

DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO DE PERFILAGEM DE POÇOS TUBULARES UTILIZANDO-SE TRAÇADOR QUÍMICO*

Adelbani Braz da Silva**
Paulo Cyro Baptista Escodino**

* Trabalho realizado com auxílio do Conselho Nacional de
Desenvolvimento Científico e Tecnológico — CNPq

** Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais — CETEC

RESUMÉ

La méthode classique qui est appliquée pour divers types de nappes pour l'étude des flux dans les puits est l'analyse de profil à l'aide d'éléments traceurs radioactifs artificiels. Recherchant à développer un procédé plus économique et moins dangereux pour les opérateurs, on a appliqué une technique d'analyse du profil en utilisant un traceur chimique (Cl Na) et un appareil de mesure de la conductivité. Cette technique a été appliquée à 13 puits qui, antérieurement, furent testés avec des isotopes radioactifs (Bromo-82), dans la région calcaire de Jaíba, au nord de Minas Gerais. Les résultats obtenus montrent que les zones perméables et les flux déterminés furent généralement en accord pour les 2 types de traceurs. Dans sept puits, il est apparu un changement dans la direction ou dans le sens des flux et une modification des vitesses de l'eau dans les zones perméables. Ces différences sont explicables par le fait que les niveaux des nappes étaient hauts. On conclue que la méthode d'analyse de profil à l'aide de traceur chimique est adaptée à la détermination des flux et de la position des fractures dans les terrains aquifères karstiques.

INTRODUÇÃO

O estudo do fluxo existente no interior dos poços tubulares perfurados em aquíferos cársticos permite determinar o esquema geral do comportamento hidráulico das águas subterrâneas, bem como localizar níveis permeáveis e zonas de recarga destes aquíferos. O método clássico que vem sendo aplicado, em diversos tipos de aquíferos, para estudo do fluxo em poços tubulares é a perfilagem com uso de traçador radioativo artificial. Visando o desenvolvimento de uma metodologia mais econômica e com menos riscos aos operadores, foi aplicada uma técnica de perfilagem utilizando um traçador químico (ClNa) e um sensor condutivimétrico. Esta técnica foi aplicada em poços tubulares que anteriormente foram perfilados com radioisótopos (Bromo-82), na região calcária do Jaíba, norte de Minas Gerais (Figura 1). Este procedimento permitiu a comparação dos resultados obtidos com o traçador químico e com o traçador radioativo.

METODOLOGIA

O equipamento utilizado foi o Condutivímetro portátil modelo PER-S/01 de fabricação nacional. Este aparelho mede a condutividade elétrica da água do poço em micromhos/cm, com uma escala de variação entre 0 e 100.000 micromhos/cm, com precisão de $\pm 2,5\%$.

Os poços tubulares construídos na área de estudo geralmente possuem revestimento na sua parte superior, com a finalidade de sustentar a camada de solo e/ou rocha decomposta, não sendo revestida, portanto, a seção perfurada em rocha compacta. Assim, o comportamento hidráulico natural dos fluxos subterrâneos existentes dentro do poço não é afetado.

O traçador utilizado foi uma solução concentrada de cloreto de sódio (270 g/l), preparada no campo. Na preparação dessa solução, foi utilizada como solvente a água subterrânea proveniente do poço MA-109, cuja concentração de cloreto era de 140 mg/l. Com esta concentração, após a diluição inicial no poço, as condutividades nos poços ficaram entre 5000 e 8000 micromhos/cm sobre um valor natural entre 1000 e 2000 micromhos/cm. Inicialmente, faz-se uma perfilagem sem introduzir o traçador, para ser estabelecido o "back-ground" do poço, com a finalidade de comparar posteriormente com os resultados obtidos com o traçador.

A técnica experimental, utilizada para a medida da velocidade de fluxos horizontais, está baseada na marcação, com traçador (cloreto), de toda a coluna de água do poço de maneira uniforme. A marcação é feita da seguinte forma:

- a) Uma mangueira de plástico de seção conhecida é introduzida até o fundo do poço, sendo então preenchida com a solução concentrada (NaCl), até o nível piezométrico. A mangueira leva no seu extremo inferior um lastro que ajuda a descida.
- b) Quando a mangueira é retirada lentamente, a solução fica distribuída uniformemente ao longo da coluna de água.

Uma vez realizada a marcação da coluna de água, são obtidos perfis verticais de condutividade por meio do detector, o qual se desloca através desta coluna em intervalos regulares. A frequência dos perfis depende da magnitude do fluxo existente. Logicamente, a concentração de traçador diminui com o tempo nos trechos do poço que tem fluxo. Quando não existe fluxo, a concentração permanece invariável durante longos períodos de tempo. Este método de medida da velocidade do fluxo é conhecido com o nome de método de diluição.

Esse procedimento experimental, para a medida de fluxos horizontais, proporciona também uma indicação inequívoca da existência de fluxos verticais e da magnitude aproximada dos mesmos. Quando se efetua a marcação de toda a coluna de água em um poço que tem fluxo vertical, observa-se uma diminuição progressiva do traçador, começando pelo trecho em que ocorre a entrada de água e terminando no trecho onde se produz a saída. Os sucessivos perfis de condutividade tomam uma forma típica, que indicam claramente a presença de fluxo vertical.

O método mais exato para a medida de fluxos verticais é o baseado em uma injeção pontual de traçador. No caso de fluxos suficientemente lentos, após a injeção do traçador na profundidade desejada, desloca-se o detector ao longo do poço, para determinar a posição da nuvem do traçador. Esta operação é repetida periodicamente, obtendo-se assim a posição ocupada pela nuvem em função do tempo. A velocidade do fluxo é calculada a partir da distância vertical percorrida pela nuvem, durante um período de tempo determinado, tomando como posição da nuvem o pico de concentração ou, mais exatamente, o centro de gravidade da mesma.

No caso de fluxos verticais muito rápidos, a injeção de traçador é feita com dois detectores dentro do poço, a uma distância conhecida.

TRABALHOS REALIZADOS

Foram realizadas duas campanhas de perfilagens com traçador químico. A primeira foi durante o período chuvoso (abril/79), quando os níveis piezométricos encontravam-se elevados devido à recarga do aquífero. Nesta etapa, foram testados 15 poços tubulares com o comprimento total da coluna de água perfilada de 890 metros. Dois desses poços (MA-03 e MA-400) foram utilizados apenas para estabelecer o "back-ground" da condutividade elétrica das águas subterrâneas. Nestes dois poços não foi possível fazer o teste com traçador porque eles são equipados com linígrafos. Outros dois poços (MA-123 e MA-151) foram testados duas vezes, em períodos diferentes, para verificar a repetitividade dos resultados. Finalmente foram feitos testes especiais em dois poços (MA-123 e MA-604), com injeção pontual, para o estudo de fluxos verticais. Considerando apenas os poços perfilados com traçador (13 poços) e excluindo

do as perfilagens e testes especiais, o total de coluna d'água pesquisa da nesta primeira campanha foi de 638 metros.

A segunda campanha foi realizada durante o período de estiagem (setembro/79) quando os níveis piezométricos encontravam-se rebaixados devido à descarga do aquífero. Foram perfilados os mesmos 13 poços da primeira campanha. O comprimento total da coluna de água perfilada foi de 561 metros. Considerando as reperfilagens, foram medidos 3.323 metros de coluna d'água. No quadro I encontra-se a relação dos poços perfilados e suas principais características.

O poço MA-604 foi testado, utilizando-se o traçador com uma concentração menor (135 g/l) que a utilizada nos outros poços (270 g/l). Este teste foi realizado visando definir a concentração mais adequada do traçador químico para a perfilagem dos poços, porque uma solução muito concentrada, com maior densidade que a água natural, pode ter um comportamento hidrodinâmico diferente ou alterar as características físicas da água.

RESULTADOS OBTIDOS

Comparando-se os resultados obtidos com a perfilagem dos poços, utilizando-se traçador isotópico (Bromo-82), com as duas campanhas de perfilagem destes mesmos poços com traçador químico (NaCl) podem-se destacar as seguintes observações:

- De uma maneira geral, as fendas detectadas nas diversas campanhas são coincidentes nos dois tipos de traçadores.
- A perfilagem com traçador químico realizada na época chuvosa (abril/79) mostrou uma inversão do sentido de alguns fluxos verticais em relação aos observados na perfilagem com isótopos.
- Os fluxos verticais ascendentes ou descendentes, detectados na segunda campanha com traçador químico, foram coincidentes com os de perfilagem com isótopos, uma vez que os níveis piezométricos eram aproximadamente iguais nas épocas em que os poços foram perfilados com esses dois tipos de traçadores. Houve apenas uma exceção no poço MA-145 onde houve uma inversão no sentido do fluxo.
- Na primeira etapa de perfilagem com traçador químico foram detectadas algumas fendas na parte superior do aquífero não detectadas anteriormente, pelo fato de que a superfície piezométrica nesta época estava mais elevada e acima destas fendas o que não ocorreu nas outras etapas (isótopos e segunda etapa com traçador químico).
- Nos poços MA-145, MA-602, MA-604 e MA-607, durante a segunda etapa da perfilagem com traçador químico, foi possível detectar outras fendas com fluxo horizontal, além das observadas com isótopos. Estas fendas normalmente encontram-se em cotas inferiores às que foram verificadas com o Bromo-82.
- Os poços que não variam o sentido do fluxo vertical estão localizados em zonas de descarga (MA-123, MA-604, MA-610 e MA-611) ou de recarga (MA-603 e MA-605) bem definidas (Fig.2).

No Quadro II encontram-se as altitudes de todas as fendas detectadas nas diversas perfilagens e os sentidos dos fluxos de água dentro dos poços. Nas Figuras 2 e 4 encontram-se perfis típicos dos poços perfilados.

A partir dos perfis pode-se observar o seguinte:

- A zona de maior carstificação situa-se entre as cotas de 470 e 415 m (Figura 5).
- Foram verificados poucos fluxos, normalmente pequenos, entre as profundidades de 55 a 100 metros.
- Entre as cotas 470 e 450 m a circulação é predominantemente horizontal (poços com fluxos horizontais).

- Na época seca os gradientes piezométricos são muito pequenos.

A perfilagem do poço MA-604, utilizando-se uma solução de traçador de menor concentração (135 g/l) apresentou o mesmo resultado que a perfilagem com solução concentrada (270 g/l). Convém salientar que a velocidade da água neste poço é grande, o que facilitou a verificação dos contrastes dos valores da condutividade elétrica da água. No momento, não é possível definir a concentração ideal do traçador, uma vez que ela depende de inúmeros fatores, principalmente da concentração inicial da água do poço, da sensibilidade do aparelho, velocidade da água e outros. Nas perfilagens realizadas até o presente momento, com a solução concentrada de sal, aparentemente não foram verificadas modificações das características físicas (densidade, viscosidade, temperatura e outras) da água subterrânea nos poços uma vez que comparando-se estes perfis com os obtidos com isótopos, não foram verificados movimentos verticais da água devido a diferença de densidade nem diluição por variação de viscosidade.

CONCLUSÕES

Os resultados das perfilagens com traçador químico e isotópico foram semelhantes. A repetição das perfilagens com condutivímetro em épocas de pluviosidades diferentes permitiu reinterpretar os perfis dos poços e ratificar os resultados obtidos na primeira etapa. Foi possível também confirmar a hipótese da mudança dos fluxos verticais devido às variações da posição da superfície piezométrica nas áreas de descarga e recarga do aquífero durante as épocas úmidas e secas.

BIBLIOGRAFIA

- CASTANY, G. - Prospección y explotación de las aguas subterráneas. Ediciones Omega, Barcelona, 1975.
- CETEC - Perfilagem de poços tubulares utilizando-se isótopos artificiais. Nota Técnica TRRS-07/78, Belo Horizonte, 1978.
- CETEC - Perfilagem de poços tubulares utilizando-se traçador químico. Nota Técnica TRRS-04/79, Belo Horizonte, 1979.
- CUSTÓDIO, E.G. e LLAMAS, M.R. - Hidrologia subterránea. Ediciones Omega, Barcelona, 1976.
- PLATA, A.B. - Isótopos en hidrologia. Ed. Alhambra, Madrid, 1972.
- KITANO, Y. - Geochemistry of water. Benchmark Papers in Geology, v. 16, Halsted Press Stroudsburg, Pennsylvania, 1975.
- SILVA, A.B. - Pesquisa e avaliação de recursos hídricos em "Karst" por meio de sensores remotos. Rev. Mineração e Metalurgia, nº 145, Rio de Janeiro, 1979.
- STOUT, G.E. - Isotope Techniques in the hydrology cycle. AGU, Washington, D.C., 1967.
- WILSON, JAMES F. Jr. - Fluorometric procedures for dye tracing. USDI, Geological Survey. Book 3, chapter A 12, Washington, USA, 1968.

QUADRO 1
DADOS DOS POÇOS PERFILADOS

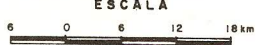
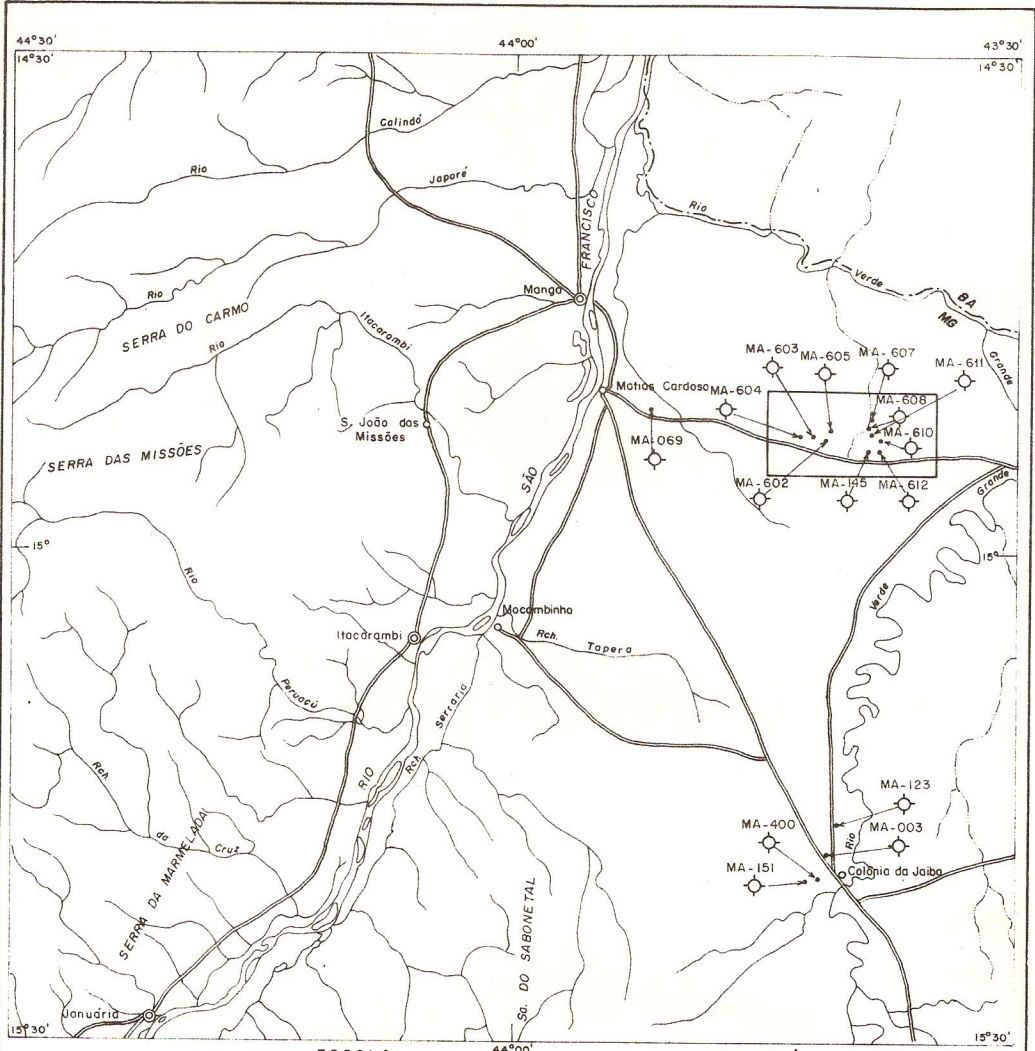
Nº do Poço	NE	Data medida do NE (1979)	Cota do NE (m)	Prof. do Poço (m)	Coluna d'água perfilada (m)	Total de perfila-gem	Observações
MA-069	10,45	10/09	451,35	120,00	64,55	322,75	Teste de diluição
MA-123	41,50	09/09	441,82	173,00	7,50	37,50	
MA-145	39,50	14/09	459,05	85,00	45,50	227,50	
MA-151	9,00	09/09	462,05	95,00	86,00	346,80	
MA-602	21,00	15/09	456,15	65,00	44,00	352,00	
MA-603	26,70	16/09	467,30	72,00	43,30	303,00	
MA-604	17,40	17/09	467,15	89,00	71,60	572,80	
MA-605	27,00	17/09	468,65	79,00	41,50	237,50	
MA-607	9,00	13/09	459,45	60,00	51,00	306,00	
MA-608	11,00	13/09	458,55	54,00	24,00	120,00	
MA-610	5,00	11/09	463,40	81,00	35,00	245,00	
MA-611	20,00	12/09	464,55	40,00	20,00	140,00	
MA-612	19,00	11/09	454,95	40,00	21,00	105,00	

QUADRO II
ALTITUDES DAS FENDAS NOS POÇOS PERFILADOS

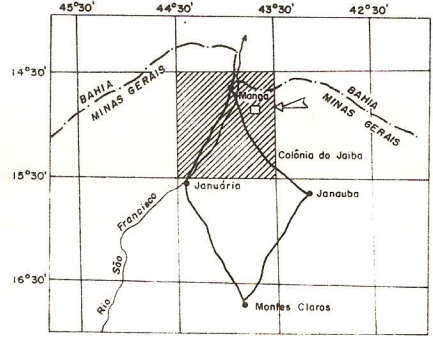
Nº do poço	cota da boca do poço (m)	cota das fendas (m) e tipo de fendas			Observações
		isótopos Agosto/set/78	1ª etapa maio/79	2ª etapa set/79	
MA-69	461	431 ↓	449 → 431 ↓ 393	449 → 431 ↓ 393	- 1ª etapa o Fluxo Vertical Descendente não muito evidente. - Não houve mudança de fluxo - O poço está obstruído à 75 m - Houve problema na injeção do traçador
MA-123	483	440 ↓ < 434 †	440 † < 434 †	440 † < 434 †	- Não houve mudança de fluxo (área de descarga?) - O poço está obstruído na cota 434
MA-145	498	448 → < 413 †	465 → 448 → 408 →	448 → < 413 †	Cotas mais superficiais - Fluxo horizontal Componentes Fluxo Vertical ascendente ou Fluxo Vertical Descendente em cotas mais profundas - Houve inversão de fluxo (na cota 412) - Perfilagem isótopo e 2ª etapa, até os 85 m (cota 413)
MA-151	471	446 →	446 → 421 →	446 →	- O poço foi completado com filtros entre 446 e 453
MA-602	477	440 †	455 → 440 † 430 † 414 † 412 †	440 → 430 † 414 † 412 †	- Inversão de fluxo na época úmida (1ª etapa). - A 2ª etapa, realizada em época análoga a do isótopo, os fluxos são semelhantes (Fluxo Vertical Descendente)
MA-603	494	466 †	466 → 427 †	466 † 427 †	Fluxo não varia, zona de recarga
MA-604	484	441 † 400 †	459 → 441 † 414 † 400 →	441 † 400 †	Fluxo não varia, zona de descarga
MA-605	495	461 →	473 → 461 →	461 →	Predominância de Fluxo Horizontal, porém com componentes de Fluxo Vertical Descendente, que apesar de não muito marcado, evidencia junto com dados topográficos, zona de recarga.
MA-607	468	443 † 424 ↓	443 † 424 ↓	443 † 424 ↓	Predominância de Fluxo Horizontal, porém com componentes de Fluxo Vertical Ascendente, que apesar de não muito marcado, evidencia junto com dados topográficos, zona de descarga.
MA-608	469	453 † < 434 †	461 → 453 → < 434 †	453 † < 434 †	Zona mais caracterizada como de descarga, com Fluxo Vertical Ascendente predominante durante a estiagem. Na época úmida predomina o Fluxo Horizontal com componentes de Fluxo Vertical Descendente Poço obstruído na cota 434
MA-610	468	439 † < 428 †	465 → 456 → 439 † 428 †	456 → 439 † < 428 †	Zona de descarga. Fluxo invariável Fluxo Vertical Ascendente compatível com outros dados hidrogeológicos. Poço está obstruído na cota 428
MA-611	484	< 440 †	465 → < 440 †	465 → < 444 †	Zona de descarga Na 2ª etapa o poço estava obstruído na cota 444. Nas outras etapas estava obstruído na cota 440
MA-612	474	451 † 435 †	451 → 435 †	451 → 435 †	Zona intermediária recarga/descarga. Inversão de fluxo.

Obs. † Fluxo e sua direção;

↓ Provável fluxo e sua direção



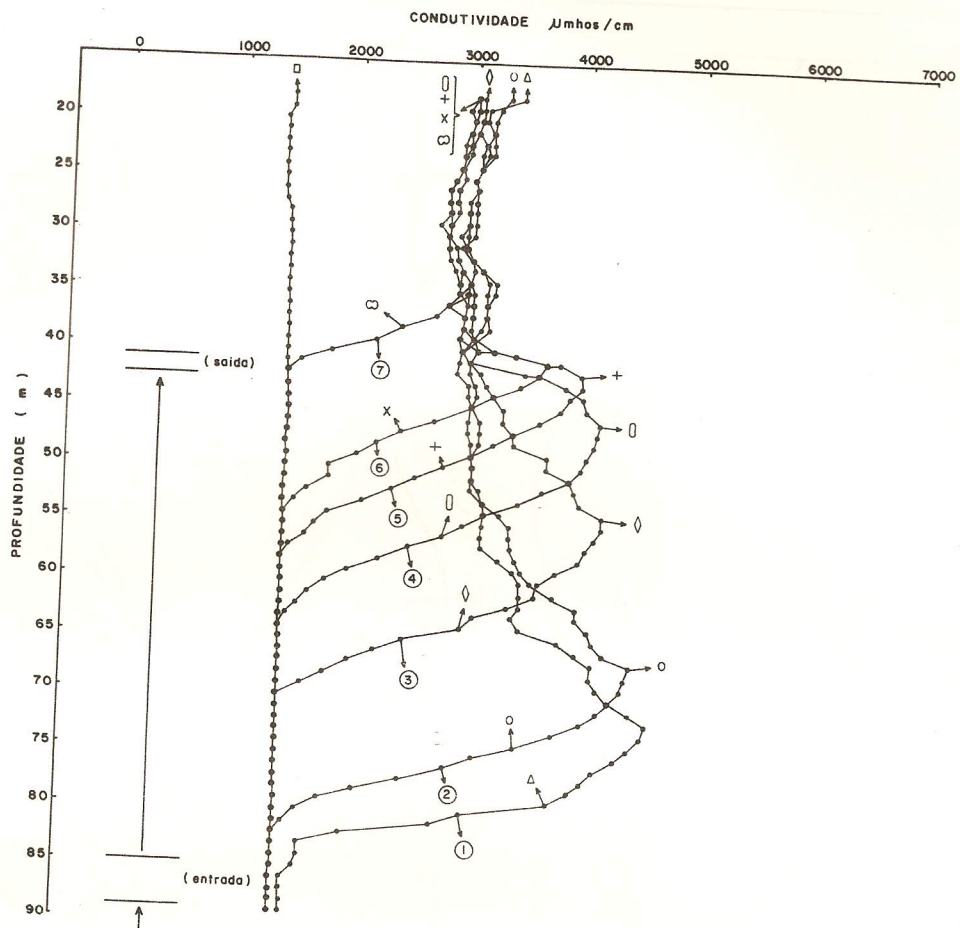
LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO



LEGENDA

- ÁREA DE DETALHAMENTO (LAJEDÃO - LAJEDINHO)
- POÇOS PERFILADOS
- CIDADE
- DISTRITO
- RIOS
- ESTRADAS
- LIMITE DE ESTADO
- LOCALIZAÇÃO DO PROJETO "KARST"

FIG-1- LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS PERFILADOS



- | | |
|---|---|
| $t_0 = 0$ (injeção 19/09/79 as 9:00h) | $t_0 \blacksquare \rightarrow$ 19/09/79 (sem traçador) |
| $\overline{\Delta t_1} = 0,23$ h | $\Delta t_1 \blacktriangle \rightarrow$ 19/09/79 (com traçador) |
| $\overline{\Delta t_2} = 0,66$ h | $\Delta t_2 \odot \rightarrow$ 19/09/79 (com traçador) |
| $\overline{\Delta t_3} = 1,83$ h | $\Delta t_3 \diamond \rightarrow$ 19/09/79 (com traçador) |
| $\overline{\Delta t_4} = 2,70$ h | $\Delta t_4 \boxplus \rightarrow$ 19/09/79 (com traçador) |
| $\overline{\Delta t_5} = 3,02$ h | $\Delta t_5 + \rightarrow$ 19/09/79 (com traçador) |
| $\overline{\Delta t_6} = 3,70$ h | $\Delta t_6 \times \rightarrow$ 19/09/79 (com traçador) |
| $\overline{\Delta t_7} = 7,72$ h | $\Delta t_7 \odot \rightarrow$ 19/09/79 (com traçador) |

L E G E N D A



FIG-2- PERFIL DO POÇO COM FLUXO VERTICAL ASCENDENTE.

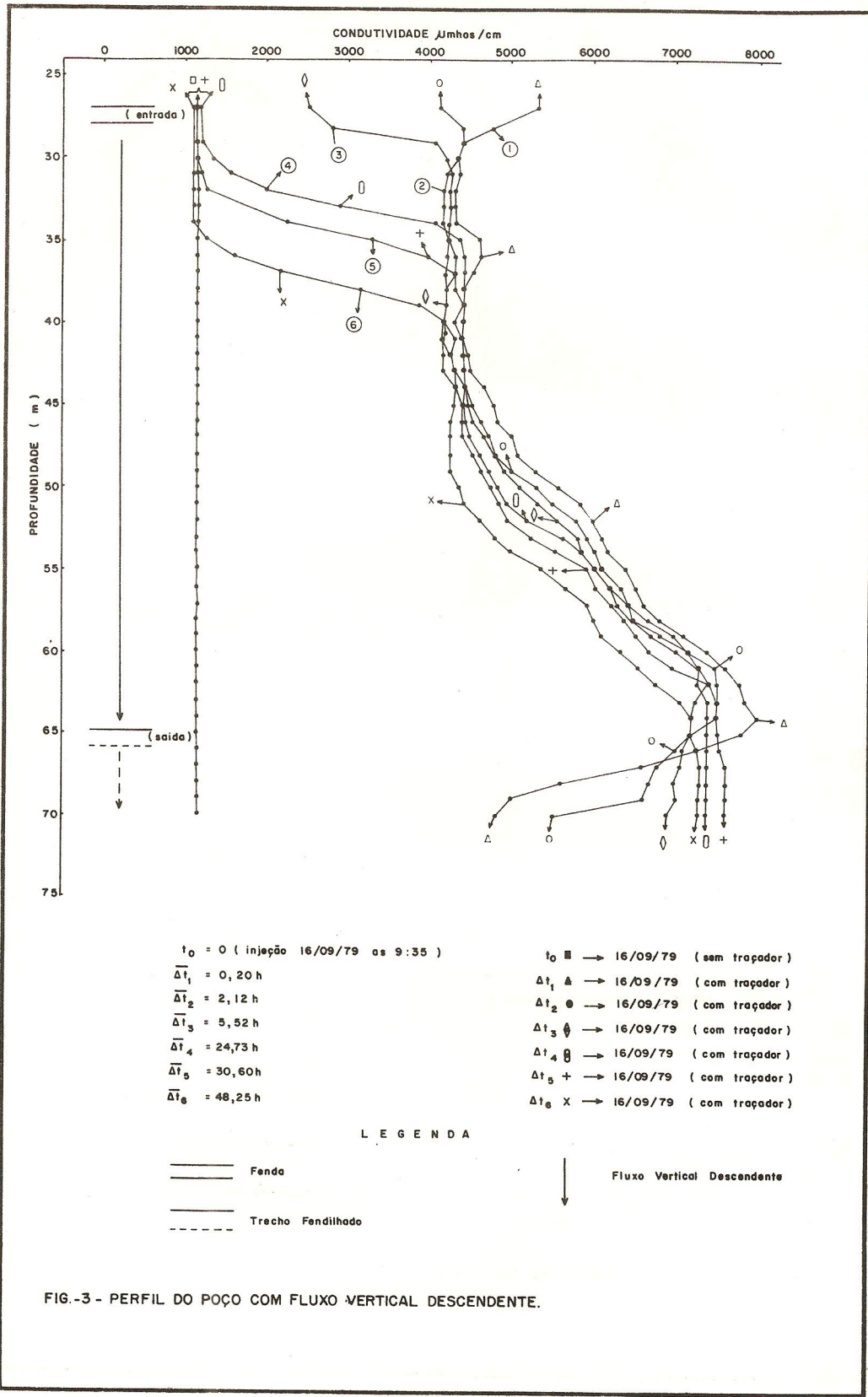


FIG.-3 - PERFIL DO POÇO COM FLUXO VERTICAL DESCENDENTE.

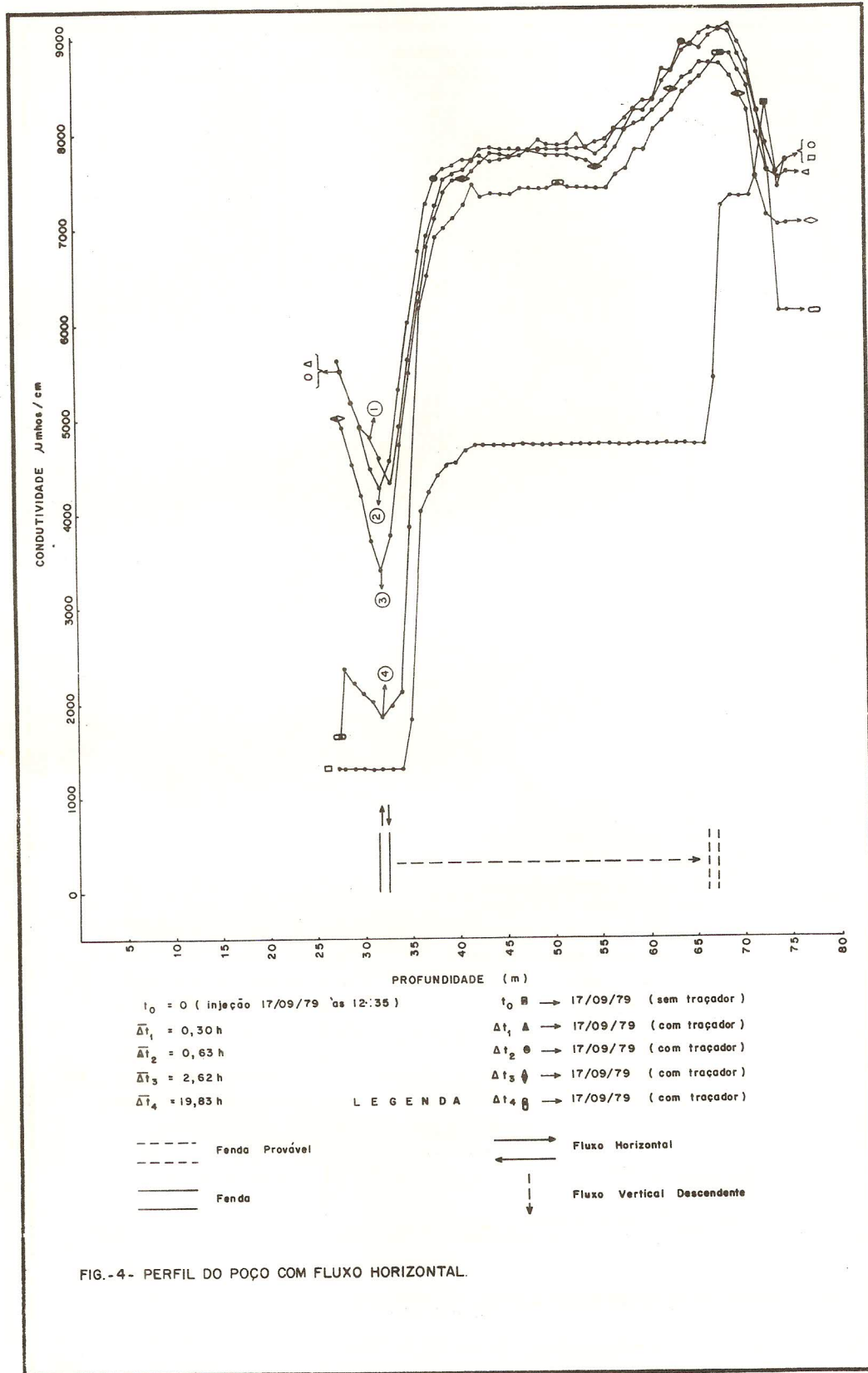


FIG.-4- PERFIL DO POÇO COM FLUXO HORIZONTAL.

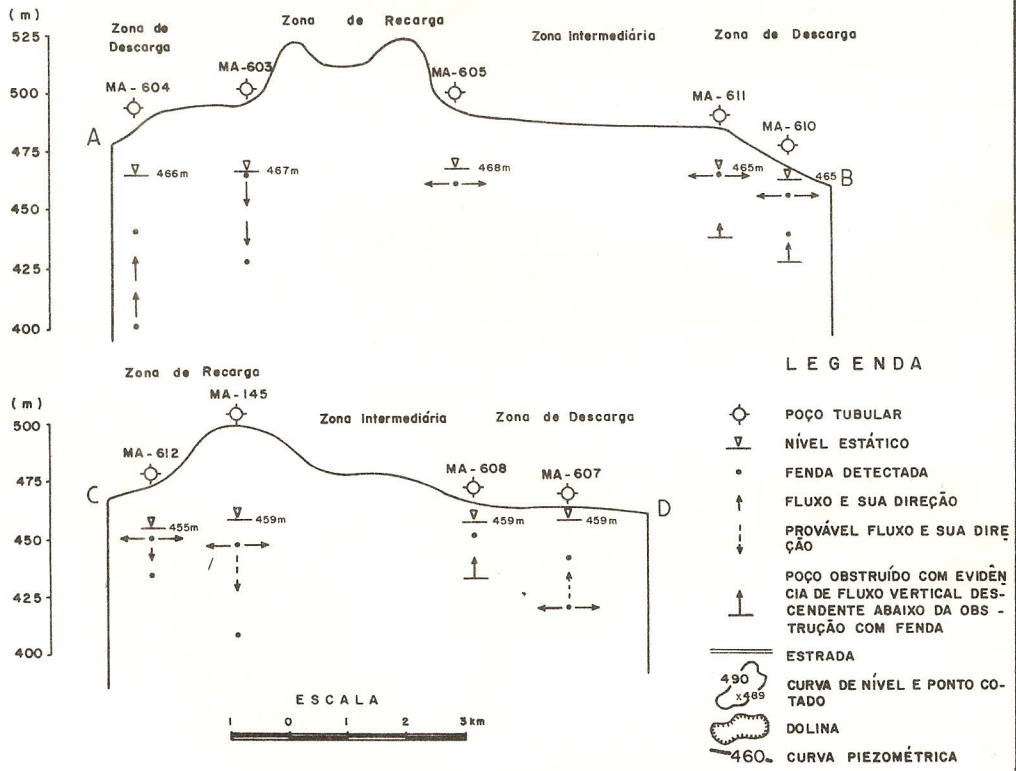
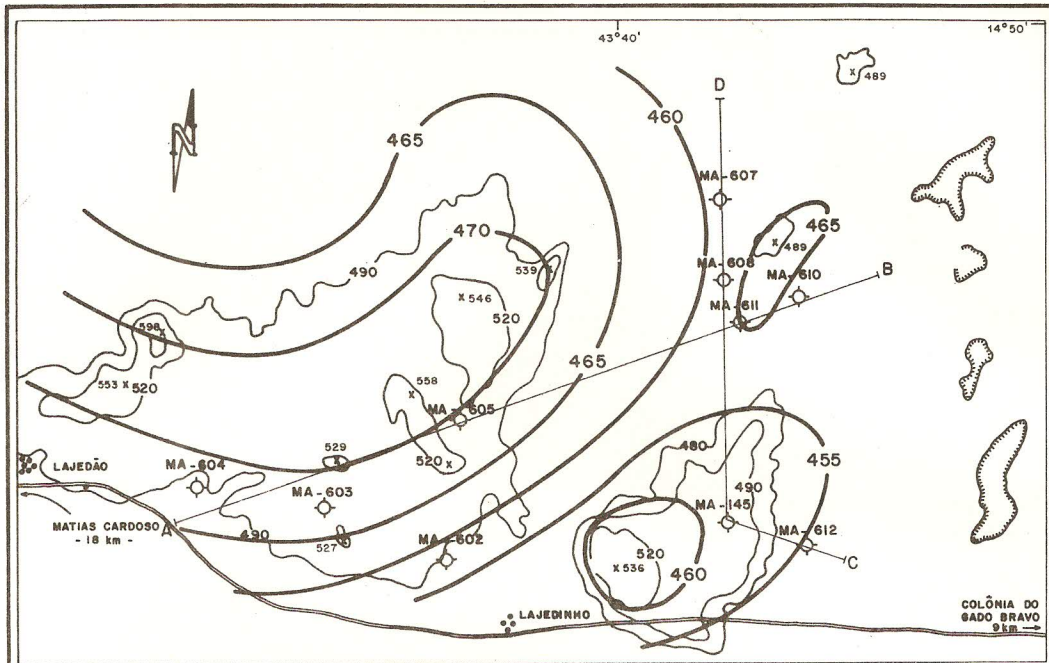


FIG.-5- ESQUEMA DE FLUXO NA REGIÃO LAJEDINHO-LAJEDÃO