

**Almeida, C., J. Delgado Rodrigues e A. S. Lopes (1989)**

**Interpretação automática de ensaios em patamares de caudal. I - Aspectos teóricos**

Recursos Hídricos, revista da Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, vol. 10, fasc. 1 a 3, p. 59-64.

# INTERPRETAÇÃO AUTOMÁTICA DE ENSAIOS EM PATAMARES DE CAUDAL

## I - ASPECTOS TEÓRICOS

### *AUTOMATED ANALYSIS OF STEP-DRAWDOWN TESTS*

#### *I - THEORETICAL ASPECTS*

*Carlos Almeida*

*Geólogo, Departamento de Geologia da F. C. U. L., membro da APRH nº 506*

*J. Delgado Rodrigues*

*Geólogo, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, membro da APRH nº 333*

*Ana Rita S. Lopes*

*Geóloga, Direcção-Geral dos Recursos Naturais, membro da APRH nº 755*

**RESUMO** - Os ensaios de bombagem, executados com diversos patamares de caudal e tendo a própria captação como único ponto de observação, constituem uma importante metodologia para avaliação da eficiência das captações, sendo frequentemente utilizados em Portugal.

A determinação dos parâmetros das equações que relacionam os rebaixamentos com os caudais oferece algumas dificuldades dada a não-linearidade daquelas.

Neste trabalho faz-se uma análise sumária da teoria aplicável àquele tipo de ensaios e apresentam-se vários métodos automáticos para a sua interpretação.

**ABSTRACT** - *Step-drawdown tests are an important technique in assessing well efficiency but computation of parameters is rather difficult due to the nonlinearity of the equations applicable to this type of test.*

*Several automated methods to interpret tests of that kind are here proposed.*

## 1 - INTRODUÇÃO

Os ensaios de bombagem, executados com diversos patamares de caudal e tendo a própria captação como único ponto de observação piezométrica, constituem o tipo de ensaio mais frequentemente realizado no País.

Estes ensaios podem fornecer aproximações razoáveis ao valor da transmissividade do aquífero, apesar de não serem os mais apropriados para este fim, e são insubstituíveis para avaliar as condições da própria captação e acompanhar a sua evolução ao longo do tempo.

Trata-se de um tipo de ensaios que merece mais atenção do que a que lhe tem sido dada no meio técnico nacional a avaliar pela escassez de contribuições técnicas e científicas disponíveis em língua portuguesa sobre esta matéria.

O presente trabalho visa contribuir para melhorar essa situação divulgando alguns métodos de tratamento automático dos resultados de ensaios deste tipo.

## 2 - TIPOS DE ENSAIOS E SEUS PROBLEMAS

Existem, basicamente, duas versões para a execução de ensaios de bombagem a caudal variável:

- a) bombagem em patamares sucessivos, mas independentes, com recuperação de níveis entre patamares;
- b) bombagem com incrementos de caudal, sem interrupção de bombagem (ensaios escalonados).

A versão b) é, de longe, a mais seguida, apontando-se como razões dessa preferência a maior rapidez e o menor custo de execução. Contudo, não são óbvias essas vantagens nem as comparações podem ser feitas apenas sobre estes dois aspectos.

Na realização destes ensaios o custo está muito directamente ligado ao tempo gasto na sua realização, pelo que, à primeira vista, a introdução de um intervalo para

recuperação dos níveis entre dois patamares sucessivos só pode fazer aumentar a duração do ensaio. Acontece, porém, que os patamares da versão a) podem ser substancialmente reduzidos, pois todas as interpretações se farão em regime transitório e os patamares são totalmente independentes. Pelo contrário, na versão b), os escalões, para além do primeiro, dependem da história dos escalões anteriores, necessitando, portanto, de extrapolações dos rebaixamentos provocados por todos eles. Estas extrapolações só são dispensáveis se, em cada escalão, for atingido o regime permanente, o que nalgumas situações é impossível (aquíferos confinados, por ex.) e, nas outras, é sempre demorado.

Uma forma rápida e económica para realização dos ensaios segundo a versão a) poderia ser constituída por patamares de bombagem com duração de uma hora com tempo de recuperação aproximadamente igual entre patamares. Quer dizer que, num dia de trabalho normal, poderiam ser realizados seis patamares, o que dificilmente se poderá obter na versão b), em condições satisfatórias para posterior interpretação.

Para além destes inconvenientes, deverá ser referido que, na versão b), as interferências exteriores são mais prováveis e assumem maior relevância, pois os efeitos, de modo geral, aumentam com o tempo. As interferências devidas a outras bombagens, à existência de barreiras ou a variações na transmissividade do aquífero são, sempre, mais significativas na versão b).

Em qualquer destas versões, admite-se que o caudal se mantém constante em cada patamar ou escalão. É, portanto, de enorme relevância para a obtenção de bons resultados que o controlo de caudal seja efectuado com o máximo rigor. Infelizmente, pode dizer-se que, regra geral, o controlo é insuficiente, permitindo variações sistemáticas e acidentais para além do que deveria ser tolerável. Os resultados obtidos ressentem-se, necessariamente, dessas imperfeições de execução.

Pode dizer-se que, quase sempre, as técnicas de interpretação têm uma sofisticação que vai muito para além da que é posta na execução dos ensaios.

Com a divulgação dos métodos de interpretação que em seguida se apresentam pretende-se tornar a interpretação suficientemente simples e atractiva por forma a motivar os responsáveis pelas captações para a realização de ensaios de melhor qualidade e, certamente, mais baratos, porque mais úteis.

### 3 - EQUAÇÃO DOS REBAIXAMENTOS

A fórmula básica que dá o rebaixamento numa captação é, segundo RORABAUGH (1953):

$$s = BQ + CQ^n \quad (1)$$

em que,

s = rebaixamento na captação

Q = caudal de bombagem

B = coeficiente de perdas de carga no aquífero

C = coeficiente de perdas de carga introduzidas pela captação

n = constante que traduz as características do escoamento na captação e suas imediações.

O parâmetro **B** depende das características do aquífero e varia com o tempo de bombagem. Pode ser calculado pela fórmula de Theis:

$$B = \frac{1}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-x}}{x} dx \quad \text{onde } u = \frac{Sr_p^2}{4Tt} \quad (2)$$

ou pela aproximação logarítmica de Jacob, válida quando  $u < 0,01$ :

$$B = \frac{1}{4\pi T} \ln \frac{2,25Tt}{Sr_p^2} \quad (3)$$

onde:

T = transmissividade

S = coeficiente de armazenamento

$r_p$  = raio da captação

t = tempo de bombagem

x = variável de integração

Na verdade, a referida aproximação é perfeitamente válida já que para valores de  $r_p$  pequenos o valor de  $u = Sr_p^2 / 4Tt$  é pequeno, mesmo para tempos curtos.

Considerando, como exemplo, uma captação com 0,5 m de raio,  $T = 150 \text{ m}^2/\text{dia}$ ,  $S = 10\%$ , ao fim de seis minutos de bombagem tem-se  $u < 0,01$ . Portanto, pode-se considerar que a aproximação de Jacob é válida pois a maior parte das medições correspondem a tempos superiores a 6' de bombagem,  $r_p$  é geralmente menor que 0,5 m e S é geralmente menor que 10%.

O coeficiente C é constante para cada captação e o seu valor informa sobre a qualidade da obra realizada. Menores valores de C significam menores perdas de carga e, portanto, maior eficiência da captação.

O expoente n pode variar entre 1 e 3,5, sendo os valores mais frequentes situados entre 2 e 3 (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1976). Dentro de certos limites de caudal, o valor de n pode ser considerado constante e característico da captação. Contudo, ele pode variar com o caudal quando ocorre alteração do regime de escoamento na captação.

Em numerosas situações é aceitável tomar  $n = 2$ , o que facilita grandemente a interpretação dos resultados. Nestas condições, a fórmula (1) tem a expressão:

$$s = BQ + CQ^2 \quad (4)$$

e designa-se por equação de Jacob (JACOB, 1946) de que a equação (1) é uma generalização.

As bombagens em aquíferos livres que provoquem grandes rebaixamentos, fazendo, portanto, variar a transmissividade do aquífero, conduzem a elevados valores de n.

Velocidades elevadas de entrada de água nas captações conduzem a resultados idênticos.

As interpretações baseadas na hipótese de  $n = 2$ , são aceitáveis para captações bem dimensionadas em aquíferos porosos e podem ser válidas para gamas de caudais razoavelmente extensas. Contudo, devem evitar-se as extrapolações com esta fórmula para além do máximo valor de caudal utilizado durante o ensaio, pois podem ocorrer

modificações no regime de escoamento. Mesmo quando a aproximação é grosseira, ela poderá ser utilizada para fins comparativos em estudos da evolução das características de uma captação ao longo do tempo, desde que os dados se reportem à mesma gama de caudais.

No caso mais geral, a equação dos rebaixamentos pode ser escrita de outro modo.

Seja uma bombagem escalonada a  $k$  caudais distintos,  $Q_i$  ( $i = 1, \dots, k$ ) com durações respectivas  $\tau_i$ , onde  $\tau_i = t_i - t_{i-1}$  ( $i, \dots, k, t_0 = 0$ ).

Nestas condições, o rebaixamento que se verifica num dado instante  $s$  ( $t$ ), será o somatório dos rebaixamentos parciais causados pelos escalões de bombagem realizados até esse momento (princípio da sobreposição). Para este somatório os caudais a considerar são os incrementos introduzidos em cada escalão ( $Q_{i+1} - Q_i$ ).

Então, em termos matemáticos, e como resultado do princípio da sobreposição, tem-se:

$$s(t) = \frac{1}{4\pi T} \sum_{i=1}^k \Delta Q_i \ln \frac{2,25T(t-t_i)}{S r_c^2} + C Q^n \quad (5) \quad (1)$$

$$\Delta Q_i = Q_i - Q_{i-1} \quad (Q_0 = 0)$$

$Q$  = caudal em extracção no instante  $t$

#### 4 - INTERPRETAÇÃO DOS ENSAIOS A CAUDAL VARIÁVEL

O tratamento automático deste tipo de ensaios tem sido tentado por vários autores dada a dificuldade em utilizar outros métodos.

Entre os trabalhos que visam contribuir para essa interpretação referem-se os de SHEAHAN (1971), LABADIE & HELWEG (1975), NAHM (1980), MILLER & WEBER (1983), BUTT & McELWEE (1985), ALMEIDA (1987).

No caso de se dispor apenas de três observações de rebaixamento, a interpretação é relativamente simples sendo aconselhável os algoritmos propostos por MILLER & WEBER (1983) ou ALMEIDA (1987).

No caso geral, a interpretação é relativamente complexa dada a não-linearidade da equação dos rebaixamentos. Na resolução de problemas semelhantes e este têm sido propostas várias metodologias que se podem agrupar em três categorias: a) métodos de regressão; b) métodos baseados em análise de sensibilidade; c) métodos de optimização. Nos dois últimos métodos parte-se sempre de uma estimativa inicial dos parâmetros a calcular, fazendo em seguida variar esses parâmetros no sentido de minimizar a função objectivo que é:

$$f(P_1, P_2, \dots, P_{np}) = \sum_{i=1}^N (s_i - s_i^*)^2 \quad (6)$$

onde,

$s_i$  = rebaixamentos observados

$s_i^*$  = rebaixamentos estimados

$N$  = número de observações

$P_1, P_2, \dots, P_{np}$  = parâmetros a estimar

$np$  = número de parâmetros a estimar

Nos métodos II e III propostos neste trabalho, (Secção 5) usa-se a metodologia baseada na análise de sensibilidade. Assim, para se determinarem os parâmetros  $P_1, P_2$ , etc., faz-se a análise da sensibilidade da função  $s(P_1, P_2, \dots)$  a pequenas variações nos parâmetros.

Para isso é necessário dispor de um conjunto inicial de estimativas daqueles parâmetros ( $P_1 + \Delta P_1, \dots, P_{np} + \Delta P_{np}$ ). Admitindo que essas estimativas não se afastam muito dos verdadeiros valores tem-se:

$$s^*(\cdot) = s(\cdot) + \sum_{i=1}^{np} \frac{\partial s(\cdot)}{\partial P_i} \Delta P_i \quad (7)$$

Trata-se, seguidamente, de encontrar os valores de  $\Delta P_i$  que minimizem o somatório (6).

Derivando em ordem aos  $\Delta P_i$  obtém-se o sistema de equações normais que permite obter as estimativas dos  $\Delta P_i$ . O sistema usado pode ser escrito sob a forma matricial:

$$\begin{pmatrix} \sum \left( \frac{\partial s}{\partial P_1} \right)^2 & \sum \frac{\partial s}{\partial P_1} \sum \frac{\partial s}{\partial P_2} & \dots & \sum \frac{\partial s}{\partial P_1} \sum \frac{\partial s}{\partial P_{np}} \\ \sum \left( \frac{\partial s}{\partial P_2} \right)^2 & \dots & \sum \frac{\partial s}{\partial P_2} \sum \frac{\partial s}{\partial P_{np}} \\ \dots & \dots & \dots \\ \sum \left( \frac{\partial s}{\partial P_{np}} \right)^2 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \Delta P_1 \\ \Delta P_2 \\ \vdots \\ \Delta P_{np} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum \frac{\partial s_i}{\partial P_1} \Delta s_i \\ \sum \frac{\partial s_i}{\partial P_2} \Delta s_i \\ \vdots \\ \sum \frac{\partial s_i}{\partial P_{np}} \Delta s_i \end{pmatrix} \quad (2) \quad (8)$$

onde  $\Delta s_i = s_i - s_i^*$

(<sup>1</sup>) Substitui-se  $r_p$  por  $r_c$  (raio efectivo) pois na maioria dos casos os dois valores não são coincidentes, tendo a expressão (5) validade mais geral.

(<sup>2</sup>) Apenas se representa o triângulo superior da primeira matriz que é simétrica.

As estimativas iniciais são corrigidas usando a expressão:

$$P_i^k = P_i^{k-1} + \Delta P_i \quad k = \text{iteração}$$

Com os novos valores estimados repete-se o processo até satisfazer o critério de convergência.

## 5 - MÉTODOS PROPOSTOS

Os métodos descritos seguidamente aplicam-se aos seguintes casos:

I - ensaios a patamares de bombagem independentes, considerando  $n = 2$ ;

II - ensaios escalonados com observações a tempos variáveis mas incluindo, pelo menos, três observações no primeiro caudal e pelo menos uma em cada um dos outros escalões. Considera-se em geral  $n \neq 2$ .

III - ensaios escalonados ou em patamares independentes com observações ao fim de períodos de bombagem iguais em cada escalão ou patamar. Admite  $n \neq 2$ .

IV - ensaios escalonados com várias observações em cada escalão. Este método apenas permite estimar a transmissividade e será usado no caso de a equação dos rebaixamentos não se ajustar ao modelo teórico.

### 5.1 - Método I

Retomando a equação (1) e considerando  $n = 2$ , obtém-se:

$$s/Q = B + CQ \quad (9)$$

que é uma função linear,  $s/Q = f(Q)$ , com a qual se obtém facilmente os parâmetros B e C.

Como já foi referido, o método utiliza resultados obtidos em patamares de bombagem independentes entre si, isto é, existe um intervalo para a recuperação dos níveis entre cada dois patamares sucessivos.

O procedimento aqui apresentado é uma extensão para cálculo automático do método desenvolvido por NAHM (1980).

Combinando (3) e (4) e tomando logaritmos decimais virá que:

$$s = \frac{2,3Q}{4\pi T} \log \frac{2,25Tt}{Sr_p^2} + CQ^2$$

ou,

$$s = a(b + \log t)Q + CQ^2 \quad (10)$$

em que,

$$a = \frac{2,3}{4\pi T} \quad e \quad b = \log \frac{2,25Tt}{Sr_p^2}$$

Para dados tomados em ensaios de patamares com recuperação entre patamares virá, para um mesmo tempo t de bombagem em cada patamar:

$$s_1 = a(b + \log t)Q_1 + CQ_1^2$$

$$s_2 = a(b + \log t)Q_2 + CQ_2^2$$

...

$$s_n = a(b + \log t)Q_n + CQ_n^2$$

ou,

$$s_n / Q_n = a(b + \log t) + CQ_n$$

isto é :

$$\frac{s_n}{Q_n} = A + CQ_n \quad (11)$$

onde,

$$A = a(b + \log t) \quad (12)$$

Em escalas aritméticas a equação (11) dá uma recta para cada conjunto de valores de  $s_n$  e  $Q_n$  referidos a um mesmo tempo t. A pendente da recta dá o valor de C e a ordenada na origem, o valor de A.

Para diferentes valores de t obter-se-ão outras rectas com iguais valores de C e diferentes ordenadas na origem:  $(A_1 \dots A_i)$  para  $(t_1 \dots t_i)$ .

Se forem os pares:

$$A_i - t_i, \quad A_j - t_j \text{ virá, pela equação (12):}$$

$$A_i - A_j = a(b + \log t_i) - a(b + \log t_j)$$

$$= a \log(t_i / t_j) \text{ ou } A_i - A_j = \frac{2,3}{4\pi T} \log(t_i / t_j)$$

donde se tira,

$$T = \frac{2,3 \log(t_i / t_j)}{4\pi(A_i - A_j)} \quad (13)$$

A transmissividade (T) e o coeficiente de perdas de carga (C) podem ser determinados pelas equações (13) e (10), respectivamente.

A interpretação prática efectua-se do seguinte modo:

1) tomar os rebaixamentos  $s_1 \dots s_n$  para os vários patamares  $Q_1 \dots Q_n$  e para os tempos  $t_1 \dots t_n$

2) construir uma recta  $s_n / Q_n = f(Q_n)$  para cada valor de  $t_1 \dots t_i$ . Calcular, graficamente, C e  $A_i$ ;

2a) em alternativa ao método gráfico calcular a equação (10) por regressão linear;

3) tomar pares de valores de A correspondentes a pares de rectas cujos valores C sejam mais próximos;

4) calcular o valor de T pela equação (13).

Nesta interpretação devem evitar-se os pares de rectas que estejam muito juntas, isto é, as rectas cujos valores de  $A_i$  sejam muito próximos, pois podem conduzir a resultados anómalos se  $A_i - A_j$  for próximo do zero.

Na extensão para cálculo automático introduziram-se as seguintes modificações:

- 1) calcular os parâmetros  $A_i$  e  $C_i$  para todos os tempos de medição de rebaixamento disponíveis;
- 2) ordenar os pares de rectas pelo valor crescente das diferenças  $C_i - C_j$ ;
- 3) definir, por opção do operador em tempo real, o número de pares que devem ser considerados começando pelas menores diferenças;
- 4) eliminar, de entre estes, a metade que apresenta menores valores da diferença  $A_i - A_j$ ;
- 5) calcular  $T$  para todos os pares;
- 6) calcular valores médios de  $T$  e  $C$ .

No trabalho que serviu de base a este método está ainda considerada a determinação de uma estimativa para o valor do coeficiente de armazenamento. O programa de computador desenvolvido faz, igualmente, o cálculo deste parâmetro. Para a justificação do método remete-se o leitor para o trabalho citado (NAHM, 1980).

## 5.2 - Método II

Retomando a equação (5) vamos escrevê-la da forma seguinte:

$$s(t) = \frac{1}{4\pi T} \left[ \sum_{i=1}^k \Delta Q_i \ln(t-t_i) + \ln T \sum_{i=1}^k \Delta Q_i + \alpha \sum_{i=1}^k \Delta Q_i \right] + CQ^n \quad (14)$$

onde

$$\alpha = \ln \frac{2,25}{Sr_c^2}$$

Tendo em conta que  $\sum_{i=1}^k \Delta Q_i = Q$  vem:

$$s(t) = \frac{1}{4\pi T} \left[ \sum_{i=1}^k \Delta Q_i \ln(t-t_i) + Q \ln T + \alpha Q \right] + CQ^n \quad (15)$$

Note-se que é impossível estimar, em separado, os parâmetros  $S$  e  $r_c$  dado que estes apenas figuram numa única expressão.

Assim, os parâmetros a estimar são:  $T$ ,  $\alpha$ ,  $C$  e  $n$ .

A partir de  $\alpha$  calcula-se  $Sr_c^2$ . A obtenção de  $S$  ou  $r_c$  necessita de um dado suplementar, ou  $S$  determinado por um ensaio normal com observações num piezómetro ou uma estimativa de  $r_c$ .

Para evitar grandes diferenças na ordem de grandeza dos elementos da matriz resolvente usou-se no termo  $CQ^n$  o caudal em  $m^3/min$ , o que permite substituir o parâmetro  $C$  por um novo valor muito maior  $C' = C \times 1440^n$ .

Usando a metodologia já descrita em 4 tem-se uma equação matricial com  $np = 4$  e onde as derivadas parciais são:

$$\begin{aligned} \frac{\partial s}{\partial T} &= -\frac{s^*(t)}{T} + \frac{Q}{4\pi T^2} \\ \frac{\partial s}{\partial \alpha} &= \frac{Q}{4\pi T} \\ \frac{\partial s}{\partial C} &= Q^n \\ \frac{\partial s}{\partial n} &= CQ^n \ln Q \end{aligned}$$

A fim de obter uma boa estimativa inicial de  $T$  e  $\alpha$  usou-se o seguinte procedimento:

a) obtém-se a transmissividade por regressão log-linear usando todas as observações feitas antes do primeiro incremento de caudal ( $t_i < t_2$ )

b) da expressão  $s(t) = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2,25 T t}{Sr_c^2}$  tira-se o valor de

$\alpha$ :

$$\alpha = \frac{4\pi T s_i}{Q} - \ln(T t_i) \text{ e } Sr_c^2 = 2,25 / \exp(\alpha) \text{ usando-se } s_i$$

e  $t_i$  correspondentes à última observação, antes do primeiro incremento de caudal.

## 5.3 - Método III

Neste método usa-se a mesma metodologia mas aplicada à equação (1).

Considera-se, portanto,  $B$  como constante, para o que os valores dos rebaixamentos usados nos cálculos se devem referir a tempos de extracção constantes.

No caso de não se usar bombagem a patamares independentes, com recuperação, os valores dos rebaixamentos correspondentes ao segundo patamar e seguintes devem ser corrigidos de acordo com a metodologia habitual (veja-se, por exemplo, CUSTÓDIO & LLAMAS, 1976 ou VILLANUEVA & IGLESIAS, 1984).

Dado que é necessário calcular três parâmetros ( $B$ ,  $C$ ,  $n$ ), deverá dispor-se de, pelo menos, três observações. No caso de se dispor apenas de duas só se podem estimar  $B$  e  $C$  considerando  $n = 2$ .

Na equação matricial, tem-se, neste método  $np = 3$  e

$$\begin{aligned} \frac{\partial s}{\partial B} &= Q \\ \frac{\partial s}{\partial C} &= Q^n \\ \frac{\partial s}{\partial n} &= CQ^n \ln Q \end{aligned}$$

#### 5.4 - Método IV

Este método permite uma boa estimativa da transmissividade mesmo em casos em que as medições, por não serem suficientemente rigorosas, não permitem a utilização de outros métodos.

Aplica-se a ensaios escalonados, isto é, ensaios em que o incremento de caudal se faz sem paragem da bomba. O método baseia-se no facto de, dentro de cada patamar de caudal, a equação (15) ser redutível à equação de uma recta em que a variável dependente  $s(t)$  é função linear

$$\text{de } \sum_{j=1}^k \Delta Q_j \ln(t-t_j)$$

Tem-se, então:

$s(t) = a + bZ$  onde,

$$Z = \sum_{j=1}^k \Delta Q_j \ln(t-t_j) \quad t > t_j$$

$k$  = número máximo de escalões em que se verifica a condição  $t > t_j$

$$b = 1/(4\pi T)$$

$$a = \frac{Q}{4\pi T} \ln(T+\alpha) + CQ^n$$

Assim, fazendo a regressão linear  $s_i$  em função de  $Z_i$  obtém-se o pendente  $b$  da recta que permite o cálculo de  $T$ :  $T = 1/(4\pi b)$

Se se dispuser de boas estimativas de  $n$  e  $C$ , obtidas por outro método, poder-se-á calcular o valor de  $S_r^2$ . No entanto, a experiência mostra que, quase sempre, este cálculo produz valores absurdos (COOLEY & CUNNINGHAM, 1979). Pelo contrário, os valores de transmissividade obtidos por este método ajustam-se bem aos valores verdadeiros.

#### 6 - CONCLUSÕES

Neste trabalho são propostos vários métodos de interpretação automática de ensaios em patamares de caudal com observações feitas na própria captação bombeada.

Procurou-se diversificar os métodos de forma a contemplar vários cenários possíveis. Assim, apresentam-se métodos aplicáveis ao caso de ensaios feitos com recuperação entre cada patamar e ao caso de ensaios sem interrupção (escalonados).

Na segunda parte deste trabalho (RODRIGUES et al., 1989) dão-se exemplos de aplicação destes métodos.

#### BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, C., 1987 - *Novo método para resolução da equação dos rebaixamentos em ensaios a caudal variável*. «Geolis», 1, pp. 101-103.
- BUTT, M. A. and C. D. McELWEE, 1985 - *Aquifer parameter evaluation from variable-rate pumping tests using convolution and sensitivity analysis*. «Ground-Water», 23(2), pp. 212-219.
- COOLEY, R. L. and A. B. CUNNINGHAM, 1979 - *Consideration of total energy loss in theory of flow to wells*. «Jour. of Hydrology», 43, pp. 161-184.
- CUSTÓDIO, E. & M. R. LLAMAS, 1976 - *Hidrologia Subterránea*. Tomo I, Ed. Omega, Barcelona.
- JACOB, C. E., 1946 - *Drawdown test to determine effective radius of artesian well*. «Proc. Am. Soc. Civil Engrs.», 72(5).
- LABADIE, J. W. & O. J. HELWEG, 1975 - *Step-drawdown test analysis by computer*. «Ground-Water», 13(5), pp. 438-449.
- MILLER, C. T. & W. J. WEBER, Jr., 1983 - *Rapid solution of the non linear step-drawdown equation*. «Ground Water», 21(5), pp. 584-588.
- NANAM, G. Y., 1980 - *Estimating transmissivity and well loss constant using multirate test data from a pumped well*. «Ground Water», 18(3), pp. 281-285.
- RODRIGUES, J. D., C. ALMEIDA & A. R. S. LOPES, 1989 - *Interpretação automática de ensaios em patamares de caudal. II - Aplicações*. (Nesta publicação.)
- RORABAUGH, M. I., 1953 - *Graphical and theoretical analysis of step-drawdown test of artesian well*. «Pros. Am. Soc. Civ. Engrs.», 79, separate 362, 23 pp.
- SHEAHAN, N. T., 1971 - *Type-curve solution of a step-drawdown test*. «Ground Water», 9(1), pp. 25-29.
- SHEAHAN, N. T., 1972 - *Discussion of well losses due to reduced formation permeability and comments on the step-drawdown test*. «Ground Water», 10(4), pp. 46-49.
- VILLANUEVA, M. M. & A. L. IGLESIAS, 1984 - *Pozos y acuíferos, técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo*. Inst. Geol. y Minero de España, Madrid, 429 pp.