

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. p. 15-29.

**INTERPRETAÇÃO DE ENSAIOS DE CAUDAL DE AQUÍFEROS
FRACTURADOS EM TRÁS-OS-MONTES ORIENTAL (PORTUGAL) POR
MODELOS DE POROSIDADE DUPLA E POR MÉTODOS CLÁSSICOS**

**Interpretation of Pumping Tests from Hard Rock Aquifers in Trás-Os-Montes
Oriental (Portugal) by Double Porosity Models and by Classical Methods**

PEREIRA, MARIA ROSÁRIO ¹; ALMEIDA, CARLOS ²

¹ Secção de Geologia, da Univ. Trás-os-Montes Alto Douro

² Departamento de Geologia, da Fac. Ciências da Univ. Lisboa

RESUMO

Os aquíferos fracturados possuem características próprias, que se revelam quando se analisam, por exemplo, curvas rebaixamento/tempo produzidas por ensaios de bombagem. O comportamento particular dos aquíferos fracturados deriva fundamentalmente da existência de dois sistemas hidráulicos interactuantes: um com funções capacitivas, caracterizado por maior capacidade de armazenamento e menor transmissividade - sistema de blocos - e outro, com funções essencialmente transmissivas - sistema de fracturas - caracterizado por uma relação inversa daquelas propriedades.

Ensaio de bombagem realizados em furos de pequeno diâmetro, em formações xistosas e quartzíticas, em Trás-os-Montes oriental, permitiram verificar a existência de um comportamento próprio de meios com porosidade dupla. A interpretação daqueles ensaios por métodos clássicos e usando modelos para meios fracturados permitiu concluir que o método de Theis fornece valores subavaliados de transmissividade e estabelecer uma relação linear entre aquele parâmetro e o caudal específico.

ABSTRACT

Fractured rocks frequently show some specific hydraulic behavior due to the existence of two distinct, but interacting, systems: one consisting of the network of fractures and the other of porous blocks.

Pumping tests carried out in small diameter wells in shist and quartzite of eastern Trás-os-Montes (Portugal) had shown a typical behavior of double porosity media. The analysis of those tests by the classical Theis method and by double porosity models lead to the conclusion that the former method tend to underestimate transmissivity values. The results show a linear relation between transmissivity and specific capacity.

INTRODUÇÃO

Nas rochas fracturadas a circulação da água subterrânea faz-se através de poros intergranulares originais, ou resultantes da alteração, e através de descontinuidades: planos de xistosidade e fracturas. Assim, considera-se, em geral, a presença de dois tipos de porosidade: uma porosidade de matriz e uma porosidade de fractura, pelo que é comum serem designados por meios de porosidade dupla.

BARENBLATT *et al.* (1960) definiram meio de porosidade dupla como aquele em que existem dois sistemas interactuantes - um sistema de blocos, constituído por uma matriz de porosidade primária e por microfracturas e um sistema de fracturas que os separa. O sistema de fracturas possui, quase sempre, uma permeabilidade mais elevada mas menor capacidade de armazenamento, sendo por isso responsável pelo transporte do fluido. Por seu lado o sistema de blocos é o responsável pelo armazenamento do aquífero, apresentando fraca permeabilidade.

Quando, num meio de porosidade dupla em equilíbrio, se induz uma perturbação, esta propaga-se mais rapidamente no sistema de fracturas (já que este é mais transmissivo), gerando-se uma diferença de potencial hidráulico nos dois sistemas e consequente escoamento do sistema com maior potencial para o de menor. Para descrever matematicamente o escoamento de um fluido num reservatório fracturado surgiram diversos modelos. Os primeiros modelos que se desenvolveram pressupõem regime de pseudo-equilíbrio, dos blocos para as fracturas, ou seja, o fluxo entre blocos e fracturas é proporcional à diferença entre as alturas piezométricas médias dos dois sistemas. Vários autores adoptaram este modelo nomeadamente: BARENBLATT *et al.* (1960), WARREN & ROOT (1963), KAZEMI *et al.* (1969) e STRELTSOVA (1976). Surgiram ainda outros modelos que admitem fluxo transitório dos blocos para as fracturas, ou seja, o fluxo entre os dois sistemas é proporcional ao gradiente hidráulico na superfície dos blocos. Vários autores apresentaram trabalhos adoptando este regime: BOULTON & STRELTSOVA (1977a, 1977b), NAJURIETA (1980), MOENCH (1984), BARKER (1985), entre outros.

Nos modelos que admitem fluxo transitório dos blocos para as fracturas é necessário definir a geometria dos blocos. Modelos apresentados por BOULTON & STRELTSOVA (1977a e 1977b), NAJURIETA (1980) e MOENCH (1984), entre outros, consideram uma geometria tabular, em que blocos tabulares de extensão infinita alternam com fracturas. Outra geometria para os blocos, apresentada nomeadamente por NAJURIETA (1980) e MOENCH (1984), é a geometria esférica, em que blocos cúbicos são definidos por três direcções de fracturas e são idealizados como esferas. BARKER (1985)

considera uma outra geometria - geometria cilíndrica -, que pressupõe a ocorrência de duas direcções principais de fracturação de que resultariam paralelepípedos de extensão infinita, idealizados como cilindros.

PARÂMETROS HIDRÁULICOS CARACTERÍSTICOS DOS MEIOS DE POROSIDADE DUPLA

Quando o escoamento da água subterrânea se faz em meio contínuo, admite-se que os parâmetros hidrodinâmicos que caracterizam o aquífero são a transmissividade e o coeficiente de armazenamento.

Em meios descontínuos, como é o caso dos meios de porosidade dupla, há necessidade de se considerar que os dois sistemas presentes - fracturas e blocos - têm transmissividade e coeficiente de armazenamento próprios. Há ainda que considerar outros factores que podem influenciar o comportamento do aquífero e que são o efeito de pele de fractura e o efeito de pele no poço, que descreveremos seguidamente.

EFEITO DE PELE DE FRACTURA (SF)

O efeito de pele de fractura foi introduzido por MOENCH (1984). Consiste numa zona fina resultante da alteração, ou da precipitação de minerais, que reveste os blocos e tem uma permeabilidade inferior à destes.

A presença desta pele provoca o retardamento da passagem do fluxo dos blocos para as fracturas e é quantificado pela expressão:

$$SF = K_b \cdot b_p / K_p \cdot b_b \quad (\text{MOENCH, 1984})$$

em que K_p e b_p representam respectivamente a condutividade hidráulica e a espessura média da pele de fractura e b_b a espessura média dos blocos.

Quanto maior for SF, tanto menor é a permeabilidade da pele em relação à dos blocos.

EFEITO DE PELE NO POÇO (S_w)

Este efeito manifesta-se por um acréscimo, ou decréscimo, do nível piezométrico na vizinhança do poço. Esta variação é provocada pela existência de uma película envolvente ao poço - pele -, com características hidrodinâmicas diferentes das da formação (ALMEIDA & OLIVEIRA, 1990).

Matematicamente, o efeito de pele no poço, admitindo uma espessura de pele infinitesimal, pode ser dado pela seguinte condição (MOENCH, 1984):

$$h_w = h_f - r_w \cdot S_w \cdot \partial h_f / \partial r \quad \text{em que } r = r_w$$

S_w é um factor adimensional e traduz o efeito de pele no poço. O nível da água no poço - h_w -, está relacionado com o nível da água na formação - h_f -, por um factor que reflecte a descida do nível piezométrico através da pele.

Esta pele resulta do próprio processo de furação e tanto pode contribuir para diminuir como para aumentar a permeabilidade do meio. Assim, a introdução de lamas durante a furação pode provocar uma diminuição da permeabilidade do meio - efeito de pele positivo -, enquanto que a fracturação

da rocha, induzida pelo próprio método de perfuração, pode contribuir para um aumento da permeabilidade - efeito de pele negativo. A introdução de seixo calibrado nas captações pode também contribuir para um efeito de pele no poço, em geral negativo.

INTERPRETAÇÃO DE ENSAIOS DE CAUDAL EM MEIOS DE POROSIDADE DUPLA

Os ensaios de bombagem constituem uma metodologia importante para a caracterização hidráulica dos aquíferos, assim como para a avaliação da eficiência das captações.

A interpretação destes ensaios faz-se tradicionalmente pelo ajuste dos dados, relativos aos pares de valores tempo/rebaixamento, projectados em papel logarítmico, a curvas padrão. A utilização deste método trás dificuldades na medida em que a escolha da curva que dá o melhor ajuste é bastante subjectiva, dependendo muito da experiência do utilizador (ALMEIDA *et al.*, 1992).

Em particular no caso dos meios fracturados as dificuldades no ajuste a curvas teóricas tornam-se ainda maiores, dado o elevado número de variáveis que intervêm, o que faz com que o número de combinações possíveis seja praticamente ilimitado.

Com o desenvolvimento da informática surgiram diversos programas que permitem, a partir da elaboração de ficheiros de dados experimentais, interpretar os ensaios obtendo valores para os parâmetros hidrodinâmicos característicos. OLIVEIRA (1990) apresentou um programa - AQFIS - para interpretação de ensaios em meios de porosidade dupla. Esse programa permite a projecção, no monitor, dos pares de valores tempo/rebaixamento, relativos a cada ensaio. O programa apresenta 34 modelos diferentes cuja escolha é feita em função do conhecimento das características da captação e do ensaio. Pela atribuição de valores a um conjunto de parâmetros característicos, por parte do utilizador, geram-se curvas padrão, até se conseguir o melhor ajuste aos dados experimentais.

As condições gerais, previamente estabelecidas, para a aplicação do programa AQFIS, são as seguintes (OLIVEIRA, 1990):

1 - Meio com porosidade dupla; 2 - Aquífero de extensão infinita; 3 - Fluxo para o poço de extracção apenas através das fracturas; 4 - Poço totalmente penetrante; 5 - Caudal de extracção constante, ou variável; 6 - Matriz porosa isotropa e homogénea; 7 - Fluido e rocha compressíveis.

Como é hábito na interpretação de ensaios de caudal, raramente se verificam todas as condições base, mas o não cumprimento de uma das condições não invalida a aplicação do modelo (ALMEIDA *et al.*, 1992).

CASO ESTUDO - INTERPRETAÇÃO DE ENSAIOS DE CAUDAL EM ROCHAS FRACTURADAS DE TRÁS-OS-MONTES ORIENTAL

Os ensaios de caudal foram realizados em furos com 165 mm de diâmetro e entubados com PVC de 125 mm de diâmetro e com filtro de seixo

calibrado a preencher o espaço anular. Foram colocados tubos-ralos às profundidades onde se verificou aumento de caudal durante a furação.

As rochas atravessadas são formações xistentas, do complexo de xistos, grauvaques e grés e formações quartzíticas, pertencentes aos grés quartzíticos, que se localizam na região de Mirandela, em Trás-os-Montes oriental.

Os ensaios realizaram-se com bomba submersível, a caudal constante, e tiveram a duração de 6H de bombagem e de 3H de recuperação. As observações foram feitas apenas no próprio furo, por não existirem outros locais de observação nas imediações. A caracterização estatística dos resultados destes ensaios foi feita por PEREIRA (1992) e por PEREIRA & ALMEIDA (1994). A interpretação dos ensaios foi feita com o programa AQFIS, já referido.

Depois de várias tentativas optou-se pelo modelo que considera as seguintes condições (MOENCH, 1984):

- Aquífero confinado
- Fluxo radial
- Regime transitório, dos blocos para as fracturas
- Poço de diâmetro finito (poço com armazenamento)
- Geometria tabular
- Rebaixamento nas fracturas
- Efeito de pele de fractura
- Efeito de pele de poço

A expressão que traduz os rebaixamentos no poço de extracção, no domínio da transformada de Laplace (\bar{s}_w), é:

$$\bar{s}_w = \frac{Q}{4\pi T_f} \frac{2[K_0(x) + xS_w K_1(x)]}{p\{pW_D[K_0(x) + xS_w K_1(x)] + xK_1(x)\}}$$

onde: Q – Caudal constante de extracção; L³T⁻¹.

r_w – Raio da zona drenante do poço; L.

r_c – Raio da zona revestida do poço; L.

S_f – Coeficiente de armazenamento do sistema de fissuras; adimensional.

S_b - Coeficiente de armazenamento do sistema de blocos; adimensional.

T – Transmissividade do aquífero: tem o mesmo significado que transmissividade do sistema de fracturas (T_f); L²T⁻¹.

T_b – Transmissividade do sistema de blocos; L²T⁻¹.

bb – Semi-espessura do bloco poroso. Corresponde, no caso da geometria tabular, a metade da espessura dos blocos; L.

SF – Parâmetro de efeito de pele de fractura: tem valor positivo quando a pele de fractura tem permeabilidade inferior à dos blocos; adimensional.

S_w – Parâmetro de efeito de pele no poço (consoante a permeabilidade da pele for maior, igual, ou menor, do que a formação, assim S_w é negativo, nulo, ou positivo); adimensional.

p – Parâmetro de Laplace, relacionado com o tempo, adimensional.

$$x = \sqrt{p + q_D}$$

$$\bar{q}_D = \frac{\gamma^2 \tanh(m)m}{1 + S_F \tanh(m)m}$$

$$\gamma = \frac{r_w}{b_b} \sqrt{\frac{K_b}{K_f}}$$

$$m = \frac{\sqrt{\sigma p}}{\gamma}$$

$$\sigma = S_b / S_f$$

$$W_D = \frac{r_c^2}{2r_w^2 S_f}$$

K_0 e K_1 funções modificadas de Bessel de segundo tipo

Para calcular os rebaixamentos no domínio real é usada a inversão numérica da transformada de Laplace. O algoritmo utilizado no programa AQFIS é o de STEHFEST (1970).

RESULTADOS

Apresentam-se, no quadro 1, os resultados da interpretação de 10 ensaios de bombagem, com o programa AQFIS. A título exemplificativo apresenta-se a interpretação de alguns ensaios na fig.1.

Quadro 1 - Resultados obtidos com o programa "AQFIS":

Furo	Q(m³/d)	Sf	Sb	T(m²/d)	Tb(m²/d)	Bb(m)	SF	sw
AC262	297,28	1,25E-02	8,64E-02	12,65	6,03	10	1	1,5
AC88	414,72	1,15E-04	1,31E-02	36,05	23,02	10	0	1,5
AC272	177,12	9,20E-04	9,20E-03	6,95	1,16	10	5	-1,5
AC83	207,36	2,00E-06	1,00E-04	11,71	1,31	10	1,5	-2
AC265	188,35	1,21E-06	4,59E-04	7,99	1,72	7	5	1
AC95	74,3	6,89E-06	3,20E-04	3,54	1,18	10	0	4
AC81	112,3	6,28E-05	1,88E-03	15,67	6,52	4	5	4
AC263	55,9	1,26E-06	1,19E-05	3,8	0,46	15	5	2
AC264	225,67	5,00E-06	1,43E-05	9,21	0,31	10	0	-2,5
AC271	449,04	5,85E-05	3,50E-03	24,83	10,64	1	0	-2,5

Em alguns ensaios não foi possível fazer um ajuste perfeito da parte final dos dados. Na figura 2 apresenta-se um caso exemplificativo. O aumento exagerado dos rebaixamentos, na parte final do ensaio, pode ser devido a modificações no sistema aquífero, seja nas características das fracturas, seja na interconexão entre elas, o que é em geral designado por efeito barreira.

A presença de heterogeneidades no sistema aquífero foi detectada em alguns ensaios. Na figura 3 apresenta-se um caso em que a primeira parte do ensaio tem transmissividade mais elevada e menor coeficiente de armazenamento do que a parte final. Supõe-se estar perante dois sistemas aquíferos interligados, com características hidrodinâmicas diferentes.

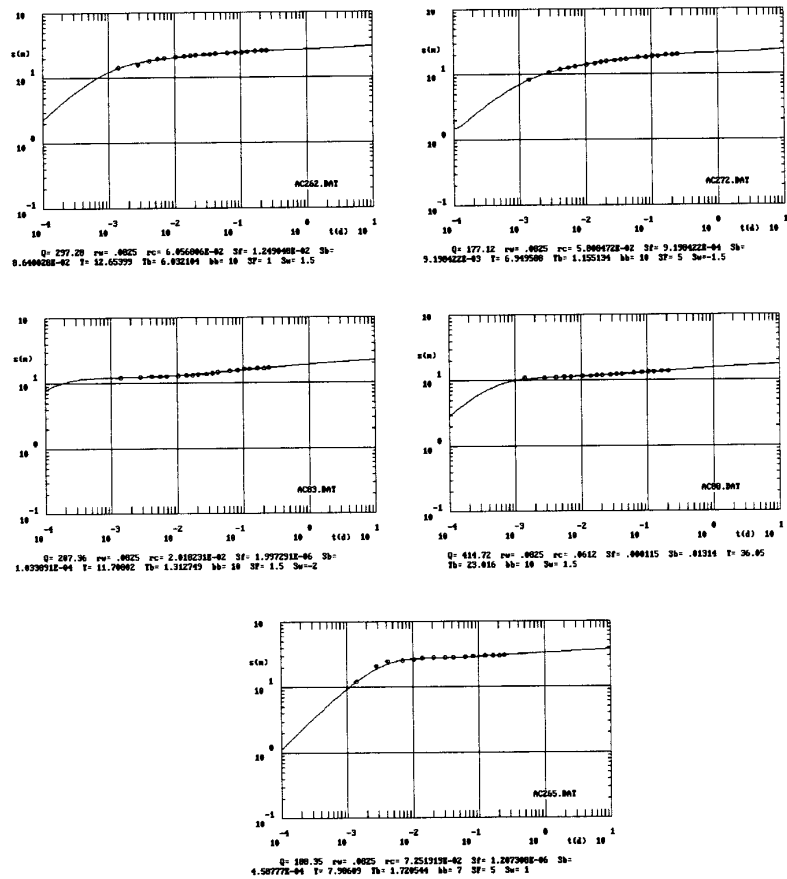


Fig.1 - Interpretação de ensaios de caudal com o programa AQFIS.

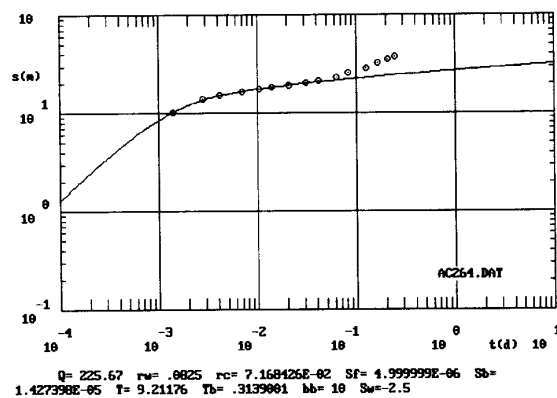


Fig.2 - Efeito barreira.

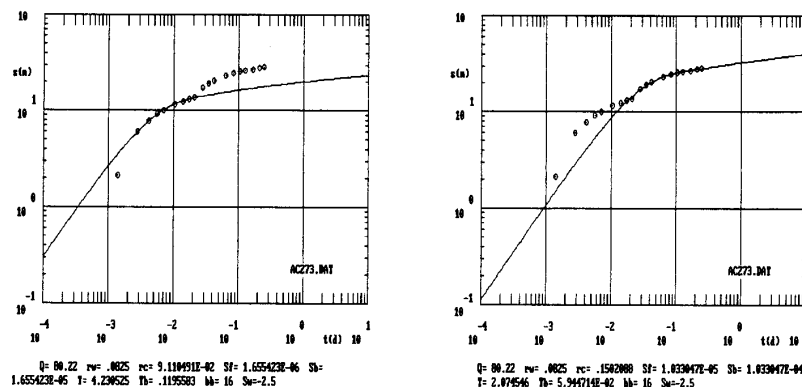


Fig.3 - Sistema aquífero com heterogeneidades.

As principais estatísticas dos parâmetros obtidos com o programa AQFIS, referentes ao quadro 1, apresentam-se no quadro 2.

Quadro 2 – Estatísticas principais dos parâmetros relativos ao quadro 1:

	Q(m³/d)	Sf	Sb	T(m²/d)	Tb(m²/d)	Bb(m)	SF	sw
Nº observ	10	10	10	10	10	10	10	10
PPCC	0,97	0,61	0,68	0,92	0,84	0,91	0,88	0,95
Média	220,2	1,37E-03	1,15E-02	13,24	5,23	8,7	2,25	0,55
Mediana	197,85	3,27E-05	1,20E-03	10,46	1,51	10	1,25	1,25
D.padrão	132,97	3,92E-03	2,67E-02	10,16	7,12	3,86	2,42	2,52
C.Var(%)	60,4	286,8	232,2	76,8	135,9	44,4	107,5	458,5
Máx.	449,04	0,0125	0,086	36,05	23,02	1	5	4
Mín.	55,9	1,21E-06	1,20E-05	3,54	0,31	15	0	-2,5

PPCC – é o coeficiente de correlação entre os quantis da distribuição normal e os da distribuição empírica. Esta medida permite testar a normalidade da distribuição, sendo o valor crítico para dez observações 0,862 (HELSEL 6 HIRSCH, 1992).

Da análise dos resultados apresentados no quadro 2, quanto aos parâmetros hidrodinâmicos que caracterizam os aquíferos, pode referir-se que:

- os caudais de ensaio variam entre valores da ordem dos 450 m³/dia e os 56m³/dia (entre 5 a 0,6 L/s).
- o coeficiente de armazenamento dos blocos (Sb) é sempre superior ao das fracturas (Sf), variando entre 8,6% e 0,001%.
- a transmissividade das fracturas (T) é superior à dos blocos (Tb), variando entre 36m²/dia e 3,5m²/dia. Embora o valor de PPCC obtido para a transmissividade das fracturas não permita rejeitar a hipótese de os valores seguirem a distribuição normal, o mesmo aumenta quando se efectua a transformação logarítmica (PPCC logT = 0,99 e PPCC log Tb = 0,98), o que está de acordo com numerosas observações segundo as quais os valores de transmissividade medidos em furos seguem uma distribuição log-normal (BROCH & KJØRHOLT, 1994).

CÁLCULO DA TRANSMISSIVIDADE POR OUTROS MÉTODOS

Com o objectivo de comparar os valores da transmissividade obtidos com o programa AQFIS com os obtidos por métodos clássicos, fez-se a interpretação dos mesmos ensaios usando o método de Theis e o método da recuperação de Jacob. Apesar destes dois métodos terem sido propostos para meios porosos isotrópicos, para a aplicação a meios anisotrópicos tem de se considerar que se está a calcular uma transmissividade efectiva (T_e), definida como $(T_x T_y)^{1/2}$ em que $T_{x,y}$ são as transmissividades segundo as direcções principais de anisotropia, respectivamente x e y (PAPADOPULOS, 1965; HUNTLEY *et al.*, 1992).

No quadro 3 apresentam-se os valores da transmissividade determinados pelos três métodos.

Os diagramas quantil-quantil apresentados na figura 8 permitem comparar as distribuições das três amostras. Da análise do diagrama 8-a pode-se concluir que os resultados obtidos com o método de Theis são sistematicamente inferiores aos obtidos com o método que considera meio de porosidade dupla (AQFIS). O teste dos sinais (CONOVER, 1980) permite confirmar que os valores dados pelos dois métodos são significativamente diferentes. O método da recuperação fornece valores comparáveis aos obtidos pelo método de Theis, para transmissividades baixas (figura 8-b), mas é caracterizado pela presença de valores excessivamente elevados, o que leva a admitir que não é indicado nas condições presentes.

Em relação ao método de Theis, os modelos de porosidade dupla apresentam diversas vantagens:

- permitem obter valores para o coeficiente de armazenamento com base em observações no próprio furo (enquanto o método de Theis necessita de observações num piezómetro);
- caracterizam hidrodinamicamente o sistema de blocos e o sistema de fracturas;
- consideram a influência das características do próprio furo e da zona envolvente, através do efeito de pele de fractura e do efeito de pele no poço (positivo, ou negativo).

Quadro 3 – Valores da transmissividade obtidos pela interpretação de ensaios de caudal, com base em diferentes métodos (valores em m^2/dia).

Furo nº	Trans. Theis	Trans. AQFIS3	Trans recuperação.
AC262	7,7	15,67	2,99
AC88	12,6	11,71	69
AC272	31,6	36,05	63,2
AC83	8,5	12,65	4,9
AC265	4,8	7,99	4,8
AC95	5,7	6,95	7,8
AC81	1,8	3,54	-
AC263	6,3	9,21	-
AC264	25,	24,83	40
AC271	1,3	3,8	0,6

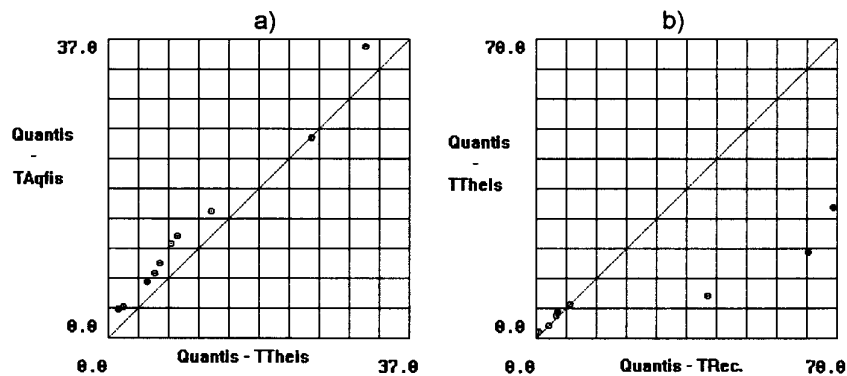


Fig.8 - Diagramas quantil-quantil das distribuições das transmissividades obtidas com os três métodos em análise.

RELAÇÃO TRANSMISSIVIDADE - CAUDAL ESPECÍFICO

Diversos autores têm tentado estabelecer uma relação entre a transmissividade, obtida através da interpretação de ensaios de bombagem e o caudal específico, dado ser este valor de mais fácil obtenção. A referida relação baseia-se na aproximação de Thiem-Dupuit, válida para regime de equilíbrio, e aproximadamente válida desde que se usem sempre tempos de bombagem iguais e que se admita a existência de um raio de influência aproximadamente igual para todos os ensaios. No entanto, podem admitir-se desvios nesta última condição dada a pouca sensibilidade dos rebaixamentos a variações no raio de influência.

De acordo com a aproximação de Thiem-Dupuit, a relação entre rebaixamento e transmissividade é dada por:

$$s_w = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{R}{r_w} \text{ onde } R \text{ é o raio de influência.}$$

Explicitando em ordem a T, obtém-se:

$$T = \frac{Q}{2\pi s_w} \ln \frac{R}{r_w} = q \frac{1}{2\pi} \ln \frac{R}{r_w} \text{ onde } q \text{ é o caudal específico } (Q/s_w).$$

Pode concluir-se a partir daquela expressão que existe uma relação linear entre o caudal específico e a transmissividade desde que se mantenham constantes R e r_w .

Para o caso de regime transitório também é possível estabelecer uma relação simples entre aqueles dois parâmetros desde que se fixem os restantes parâmetros que influenciam o escoamento (como coeficientes de armazenamento e efeitos de pele) e o tempo de extracção.

A partir dos dados disponíveis estabeleceu-se a regressão linear entre os caudais específicos, referentes a um tempo de bombagem de 6h (figura 9), e as transmissividades (AQFIS) tendo-se obtido a equação $T = 2,54 + 0,89 Q_e$. O coeficiente de correlação, bastante elevado ($=0,92$), permite concluir que é

possível estimar a transmissividade, com um intervalo de incerteza relativamente pequeno, a partir do caudal específico. Na mesma figura projectam-se também as relações teóricas entre os dois parâmetros, em regime transitório, para tempo igual a 6H e para três valores diferentes de coeficiente de armazenamento de fissuras, pois verificou-se que os rebaixamentos, para ensaios de curta duração, eram mais sensíveis a variações neste parâmetro do que a variações no coeficiente de armazenamento dos blocos. Os restantes parâmetros e variáveis foram fixados nos seguintes valores: $r_w = 0,0825$ m; $r_c = 0,0825$ m; $S_b = 1E-03$; $T_b = 1m^2/d$; $bb = 5$ m; $SF = 0$; $SW = 0$.

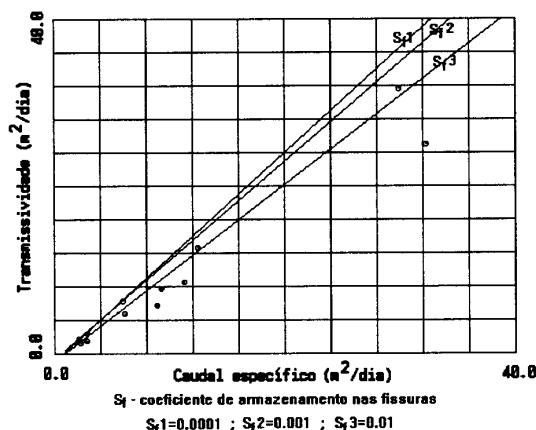


Fig.9 - Relação transmissividade (TAqfis), caudal específico e curvas teóricas.

CONCLUSÕES

Ensaio de bombagem realizados em furos de pequeno diâmetro, em formações xistentas e quartzíticas, em Trás-os-Montes oriental, permitiram verificar a existência de um comportamento próprio de meios com porosidade dupla

Foram testados vários modelos propostos por diversos autores, tendo-se obtido o melhor ajuste com o modelo proposto por MOENCH (1984) que considera regime transitório entre blocos e fracturas, geometria tabular e efeitos de pele.

A interpretação de ensaios neste tipo de aquíferos através de métodos clássicos (Theis, por exemplo) não permite um ajuste adequado às curvas experimentais, nem a avaliação de parâmetros específicos que influenciam os valores de rebaixamento, designadamente na parte inicial dos ensaios. No caso presente, os valores de transmissividade obtidos pelo método de Theis, revelaram-se sistematicamente subavaliados. O método de recuperação de Jacob dá valores comparáveis aos obtidos pelo método de Theis, no caso de transmissividades baixas, não parecendo aplicável para transmissividades elevadas.

Obteve-se uma equação de regressão linear, com correlação elevada (0,92) entre a transmissividade (obtida pelo modelo de porosidade dupla) e o caudal específico, referido a um tempo constante. Assim, é possível estimar a transmissividade, com um intervalo de incerteza relativamente pequeno a partir da equação: $T = 2,54 + 0,89 Q_e$.

BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, C. & OLIVEIRA, M. M. (1990). "Caracterização Hidráulica de Aquíferos Fraturados", in *Livro de Homenagem a Carlos Romanz*, Dep. de Geologia da F.C.U.L, pp. 30 - 64.

ALMEIDA, C; RIBEIRO, TERESA & OLIVEIRA, M. M. (1992). "Interpretação Automática de Ensaio de Bombagem". *Geonovas*, número especial **3**, pp. 64-81.

BARENBLATT, G. I.; IU. P. ZHELTOV & I. N. KOCHINA (1960). "Basic Concepts in the Theory of Seepage of Homogeneous Liquids in Fissured Rocks (Strata)". *J. Appl. Math. Engl. Transl.*, **24**, pp. 1286 - 1303.

BARKER, J. A. (1985). "Generalized Well Function Evaluation for Homogeneous and Fissured Aquifers". *J. Hydrology*, **76**, pp. 143-154.

BOULTON, N. S., & T. D. STRELTSOVA (1977a). "Unsteady Flow to a Pumped Well in a Two-Layered Water Bearing Formation". *J. Hydrology*, **35**, pp. 245 - 256.

BOULTON, N. S., & T. D. STRELTSOVA (1977b). "Unsteady Flow to a Pumped Well in a Fissured Water Bearing Formation". *J. Hydrology*, **35**, pp. 257 - 270.

BOULTON, N. S., & T. D. STRELTSOVA-ADAMS (1978). "Unsteady Flow to a Pumped Well in an Unconfined Fissured Aquifer". *J. Hydrology*, **37**, pp. 349-363.

BROCH, E. & KJØRHOLT, H. (1994). "Verification of large-scale permeability tests in hard rocks". *Applied Hydrogeology*, **2**(3), pp. 9-16.

CONOVER, W. J. (1980). *Practical Nonparametric Statistics*. Second Edition. J. Wiley & Sons.

GUSTAFSON G. (1986). "Geohydrological pre-investigations in rock. Background - methods - application". *Swedish Rock Eng. Research Foundation*, BeFo **84:1/86**, Stockholm, Sweden, 125 pp.

HELSEL, D. R. & HIRSCH, R. M. (1992). *Statistical Methods in Water Resources*. Elsevier.

HUNTLEY, D.; NOMMENSEN, & STEFFEY, D. (1992). "The Use of Specific Capacity to Assess Transmissivity in Fractured-Rock Aquifers". *Ground-Water*, **30** (3), May-June, pp. 396 - 402.

KAZEMI, H., SETH, M. & THOMAS, G. W. (1969). "The Interpretation of Interference Tests in Naturally Fractured Reservoirs With Uniform Fracture Distribution". *J. Petrol. Technology*, **246**, pp. 463 - 472.

MOENCH, A. F. (1984). "Double-Porosity Models for a Fissured Groundwater Reservoir with Fracture Skin". *Water Resour. Res.*, **20** (7), pp. 831 - 846.

NAJURIETA, H. L. (1980). "A Theory for Pressure Transient Analysis in Naturally Fractured Reservoirs". *J. Petrol. Technology*, **269**, pp. 1241 -1250.

OLIVEIRA, M. M. (1990). "AQFIS Um Programa para Gerar Curvas Rebaixamento/Tempo para Aquíferos Fracturados". *Geolis*, **IV** (fasc. 1 e 2), pp.97-107.

PAPADOPULOS, I. S. (1965). "Nonsteady flow to a well in an infinite anisotropic aquifer". Actas do Col. de Dubrovnik sobre Hidrologia de Rochas Fissuradas, vol. 1, p. 21-31.

PEREIRA, M. R. (1992). "Importância dos Filonetes de Quartzo na Pesquisa de Água Subterrânea em Rochas Cristalinas". *Geolis*, **VI** (1 e 2), pp. 46-52.

PEREIRA, M. R. & ALMEIDA, C. (1994). "Captação de Água Subterrânea em Rochas Cristalinas: Factores que Influenciam a Produtividade". Comunicações do II Congresso Nacional da Água. Vol.II, pp. 95-106.

STEHFEST, H. (1970). "Numerical Inversion of Laplace Transforms". *Commun. ACM*, **13**(1), pp 47-49.

STRELTSOVA, T. D. (1976). "Hydrodynamics of Groundwater Flow in a Fractured Formation". *Water Resour. Res.*, **12** (3), pp. 405-414.

WARREN, J. E. & ROOT, P. J. (1963). "The Behavior of Naturally Fractured Reservoirs". *J. Petrol. Technology*, **228**, 3 (3), pp. 245 - 255.

Obs.: na edição deste trabalho verificou-se um erro de paginação e há duas páginas repetidas, que aqui não se reproduzem, pelo que há um salto da página 22 para a 25.