre Abril de 1981 e Junho de 1998.

As principais estatísticas apresentam-se no Quadro A.27.

	n	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Q ₁	Mediana	Q ₃	Máximo
Condutividade (µS/cm)	555	1021	673	142	638	908	1249	7500
Resíduo Seco (mg/L)	33	722	236	351	605	658	856	1389
pH	238	7,53	0,4	6,13	7,3	7,5	7,7	8,8
Bicarbonato (mg/L)	238	348	126	41	266	368	426	723
Cloreto (mg/L)	343	195,8	256,8	5,3	77,1	130,0	241,6	2855
Sulfato (mg/L)	565	64	45,1	4,4	30,7	54	84	386,5
Nitrato (mg/L)	505	12,4	26,2	0	0,1	1,9	11,4	197
Nitrito (mg/L)	350	0,02	0,09	0	0,001	0,004	0,01	1,5
Dureza Total (mg/L)	240	613	874	98	290	399	506	6280
Alcalinidade	239	285	104	34	218	301	349	593
Sódio (mg/L)	205	131,8	158,1	13,3	65,7	92,3	147,8	1474
Potássio (mg/L)	205	1,3	1,5	0,007	0,5	0,9	1,5	12,5
Cálcio (mg/L)	193	66	45	8	44,8	59,2	73,8	448
Magnésio (mg/L)	197	61,3	37,3	4,9	36,5	53,3	73,8	309
Azoto Amoniacal (mg/L)	333	0,03	0,12	0,002	0,002	0,002	0,004	1,16
Ferro (mg/L)	18	50,1	109,4	0,03	0,2	20	47,5	470

Quadro A.27 - Estatísticas principais dos parâmetros físico-químicos do flysch

Tratam-se de águas com uma mineralização elevada, duras, com concentrações elevadas de cloretos, sódio, etc.

Estas características são algo inesperadas para águas circulando em materiais pouco reactivos como são os xistos e grauvaques. As causas destes aspectos do quimismo estão ainda mal esclarecidas. A distribuição espacial das concentrações das espécies principais não é homogénea verificando-se uma tendência nítida para maiores concentrações a leste, já na Bacia do Guadiana.

As águas deste grupo litológico são de má qualidade para abastecimento humano, sendo ultrapassados quase todos os VMA, com excepção da Dureza Total e do pH. Quanto às

violações dos VMR, todos os parâmetros ultrapassam o respectivo limite, apenas mudando a percentagem de violação. Destaca-se o manganês, os cloretos, a condutividade, o sódio, o ferro, o magnésio e os sulfatos, com percentagens superiores a 80%.

A apreciação em pormenor da qualidade face aos valores normativos consta do quadro seguinte (quadro A.28).

Parâmetro	Anexo VI			Anexo I – Categoria A1		
	<VMR	>VMR	>VMA	<VMR	>VMR	>VMA
pH	97	2	0	97	2	
Condutividade	9	91		59	41	
Cloretos	7	93		70	30	
Dureza total			0			
Sulfatos	16	84	1	94	6	1
Cálcio	87	12				
Magnésio	13	87	54			
Sódio	3	97	25			
Potássio	99	1	1			
Nitratos	86	14	7	86	14	7
Ferro	11	89	72	11	89	67
Manganês	0	100	100	0	100	
Azoto Amoniacal	92	8	1	92	8	

Quadro A.28 – Apreciação da qualidade da água face aos valores normativos

Em relação à aptidão para rega, as águas do flysch pertencem maioritariamente à classe C₃S₁ (55%), embora uma fracção importante (36%) pertença à classe C₂S₁. Portanto, representam risco baixo de alcalinização dos solos e risco de salinização médio a alto. Quanto aos outros parâmetros verifica-se que 28% ultrapassam o VMR da condutividade e 52% ultrapassam o VMR do cloreto.

Aluviões de Aljezur

As aluviões que constituem a várzea de Aljezur, ocupam uma área de cerca de 6 km² admitindo-se que possam ter espessuras da ordem de 10 a 15 m (Geoestudos, 1982). Segundo o relatório citado, ocorrem dois aquíferos, um livre, superficial, explorado por poços de grande diâmetro e outro confinado. Um ensaio de bombagem realizado numa captação pública forneceu uma transmissividade de 440 m²/dia e coeficiente de armazenamento de 3,7×10⁻³.

A recarga dos aquíferos dá-se por infiltração directa da precipitação e a partir de escoamentos superficiais e subterrâneos.

As extracções para abastecimento público são inferiores a 1 hm³/ano.

As aluviões de Aljezur são exploradas para rega e para abastecimento urbano. O número de análises disponíveis é bastante escasso, não permitindo caracterizar alguns parâmetros. Os aspectos mais importantes a referir são cloretos e sulfatos acima do VMR, não atingindo 100 mg/l, nitratos em concentrações abaixo do VMR.

Recursos

A Zona Sul Portuguesa é, em termos gerais, a mais pobre em recursos hídricos subterrâneos. Esta escassez deve-se, por um lado, à fraca aptidão hidrogeológica dos materiais que a constituem e, por outro, ao facto de grande parte da área abrangida por aquela zona apresentar uma pluviosidade bastante fraca. Os recursos hídricos subterrâneos médios provavelmente situam-se entre 1 L/s.km² e cerca de 3 L/s.km². Nestas condições, é natural que no final da estiagem e, sobretudo, em períodos de seca, os aquíferos desta zona se encontrem à beira da exaustão. Como na maior parte dos casos as reservas são repostas após as primeiras chuvas não são de prever situações de sobreexploração permanente.

Bibliografia

Alegria, M. F. (1976) - A Bacia Topográfica da Lousã - Características Físicas e Ocupação do Solo. Finisterra, vol. XI, n.º 22. Lisboa. pp. 187-227.

Alencão, A. M.; Portugal Ferreira, M. A. (1997) – Hidrogeologia em maciços graníticos e metamórficos (bacia hidrográfica do rio Pinhão, NE de Portugal): parâmetros condicionantes e valores médios de recarga e descarga. Hydrogeology of Hard Rocks, Some experiences from Iberian Peninsula and Bohemian Massif. Ed. by J. G. Yélamos & F. Villaroya. Madrid. pp. 89-100.

Antunes, M. T. & Pais, J. (1993) - The Neogene of Portugal. Ciências da Terra (UNL). Lisboa. N.º 12, pp.7-22.

Brum Ferreira, A. (1978) – Planaltos e Montanhas do Norte da Beira. Memórias do Centro de Estudos Geográficos, n.º 4. Lisboa.

Cabral, J. e Ribeiro, A. (1988) - Carta Neotectónica de Portugal Continental. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.

Candeias, I. R. R. (1997) - Estudo Quantitativo e Qualitativo dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Área de Viana do Alentejo – Alvito (Alentejo). Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. 242 pág.

Carvalho, A. M. G. (1968) - Contribuição para o Conhecimento Geológico da Bacia Terciária do Tejo. Memória N.º15 - (Nova Série). Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa. 210 pág.

Chambel, A. (1990) – Hidrogeologia da Região de Évora. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Departamento de Geologia. 126 pág.

Chambel, A. (1999) - Hidrogeologia do concelho de Mértola. Tese de Doutoramento. Universidade de Évora. 380 pág.

Costa, F. E., Brites, J. A., Pedrosa, M. Y., Silva, A. V., (1985) - Carta Hidrogeológica da Orla Algarvia, escala 1:100 000. Notícia Explicativa. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Cunha, P. M. R. R. P. (1987) – Evolução tectono-sedimentar terciária da região de Sarzedas. Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal. Tomo 73, fasc.1/2. Lisboa.

Cupeto, C. A. (1991) – Contribuição para o Conhecimento Hidrogeológico do Maciço Calcário de Estremoz (Cano-Sousel). Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Departamento de Geologia. 180 pág.

Daveau, S. (1985) - Les Bassins de Lousã et D'Arganil. Volume I. Memórias do Centro de Estudos Geográficos N.º 8, Universidade de Lisboa, Lisboa.

Delgado, N. (1908) – Système silurique du Portugal. Étude de stratigraphie paléontologique. Mem. Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal, 245 pág.

Dias, J. M. A. (1973) - Carta Geológica de Portugal Continental na Escala 1/50 000 e Notícia Explicativa da Folha 29-A RETORTA. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa. 17 pág.

Duque, J. (1997) - Caracterização Hidrogeológica e Modelação Matemática do Aquífero dos Gabros de Beja. Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa. Dissertação de Mestrado em Geologia Económica e Aplicada. 213 pág.

Duque, J. e Almeida, C. (1998) - Caracterização Hidroquímica dos Sistema Aquífero dos Gabros de Beja. Comunicação apresentada ao 4º Congresso da Água “A Água como Recurso Estruturante do Desenvolvimento”. 14 pág.

Fernandes, L. F. P. (1992) - Hidrogeologia de Dois Importantes Aquíferos (Sabariz/Cova da Lua) do Maciço Polimetamórfico de Bragança. Tese de mestrado. Faculdade de Ciências de Lisboa. 173 pág.

Fialho, A., Chambel, A., Duque, J. (1998) – Sistema Aquífero dos Gnaisses de Évora. 4º Congresso da Água, Comunicações, CD, 10 pág.

Lima, A. S. (2000) - Hidrogeologia de terrenos graníticos. Minho - Noroeste de Portugal. Univ. do Minho. Braga. 451 pág.

Lopes, J. P.; Marques da Silva, M. A.; Almeida, C. (1997) - Produtividade de Furos Verticais em Formações Cristalinas na Região do Porto, Geociências, Rev. Univ. Aveiro, vol. II (1 e 2), pp. 109-120.

Midões, C. (1999) - Contribuição para o Conhecimento Hidrogeológico das Formações Carbonatadas Paleozóicas do Anticlinal de Estremoz. Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Geologia Económica e Aplicada. Lisboa. 155 pág.

Monteiro, J. (1993) - Hidrogeologia da Formação Carbonatada de Escusa (Castelo de Vide). Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Lisboa. 170 pág.

Oliveira, J. T., Oliveira, V., Piçarra, J. M. (1991) – Traços gerais da evolução tectono-estratigráfica da Zona de Ossa-Morena em Portugal. Cuad. Lab. Xeol. Laxe, La Coruña, 16, pp. 221-250.

Oliveira, J. T. (coord.) (1992) – Carta Geológica de Portugal, escala 1:200 000, Notícia Explicativa da Folha 8. Serviços Geológicos de Portugal. 91 pág.

Oliveira, M. M., Moinante, M. J. e Lobo Ferreira, J. P. (1997) - Determinação da recarga de águas subterrâneas a partir da análise de hidrogramas de escoamento. Seminário sobre Águas Subterrâneas, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Lisboa.

Pereira, M. R. M. C. (1999) – Hidrogeologia das Rochas Fracturadas da Terra Quente Transmontana. Tese de Doutoramento. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real. 299 pág.

Pereira, M. R. e Almeida, C. (1997) - Interpretação de ensaios de caudal de aquíferos fracturados em Trás-os-Montes Oriental (Portugal) por modelos de porosidade dupla e por métodos clássicos. Hydrogeology of Hard Rocks, Some experiences from Iberian Peninsula and Bohemian Massif. Ed. by J. G. Yélamos & F. Villaroya. Madrid. pp. 15-30.

Pereira, M. R. e Almeida, C. (1997b) - Influência da posição topográfica e da litologia na produtividade das captações em rochas fracturadas de Trás-os-Montes Oriental (Portugal). Hydrogeology of Hard Rocks, Some experiences from Iberian Peninsula and Bohemian Massif. Ed. by J. G. Yélamos & F. Villaroya. Madrid. pp. 67-78.

Pereira, M. R.; Almeida, C. e. Ribeiro, L (1999) - Caracterização da Qualidade da Água Subterrânea na Região de Mirandela. Actas do II Congresso Ibérico de Geoquímica e VIII Congresso de Geoquímica de Espanha, Lisboa. pp. 489-492.

Piçarra, J. M. (1997) – Nota sobre a descoberta de graptólitos do Devónico inferior na Formação de Terena, em Barrancos (Zona de Ossa Morena). Estudos sobre a Geologia da Zona de Ossa-Morena (Maciço Ibérico). Livro de Homenagem ao Professor Francisco Gonçalves. Universidade de Évora, pp. 27-36.

Proença, C. P. (1996) - Unidades litostratigráficas da Beira Baixa – Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal. Tomo 82. Lisboa

Rebello, F. (1992) - O Relevo de Portugal - Uma Introdução. Inforgeo, n.º 4, Associação Portuguesa de Geógrafos. Lisboa.

Reis, R. P. B. P. e Cunha, P. M. R. R. P. (1989) - A definição litoestratigráfica do Grupo do Buçaco na região de Lousã, Arganil e Mortágua (Portugal). Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal. Tomo 75, pp. 99-109. Lisboa.

Ribeiro, O. (1942) - Notas sobre a Evolução Morfológica da Orla Meridional da Cordilheira Central. Entre Sobreira Formosa e a fronteira. Bol. Soc. Geol. de Portugal, Porto I(II). pp. 123-145.

Ribeiro, O.; Teixeira, C.; Carvalho, H.; Peres, A.; Fernandes, A. P.; Torre de Assunção, C.; Pilar, L. (1965) - Carta Geológica de Portugal na Escala de 1/50 000 e Notícia Explicativa da Folha 28-B NISA. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa, 29 pág.

Ribeiro, O.; Teixeira, C.; Ferreira, C. R. (1967) - Carta Geológica de Portugal na Escala de 1/50 000 e Notícia Explicativa da Folha 24-D CASTELO BRANCO. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa, 24 pág.

Ribeiro, A.; Antunes, M. T.; Ferreira, M. P.; Rocha, R. B.; Soares, A. F.; Zbyszewski, G.; Moitinho de Almeida, F.; Carvalho, D.; Monteiro, D. (1979) - Introduction à la Géologie Générale du Portugal. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Rodrigues, J. D., Roque, A. (1990) – Inventário dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Algarve e Alentejo. Relatório 97/90 – NP, LNEC, Lisboa. 67 pág.



Silva, J. B., Oliveira, J. T., Ribeiro, A. (1990) – South Portuguese Zone, Part VI. Structural Outline. In: R. D. Dalmeyer & E. Martinez Garcia (eds.). Pre-Mesozoic Geology of Iberia. Springer Verlag. pp. 348-362.

Silva, J. B. (1997) – Transpressive tectonics during the pre-mesozoic cycles in West Iberia, XIV Reunião do W Peninsular, Vila Real. pp. 237-244.

Sousa, B. (1985) - Perspectiva sobre os Conhecimentos Actuais do Complexo Xisto-Grauváquico de Portugal. Memórias e Notícias, Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol., Universidade de Coimbra, N.º 100. pp. 1-16.

Teixeira, C. (1951) – Notas sobre a geologia da região de Barrancos, e em especial sobre a sua flora de Psilofitíneas. Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal, 32(1). pp. 75-84.

Teixeira, C.; Carvalho, L. H. B.; Barros, R. F.; Martins, J. A.; Haas, W. E. L. (1961) - Carta Geológica de Portugal na Escala de 1/50 000 e Notícia Explicativa da Folha 17-C SANTA COMBA DÃO. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Teixeira, C.; Carvalho, L. H. B.; Santos, J. P.; Peres, A. M.; Barros, R. F. (1967) - Carta Geológica de Portugal na Escala de 1/50 000 e Notícia Explicativa da Folha 17-D GOUVEIA. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Vieira da Silva, A. M., Palma, F. N. (1991) - Hidrogeologia de uma área do Complexo Eruptivo de Reguengos de Monsaraz. Geolis, vol. IV(1-2), pp. 141-152.

Vieira da Silva, A. M. (1991) - Hidrogeologia de uma Área do Sistema Aquífero de Elvas-Vila Boim. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Departamento de Geologia. Lisboa, 224 pág.