

ALGUMAS OBSERVAÇÕES SOBRE A TRANSMISSIVIDADE EM AQUIFEROS DA FORMAÇÃO BAURU

Moacyr de CARVALHO *

RESUMO

O presente trabalho versa sobre a caracterização de aquíferos que ocorrem na Formação Bauru, através da definição da transmissividade.

Discute-se o comportamento hidrogeológico da Formação, quando considerada a sua interação com formações subjacentes e, também, a possibilidade de levantarem-se informações isoladas dos aquíferos do Bauru, pelos métodos disponíveis e em que condições isto seria possível.

A investigação desenvolvida fundamenta-se principalmente em dados de registros e de relatórios constantes dos arquivos do Instituto Geológico.

ABSTRACT

This paper reports the characterization of aquifers which occur in the Formação Bauru, through definition of the transmissivity.

The hydrological behaviour of the Formação Bauru discussed, is considered an interaction with underlying geological structures and also the possibility of isolated informations obtention from Bauru aquifers through available methods and in which conditions this should be possible.

The developed investigation is established principally from the registered data from Instituto Geológico.

1 INTRODUÇÃO

A exploração de água subterrânea no Estado de São Paulo tem assumido grandes proporções nestes últimos anos, o mesmo acontecendo em várias regiões do País e do mundo. Por exemplo, nos Estados Unidos o uso da água subterrânea atinge 20% do total nacional, bombeada de mais de 14.000.000 de poços. Também nesse mesmo país, é considerável a pesquisa desenvolvida para o conhecimento de aquíferos e definição de parâmetros destinados a aplicações práticas, obtidos através de inúmeras equações fundadas em dados experimentais.

Não obstante o empenho aplicado à solução de problemas envolvendo aquíferos, a contribuição brasileira no setor é pouco significativa, uma vez que pesquisas cobrindo necessidade de conhecimento de

aquíferos não são realizadas, em geral, por restrições financeiras.

Anualmente várias dezenas de poços são perfurados no país, sem a preocupação de obtenção de informações que caracterizem as rochas ou formações aquíferas.

Somente o Instituto Geológico do Estado de São Paulo perfura, em média, 10 poços por ano, dos quais resultam informações incompletas, que dificilmente podem ser utilizadas para a obtenção de outras fundamentais à definição de aspectos hidráulicos de interesse.

Considerações gerais

As pesquisas sobre aquíferos têm-se concentrado na obtenção de formulações matemáticas, via experimental, das quais têm derivado métodos simplificados com a finalidade de reduzir custos sem perda con-

* Instituto Geológico — Caixa Postal 8772 — 01000 São Paulo, SP, Brasil.

siderável da precisão necessária dos parâmetros calculados. Dentre estes parâmetros destacam-se a transmissividade e o coeficiente de armazenamento, que podem ser obtidos diretamente de ensaios de campo pela análise de dados tempo-abaixamento e

de vazões no regime equilibrado ou não, durante bombeamentos.

Para um poço de penetração total em aquífero confinado, a transmissividade T liga-se ao rebaixamento s , a descarga constante, pela equação:

$$s = (Q/2 \pi T) \log_e (1,123 B/r_e) + DQ^2 \quad (1)$$

s — rebaixamento

Q — vazão observada

T — transmissividade

r_e — raio efetivo do poço

D — um coeficiente de perda de carga não linear válido para $r_e/B < 0,05$

B — fator de escoamento

A equação (1) é uma modificação da equação de Theiss, proposta por Paul F. Worthington, que utiliza apenas um piezômetro de observação.

Habitualmente em perfurações executadas pelo Instituto Geológico ficam definidos, após o bombeamento de teste do poço, o rebaixamento, o tempo e as vazões medidas de intervalo a intervalo de tempo.

Se o teste de bombeamento é executado com cuidado pode-se aplicar o método do C.E Jacob, que é uma modificação da fórmula de Theiss seguinte:

$$s = (Q/4 \pi T) W(u), \text{ onde } u = r^2 S/4Tt \text{ e } W(u) \text{ exprime uma função.}$$

Quando u é suficientemente pequeno, da ordem de 0,05 ou menor, conduz a erros pouco significativos, comparado com valores obtidos com a aplicação da equação de Theiss.

O método de Jacob consiste, em princípio, na transformação da expressão:

$$s = (0,183Q/T) \log 2,25Tt/r^2S, \text{ onde se supõe } s \text{ e } t \text{ como únicas variáveis para um aquífero determinado e um ponto qualquer especificado (r constante). A quantidade } r \text{ é o afastamento do ponto considerado do eixo do poço, onde estaria colocado o piezômetro de observação.}$$

Nestas condições é possível aplicar o método que consiste na fórmula:

$$T = 0,183 Q/\Delta s$$

Δs é o declive da reta ajustada aos pontos de coordenadas (t, s) construídos em papel semilogaritmico, com o tempo t colocado na escala dos logaritmos.

Assim, nas condições consideradas, por simples análise de dados tempo-abaixamento, pode-se obter com boa aproximação a transmissividade, quando $u < 0,05$, o que se verifica após os primeiros minutos de bombeamento.

A reta ajustada aos pontos (t, s) despreza aqueles pontos obtidos nos primeiros minutos de bombeamento a descarga constante, pois aqui não se verifica a condição $u < 0,05$.

Estas notas referem-se à aplicação do método aqui discutido, em alguns poços construídos pelo Instituto Geológico na área da Formação Bauru, com a finalidade de mostrar em que condições podem-se obter algumas informações sobre os aquíferos que ali ocorrem.

Também o levantamento de dados adicionais referentes à geologia da Formação Bauru poderá oferecer uma base mais larga de interpretação de aspectos hidrogeológicos de aquíferos, onde se nota com certa frequência uma disparidade de comportamento hidráulico de poços perfurados numa ampla região daquela Unidade Geológica.

Alguns destes aspectos serão discutidos na conclusão destas notas.

2 METODOLOGIA

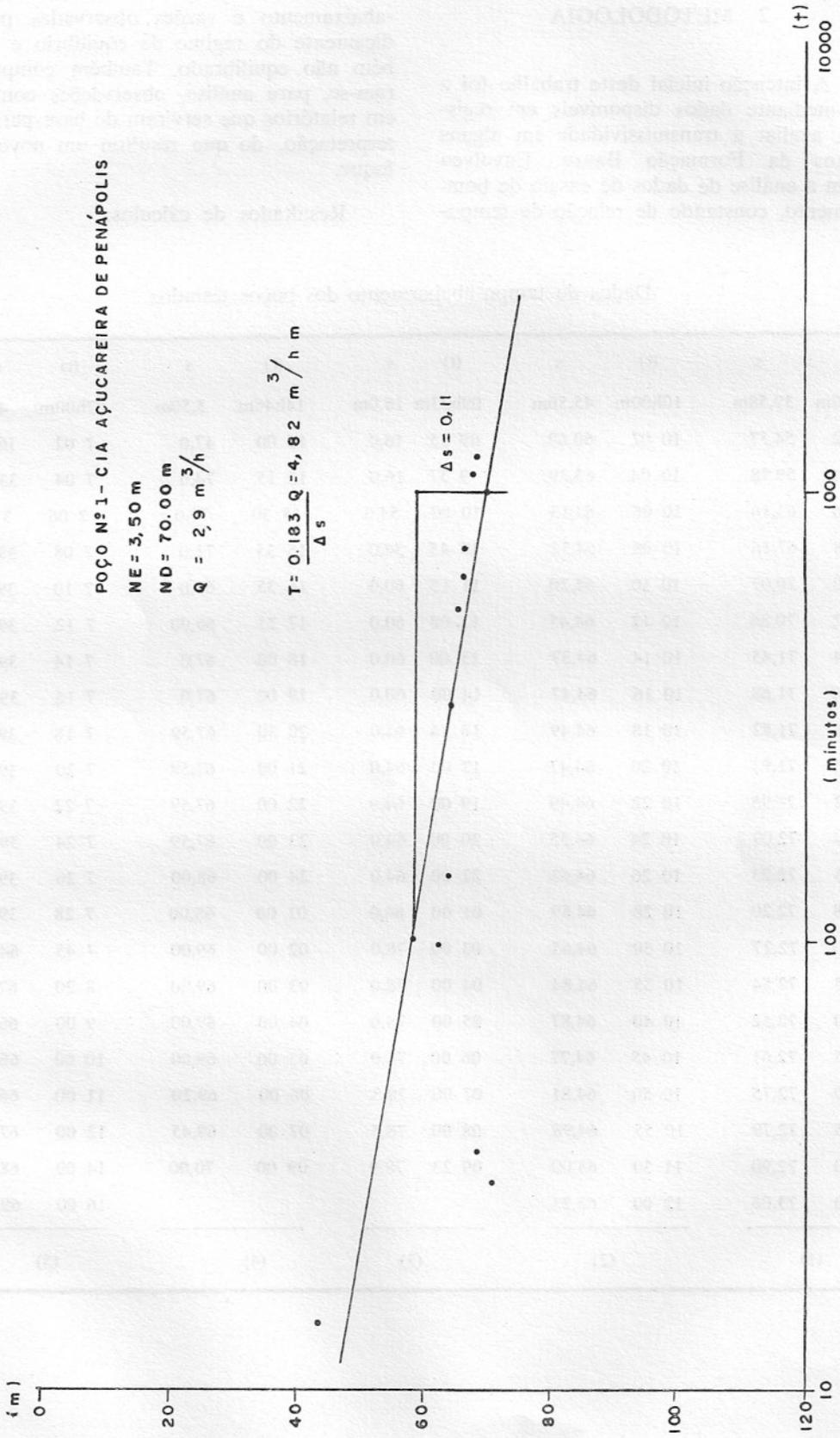
A intenção inicial deste trabalho foi a de, mediante dados disponíveis em registros, avaliar a transmissividade em alguns pontos da Formação Bauru. Envolveu assim a análise de dados de ensaio de bombeamento, constando de relação de tempo-

-abaixamento e vazões observadas periodicamente do regime de equilíbrio e também não equilibrado. Também compulsaram-se, para análise, observações contidas em relatórios que serviram de base para interpretação, do que resultou um novo enfoque.

Resultados de cálculos:

Dados de tempo-abaixamento dos poços testados

(t)	s	(t)	s	(t)	s	(t)	s	(t)	s
13h30m	39,58m	10h00m	45,56m	09h23m	16,0m	14h46m	3,50m	07h00m	4,10m
13 32	54,57	10 02	60,69	09 35	16,0	15 00	47,0	7 02	16,60
13 34	59,98	10 04	63,39	9 37	16,0	15 15	74,0	7 04	33,54
13 36	63,16	10 06	64,13	10 00	54,0	15 30	71,0	7 06	37,36
13 38	67,16	10 08	64,32	10 45	54,0	15 35	71,0	7 08	38,82
13 40	70,07	10 10	64,20	11 15	60,0	16 35	65,0	7 10	39,46
13 42	70,86	10 12	64,45	12 00	60,0	17 25	66,00	7 12	39,55
13 44	71,45	10 14	64,37	13 00	60,0	18 00	67,0	7 14	39,60
13 46	71,68	10 16	64,47	14 00	60,0	19 00	67,0	7 16	39,63
13 48	71,82	10 18	64,49	16 34	64,0	20 30	67,59	7 18	39,50
13 50	71,93	10 20	64,47	17 00	64,0	21 00	67,59	7 20	39,56
13 52	71,95	10 22	64,49	19 00	64,0	22 00	67,59	7 22	39,55
13 54	72,09	10 24	64,55	20 00	64,0	23 00	67,59	7 24	39,71
13 56	72,23	10 26	64,63	22 00	64,0	24 00	68,00	7 26	39,63
13 58	72,20	10 28	64,69	01 00	64,0	01 00	68,00	7 28	39,63
14 00	72,27	10 30	64,65	03 00	78,0	02 00	69,00	7 45	64,65
14 05	72,54	10 35	64,84	04 00	78,0	03 00	69,00	8 20	67,15
14 10	72,52	10 40	64,87	05 00	78,0	04 00	69,00	9 00	66,87
14 15	72,61	10 45	64,77	06 00	78,0	05 00	69,00	10 00	66,75
14 20	72,75	10 50	64,81	07 00	78,3	06 00	69,20	11 00	66,92
14 25	72,79	10 55	64,98	08 00	78,5	07 00	69,45	12 00	67,39
14 40	72,90	11 30	65,00	09 23	78,9	09 00	70,00	14 00	68,10
14 50	73,06	12 00	65,21					16 00	69,67
(1)		(2)		(3)		(4)		(5)	



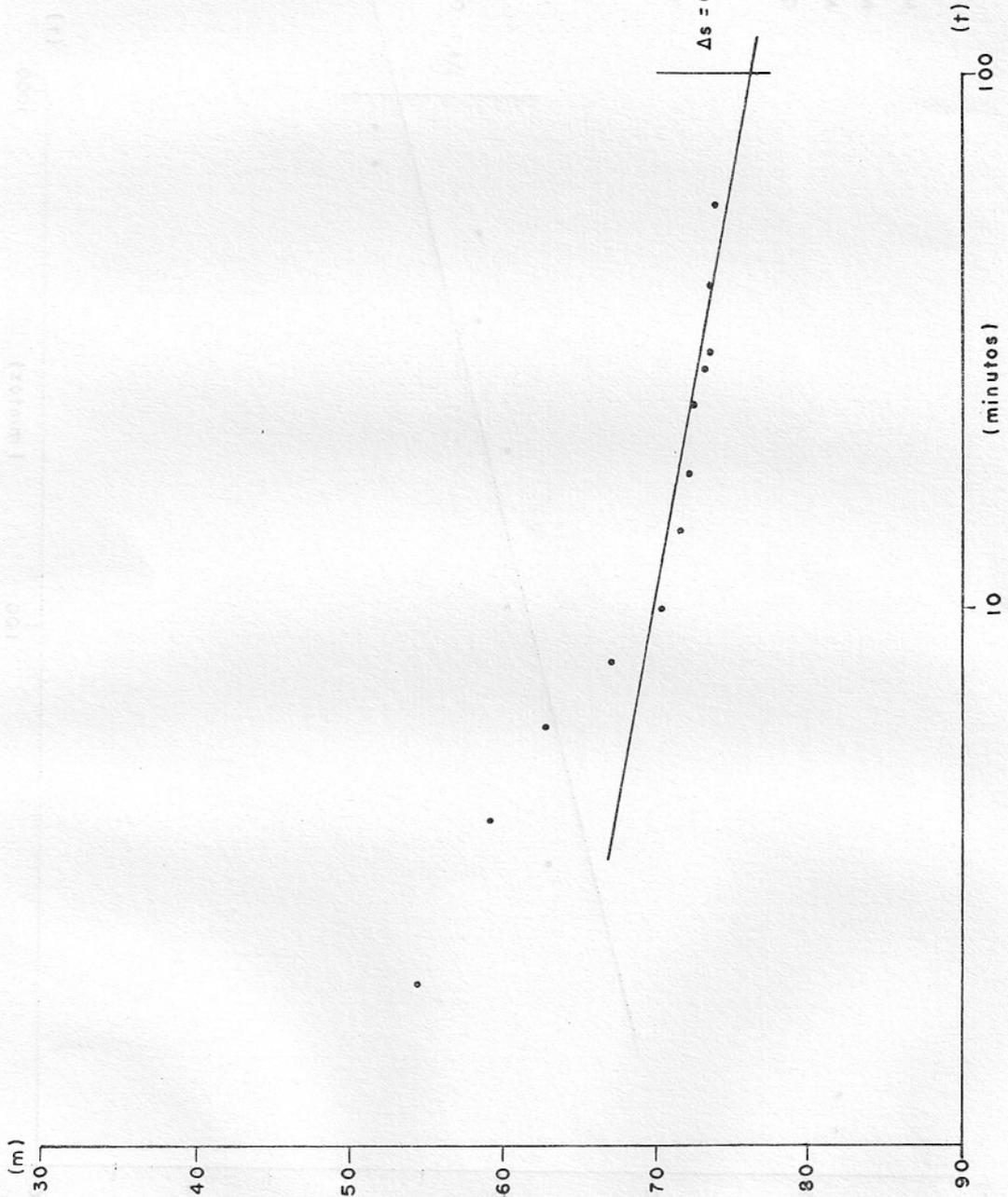
MONTE APRAZÍVEL

NE = 34.58 m

ND = 75.06 m

Q = 10 m $\frac{3}{h}$

$$T = 0,183 Q = 33,27 \frac{m^3}{h} \Delta s$$



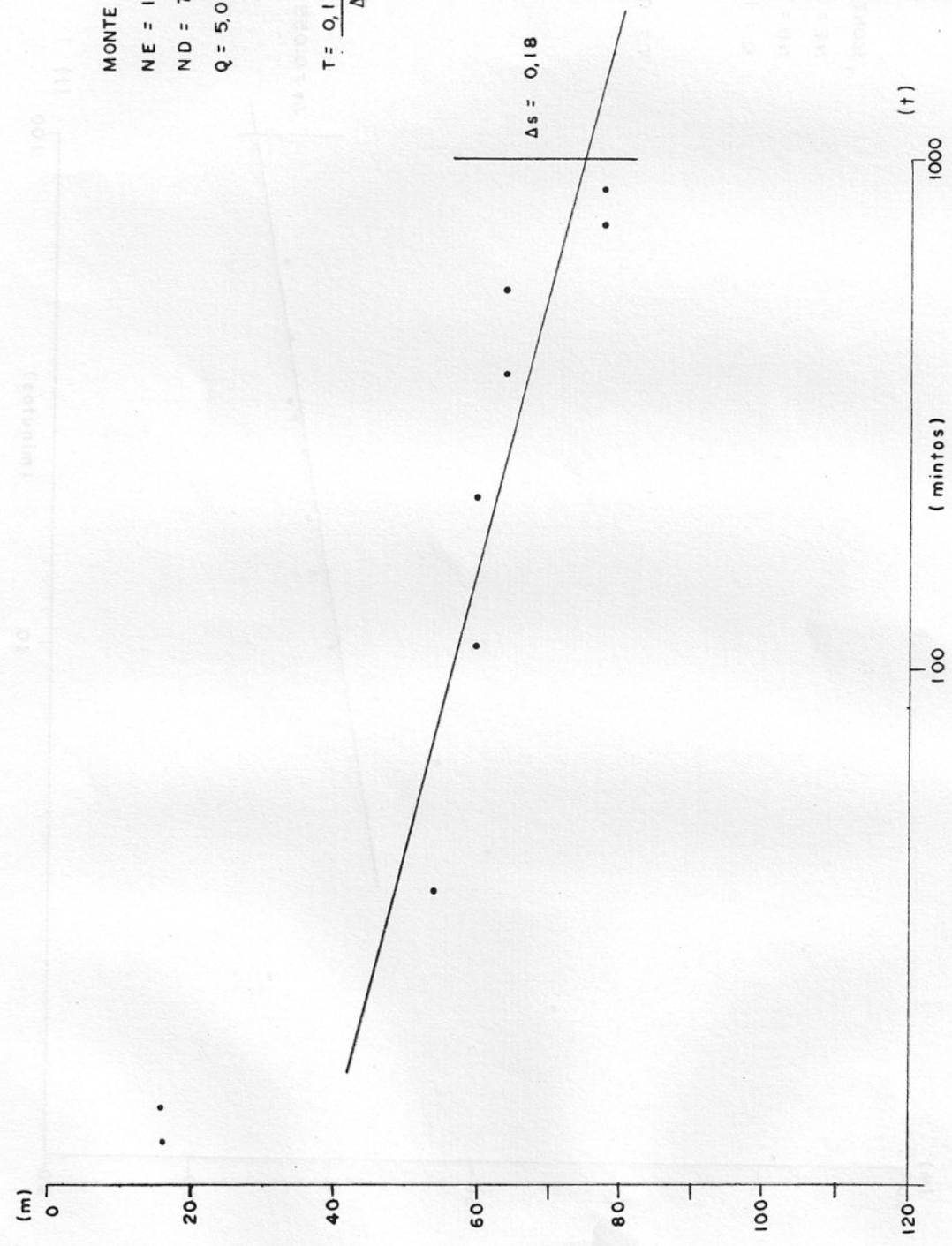
MONTE APRAZÍVEL

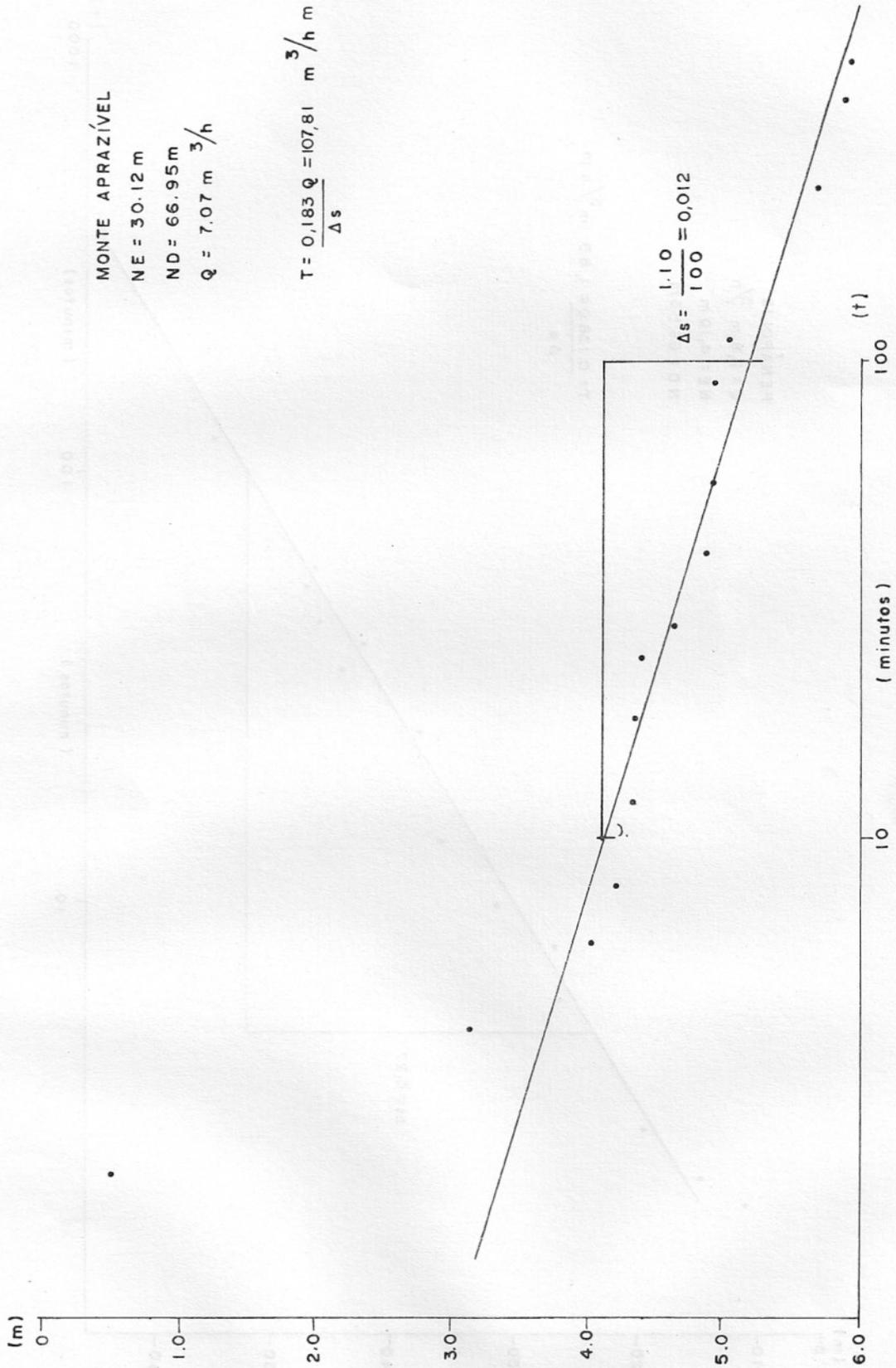
NE = 16,00 m

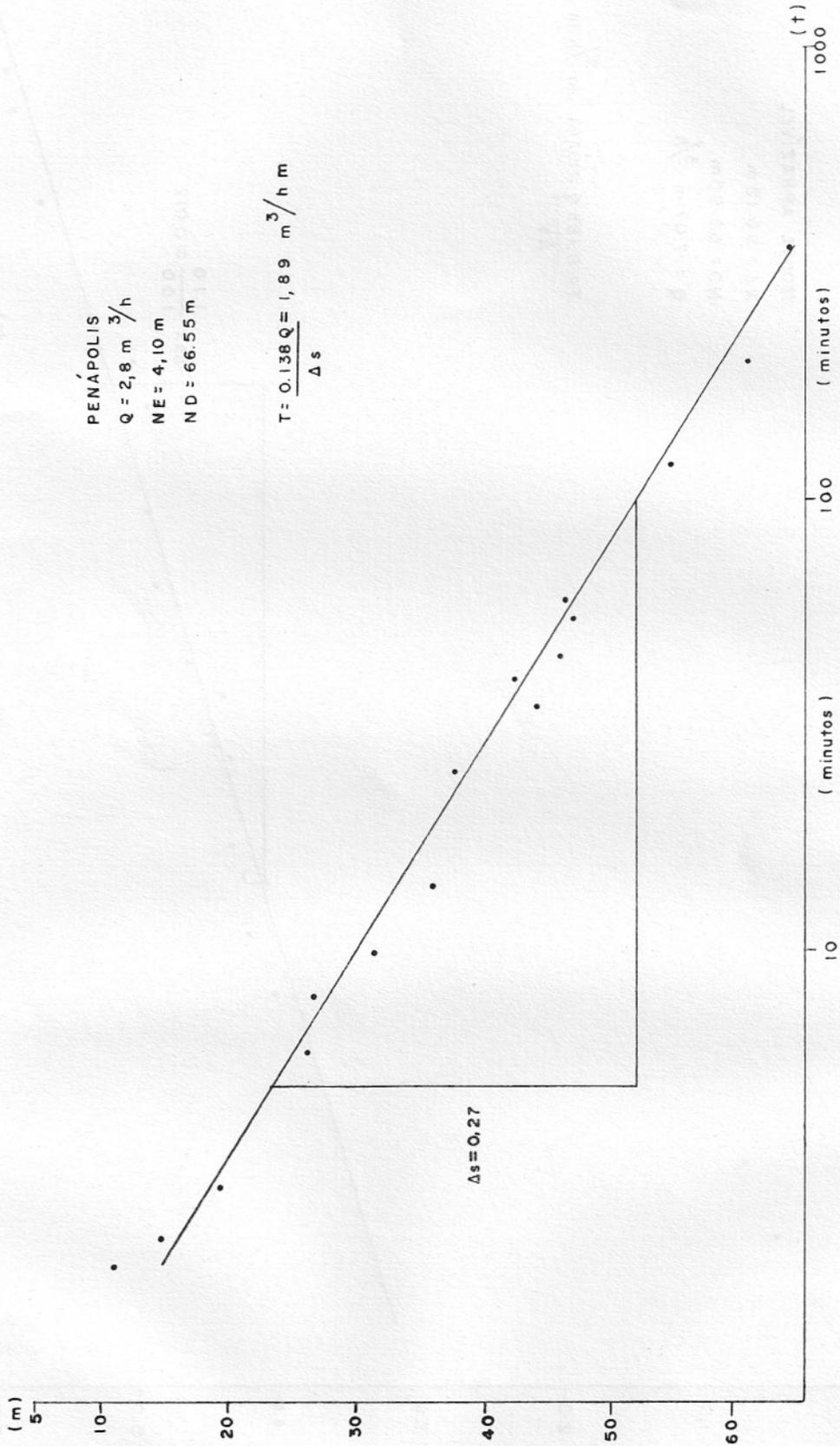
ND = 78,00 m

Q = 5,053 m³/h

$$T = \frac{0,183 \cdot Q}{\Delta s} = 5,14 \text{ m}^3/\text{h m}$$







Monte Aprazível

1	2	3
NE — 39,58 m	30,12 m	16,00 m
ND — 75,06 m	66,95 m	78,00 m
Q — 10 m ³ /h	7,07 m ³ /h	5,053 m ³ /h
t — 10h 30m	17h 00m	13h 37m
s — 0,055	0,012	0,18
T — 33,27 m ³ /hm	107,81 m ³ /hm	5,14 m ³ /hm

Penápolis

4	5
NE — 4,10 m	3,50 m
ND — 66,59 m	70,00 m
Q — 2,8 m ³	2,9 m ³ /h
t — 20h 10m	19h 04m
s — 0,27	0,11
T — 1,89 m ³ /hm	4,82 m ³ /hm
NE — nível estático	
ND — nível dinâmico	
t — tempo de bombeamento até o regime de equilíbrio	

Os valores calculados para os dois poços perfurados em Penápolis mostram-se coerentes não somente para Δs , que exprime a variação da relação tempo-abaixamento, mas também as transmissividades não são discrepantes e as vazões são equivalentes.

Já os valores observados em Monte Aprazível dispersam-se largamente. Embora no poço tenha sido constatada a presença de argila, a transmissividade é relativamente alta e também a vazão, se comparado com o poço 3.

No poço 2 o afastamento de valor de transmissividade é elevado, com vazão relativamente baixa.

Todos os poços examinados atravessaram arenitos da Formação Bauru e penetraram o basalto subjacente.

É possível que os desvios constatados para a série de poços considerados devam-se a variações locais da litologia, mas levantam a suspeita de que se trata de outras

causas. Isto será tratado no comentário da conclusão que se segue.

Os gráficos de folhas 28-32 representam os pontos de coordenadas (t, s), com o ajustamento de uma reta para a determinação do declive da mesma representado por Δs , e também os correspondentes cálculos de T.

3 CONCLUSÃO

A análise de inúmeros dados referentes ao comportamento hidráulico dos poços perfurados na Formação Bauru conduz, inevitavelmente, à necessidade de um aprofundamento em face de uma inexplicável dispersão de tais dados, o que leva a mudar a direção de investigação para as formações geológicas subjacentes, do ponto de vista hidrogeológico.

No excelente trabalho "Sedimentação, Estratigrafia e Tectônica da série Bauru", FREITAS (1955), em análises texturais de amostras de sondagens retiradas de vários pontos e a profundidades diversas, verifica-se que o diâmetro mais frequente em areias situa-se no intervalo 1/8-1/16 mm. Uma análise estatística também informa que de 78 amostras, observou-se a frequência de 57 casos indicando o diâmetro de areias situado no segmento 1/8-1/16 mm. O arenito Bauru é pois de granulometria classificada como predominantemente fina.

Também ficou patente, de um modo geral, que a granulometria de areias encontradas na Formação, acusam diâmetros que variam de 1/4 a 1/32 mm, e, dentre as frações texturais presentes, as areias dominam com a presença de cerca de 80%. Ademais, registra-se no arenito Bauru a presença de material cimentante e argilas.

Pode-se concluir que, apesar de ser uma Unidade predominantemente arenosa, as condições de permeabilidade não são elevadas. Mais uma vez observamos que os poços perfurados pelo Instituto Geológico na Formação Bauru geralmente penetraram o basalto subjacente, às vezes, de mais de 100 m de espessura.

De 91 poços, com vazões testadas, observa-se que 46% deles acusam vazões que variam no intervalo de 0 a 10 m³/h, conforme distribuição abaixo.

Q(m ³ /h)	f
0 — 10	42
10 — 20	20
20 — 30	11
30 — 40	2
40 — 50	2
50 — 60	0
60 — 70	2
70 — 80	2
	91

Estes poços encontram-se dispersos por uma larga área da Formação Bauru, com alguns grupos concentrados em áreas urbanas.

Pode-se considerar que a produção de água característica, devida exclusivamente àquela Formação, está contida no intervalo considerado com a média de vazão de 6 m³/h.

Os poços que acusam uma vazão elevada, como evidencia a amostra tabulada, são em número reduzido e recebem contribuição de formações inferiores através de circulação ascendente, das quais destacamos a Formação Botucatu. Este tipo de circulação foi relatado por SZIKSZAY, M. & TEISSEDE, J. M. (1981).

Se, em regiões restritas da Formação Bauru, forem registrados alguns poços com vazões no intervalo 0 — 10 m³/h e outros com vazões muito superiores, estes terão atingido fraturamento apreciável no basalto subjacente.

Este fato poderá servir de critério para tentativas de melhoramento de produção de poços que acusem baixas vazões nas condições acima assinaladas, quando o poço tenha atingido o basalto. Poderá ser tentado o aprofundamento do poço ou a técnica de explosões que poderia produzir uma interligação com fraturas. Os vários tipos de perfuração e mesmo a medição de isótopos ambientais, podem servir de indicadores sobre a conveniência ou de se tentar a melhoria de produção.

Na Formação Bauru deve-se, como regra, conduzir a perfuração até atingir o basalto, o que é feito com freqüência.

No trecho de relatório transcrito neste trabalho, referente a poços perfurados na cidade de Matão, onde foram detectados 7 poços com vazões de: 4,4, 6, 8, 14, 30, 80 e 60 m³/h, este último com nível estático 0, foi sugerida a explosão de uma carga de dinamite no poço IGG-2 já mencionado.

Infelizmente a explosão não foi levada a cabo, pois havia probabilidades de êxito à tentativa de aumento de produção.

Tendo em vista estes fatos, a transmissividade em aquíferos da Formação Bauru fica afetada possivelmente por um escoamento vertical oriundo de fendas basálticas desenvolvidas, em profundidade, no basalto subjacente, como evidencia o trecho de relatório abaixo.

Na perfuração do poço 2-IGG, na localidade de Matão, constam as seguintes observações que transcrevemos: "A água, até o final da experiência, se apresentou levemente escura. Não é cristalina, não tem cheiro nem sabor. É isenta de areia. Apresenta boas qualidades físicas.

O fato de o poço 2-IGG dar vazão insignificante 4 m³/h, é inexplicável em face dos elementos disponíveis até o momento presente.

Esperava-se desse poço, comparado com o n.º 1-IGG (perfurado na mesma localidade), uma vazão mínima de 30 m³/h. Este último poço forneceu 79,2 m³/h. A vazão de 30 m³/h esperada para o poço 2-IGG, ficou subordinada ao fato da natureza geológica do basalto nesse poço ser equivalente e comparável à natureza geológica dessa rocha no poço n.º 1-IGG. É justamente o que acontece. Daí o fato de não poder ser explicado o motivo pelo qual o poço 2-IGG forneceu vazão tão baixa em face do poço 1-IGG, que fornece vazão elevada."

Sobre este assunto remetemos o leitor para o trabalho de CARVALHO, M. de (1980).

Os cálculos que constam de fls. 28-32, sobre transmissividade em alguns pontos da Formação Bauru, mostram dispersões de valores que, conjuntamente, com o com-

portamento de dados de ensaio de bombeamento e informações de relatórios levam às conclusões gerais seguintes:

- 1 — Os aquíferos da Formação Bauru apresentam aspectos de confinamento, se considerado os derrames basálticos subjacentes. O confinamento neste caso pode ser total ou parcial. Interpretamos como semi-confinado.
- 2 — A definição do comportamento hidráulico dos poços da Formação Bauru exige que o poço seja testado em furos suficientemente isolados do basalto, para que os resultados não sejam influenciados por fluxo ascendente de água que procede das fendas do basalto, que se propagam em profundidade. O fendilhamento superficial, constantemente notado na camada superior do basalto, não tem influência direta sobre a produção de poços.
- 3 — Dadas as características "sui-gêneris" da Formação Bauru, conjugada com as formações subjacentes, entendemos que as formulações matemáticas existentes, bem como os métodos disponíveis, não são aplicáveis sem restrições para o cálculo de parâmetros de poços que atinjam o basalto, em extensas regiões da Unidade. Daquí se infere a necessidade de se propor

novos modelos de cálculos mais consistentes com a realidade.

Cabe ainda as seguintes considerações. A Formação Botucatu se revela como um extraordinário armazenador de água, e o volume de água que é capaz de reter, pelas suas condições de posição e topografia, poderá ser estimado com relativa precisão se conhecido o volume que representa a formação.

Disto se infere a necessidade de avaliação de suas dimensões e do índice médio de vazios para a quantificação de água explotável e, por conseguinte, o estabelecimento de normas de extração por meio de poços tubulares, cuja profundidade poderá alcançar várias centenas de metros.

A necessidade de tais normas é óbvia, pois uma extração que ultrapasse a capacidade de recarga da Formação poderá conduzir a uma redução do volume de água retida na Formação Bauru, devido a intercomunicabilidade dessas Formações. Outras considerações não descartáveis é a possibilidade de redução da capacidade de armazenamento da própria Formação Botucatu pela redução do índice de vazios devido à compressão de camadas sobrejacentes, que representa peso considerável; pode também a redução da subpressão devido à água que preenche os poros da Formação Botucatu provocar fenômenos sísmicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOUWER, H. — 1978 — Groundwater hydrology. New York, McGraw. 480 p.
- CARVALHO, M. de — 1980 — Considerações sobre alguns aspectos hidrogeológicos da Formação Bauru. Rev. IG., São Paulo, 1 (1): 35-52, jan./jun.
- CHOU, W. — 1969 — Handbook of applied hydrology; a compendium of water-resources technology. New York, McGraw-Hill. 1404p.
- FREITAS, R.O. de — 1955 — Sedimentação, estratigrafia e tectônica da Série Bauru, Estado de São Paulo. São Paulo, USP/FFCL. (Boletim, 194 - Geologia, 14) 185p.
- JOHNSON INC., Saint Paul. Minn. — 1978 — Água subterrânea e poços tubulares; tradução da primeira edição do original norte-americano 3a. ed. São Paulo, CETESB. 482p.
- SZIKSZAY, M. & TEISSEDE, J. M. — 1981 — Fontes da bacia sedimentar do Paraná Estado de São Paulo. Águas subterrâneas, São Paulo, (3):85-102, ago.
- WORTHINGTON, P.F. — 1981 — Estimation of the transmissivity of thin leaky-confined aquifers from single-well pumping tests. Journal of Hydrology, Amsterdam, 49 (1/2): 19-30, Jan.