

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DA BACIA DA RIB^a DA CHAMINÉ (AQUÍFERO DOS GABROS DE BEJA)

Resultados Preliminares

Eduardo A. PARALTA ⁽¹⁾

RESUMO

Conhecer os recursos hídricos subterrâneos do Alentejo é uma prioridade vital, uma vez que constituem um factor estruturante do desenvolvimento regional, quer ao nível da agricultura quer do abastecimento público. Dos 46 concelhos alentejanos, 29 são abastecidos **exclusivamente** por águas subterrâneas, 16 por origens mistas e apenas 1 recorre unicamente a águas de origem superficial (Barrancos).

No âmbito do Projecto “Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo” (ERHSA), sob a coordenação da CCR Alentejo, o IGM tem desenvolvido trabalhos de caracterização hidrogeológica em vários aquíferos onde já possuía algum conhecimento resultante de trabalhos anteriores.

Na área do Aquífero dos Gabros de Beja (s.l.) merece-nos especial atenção uma zona da bacia hidrográfica da Rib^a da Chaminé, que constitui a reserva estratégica para o abastecimento desta capital de Distrito.

Apresentam-se seguidamente os resultados preliminares da caracterização hidrodinâmica, hidroquímica e aptidão hidrogeológica das formações gabro-dioríticas que constituem o suporte geológico da área de estudo.

Palavras-chave: Rochas gabro-dioríticas, aquífero, comportamento hidráulico, transmissividade, coeficiente de armazenamento, campo electromagnético, nível piezométrico, fácies hidroquímica, modelo matemático.

(1) Geólogo, Instituto Geológico e Mineiro, Departamento de Hidrogeologia. Estrada da Portela, Zambujal - 2720 Alfragide.

1 - INTRODUÇÃO

O conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos do Alentejo é fundamental para a região devido à grande dependência desta origem de água para abastecimento público. Dos 46 concelhos alentejanos, 29 são abastecidos **exclusivamente** por águas subterrâneas, 16 por origens mistas e apenas 1 recorre unicamente a águas de origem superficial (Barrancos).

Deste modo, os recursos hídricos, na sua globalidade, são considerados um recurso vital, estruturante do desenvolvimento regional.

A situação climática do Alentejo, afectada ciclicamente por períodos de seca, impõe o estudo aprofundado do comportamento dos sistemas aquíferos da região, de forma a responder às previsíveis situações de emergência.

Partindo desta permissa, a Comissão de Coordenação da Região Alentejo (CCR Alentejo) lançou o Projecto “Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo” (ERHSA), em colaboração com várias entidades, onde se inclui o Instituto Geológico e Mineiro (IGM).

O Projecto tem a duração de 3 anos (1997-1999) e o objectivo geral é dotar as entidades com competência administrativa na gestão dos recursos hídricos subterrâneos, de conhecimentos técnico-científicos que permitam a sua utilização racional, evitando comprometer a qualidade fisico-química da água e o tempo de vida dos aquíferos.

A zona de estudo situa-se a ocidente de Beja, ocupando uma área de 18 km², numa zona de topografia suave correspondente à cabeceira da bacia da Rib^a da Chaminé. O modelado é típico da peneplanície alentejana, com cotas oscilando entre 230 e 185 m. Na zona de Pisões existe um estação limnigráfica, construída pelo IGM, equipada com um descarregador de lâmina dupla, em vias de entrar em funcionamento.

A área a montante do limnígrafo de Pisões constitui a reserva estratégica em água subterrânea da cidade de Beja. Actualmente, o abastecimento público depende maioritariamente da albufeira do Rôxo, reforçado pontualmente pelas captações camarárias. Durante a época estival, a redução do volume de água armazenado na albufeira e fenómenos de eutrofização frequentes, obrigam a recorrer exclusivamente às captações instaladas na área em estudo. Conhecem-se 28 registos históricos de furos de pesquisa hidrogeológica realizados para a Câmara de Beja, dos quais 18 foram transformados em captação, estando actualmente 14 em condições de funcionamento.

As actividades a desenvolver na Bacia da Rib^a da Chaminé beneficiam de variada informação em arquivo no Departamento de Hidrogeologia, nomeadamente trabalhos de SILVA, V. (1984) e COSTA, A.M. (1986/87). A cartografia geológica foi gentilmente cedida pela delegação do IGM de Beja (ex-SFM). Mais recentemente um contributo importante para a caracterização hidrogeológica do aquífero dos Gabros de Beja (s.l.) foi dado por DUQUE, J. (1997).

Os trabalhos de campo iniciaram-se em Abril de 1997.

2 - GEOLOGIA

A área de estudo insere-se numa vasta região entre Ferreira do Alentejo a W e Serpa a E, com Beja ocupando uma posição aproximadamente central. Predominam rochas gabro-dioríticas e afins, numa extensão aproximada de 350 km².

Esta região pertence à unidade geotectónica de Ossa Morena sendo constituída por duas unidades: Complexo Ofiolítico de Beja-Acebuches (Complexo Máfico e Ultra Máfico de Beja-Acebuches) e Complexo dos Gabros de Beja ou Complexo Básico Plutono-Vulcânico de Odivelas (FONSECA, 1995). O limite N é definido pela falha de Beja enquanto a S o limite é definido pelo cavalgamento Ferreira-Ficalho, que constitui a transição para a Zona Sul Portuguesa (Fig. 1).

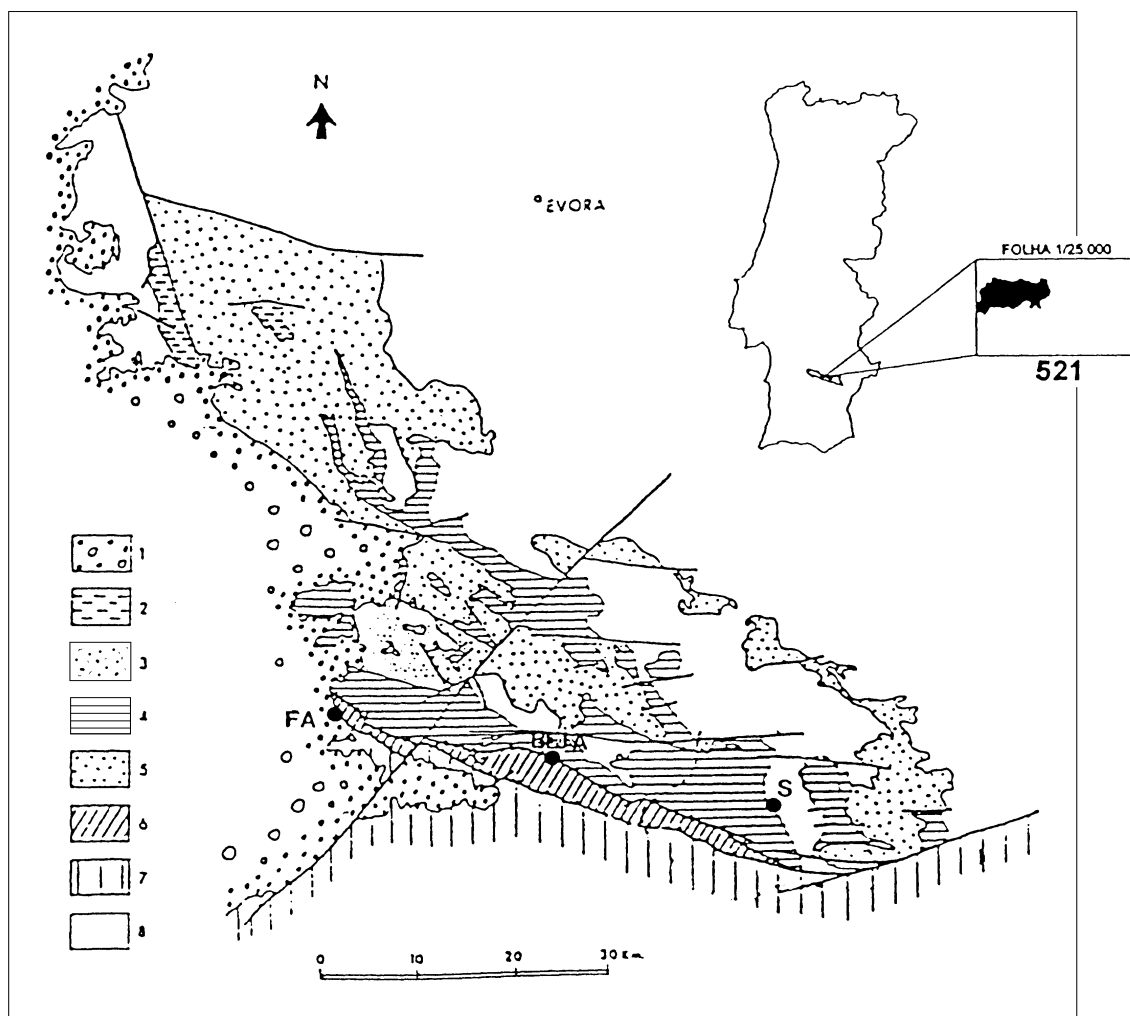


Figura 1- Mapa geológico esquemático do Maciço de Évora-Beja e domínios envolventes (adaptado de Quesada et al., 1994 in Fonseca, 1995). 1- Cobertura Cenozóica. 2- Complexo Vulcânico da Toca da Moura-S^o Cristovão. 3- Complexo vulcânico/subvulcânico de Odivelas. 4- Rochas plutónicas máficas e intermédias (Complexo dos gabros de Beja e de Cuba-Alvito, indiferenciados). 5- Rochas ácidas plutónicas e subvulcânicas (Pórfiros de Baleizão). 6- Complexo Ofiolítico de Beja-Acebuches. 7- Terreno Acrecionário do Pulo do Lobo. 8- Terreno Autóctone Ibérico / Zona de Ossa Morena Indiferenciada. FA- Ferreira do Alentejo. S- Serpa.

- O Complexo Ofiolítico de Beja-Acebuches pode diferenciar-se em:
 - Serpentinitos (peridotitos plagioclásicos ou não, muito serpentinizados)
 - Metagabros (anfíbolitos de grão grosseiro mais ou menos foliados)
 - Metavulcanitos básicos ou metabasaltos (anfíbolitos de grão fino e xistos verdes de grão fino e médio). (OLIVEIRA *et al.*, 1992).
- O Complexo dos Gabros de Beja pode dividir-se em Gabros Inferiores e Superiores. Os primeiros são mais ou menos olivínicos e anortosíticos, localmente ocorrem níveis lenticulares de peridotitos plagioclásicos intensamente serpentinizados ; os segundos são anfibólicos e ferrogabrodioritos aparentemente maciços com hornblendas.

No Complexo Ofiolítico de Beja-Acebuches identificaram-se três fases de deformação varisca. A 1ª fase é correlativa da obdução para N-NE do ofiolito de Beja-Acebuches sobre um continente a N. As fases subsequentes irão reactivar os carreamentos da 1ª fase sendo posteriormente o conjunto dobrado e redobrado. (OLIVEIRA *et al.*, 1992).

No final da 3ª fase de deformação ocorre um importante sistema de desligamentos esquerdos com orientação sensivelmente E-W que recortam as várias estruturas (OLIVEIRA *et al.*, 1992).

Pormenorizando para a área de estudo, as litologias dominantes são os gabros e dioritos, raramente aflorantes. Da meteorização química destas rochas básicas, resultou uma camada de alteração com espessuras entre 20 e 30 m. Estes terrenos são também designados correntemente por “Barros de Beja” devido à sua importante matriz argilosa.

3 - APTIDÃO HIDROGEOLÓGICA

Os gabros e dioritos alterados que constituem o suporte geológico da Bacia, consideram-se, no seu conjunto, como tendo um comportamento hidráulico homogéneo, do tipo livre ou poroso. Em profundidade passa a aquífero com circulação em meio fracturado cristalino.

A mancha de gabro-dioritos é, sem dúvida, depois dos calcários, a formação mais produtiva da região. A sua produtividade é bastante regular na área de Beja, a taxa de insucessos é reduzida (< 10%). Obtiveram-se caudais entre 1.5 l/s e 18 l/s, com valor médio de 6 l/s. O caudal específico é, em média, 0.8 l/sm, embora em mais de 50% das captações seja inferior a 0.5 l/sm.

Os valores de transmissividade obtidos em 7 ensaios de bombagem (4 ensaios na própria captação, 2 de recuperação e 1 ensaio com piezómetro), variam entre 34 e 384 m²/d (4 ensaios com T < 100 m²/d). Pelo método de Logan a partir de 17 dados obtiveram-se valores entre 21 e 390 m²/d, com valor médio de 85 m²/d (8 ensaios com T < 50 m²/d). O valor do coeficiente de armazenamento obtido do ensaio na captação AC9 com piezómetro é de 1.2 x 10⁻³ (Fig. 2).

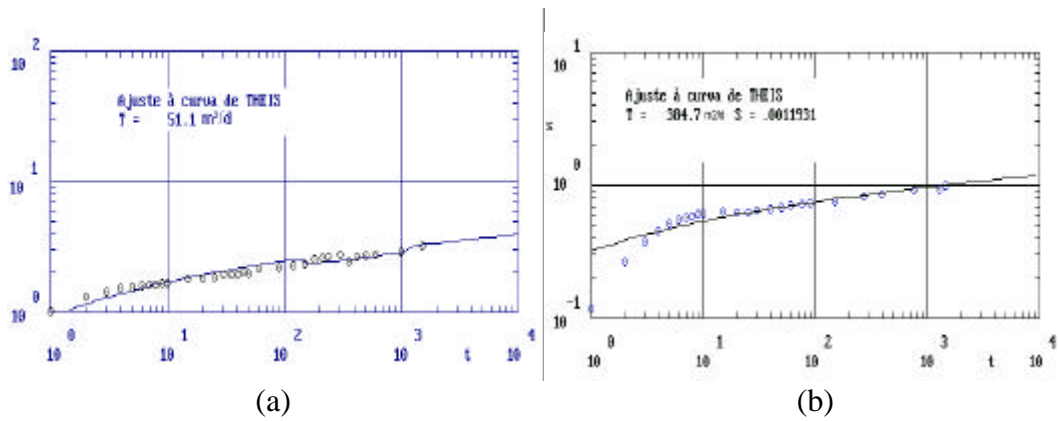


Figura 2- Ensaios de bombagem ; Programa SENTHEIS (ALMEIDA, C., 1990). (a) ensaio em LF 1 com a duração de 25 horas e 4 escalões de caudal, 19/09/86. (b) medição em piezômetro (R= 4.15 m) com bombagem em AC 9, 18/12/86.

Com base em sondagens executadas na área por diversas empresas, que atingiram até 40 m de profundidade, pode apresentar-se a seguinte sucessão que demonstra claramente a irregularidade da alteração (Fig. 3).

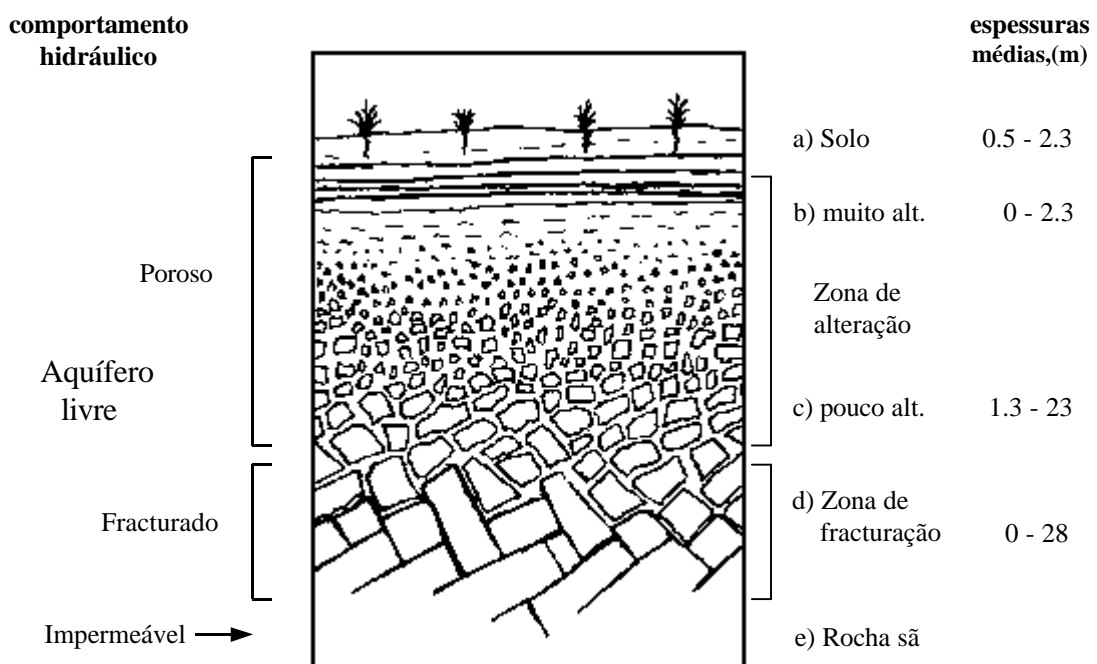


Figura 3- Perfil de alteração típico de uma rocha gabro-diorítica e respectivo comportamento hidráulico.

A sucessão litológica pode ser sumariamente descrita, de cima para baixo:

- a) terra vegetal
- b) argilas residuais de alteração dos gabro-dioritos, por vezes com algumas zonas de impregnação margosas ou mesmo calcárias, sobretudo na parte superior - pouco permeáveis.
- c) gabro-dioritos muito alterados e decompostos, geralmente com fracturas preenchidas por produtos argilosos - pouco permeáveis.
- d) gabro-dioritos pouco alterados mas fracturados, por vezes com fracturas apresentando produtos cloríticos ou serpentinosos - permeabilidade variável.
- e) gabro-diorito são - geralmente impermeáveis.

O gabro-diorito são têm-se revelado improdutivo. As zonas mais favoráveis à pesquisa hidrogeológica correspondem a falhas e ao horizonte *d*) referido no perfil da Figura 3 embora a sua permeabilidade dependa da abertura e lavagem das fracturas. No contacto entre o diorito e o gabro intrusivo existem várias captações com caudal acima dos 10 l/s.

4 - MÉTODOS GEOFÍSICOS

No sentido de localizar zonas potencialmente produtivas, associadas à fracturação, foi ensaiado um método de prospecção geofísica designado VLF-EM (Very Low Frequency - Electromagnetic).

Resumidamente, o VLF-EM é um método que se baseia na interpretação das interferências provocadas pelas estruturas naturais (fracturação, falhas, contactos litológicos, paleorelevos, etc) no campo electromagnético primário, gerado por antenas fixas de longo alcance espalhadas um pouco por todo o mundo.

A quantificação do desfasamento entre o campo electromagnético primário e o campo electromagnético secundário, em percentagem, dá-nos indicações sobre as heterogeneidades do meio.

Utilizando um aparelho recentemente desenvolvido na Universidade de Neuchatel, que permite registar o desfasamento em modo contínuo, a partir de uma antena móvel instalada num veículo todo-o-terreno, realizaram-se vários perfis experimentais, alguns com resultados positivos.

Apesar das limitações inerentes ao método, como sejam a interferência de estruturas metálicas e a atenuação da ondas EM num meio de alta condutividade, como são os “Barros de Beja”, foi possível confirmar o prolongamento para NE das falhas que cortam o cavalgamento Ferreira-Ficalho e obter um bom contraste no contacto entre algumas litologias (Fig. 4).

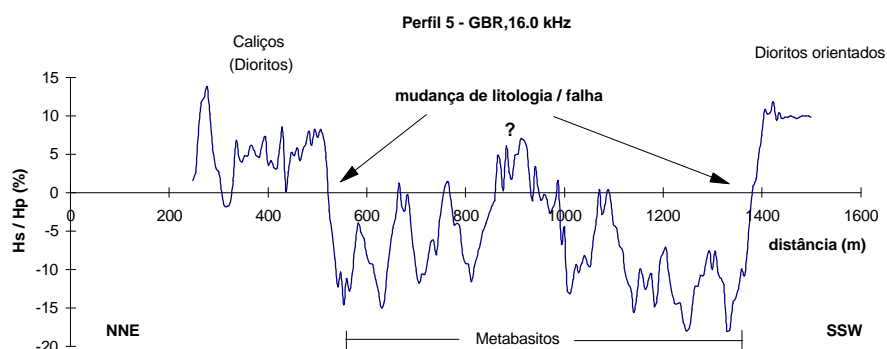


Figura 4- Perfil de VLF realizado a N do Penedo Gordo, numa extensão de 1500 m. Velocidade aproximada 10.5 km/h. Emissor GBR de 16.0 kHz (Oxford).

A profundidade de investigação atingida por este método depende da natureza do material, expressa pela resistividade aparente e da frequência do emissor, segundo a expressão:

$$P_i = 503 \cdot \sqrt{\frac{r}{f}} \quad (1)$$

em que:

P_i - profundidade de investigação, em metros

r - resistividade aparente, em ohm.m

f - frequência do emissor, em Hz

Para a frequência de 16 kHz e r entre 25 e 40 ohm.m obtêm-se uma profundidade máxima de investigação de 25 m.

O VLF-EM não será, porventura, a melhor abordagem face às particularidades geológicas da zona, uma vez que a camada de alteração argilosa provoca uma atenuação considerável da onda EM e as litologias presentes (gabros e dioritos) são pouco contrastantes para baixas frequências.

Oportunamente serão realizadas campanhas de prospecção geoelétrica e de refração sísmica para aferir o modelo tridimensional que se pretende elaborar.

5 - HIDRODINÂMICA

Das acções desenvolvidas constam igualmente a monitorização mensal das oscilações do nível piezométrico da Bacia, medidos em 30 pontos de água.

Estes dados serão depois incorporados na elaboração de um modelo de simulação de fluxo, numa primeira fase em regime estacionário e posteriormente em regime transitório.

Tratando-se de um aquífero livre, a superfície piezométrica acompanha aproximadamente o modelado topográfico.

A relação entre a cota do terreno e o nível da água nesse ponto pode ser definida por uma equação linear do tipo $y = mx + b$ (Fig. 5).

A determinação dos gradientes hidráulicos a aplicar no modelo de fluxo serão usados na simulação da dispersão de uma pluma poluente, com origem hipotética na ETAR de Beja.

O sentido do escoamento subterrâneo acompanha a drenagem superficial, é para W inflectindo depois para SW, como se observa na carta de isopiezas da Figura 6.

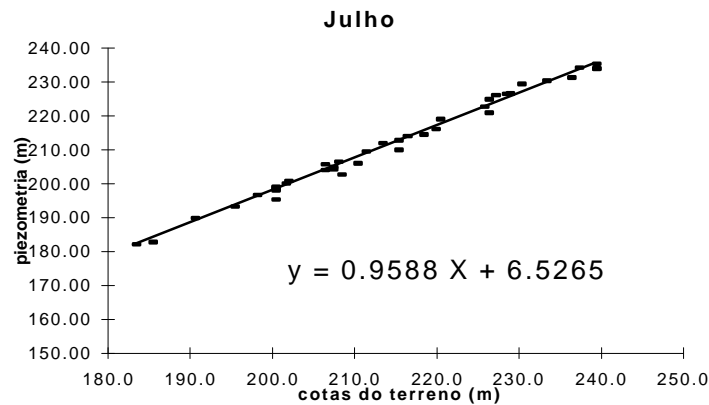


Figura 5- Relação entre a superfície piezométrica e a topografia na área da Bacia da Chaminé.

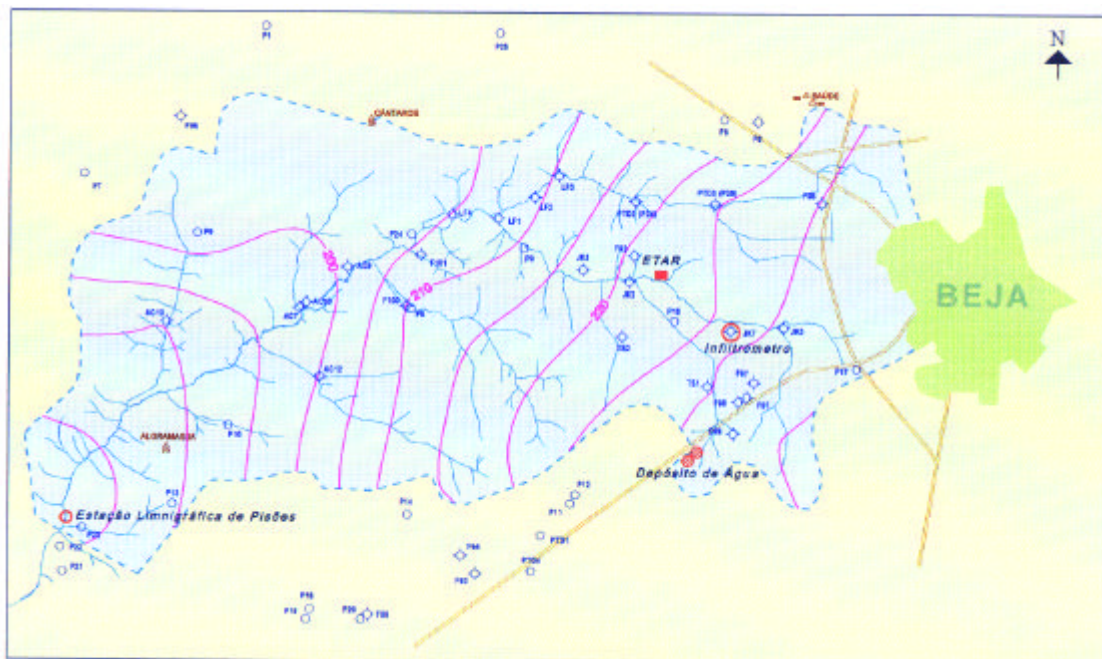


Figura 6- Carta de isopiezas interpoladas a partir dos valores medidos em 30 pontos de água em Julho de 1997. Equidistância entre isopiezas 5m. Escala aproximada 1: 65000.

6 - HIDROQUÍMICA

A fácies hidroquímica é o resultado do compromisso entre as diferentes fases presentes na solução, em especial das relações iónicas que se estabelecem entre a fase sólida (mineral) e a água.

A alteração química dos gabro-dioritos resulta na formação de minerais de argila, nomeadamente ilite, caulinite e montmorilonite. As plagioclases cálcicas e os minerais ferromagnesianos, do género das piroxenas e das anfíbolas, fornecem Ca^{2+} à solução. Em situações de clima árido e seco, como acontece no Alentejo, produzem-se depósitos carbonatados, de origem química, conhecidos como “caliços”.

Para a caracterização química das águas subterrâneas da Bacia da Chaminé realizou-se em Julho uma campanha de colheita de 18 amostras (Quadro 1). Os resultados obtidos confirmam que a fácies hidroquímica predominante é bicarbonatada calco-magnésiana e bicarbonatada magnésico-cálcica. Uma amostra apresenta fácies cloretada calco-magnésiana (Fig.7). Na globalidade são águas bastante mineralizadas ($420 \text{ mg/l} < \text{Rs} < 850 \text{ mg/l}$), duras e de reacção ligeiramente alcalina.

Quadro 1

Estadística sumária dos resultados das análises efectuadas em Julho de 1997

Estatísticos	Parâmetros Analisados																					
	pH	Temp °C	C.E. uS/cm	DT mg/l	Alcal. mg/l	HCO_3^- mg/l	SO_4^{2-} mg/l	Cl^- mg/l	NO_3^- mg/l	Ca^{2+} mg/l	Na^{2+} mg/l	Mg^{2+} mg/l	SiO_2 mg/l	K^+ mg/l	Al^{3+} mg/l	Mn^+ mg/l	Fe mg/l	Zn^{2+} mg/l	Cu^+ mg/l	Ni^{2+} ug/l	Pb ug/l	Cr^{2+} ug/l
Minímo	7.5	16.8	559.0	240.0	193.0	235.5	40.0	22.0	37.8	53.8	21.3	27.8	28.5	0.1	0.003	0.002	0.10	0.006	0.001			***
Máximo	9.0	19.3	1209.0	472.0	484.0	590.5	115.0	233.0	125.0	128.8	69.0	53.3	48.6	2.2	0.052	0.078	4.00	0.360	0.230	*	**	0.30
Média	7.8	17.9	783.7	331.3	255.2	314.5	71.8	61.2	77.9	75.2	38.7	38.8	39.7	0.5	0.021	0.017	0.58	0.126	0.039			0.96
Desvio Padrão	0.3	0.81	209.7	77.4	68.5	81.5	18.9	54.2	24.0	20.8	12.2	8.4	6.1	0.7	0.02	0.03	0.95	0.14	0.08			0.40
Coef. Variação (%)	17	13	54	23	27	60	65	91	70	58	69	48	41	97	94	97	97	100	99			128
Nº de amostras	18	15	17	18	18	17	18	18	18	15	15	15	16	14	7	7	16	7	7	7	7	7

* inferior ao limite de detecção, 1.55 ug/l

** inferior ao limite de detecção, 1.29 ug/l

*** inferior ao limite de detecção 0.55 ug/l

Os valores máximos recomendados (VMR) pelo D.L. 74/90, que regulamenta a qualidade da água para consumo humano, são excedidos, pontualmente, no que respeita à Condutividade eléctrica (C.E.) e aos elementos Cl^- , Fe , Cu^+ , Cr^{2+} e Al^{3+} . Todas as amostras excedem o VMR para o ião NO_3^- . O valor máximo admissível (VMA) de 50 mg/l de NO_3^- é excedido em 90% das análises.

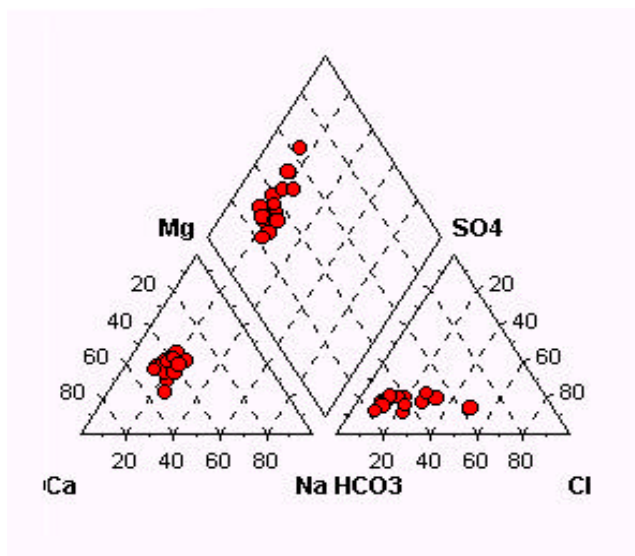


Figura 7- Diagrama de Piper para as águas da Bacia da Ribª da Chaminé

Diagrama de Qualidade da Água

(Adaptado do Diário da República, nº 55, I série, 7 de Março de 1990, decreto de lei nº 74/90 e normas da C.E.E., 1990)

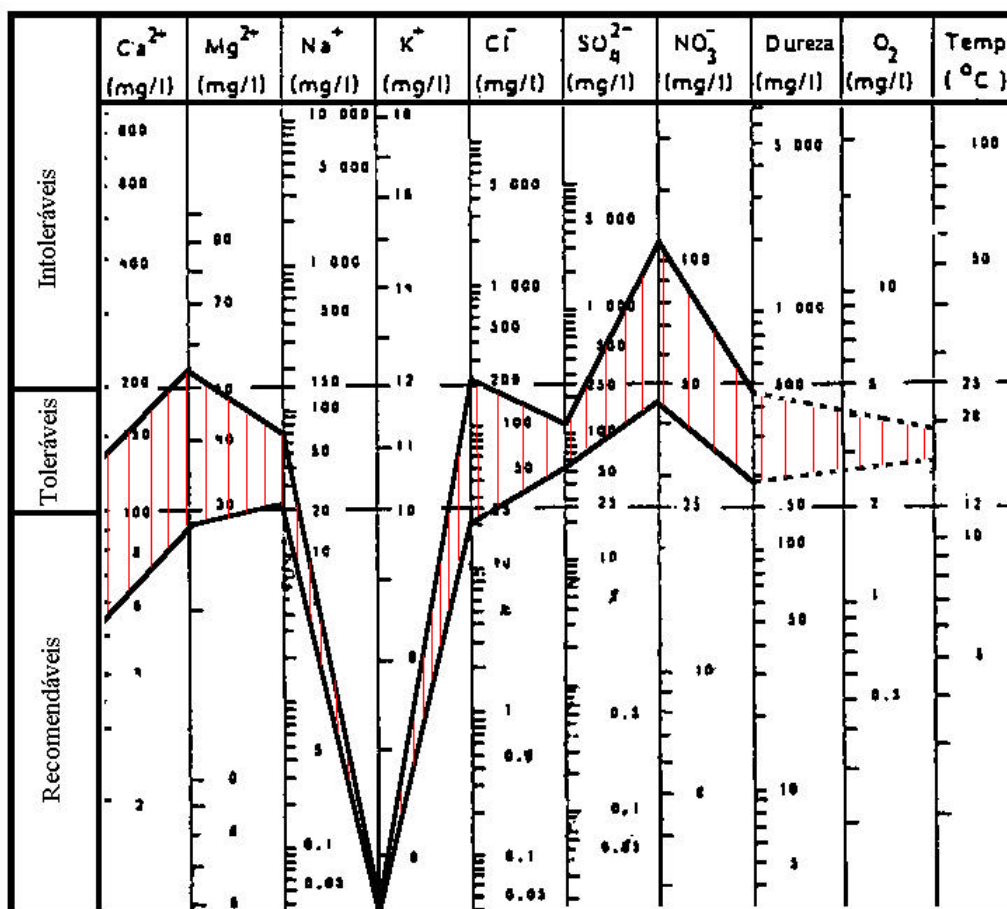


Figura 8- Diagrama da qualidade da água para consumo humano, com representação do campo de variação das águas da Bacia da Chaminé (Aquífero dos Gabros de Beja.), 10/07/97.

Os terrenos da mancha gabro-diorítica Ferreira do A.- Beja - Serpa são dos mais férteis do Alentejo e por isso mesmo sujeitos a forte intensidade agrícola, com o conseqüente incremento de adubos e pesticidas. As práticas agrícolas são responsáveis, desde à vários anos, por uma situação de contaminação generalizada por nitratos (NO_3^-) dos recursos hídricos subterrâneos, degradando a qualidade da água para consumo humano (Fig. 8).

Todas as amostras apresentam sobresaturação relativamente à calcite. Esta situação indicia um comportamento incrustante face às tubagens com reflexos no rendimento das captações. Segundo a classificação do U. S. Salinity Laboratory Staff (1953), a aptidão da água para uso agrícola corresponde às classes C_2S_1 e C_3S_1 . O perigo de alcalinização dos solos é baixo, mas o risco de salinização é médio a elevado, não sendo de aconselhar o regadio em culturas sensíveis e/ou solos de reduzida permeabilidade.

Com o objectivo de monitorizar a evolução do teor em nitratos na água subterrânea e a sua relação com os períodos de precipitação e épocas de adubação têm-se procedido ao seu registo mensal em 27 pontos de água (Fig. 9). Está para breve a instalação de instrumentos automáticos de registo contínuo, equipados com eléctrodo selectivo para o ião NO_3^- , que permitirão definir tendências sazonais, mensais e até diárias, caso elas existam.

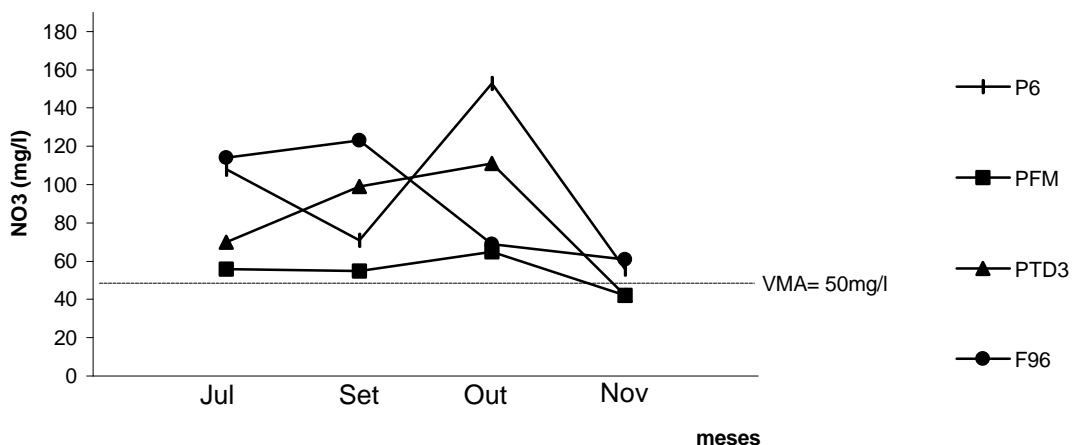


Figura 9- Evolução mensal do teor em nitratos em 4 pontos de água dos 27 monitorizados mensalmente.

Como resultado da rede de monitorização instalada é possível criar imagens mensais da situação de contaminação na Bacia, como se mostra na Figura 10. A interpolação dos valores medidos no campo para toda a área de estudo foi feita com base no estimador de krigagem simples que acompanha o *Software SURFER*. Utilizou-se um modelo linear, embora não tenham sido calculados os parâmetros estruturais do variograma, que definem a variabilidade espacial do fenómeno. Uma análise estatística mais elaborada será realizada numa fase subsequente do tratamento dos dados.

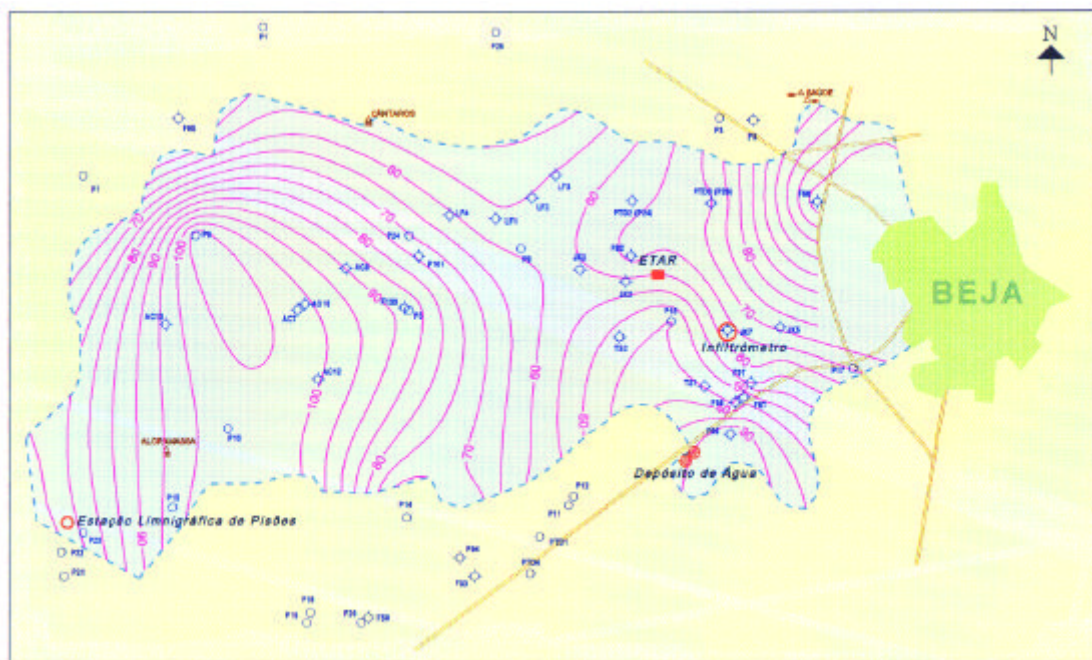


Figura 10- Carta de isotores de nitratos com base em medições efectuadas em 27 pontos de água no mês de Julho de 1997. Equidistância das isolinhas 5 mg/l. Escala aproximada 1: 65000.

7 - CONCLUSÕES

As potencialidades hidrogeológicas dos gabro-dioritos dependem em grande parte da intensidade da alteração. Em locais estruturalmente favoráveis (zonas de intensa fracturação e contactos litológicos por falha) podem ocorrer caudais apreciáveis (>10 l/s). Nas restantes zonas a produtividade oscila normalmente entre 4 a 6 l/s. Os gabro-dioritos são têm-se revelado improdutivo.

As transmissividades calculadas variam entre 34 e 384 m²/d. Obteve-se um coeficiente de armazenamento (S) de 1.2×10^{-3} num ensaio em AC 9 com piezómetro.

No sentido de obter um modelo tridimensional da área estudada e detectar estruturas ocultas sob o manto de alteração ensaiou-se um método geofísico, VLF-EM, com resultados interessantes embora a homogeneidade das formações presentes aconselhe o uso de refacção sísmica ou geoelectrica, a aplicar futuramente.

A fácies hidroquímica divide-se pelas bicarbonatadas calco-magnesianas e bicarbonatadas magnesico-cálcicas. São águas bastante mineralizadas, duras e de reacção ligeiramente alcalina.

A análise dos equilíbrios químicos indica sobresaturação relativamente à calcite, portanto com características incrustantes. Segundo a Classificação do USSLS, o uso agrícola de águas com mineralização tão elevada acarreta um perigo médio a elevado de salinização dos terrenos, não sendo de aconselhar em solos de reduzida drenagem e/ou culturas sensíveis.

A monitorização regular da área em estudo, desde Abril, permite reconhecer uma certa correlação entre a pluviosidade, a oscilação do nível piezométrico e a concentração em nitratos na água subterrânea, que à data do último controle (Novembro de 1997) se encontrava no seu ponto mais baixo.

A situação de referência actual caracteriza-se pelo subaproveitamento dos recursos hídricos subterrâneos da Bacia da Rib^a da Chaminé. Dois factores concorrem para essa situação: I) valores excessivos de nitratos, em muitos casos superiores aos VMA; II) origem superficial alternativa, constituída pela Albufeira do Rôxo.

8 - PREVISÃO / TRABALHOS FUTUROS

Com o objectivo final de criar um modelo matemático coerente para o “caso de estudo”, está em curso a instalação de sistemas de medição e registo automático de níveis, precipitação e caudais de escoamento da Rib^a da Chaminé. Pretende-se no final obter um balanço hídrico que quantifique o volume de recursos anualmente renováveis.

A calibração do modelo dinâmico dependerá essencialmente das condições de fronteira que se estabelecem com as bacias hidrográficas vizinhas, já que o sistema aquífero dos Gabros de Beja, na área estudada, não têm limites geologicamente definidos.

Face ao problema da contaminação generalizada por nitratos pretende-se equipar um piezómetro, previamente seleccionado, com um sensor selectivo para o ião NO_3^- .

No âmbito do protocolo técnico-científico entre o IGM e o IST/CVRM será desenvolvido um modelo 3D definido a partir da krigagem da indicatriz resultante dos *logs* das sondagens e do conhecimento pericial obtido dos levantamentos geofísicos.

Serão igualmente aplicados métodos estatísticos e de análise de dados no estudo das correlações entre as variáveis do ciclo hidrológico, a variação do nível piezométrico e a concentração em nitratos na água subterrânea, no sentido de obter tendências evolutivas e definir locais representativos para a construção de piezómetros da futura rede de qualidade.

Idêntica metodologia está a ser seguida noutras zonas de estudo, nomeadamente na área dos gabro-dioritos da margem esquerda do Guadiana (“gabro-dioritos de Serpa”), no âmbito do projecto ERHSA.

BIBLIOGRAFIA

- COSTA, F. ESTEVES *et al.* - Carta hidrogeológica de Portugal, escala 1:200000, Folhas 7 e 8, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 1994, pp. 87.
- CUSTÓDIO, E., LLAMAS, M.R. - Hidrologia subterranea, 2ª edição, Tomo I e II, Ediciones Omega, Barcelona, 1996, pp. 2350.
- CCR ALENTEJO - Alentejo, Análise Regional. Boletim da CCR Alentejo, Publicação semestral nº 16, Junho 1997, pp. 38-41.
- DUQUE, J.M. - “Caracterização hidrogeológica e modelação matemática do aquífero dos Gabros de Beja”, Universidade de Lisboa. Tese de Mestrado, Lisboa, 1997, pp. 210.
- ELECTROMAGNETISME, Introduction a la “Magneto-Tellurie” Artificielle en domaine de Frequence. Centre d’Hidrogeologie, Universite de Neuchâtel, Neuchâtel, Suíça, pp. 44.
- FEIO, MARIANO - A evolução do relevo do Baixo Alentejo e Algarve, Lisboa, I.A.C., Centro de Estudos Geográficos, 1997, pp. 31-73.
- FONSECA, P. - (Estudo da) Sutura Varisca no SW Ibérico nas regiões de Serpa-Beja-Torrão, Alvito-Viana do Alentejo, Universidade de Lisboa. Tese de Doutoramento, Lisboa, 1995, pp. 325.
- MÜLLER, I.; STIEFELHAGEN, W et ROUFAL, A. - Réflexions sur les Resultats Obtenues par l’Enregistrement en Continue des Paramètres Geophysiques, Eléctromagnétiques (VLF-EM) et Magnétiques, pour l’Exploration Hydrogéologique des Aquifères Karstiques (Grotte de Milandre, Jura, Suisse). Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles, Neuchâtel, Suíça, 1995, pp. 109-119.
- OLIVEIRA, J.T., *et al.* - Carta Geológica de Portugal, escala 1:200000, Folha nº 8, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 1992, pp 91.
- RIBEIRO, A., *et al.* - Introduction à la géologie général du Portugal. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 1979, pp. 114.
- ROCHA, I., VIEIRA, D.F. - Água - Legislação, Contencioso Contra-Ordenacional, Jurisprudência. Coleção Ambiente, Porto Editora, 1996, pp. 416.
- STEINER, T.; CARVALHO DILL; A., SZARKA, L. et MÜLLER, I. - Comparative Studies of VLF-R and VLF-EM Geophysical Methods; 1-D and 2-D numerical modelling at the tracer test site Wilerwald (BE, Switzerland). Bulletin du Centre d’Hydrogéologie de l’Université de Neuchâtel, nº. 11, Neuchâtell, Suíça, 1992, pp. 97-112.
- VIEIRA DA SILVA, A.M. - Estudo hidrogeológico das formações gabra-dioríticas da região de Beja- Relatório de Progresso. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 1992.

VIEIRA E SILVA, J.M. - Alteração de uma rocha gabróica do Baixo Alentejo. Memórias e Notícias, Publ. Museu Mineralógico e Geológico, Nº 112. Universidade de Coimbra, Coimbra, 1992, pp. 373-382.

VILLANUEVA, M. et IGLESIAS, A. - Pozos y Acuíferos, Técnicas de Evaluación Mediante Ensayos de Bombeo. IGME, Madrid, Espanha, 1984, pp. 426.