

AVALIAÇÃO DE FLUXO UNIFORME E PROPRIEDADES HIDRÁULICAS DE AQUÍFEROS EM POÇOS DE GRANDE DIÂMETRO PELO MÉTODO DA CAPACIDADE ESPECÍFICA FRACTAL

João Manoel Filho¹

Resumo - uma das maiores limitações ao emprego dos métodos convencionais de análise de testes de bombeamento em poços de grande diâmetro está relacionada com a hipótese de fluxo uniforme, liberado exclusivamente do aquífero. Sabe-se que, nesse tipo de poço, a descarga liberada do aquífero varia com o tempo. Dentre os métodos disponíveis, o de Papadopulos & Cooper (1967) é um dos mais conhecidos e mais utilizados para avaliar os parâmetros do aquífero. Embora não hajam dúvidas quanto à transmissividade (T), a estimativa de um valor confiável do coeficiente de armazenamento (S), por esse método, é controversa. O tempo de bombeamento necessário para cessar o efeito da água liberada do armazenamento no poço, é inversamente proporcional à transmissividade. Como os poços de grande diâmetro são geralmente construídos em aquíferos pouco profundos e de baixa transmissividade, esse tempo é quase sempre longo demais e não se justifica na prática. Este trabalho sugere o método da capacidade específica fractal para avaliar o fluxo uniforme liberado do aquífero. Conhecido esse fluxo, os parâmetros do aquífero podem ser avaliados por qualquer um dos métodos clássicos a depender das condições hidrogeológicas. Exemplos de casos ilustram o método proposto e comprovam o erro cometido no valor do coeficiente de armazenamento pelo método de Papadopulos & Cooper (op.cit).

Palavras-chave - fractal, poço amazonas, capacidade específica.

¹ Universidade Federal de Pernambuco – CTG – DEMINAS – LABHID. Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n, 4º andar - 50740-530 Cidade Universitária – Recife- PE. Fone/Fax: (081) 271 8239. E-mail: jmfilho@elogica.com.br. Tema: Hidrogeologia Regional – identificação de parâmetros dos aquíferos.

INTRODUÇÃO

A solução gráfica proposta por Papadopolus & Cooper (1967), para poços de diâmetro finito em aquíferos confinados não drenantes, baseada no método de Theis (1935), consiste, como se sabe, de uma família de curvas padrão em escala log-log, com trechos retilíneos aproximadamente paralelos, que correspondem ao período em que a maior parte da água bombeada é liberada do armazenamento no poço. À medida que o percentual de água liberada do armazenamento do poço vai diminuindo, os trechos retilíneos se encurvam e se aproximam da curva padrão de Theis (figura 1).

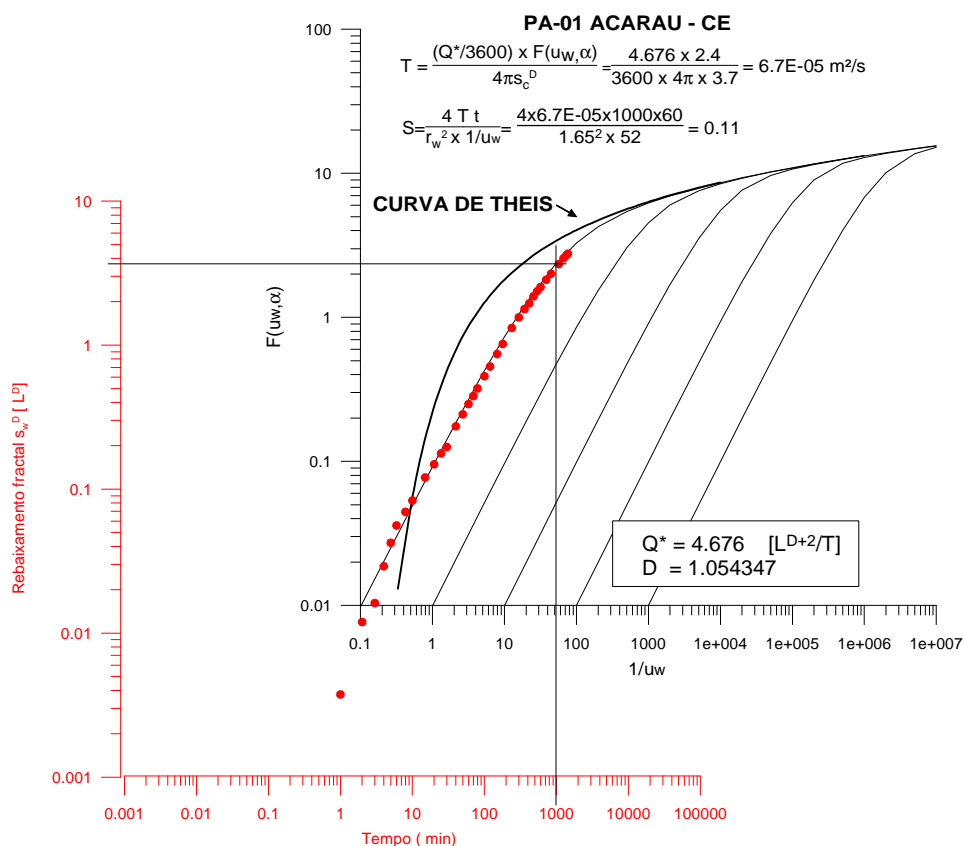


Fig. 1. Ilustração do método gráfico de Papadopolus & Cooper 1967, para fluxo uniforme bombeado de um poço de grande diâmetro. Notar que a curva de Theis não foi alcançada e que o tempo necessário para isso seria da ordem de 12 dias. O coeficiente de armazenamento de armazenamento, neste caso, não é confiável. (Dados de PLANAT-CAGECE, 1976 ACARAU – CE).

A rigor esse método somente fornece valores confiáveis dos parâmetros hidráulicos, transmissividade e armazenamento do aquífero, depois de atingida a curva de Theis. Sabe-se que os poços de grande diâmetro são geralmente escavados em aquíferos de

pequena espessura e baixa transmissividade, e que os testes de bombeamento quase nunca atingem o tempo necessário para que o efeito do armazenamento no poço seja desprezível. Isto só acontece após um tempo $t \geq 25 r_w^2 / T$, que pode ser muito longo se a transmissividade do aquífero for muito baixa. Embora esse problema afete muito pouco a transmissividade, não resta dúvida de que compromete seriamente o valor do coeficiente de armazenamento. Por esse motivo não foram poucos os pesquisadores que propuseram métodos de análise de testes de bombeamento em poços de grande diâmetro visando superar esse problema.

Herbert & Kitching (1981), assinalam que na Índia, na região dos basaltos Deccan, onde “tipicamente”, os poços escavados possuem diâmetro de 4 m e as transmissividades são de 10 m²/dia, o tempo mínimo de bombeamento requerido para a obtenção de valores confiáveis de armazenamento, pelo método de Papadopulos & Cooper, seria de 10 dias. Nos elúvios e alúvios do nordeste do Brasil, onde os poços amazons apresentam diâmetro de 3 m e aquíferos transmissividades na faixa de 150 a 4,5 m²/dia, esse tempo pode variar de aproximadamente 9 horas a 12 dias.

Boulton & Streltsova (1975), apresentam um método para aquífero não confinado, supondo que o poço, de diâmetro finito, é bombeado com vazão constante. A complexidade das equações e o número excessivo de parâmetros e de curvas-padrão envolvidas, dificultam obter, por superposição, uma única solução.

Zdankus (1974), propõe uma solução analítica baseada na aproximação logarítmica de Jacob (1950), mas adota a hipótese de uma condutividade hidráulica variável com a profundidade. Além disso, existe um erro no cálculo da vazão liberada do aquífero no exemplo 3 apresentado por Zdankus (1974), que não leva em conta a variação negativa do rebaixamento dentro do poço após as primeiras 4 horas de bombeamento (tabela 3 página 316).

Rushton & Holt (1981), sugerem soluções analíticas e numéricas, baseadas na equação de Theis (1935), com resultados praticamente idênticos em aquíferos confinados.

Em geral, nos métodos conhecidos, quando o tempo é considerado como variável contínua, a descarga que aparece nas expressões do rebaixamento é a vazão bombeada do poço, que por hipótese, deve ser constante (ex. Papadopulos & Cooper, 1967; Boulton & Streltsova, 1975 op. cit.). Quando o tempo é tomado como variável discreta (ex. Zdankus, 1974 op. cit.; Patel & Mishra, 1984) as descargas liberadas do poço e do

aqüífero são consideradas, dentro de cada intervalo de tempo, constantes individualizadas.

Butt & McElwee (1985), apresentam um método de avaliação de parâmetros hidráulicos em testes de bombeamento com descarga variável. Baseia-se em convolução e análise de sensibilidade. Segundo os autores, foi testado com bons resultados usando dados sintéticos e dados de campo, mas foi concebido para poços de diâmetro infinitesimal.

Nenhum dos métodos anteriores aborda o problema da descarga bombeada variável, e muito menos da descarga variável liberada do aqüífero, em um poço de grande diâmetro. É muito freqüente, na região semi-árida do nordeste do Brasil, a ocorrência de descargas variáveis nos testes de bombeamento. Isto porque dependendo das condições da bomba, a sua velocidade pode variar, se não ocorrer um ajuste automático dessa velocidade, com o declínio da carga hidráulica.

Para solucionar o problema da *variabilidade da descarga* $Q_a(t)$, liberada do aqüífero em testes de bombeamento, propõe-se o método da capacidade específica fractal (Manoel Filho, 1996), através do qual é possível estimar um fluxo uniforme, associado ao rebaixamento medido no teste. Conhecido o fluxo uniforme liberado do aqüífero, admite-se que as propriedades hidráulicas podem ser avaliadas com boa precisão por qualquer um dos métodos clássicos, a depender do tipo de aqüífero e das condições de penetração do poço.

VAZÃO BOMBEADA

Sabe-se que os dados de campo medidos em um teste de produção correspondem a valores discretos de tempo t_i , rebaixamento s_{wi} e vazão bombeada, Q_i . Dessa última, uma parte Q_{wi} é liberada do poço e o restante Q_{ai} , é liberado do aqüífero, ou seja:

$$Q_i = Q_{wi} + Q_{ai} \quad (1)$$

A vazão liberada do poço, cujo raio r_c , na zona de rebaixamentos, pode ser maior ou igual ao raio r_w , do poço no aqüífero, é dada pela equação:

$$Q_{wi} = \bar{\delta} r_w^2 \frac{\Delta s_{wi}}{\Delta t_i} \quad (2)$$

na qual Δs_{wi} é a variação do rebaixamento medido no poço, no intervalo de tempo Δt_i . Assim, a vazão Q_{ai} , liberada do aquífero, pode ser avaliada pela equação (1).

Em geral, sobretudo nos primeiros instantes de um teste de bombeamento em poço de grande diâmetro, ocorrem discrepâncias nos valores da descarga liberada do armazenamento no poço, calculada pela equação (2). Isso decorre de imprecisões nas medidas de vazão e rebaixamento, na fase de maior frequência das leituras e também de oscilações no regime de funcionamento da bomba (figura 2).

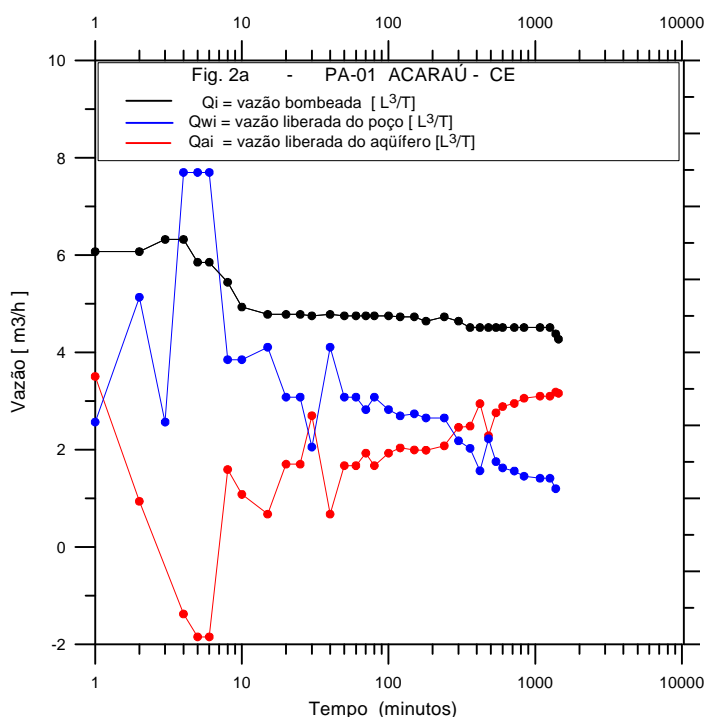


Fig. 2. Distribuição discreta da vazão bombeada e de suas componentes, liberadas do poço e do aquífero, com ruídos no sinal e valores inconsistentes. (Dados de PLANAT-CAGECE, 1976 – ACARAÚ – CE).

Associados aos ruídos presentes na curva de descarga Q_{wi} , calculada pela equação (2), podem ocorrer valores inconsistentes, caracterizados por magnitude superior à da própria vazão bombeada, contrariando a equação (1). Valores anômalos podem também resultar de irregularidades da seção do poço na zona de rebaixamentos, devido à presença de cavidades e/ou saliências.

Garante-se porém a consistência dos dados calculando as componentes da descarga bombeada através da equação (2) escrita sob a forma:

$$Q_i = \left(\frac{Q_{wi}}{Q_i} \right) Q_i + \left(\frac{Q_{ai}}{Q_i} \right) Q_i \quad \text{para } \frac{Q_{wi}}{Q_i} < 1 \quad (3)$$

Convém ainda eliminar os ruídos, isto é, “suavizar” as curvas de descarga para poder tratar o tempo como uma variável contínua. A facilidade com que hoje se dispõe de rotinas computacionais para filtragem de ruídos de um sinal “corrupto” (ex., Press et al. 1986) estimula o uso dessa técnica (figura 3).

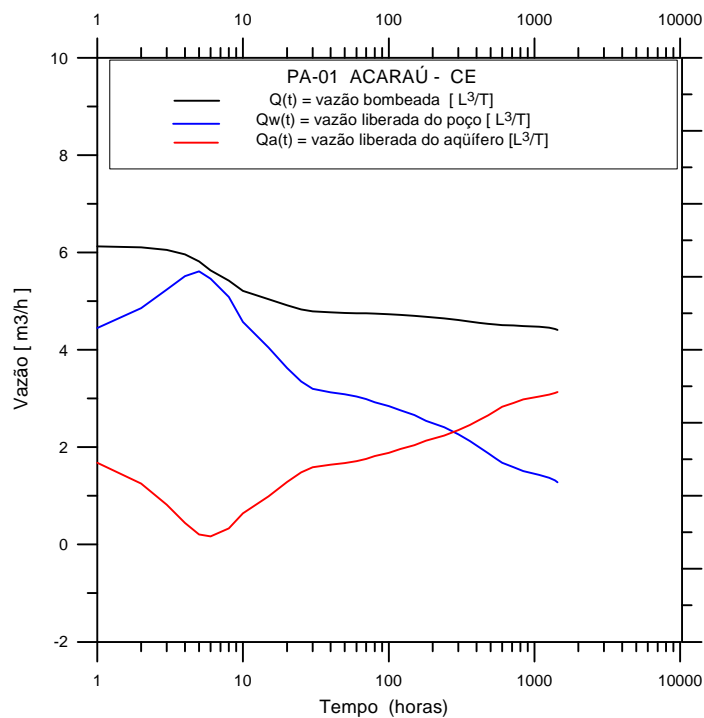


Fig. 3. Distribuição discreta consistida e “suavizada”, pela eliminação dos ruídos por filtragem, da vazão bombeada e de suas componentes. (Dados de PLANAT-CAGECE, 1976 – ACARAU – CE).

Assim, a vazão bombeada, Q , não necessariamente constante, é composta de duas variáveis temporais: uma descarga $Q_w(t)$, liberada do armazenamento do poço e uma descarga $Q_a(t)$, liberada do armazenamento do aquífero.

$$Q = Q_w(t) + Q_a(t) \quad (4)$$

CAPACIDADE ESPECÍFICA FRACTAL

Em aquífero confinado não drenante, quando a vazão bombeada Q , é constante, admite-se que a capacidade específica do poço $y = Q/s_w$, que também se escreve

$y = Q s_w^{-1}$, (inversamente proporcional ao rebaixamento s_w), pode ser ainda expressa pela reta logarítmica:

$$\log y = -\log s_w + \log Q \quad (5)$$

que possui declividade -1 e ordenada na origem $\log Q$.

Se a vazão bombeada não é constante, a razão $y = Q(t)/s_w$ pode ser aproximada por uma capacidade específica y^* , chamada capacidade específica fractal, definida pela relação (Manoel Filho, 1996 op.cit)

$$y^* = \frac{Q^*}{s_w^D} \quad (6)$$

na qual Q^* é um fluxo uniforme de dimensão $[L^{D+2}/T]$; s_w^D é um rebaixamento de dimensão $[L^D]$; D é um índice ou expoente, chamado dimensão fractal. A variável y^* , embora tenha dimensão $[L^2/T]$ é chamada de capacidade específica fractal porque depende da dimensão fractal D , à qual está associado o fluxo uniforme Q^* .

A equação (5) assume, neste caso, a forma mais geral:

$$\log y^* = -D \log s_w + \log Q^* \quad (7)$$

Os parâmetros D e Q^* podem ser estimados por meio de um simples ajuste de potência, que transforma uma vazão variável numa vazão constante equivalente, com a qual se estimam as propriedades hidráulicas usando os métodos convencionais.

Por indução, admite-se que a equação (8) também se aplica à descarga $Q_a(t)$, liberada do aquífero, ou seja:

$$\log y_a^* = -D_a \log s_w + \log Q_a^* \quad (8)$$

A vazão uniforme liberada do armazenamento do aquífero, Q_a^* , aproxima-se da vazão uniforme bombeada, Q^* , à medida que diminui o efeito da água armazenada no poço. Portanto, em regime transiente, deve prevalecer a condição:

$$y_a^* < y^* \quad \text{para } t > 0 \quad (9)$$

Os valores da capacidade específica y_a , observados sob efeito de fluxos verticais, evidentemente desviam-se da reta logarítmica (9). Isto precisa ser levado em conta ao efetuar-se o ajuste de potência.

REBAIXAMENTO

Em geral, os poços de grande diâmetro possuem pequena profundidade e captam aquíferos livres. Quando a água é bombeada nesse tipo de captação sempre ocorre, na parede do poço, uma perda de carga de entrada, conhecida em aquíferos livres como *face de filtração* (figura 4), para a qual não existe solução analítica exata em problemas de fluxo transiente. Rushton & Singh (1987), destacam a importância dessa perda e afirmam, com razão, que a mesma não deve ser ignorada. Caso contrário a transmissividade e o coeficiente de armazenamento do aquífero ficam subestimados.

Na região Nordeste do Brasil, na maioria das vezes, os perfis litológicos dos poços escavados são desconhecidos e por isso nem sempre é possível conhecer em detalhe as condições hidrogeológicas.

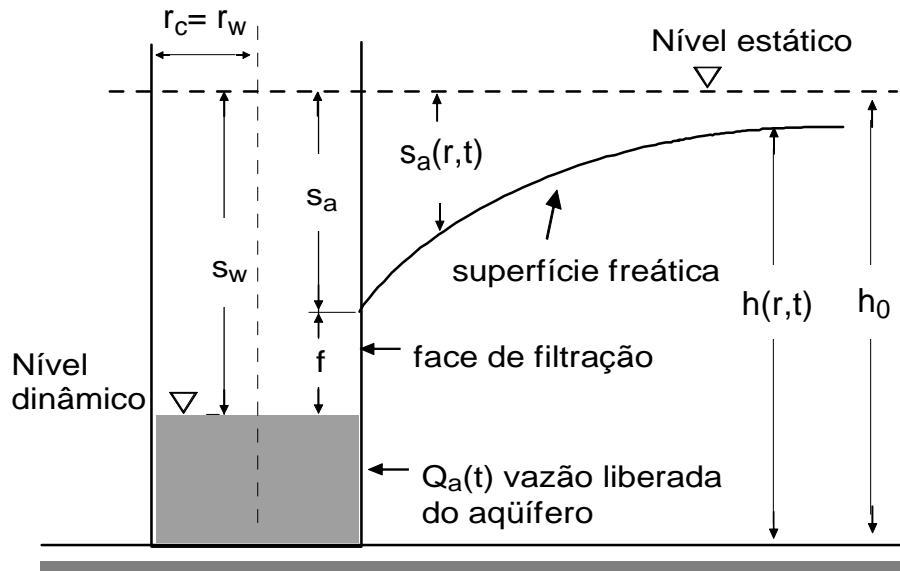


Fig 4. Poço de grande diâmetro com perda de entrada singular, ou face de filtração em aquífero livre.

Às vezes não se sabe, por exemplo, se os poços são total ou parcialmente penetrantes, o que certamente dificulta a utilização de métodos mais precisos na avaliação das propriedades hidráulicas dos aquíferos.

Para esse tipo de captação, geralmente construído em aquíferos livres, a perda na parede do poço, associada a fluxos verticais, pode ser compensada usando a correção de Jacob (1944), que neutraliza o efeito da redução de espessura saturada. Isto é feito substituindo o rebaixamento s_w , por:

$$s_c = s_w - \frac{s_w^2}{2h_0} \quad (10)$$

sendo, h_0 a espessura saturada inicial.

A perda no poço pode ser então caracterizada pela expressão:

$$s_w = s_c + f \quad (11)$$

sendo: $s_w = s_w(r_w, t)$, o rebaixamento total no poço; $s_c = s_c(r_w, t)$ o rebaixamento equivalente no aquífero confinado, produzido por fluxo laminar, na parede do poço, ou seja, à distância $r = r_w$.

EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

Os exemplos a seguir, aplicam o método proposto, com a técnica de superposição de curvas-padrão, e têm por objetivo mostrar o erro que se comete na estimativa do coeficiente de armazenamento, se o método de Papadopoulos & Cooper (1967), for usado de forma imprópria (ex., apenas porque o poço apresenta grande diâmetro).

Exemplo 1: aquífero livre, suposto confinado após correção de Jacob, armazenado no manto eluvial do granito Meruoca. Nesse aquífero, com espessura saturada inicial de 2.52 m, realizou-se um teste de 24 horas com vazão constante de 3.03 m³/h, em um poço com 5.0 m de profundidade e 2.5 m de diâmetro, na cidade de Alcântaras – CE.

As capacidades específicas y , para a vazão bombeada e y_a , para a vazão liberada do aquífero, são aproximadas pelas capacidades específicas fractais y^* e y_a^* dadas, respectivamente, pelas retas logarítmicas (figura 5):

$$\begin{aligned} \log y^* &= -1 \log s_c + \log 3.03 & \Rightarrow & D = 1 \quad \text{e} \quad Q^* = 3.03 \\ \log y_a^* &= -0.58803 s_c + \log 2.98 & \Rightarrow & D_a = 0.58803 \quad \text{e} \quad Q_a^* = 2.98 \end{aligned} \quad (12)$$

Usando a vazão uniforme **bombeada**, os parâmetros obtidos pelo método gráfico de Papadopoulos & Cooper (1967), foram: $T = 3.68 \times 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{s}$ e $S = 0.17$ (figura 6). Usando a vazão uniforme liberada do **aquífero**, nota-se que a curva de rebaixamento fractal versus tempo ajusta-se diretamente à curva de Theis (1935), e leva a estimar os valores: $T = \quad \times \quad^{-4} \text{ m}^2 / \text{s}$ e $S = 0.05$ (figura 7).

Exemplo 2: aquífero livre, com espessura saturada inicial de 6.24 m, simulado como livre com drenagem retardada. Em um poço com 9.0 m de profundidade e 3.0 m de diâmetro, na cidade de Iracema – CE, foi realizado um teste de 24 horas com vazão constante de 37.85 m³/h.

y , para a vazão bombeada e y^*

do aquífero, são aproximadas pelas capacidades específicas fractais y^* e y_a^* respectivamente, pelas retas logarítmicas (figura 8):

$$\begin{aligned} -1 \log y_c + 37 &\Rightarrow y = 1 & y &= 37. \\ y_a^* = -0.445543 + \log s_c &\Rightarrow y_a^* = 0.445543 & y_a^* &= .294 \end{aligned}$$

y_a versus s_c , cujos pontos, na porção terminal, exibem desvio significativo da reta logarítmica.

Usando a vazão uniforme **bombeada**, obtém-se pelo método de Papadopoulos & Cooper (1967), com correção de Jacob, no aquífero influenciado por fluxo vertical: $T = 1.39 \times 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{s}$ e $S = 0.44$. (figura 9). Pelo método de Neuman (1975), usando a vazão uniforme liberada **do aquífero** incluindo fluxo vertical, os valores obtidos foram: $T = 1.43 \times 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{s}$ e $S = 0.14$ (figura 10).

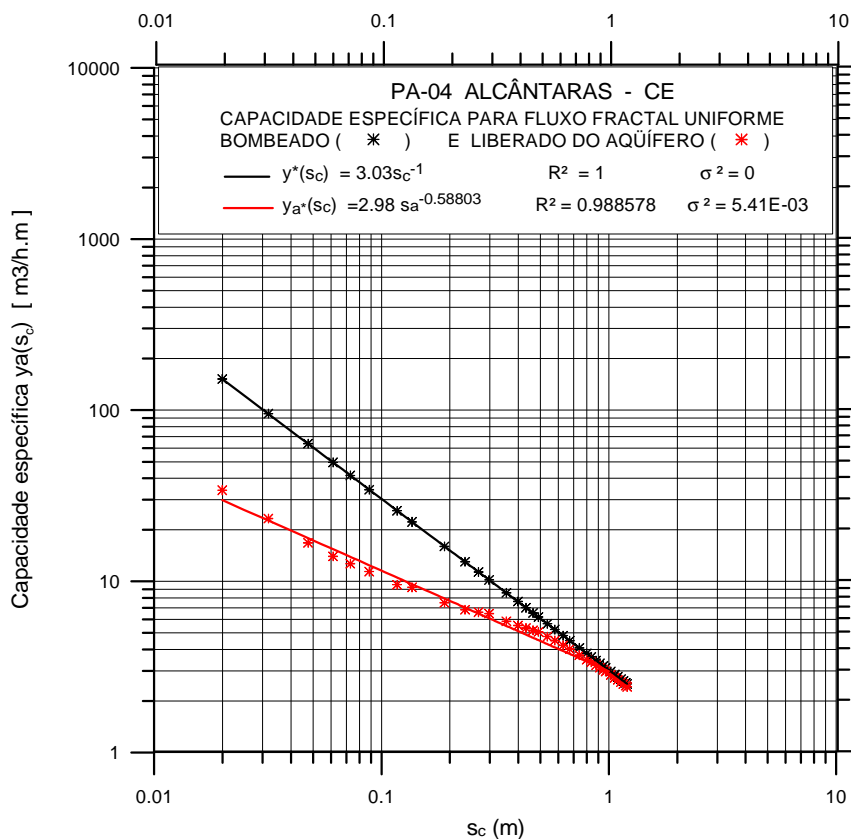


Fig. 5. Aproximação da capacidade específica y , pela capacidade específica fractal y^* , para a vazão bombeada e aproximação da capacidade específica y_a , pela capacidade específica fractal y_a^* , para a vazão liberada do aquífero. Dados de PLANAT-CAGECE 1981. – ALCÂNTARAS – CE.)

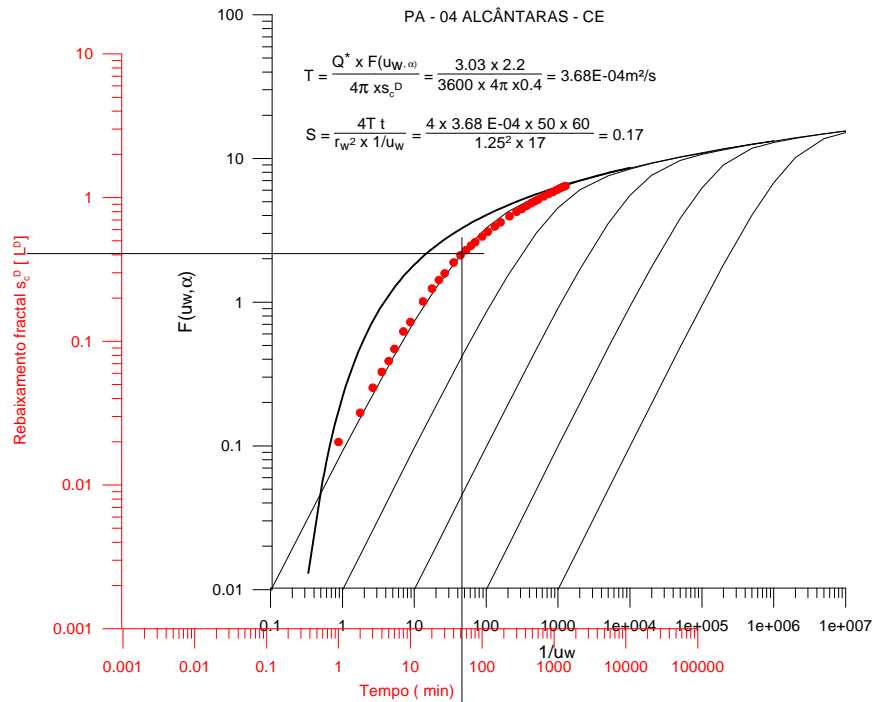


Fig. 6. Estimativa dos parâmetros hidráulicos pelo método de Papadopoulos & Cooper (1967), usando o fluxo uniforme bombeado do poço. Dados de PLANAT-CAGECE 1981. – ALCANTARAS – CE.)

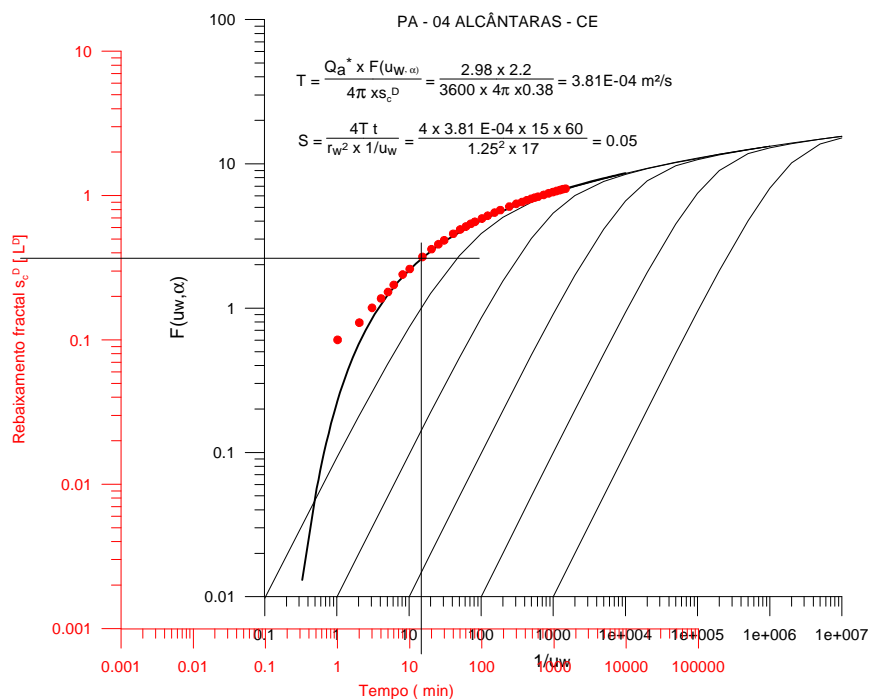


Fig. 7. Estimativa dos parâmetros hidráulicos pelo método de Theis (1935), usando o fluxo uniforme liberado exclusivamente do armazenamento do aquífero. Dados de PLANAT-CAGECE 1981. – ALCANTARAS – CE.)

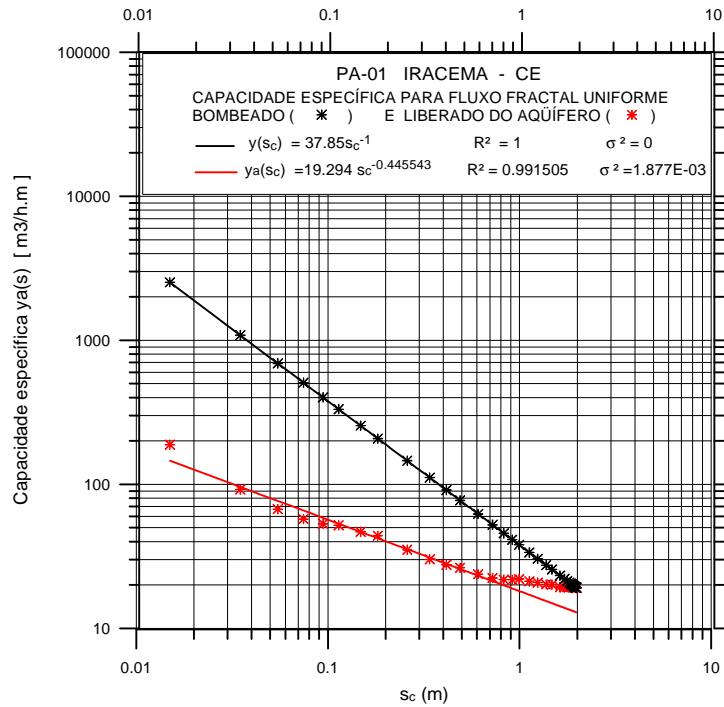


Fig. 8. Aproximação da capacidade específica y , pela capacidade específica fractal y^* , para a vazão bombeada; e da capacidade específica y_a , pela capacidade específica fractal y_a^* , da vazão liberada do aquífero, com efeito de fluxo vertical. Dados de PLANAT-CAGECE 1978. – IRACEMA – CE.)

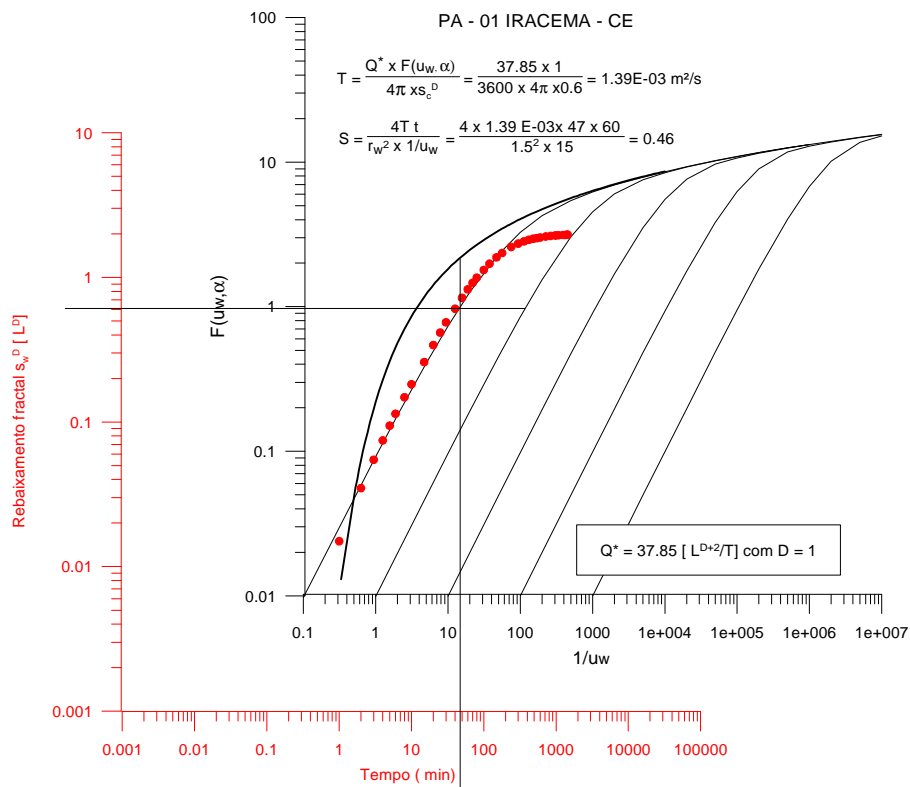


Fig. 9. Estimativa dos parâmetros hidráulicos pelo método de Papadopoulos & Cooper (1967), em aquífero livre, suposto confinado, usando correção de Jacob, e fluxo uniforme bombeado do poço. Dados de PLANAT-CAGECE 1978. – IRACEMA – CE.)

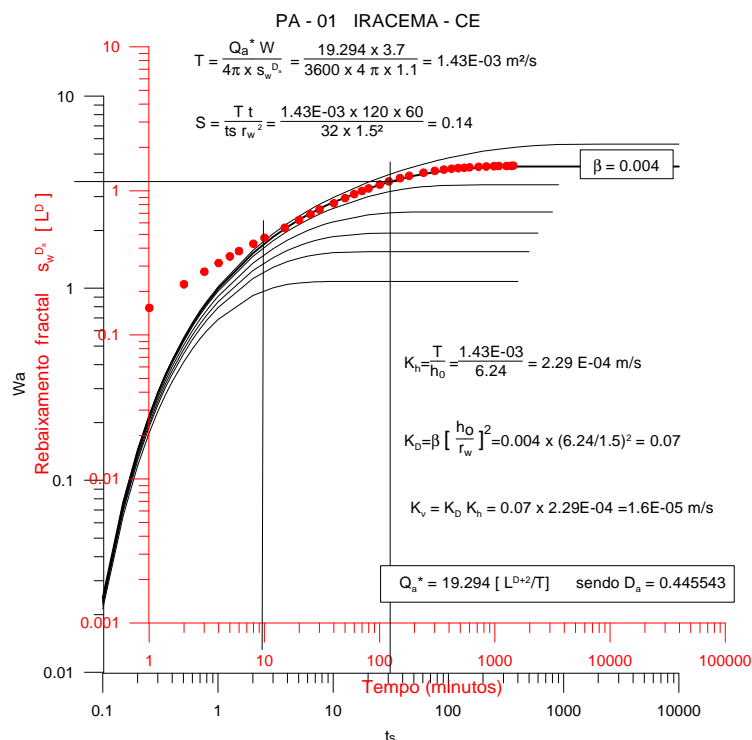


Fig. 10. Estimativa dos parâmetros hidráulicos pelo método de Neuman (1975) usando o fluxo uniforme liberado do aquífero, suposto livre, com drenagem retardada, no poço PA-01 Iracema-CE. Dados de PLANAT-CAGECE 1978. – IRACEMA – CE.)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos, pelo método de Papadopoulos & Cooper (1967), aplicado de forma imprópria, ($t < 25 r_w^2 / T$), e por outros métodos, aplicados de forma adequada às condições hidrogeológicas, revelam, nos dois exemplos, praticamente o mesmo valor de T (tabela 1). Já o coeficiente S , estimado pelo método de Papadopoulos-Cooper, assume, no primeiro exemplo, valor 3.4 vezes maior do que o estimado pelo método de Theis e, no segundo exemplo, valor 3.14 vezes maior do que o estimado pelo método de Neuman.

| Exemplo | Método | T m^2 / s | S | \bar{a} m^2 / s | Figura |
|---------|-----------------------------|-----------------------|------|------------------------|--------|
| 1 | Papadopulos & Cooper (1967) | $3,68 \times 10^{-4}$ | 0.17 | 0.0022 | 6 |
| | Theis (1935) | $3,81 \times 10^{-4}$ | 0.05 | 0.0076 | 7 |
| 2 | Papadopulos & Cooper (1967) | $1,39 \times 10^{-3}$ | 0.44 | 0.0032 | 9 |
| | Neuman (1975) | $1,43 \times 10^{-3}$ | 0.14 | 0.0110 | 10 |

Tabela 1. Parâmetros hidráulicos avaliados nos dois exemplos apresentados

As implicações dos resultados na exploração do aquífero, podem ser muito significativas, como sugere a comparação das estimativas de raio de influência e de recarga média anual necessária para manter o equilíbrio da exploração do aquífero, resumidas nas tabela 2.

Admite-se que no aquífero de difusividade \bar{a} , a exploração sustentável da descarga Q , [L^3/T], no tempo t , exige uma recarga média \bar{u} , [L], sobre a superfície $A = \pi R^2$, [L^2], com raio de influência $R = 1.5 \sqrt{\bar{a} t}$ [L], sendo a recarga expressa por: $\bar{u} = \frac{Qt}{\delta R^2}$.

| Exemplo | Método | \bar{a} (m^2/s) | s_c (m) | R (m) | \bar{u} (mm) | Figura |
|---------|-----------------------------|--------------------------|--------------|------------|-------------------|--------|
| 1 | Papadopulos & Cooper (1967) | 0.0022 | 1.38 | 391 | 36 | 6 |
| | Theis (1935) | 0.0076 | 1.48 | 735 | 10 | 7 |
| 2 | Papadopulos & Cooper (1967) | 0.0032 | 1.83 | 473 | 125 | 9 |
| | Neuman (1975) | 0.0110 | 1.97 | 883 | 36 | 10 |

Tabela 2. Comparação de valores de rebaixamento, raio de influência e recarga estimados para a sustentabilidade da exploração após 1 ano de bombeamento, com vazão de $2 \text{ m}^3/\text{h}$, no exemplo 1 e vazão de $10 \text{ m}^3/\text{h}$ no exemplo 2,

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Boulton, N. S. & Streltsova, T.D., 1975. New equations for determining the formation constants of an aquifer from pumping test data. *Water Resources Research.*, 11(1): 148-153.

- Butt, M. A & McElwee, C. D. 1985. Aquifer parameter evaluation from variable-rate pumping tests using convolution and sensitivity analysis. *Ground Water* . v. 23 nº 2, p. 212-219.
- Herbert R. & Kitching, R. 1981. Determination of aquifer parameters from large-diameter dug well pumping tests. *Ground Water*. v. 19. nº 6. P.593-599.
- Jacob, C. E. 1944. Notes on determining permeability by pumping tests under water-table conditions. U.S. Geological Survey Mimeo Report.
- Jacob, C. E. 1950. *Flow of ground water. Engineering Hydraulics*. John Wiley & Sons, New York.
- Manoel Filho, J. 1996. Modelo de dimensão fractal para avaliação de parâmetros hidráulicos em meio fissural. São Paulo. (Tese de doutoramento). Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. 197p.
- Neuman, S.P. 1975. Analysis of pumping test data from anisotropic unconfined aquifers considering delayed gravity response. *Water Resources Research*, 11(12): 329-342.
- PLANAT-CAGECE, 1976. Captação de Acaraú. Testes de produção dos poços amazonas existentes. Relatório Técnico. Inédito.
- PLANAT-CAGECE, 1978. Captação de Iracema. Testes de produção do poço amazonas PA-01. Relatório Técnico. Inédito.
- PLANAT-CAGECE, 1981. Captação de Alcântaras. Testes de produção dos poços amazonas existentes. Relatório Técnico. Inédito.
- Papadopoulos, I. S. & Cooper, H. H. Jr. 1967. Drawdown in a well of large-diameter. *Water Resources Research*. v. 9, nº 1, p. 241-244.
- Patel, S. C. & Mishra, G. C. 1983. Analysis of flow to a large diameter well by discrete kernel approach. *Ground Water*. v. 21, nº 5, p. 573-576.
- Press, W. H. ; Flannery, B. P. ; Teukolsky, S. A.; Vetterling, W. T. 1986. Numerical recipes: the art of scientific computing. Cambridge University Press. chapters 12–13. 818 p.
- Rushton, K. R. & Singh, V. S. 1987. Pumping test analysis in large-diameter wells with a seepage face by kernel function technique. *Ground Water*. v. 25. nº 1. p.81-90.
- Rushton, K. R. & Holt, S. M. 1981. Estimating aquifer parameters for large-diameter wells. *Ground Water*. v. 19, nº 5. p. 505-509.

- Theis, C. V. 1935. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. *Trans. Am. Geoph. Union.* 16. p. 519-524.
- Zdankus, T.N. 1974. Analysis of shallow hard rock well pumping and recovery test data. *Ground Water.* v. 12. n° 5 p. 310-317.