

UM ESTUDO SOBRE AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA
REGIÃO DE PIRACICABA *

ANTONIO SANCHEZ DE OLIVEIRA **
ENEAS SALATI ***

RESUMO

Uma opção para abastecimento de água às indústrias e populações tem sido a utilização das águas subterrâneas. Na região de Piracicaba, onde os mananciais de superfície apresentam os maiores teores de poluição do Brasil, tem-se procurado a utilização dos recursos hídricos subterrâneos.

Com uma contribuição às medidas de ordem prática no estabelecimento de baterias de poços artesianos, iniciamos um estudo sistemático dessas águas visando sua utilização para o abastecimento da população, indústria e agricultura.

Neste estudo foram analisadas amostras de águas subterrâneas da região de Piracicaba,

* Entregue para publicação em 30/12/1981

** Depto. Engenharia Rural, E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP.

*** Departamento de Física e Meteorologia e CENA, E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP.

colhidas em 23 poços artesianos, 3 artesianos jorrantes, 4 freáticos e 3 mananciais.

Por meio da espectrometria de massa foram feitas determinações das concentrações dos isótopos D e ^{18}O e estudou-se a correlação destes dados com as concentrações de D e ^{18}O , previamente determinadas por SALATI *et alii* (1972) para as águas de precipitação da mesma região e para o rio Piracicaba. Algumas análises químicas também foram efetuadas.

De um exame preliminar pode deduzir-se que:

- a) as águas subterrâneas de vários poços de região podem ser representativas de um único aquífero, em virtude das pequenas variações apresentadas por suas concentrações isotópicas;
- b) a concordância entre as concentrações de D e ^{18}O das águas de precipitação e subterrâneas sugere que as zonas de recarga são muito permeáveis;
- c) as concentrações isotópicas mais elevadas das águas do rio Piracicaba, em comparação com as das águas subterrâneas indicam ser este rio um efluente dos aquíferos da região em foco;
- d) de maneira geral, as águas subterrâneas, apresentam-se de qualidade imprópria para o consumo humano;
- e) evidenciou-se também a pequena vazão oferecida pela maioria dos poços profundos.

Por último, este estudo proporcionou outras informações que permitirão melhor orientação nas futuras investigações hidrogeológicas.

INTRODUÇÃO

O conteúdo de D e ^{18}O nas águas naturais segue estreitamente o ciclo hidrológico, modificando sua composição sempre que haja uma mudança de estado, tal como a condensação ou a evaporação.

Nas águas de precipitação as concentrações de D e ^{18}O são características para cada região, com variações estacionais bem definidas. Estas variações foram estudadas, para todo o globo, por DANSGAARD em 1964, sendo que alguns poucos dados foram obtidos para a região Amazônica.

Com relação às águas subterrâneas, que apresentam uma relação muito estreita com as águas superficiais, as concentrações de D e ^{18}O se mantêm praticamente constantes durante todo o ano e por anos sucessivos, em virtude de que a infiltração não ocorre de uma maneira uniforme durante todo o ano, senão que, está intimamente relacionada com as intensidades relativas da precipitação e evapotranspiração.

Para o hemisfério sul, principalmente para a região em estudo, as infiltrações ocorrem no período outubro-março, conforme se pode constatar na Figura 1; deve-se por conseguinte, esperar que as concentrações de D e ^{18}O na água dos aquíferos sejam menores, mais ligeiras, que as concentrações médias anuais das precipitações correspondentes (Figura 2).

Por outro lado, as águas dos rios e lagoas, que se encontram diretamente expostas a evaporação, têm concentrações isotópicas maiores que as das precipitações, com um enriquecimento maior para o ^{18}O , devido às condições de não equilíbrio do fracionamento por evaporação.

O aproveitamento do D e ^{18}O como traçadores naturais tornou possível a solução de numerosos problemas, principalmente aqueles relacionados com as interconexões das águas de chuvas, subterrâneas e de rios.

No presente trabalho procurou-se investigar, com o auxílio dos isótopos estáveis D e ^{18}O , os problemas hidrogeológicos relacionados com as águas subterrâneas da região de Pi-

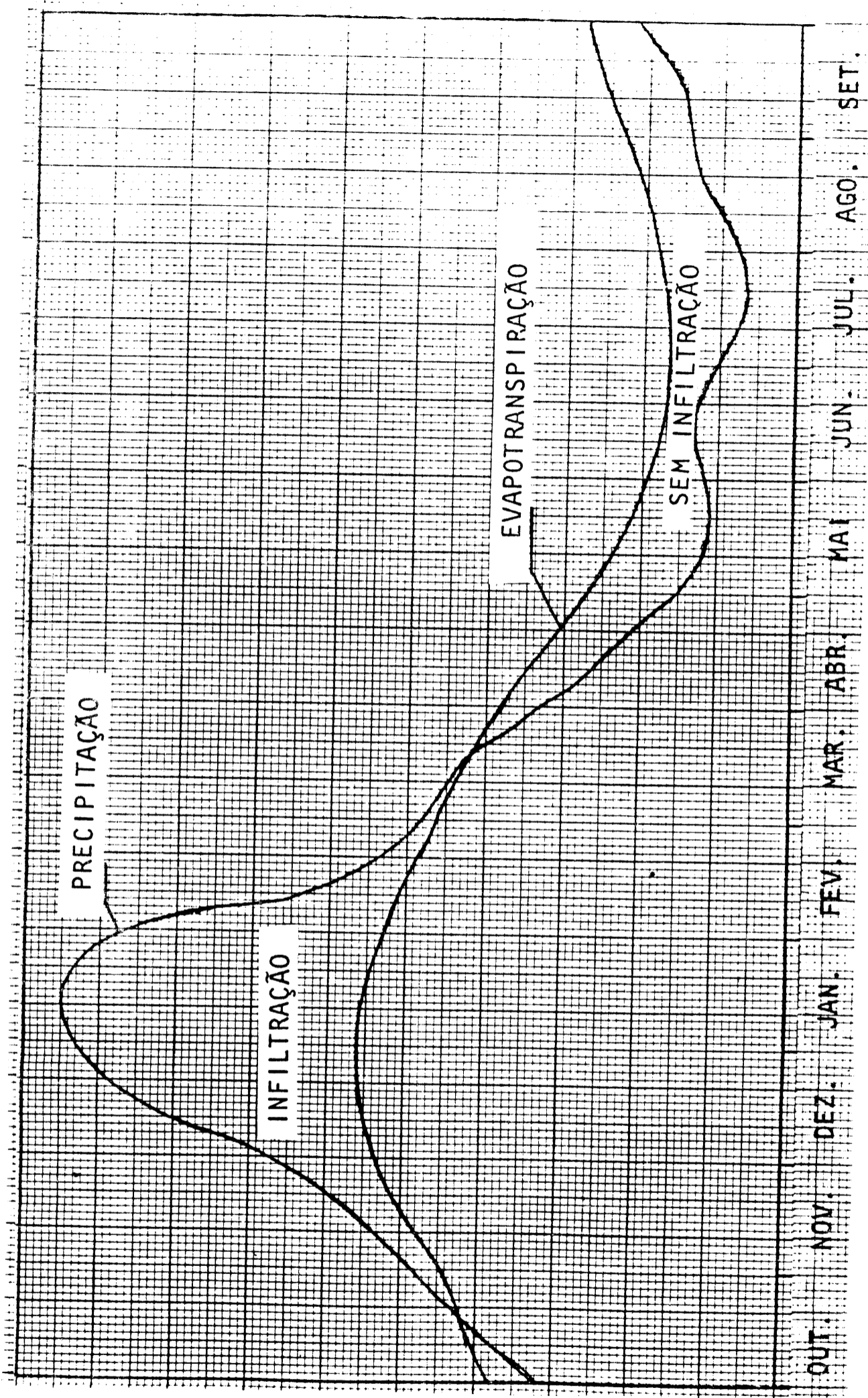


Figura 1 - Ciclos de pluviometria e evapotranspiração - Região de Piracicaba (1968-69).

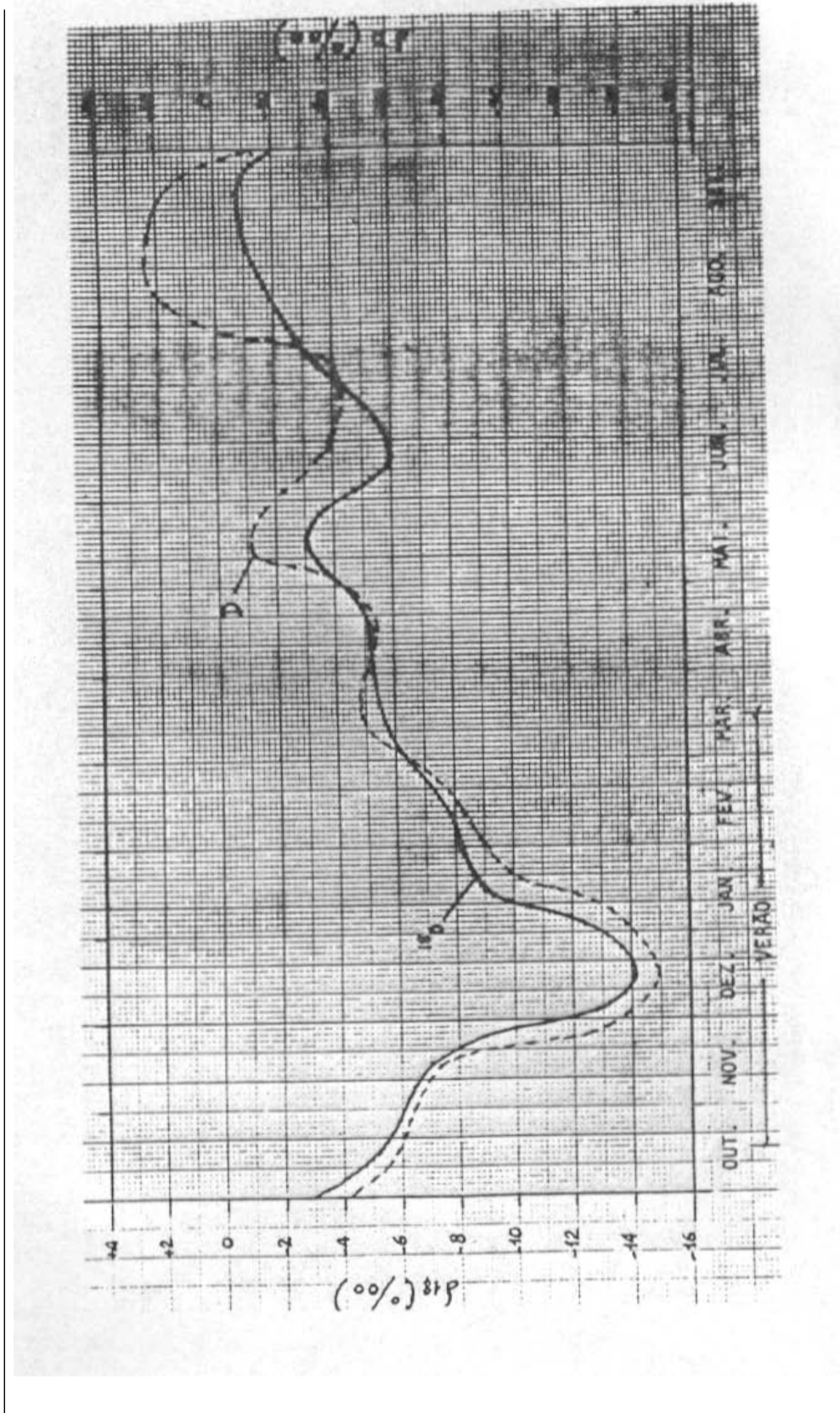


Figura 2 - Concentrações de D e 18O durante o ano nas precipitações - Região de Piracicaba (1968-69).

Tabela 1 - Poços - dados complementares

Amostras	Localização dos poços	Tipo de aquífero	Profundidade (m)	Nível piezométrico Estático (m)	Nível piezométrico Dinâmico (m)	Vazão (m ³ /h)
PP-1	B. São Jorge	Artesiano	73	-	-	3,5
PP-2	Artemis	Art. surg	280	0	17,0	15,0
PP-3	Artemis	Artesiano	200	1,5	40,0	13,0
PP-4	Vila Rezende	Artesiano	300	0	130,0	36,0
PP-5	Piracicaba	Artesiano	210	3,0	65,0	7,2
PP-6	Piracicaba	Artesiano	320	-	-	10,0
PP-7	B. Limeiro	Art. surg	350	0	-	90,0
PP-8	R. das Pedras	Artesiano	300	150,0	160,0	16,0
PP-9	Piracicaba	Art. surg	190	0	0	-
PP-10	B. Recreio	Artesiano	270	-	-	3,2
PP-11	R. das Pedras	Artesiano	180	-	-	3,2
PP-12	Saltinho	Artesiano	246	4,0	5,0	30,0
PP-13	B. Santana	Artesiano	243	-	-	5,5
PP-14	São Pedro	Artesiano	100	-	-	-
PP-15	Bairro Bertão	Artesiano	240	-	-	4,0
PP-16	B. Tabela	Artesiano	216	70,0	-	2,5
PP-17	Tanquinho	Artesiano	172	20,0	87,0	15,0
PP-18	Tupi	Artesiano	250	-	-	-
PP-19	U. Sta. Helena	Artesiano	230	-	-	12,0
PP-20	A. São Pedro	Artesiano	680	-	-	-
PP-21	B. Limeiro	Manancial	0	-	-	-
PP-22	Artemis	Freático	8	-	-	-
PP-23	R. das Pedras	Manancial	0	-	-	-
PP-25	Piracicaba	Freático	12	-	-	-
PP-26	Piracicaba	Freático	12	-	-	-
PP-27	A. São Pedro	Artesiano	480	-	-	-
PP-28	A. São Pedro	Artesiano	480	-	-	6,0
PP-29	Piracicaba	Freático	15	-	-	-
PP-30	R. das Pedras	Artesiano	300	95,0	96,0	16,0
PP-31	Piracicaba	Manancial	0	-	-	-
PP-32	Anhembi	Art. surg	-	0	-	-

racicaba. Houve também a preocupação de se avaliar a qualidade dessas águas, para uso humano e na agricultura, com base em análises químicas.

MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras das águas subterrâneas foram colhidas em julho-agosto de 1974, nos poços disponíveis para os estudos (Tabela 1), na região de Piracicaba-SP, que está localizada entre as latitudes 22º e 23ºS e as longitudes 47º e 48ºWG (Figuras 3 e 4).

As análises do deutério e oxigênio-18 foram realizadas no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), localizado na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo.

As técnicas de análises são aquelas empregadas por SALATI *et alii* (1972), e que se baseiam nas experiências adquiridas por diversos investigadores.

As análises químicas foram também realizadas no CENA e no Serviço Municipal de águas e Esgostos de Piracicaba (SEMAE).

Análise do deutério

Para a determinação da relação D/H, as amostras foram preparadas e analisadas de acordo com o método desenvolvido por FRIEDMAN (1957) e modificado por MATSUI *et alii* (1971).

Análise do oxigênio-18

As amostras para a determinação da relação $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ foram preparadas de acordo com o método de equilíbrio isotópico entre a água e o dióxido de carbono, sugerido por EPSTEIN & MAYEDA (1953). A técnica de análise empregada é semelhante a descrita por McKINNEY *et alii* (1950).

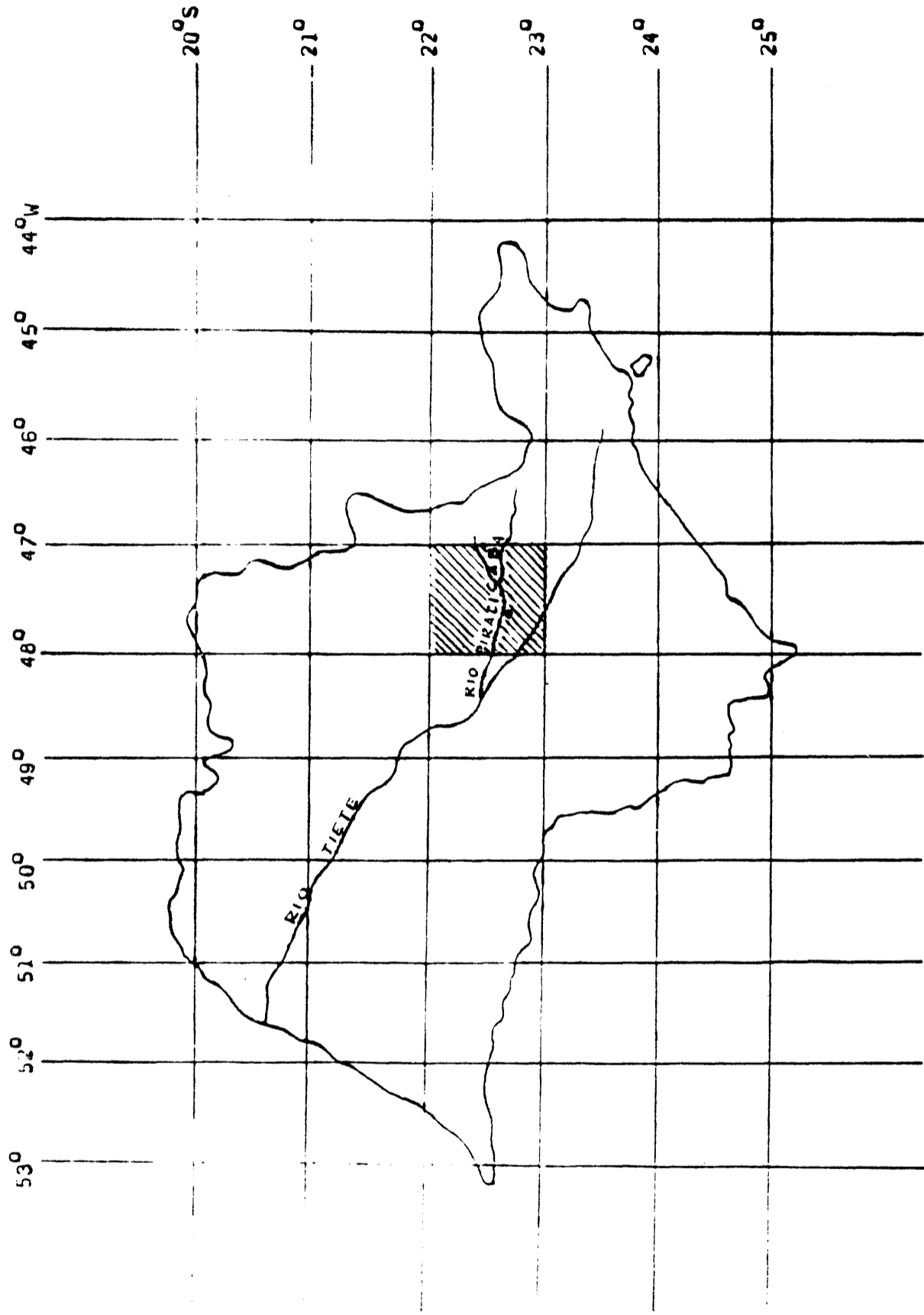


Figura 3 - Localização da região estudada no Estado de São Paulo.

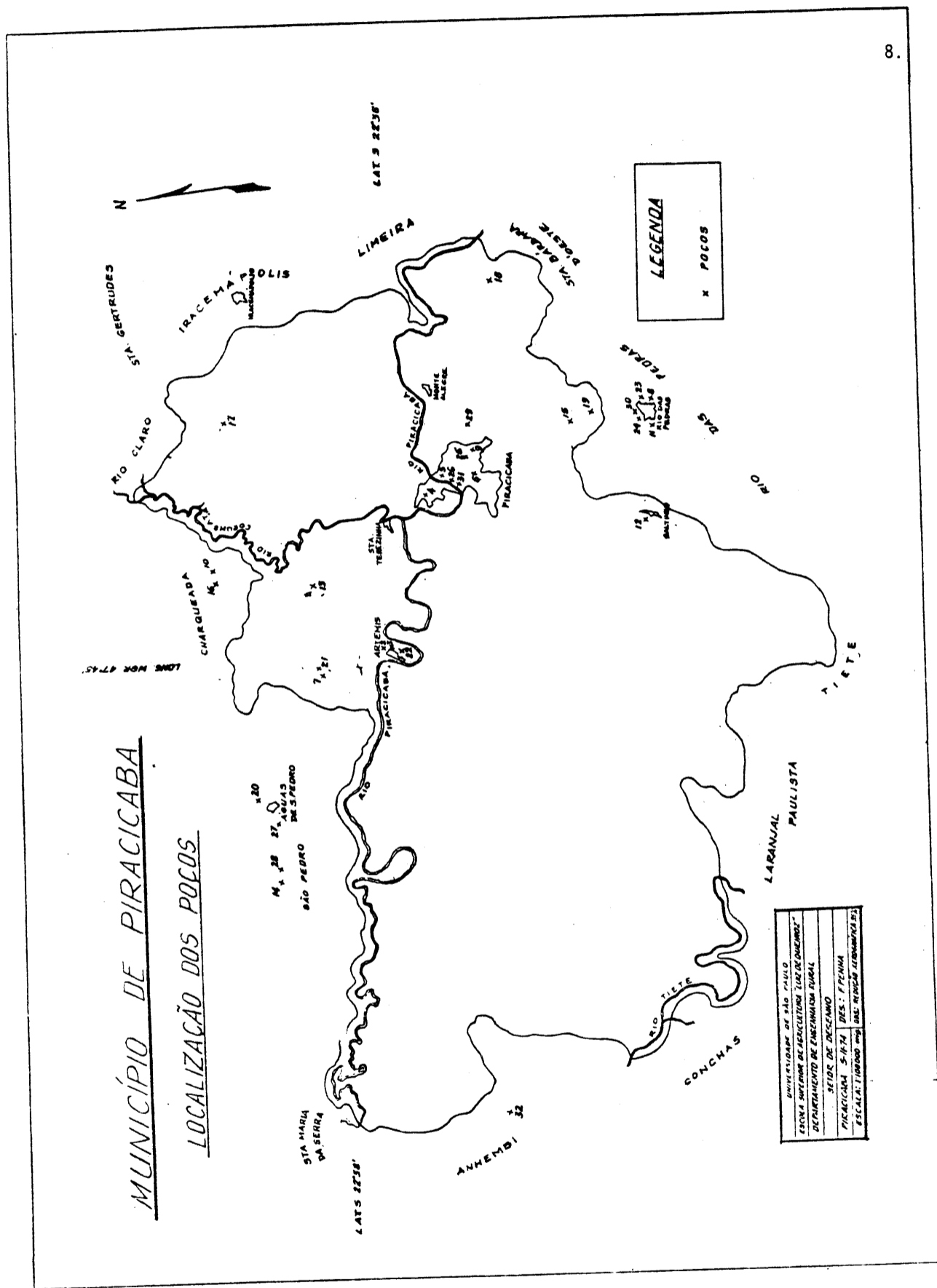


Figura 4 - Localização dos poços no município.

Os dados de ambas as análises foram obtidos com espectrômetros de massa Variant-Mat, sendo que para o deutério utilizou-se o modelo GD-150 e para o oxigênio-18 o modelo CH-4, especialmente modificado.

A precisão das medidas é, aproximadamente, ± 2 por 1000 para o deutério e $\pm 0,2$ por 1000 para o oxigênio-18.

As concentrações de D e ^{18}O foram expressas como desvios, positivos ou negativos, em relação ao padrão médio de água do oceano (SMOW), em tanto por mil e de acordo com as expressões:

$$^{18}\text{O} = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O}) \text{ amostra} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O}) \text{ SMOW}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O}) \text{ SMOW}} \cdot 10^3$$

$$\text{D} = \frac{(\text{D}/\text{H}) \text{ amostras} - (\text{D}/\text{H}) \text{ SMOW}}{(\text{D}/\text{H}) \text{ SMOW}} \cdot 10^3$$

Análises químicas

Para a determinação dos elementos químicos presentes na água foram utilizadas as técnicas convencionais, rotineiramente empregadas pelos Serviços de Tratamento de Água, exceto para condutividade elétrica cuja determinação foi realizada no Departamento de Solos e Geologia da ESALQ/USP.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises isotópicas das águas subterâneas são apresentados na Tabela 2. Com estes dados construiu-se o gráfico da Figura 5, no qual pode-se verificar uma variação muito pequena nas concentrações de D e ^{18}O .

As relações encontradas entre o D e ^{18}O foram as seguintes:

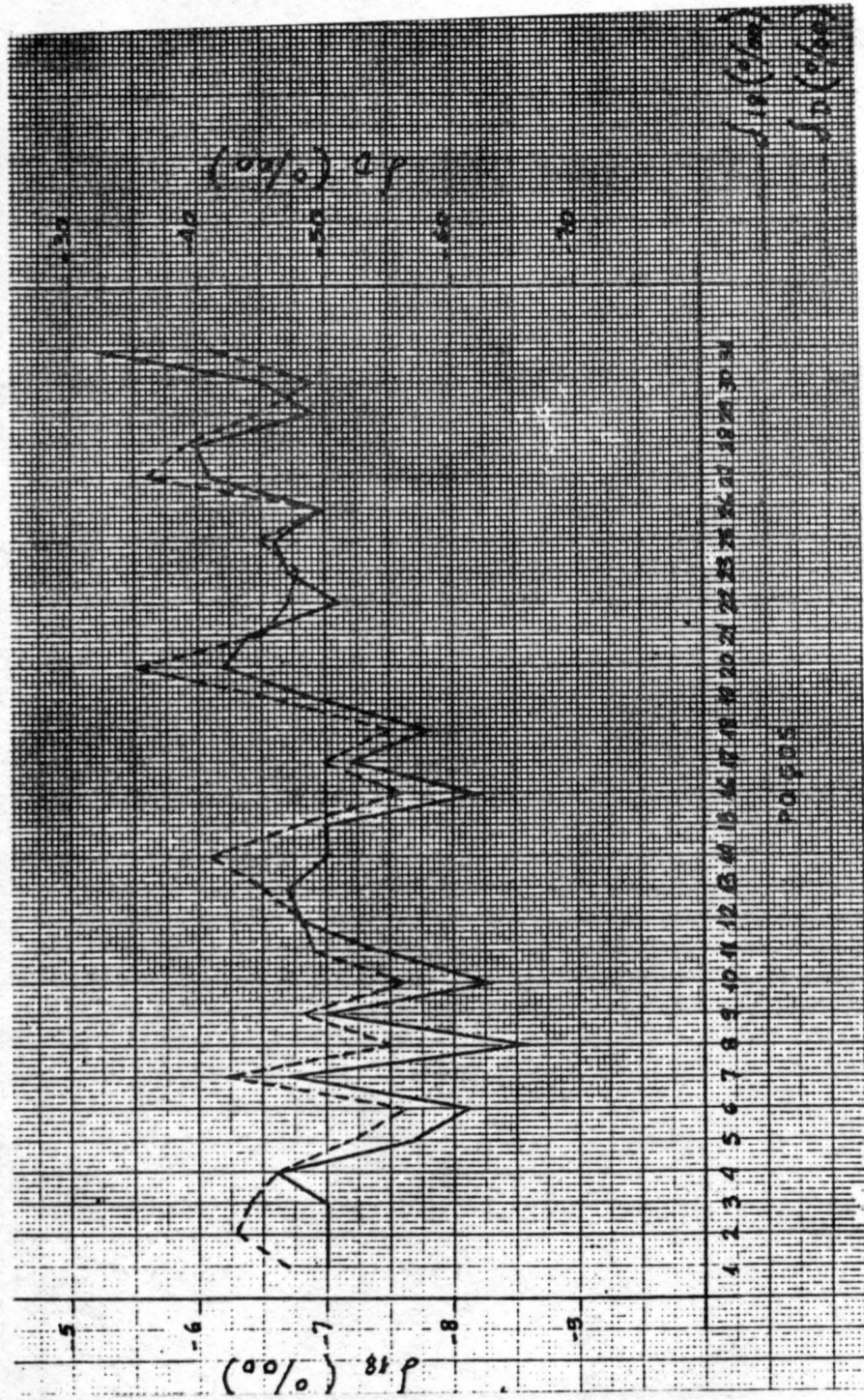


Figura 5 - D e ^{18}O em relação ao SMOW nas águas subterrâneas de Piracicaba (1974).

Tabela 2 - Concentrações de D e ^{18}O nas águas subterrâneas da região de Piracicaba - 1975.

Amotras	δD (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
PP-1	- 47	- 7,0
PP-2	- 43	- 7,0
PP-3	- 44	- 7,0
PP-4	- 46	- 6,6
PP-5	- 52	- 7,7
PP-6	- 56	- 6,1
PP-7	- 42	- 6,7
PP-8	- 55	- 8,6
PP-9	- 48	- 7,0
PP-10	- 56	- 8,3
PP-11	- 49	- 7,4
PP-12	- 48	- 6,8
PP-13	- 45	- 6,7
PP-14	- 41	- 7,0
PP-15	- 48	- 7,0
PP-16	- 56	- 8,2
PP-17	- 50	- 7,2
PP-18	- 55	- 7,8
PP-19	- 46	- 6,9
PP-20	- 35	- 6,2
PP-21	- 45	- 6,4
PP-22	- 47	- 7,1
PP-23	- 48	- 6,7
PP-25	- 45	- 6,6
PP-26	- 50	- 7,0
PP-27	- 36	- 6,1
PP-28	- 39	- 7,0
PP-29	- 45	- 6,9
PP-30	- 49	- 6,5
PP-31	- 42	- 5,2

Para as águas subterrâneas

$$\delta D = -2,9 + 6,34 \delta^{18} \quad (1)$$

com um coeficiente de correlação de 83%.

Esta equação está representada na Figura 6, juntamente com a obtida por CRAIG (1971), a partir de um grande número de amostras.

Para as águas de chuvas (calculada com os dados da Tabela 3)

$$\delta D = 4,9 + 6,47 \delta^{18} \quad (2)$$

com um coeficiente de correlação de 94%.

Para as águas do rio Piracicaba

Com os dados disponíveis no CENA, e que se encontram na Tabela 4, OLIVEIRO (1974) determinou a seguinte relação:

$$\delta D = -10,98 + 4,88 \delta^{18} \quad (3)$$

com um coeficiente de correlação de 58%.

Na Figura 7 é feita uma comparação entre as equações (1) e (2); pode-se observar, a partir dos coeficientes angulares, que as águas subterrâneas não sofreram evaporação antes de alimentar o aquífero e tampouco no interior do mesmo.

Na Figura 8 estão representadas as equações (1), (2) e (3); com ela se comprova, também com base nos coeficientes angulares, que as precipitações são responsáveis pela recarga dos aquíferos e que o rio Piracicaba atua como efluente destes aquíferos.

As análises químicas (Tabelas 5 e 6) mostram, claramente, que a maioria das águas subterrâneas são impróprias para o consumo humano e, parte delas, inadequadas para o uso na irrigação.

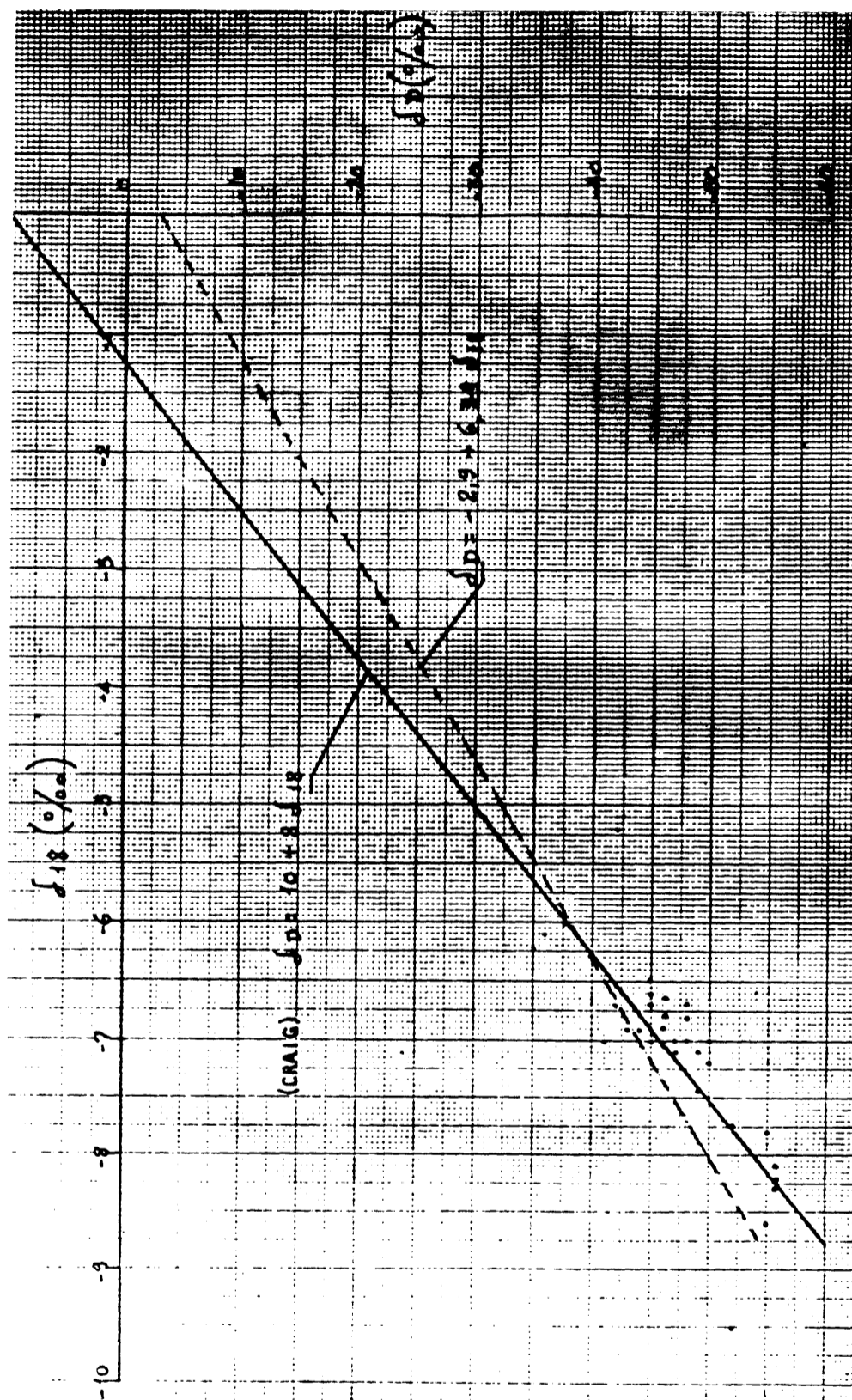


Figura 6. Relação entre D e 180 nas águas subterrâneas - Região de Piracicaba (1974)

Tabela 4 - Concentrações de D e 180 nas águas do Rio Piracicaba

Data	1968												1969			
	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.				
$\delta D(\%)$	-43,9	-46,0	-	-43,1	-40,0	-50,0	-	-	-38,7	-52,2	-	-42,0				
$\delta 18(\%)$	-6,6	-6,8	-	-6,4	-6,1	-6,1	-	-	-6,4	-8,1	-	-6,1				
Data	1969												1970			
	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.				
$\delta D(\%)$	-44,8	-41,2	-40,6	-42,7	-39,2	-32,0	-39,0	-	-	-64,4	-54,3	-41,3				
$\delta 18(\%)$	-7,0	-6,8	-6,3	-6,0	-5,9	-5,3	-6,0	-	-	-8,4	-7,5	-6,3				
Data	1970												1971			
	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.				
$\delta D(\%)$	-39,5	-45,6	-40,1	-38,0	-37,0	-35,9	-35,4	-33,0	-32,1	-31,3	-50,7	-38,5				
$\delta 18(\%)$	-6,3	-6,6	-6,7	-6,3	-6,0	-5,6	-5,9	-5,8	-5,4	-5,5	-3,7	-6,3				
Data	1971												1972			
	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.				
$\delta D(\%)$	-	-36,1	-	-	-37,8	-36,6	-36,8	-46,1	-38,5	-43,9	-46,5	-41,9				
$\delta 18(\%)$	-	-6,1	-	-	-5,8	-6,4	-5,9	-6,8	-6,0	-6,7	-6,2	-6,7				

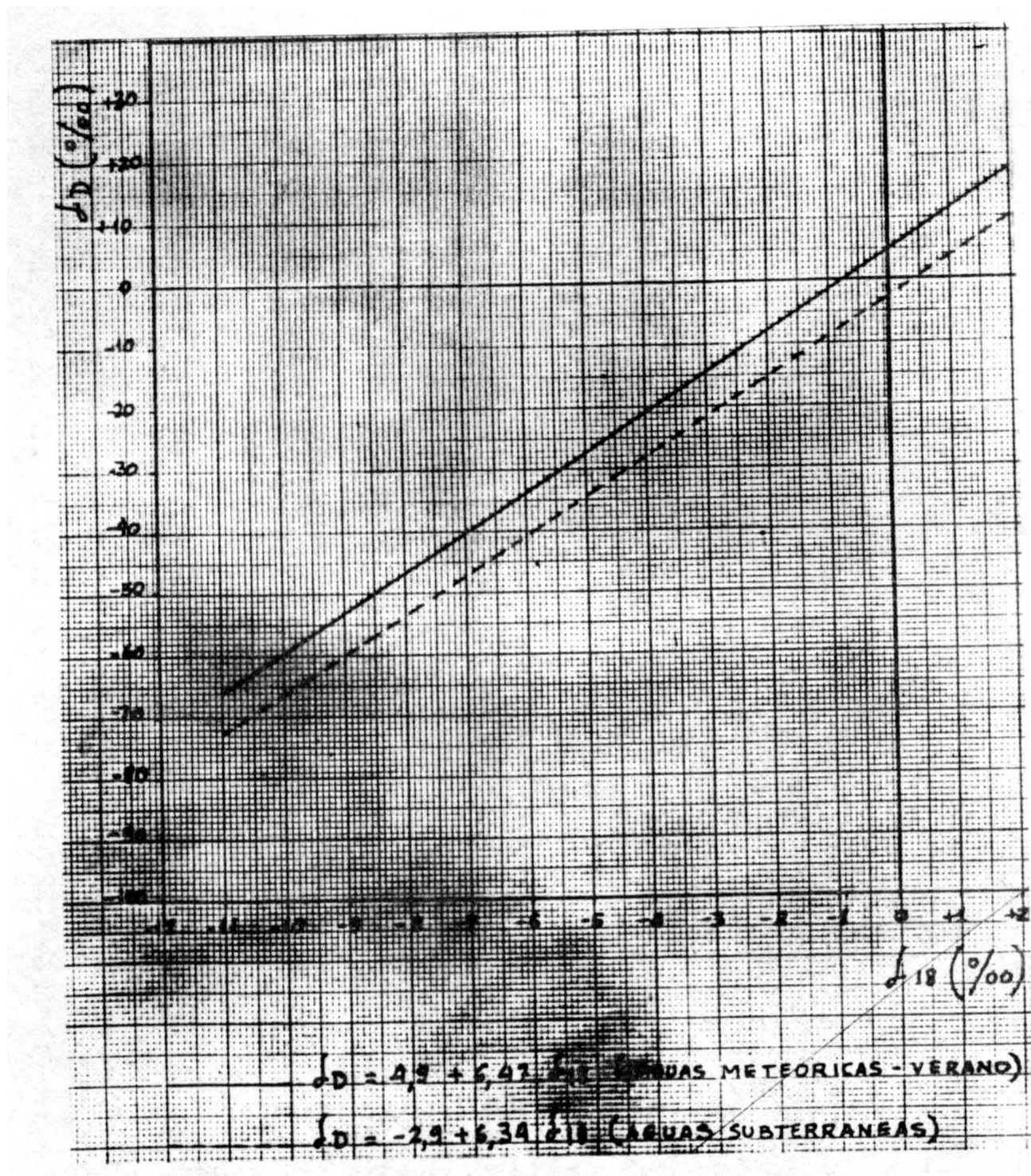


Figura 7 - Relações entre D e δ^{18} nas águas de chuva e subterrânea - Região de Piracicaba.

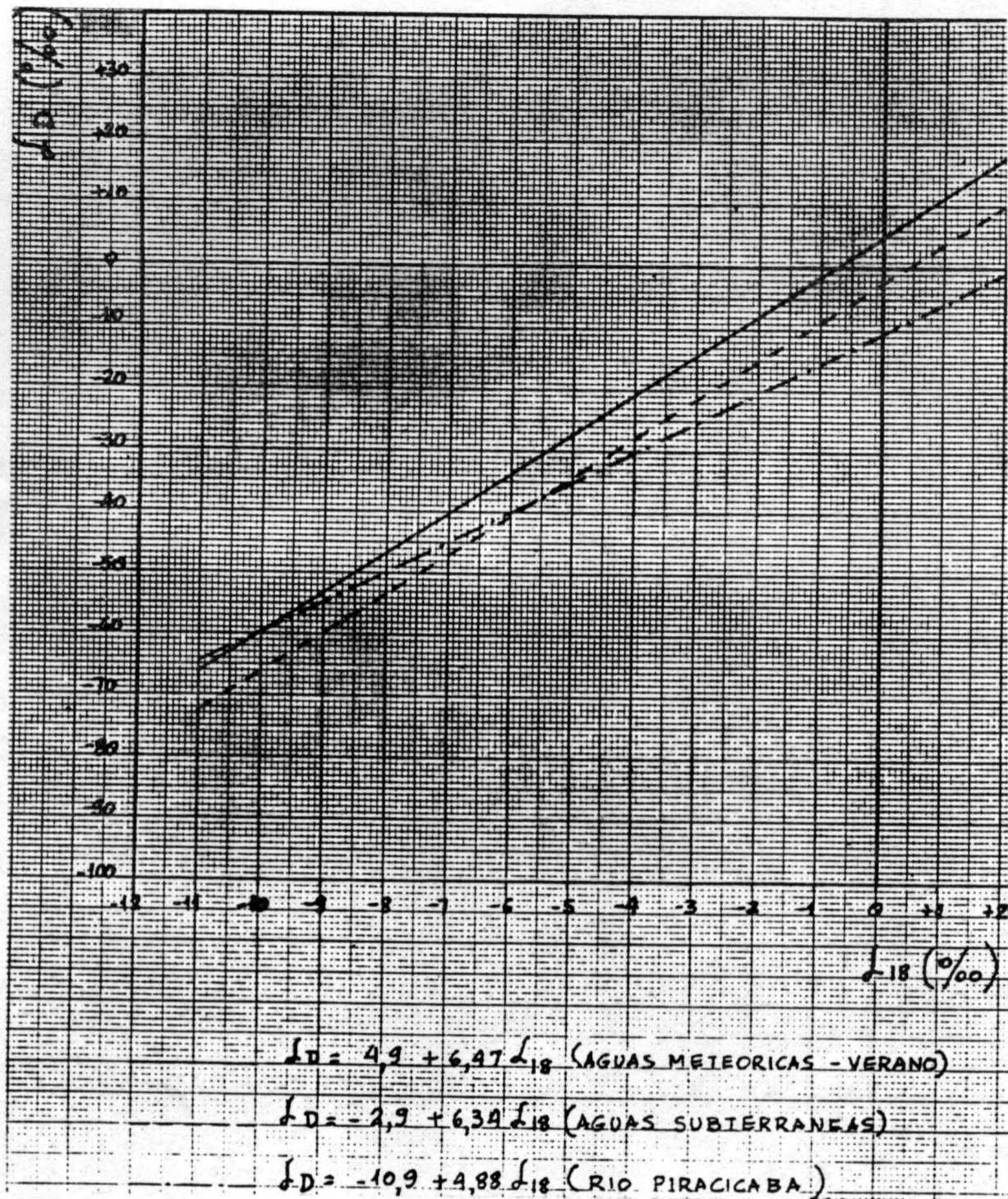


Figura 8 - Relações entre D e δ_{18} nas águas de chuva, subterrânea e do rio Piracicaba.

Tabela 5 - Análise química das águas subterrâneas da região de Piracicaba (*)

PP	Cor	Turb.	pH	CO ₂	Acid.	Alcal.	O.C.	Dur.	Conduktiv. Elêtr. (**)	
									(nhos a 25°C)	
" 1	5,0	0,56	7,7	0,0	16,0	316,0	0,24	230,0	609	Satisfatória
" 2	5,0	0,45	8,0	5,5	2,0	260,0	0,96	30,0	2815	Não utiliz.
" 3	5,0	1,60	8,8	0,0	021,0	308,0	0,64	30,0	2758	" "
" 4	5,0	0,35	8,30	1,9	03,5	176,0	0,64	70,0	4711	" "
" 5	10,0	8,80	8,3	1,8	06,0	168,0	0,96	30,0	1838	Utilizável
" 6	5,0	0,38	9,25	0,0	041,0	302,0	0,48	20,0	1494	"
" 7	5,0	0,42	8,80	1,5	019,0	274,0	1,52	20,0	2987	Não utiliz.
" 8	5,0	3,60	8,80	1,0	015,0	200,0	0,72	40,0	517	Satisfatória
" 9	5,0	0,37	6,20	21,0	38,0	16,0	0,32	50,0	224	"
" 10	8,0	0,76	7,7	2,4	91,5	60,0	0,48	80,0	2241	Utilizável
" 11	5,0	0,65	8,70	0,0	011,0	184,0	0,40	90,0	321	"
" 12	5,0	0,31	8,2	1,9	007,0	155,0	0,16	112,0	321	"
" 13	5,0	0,76	8,05	1,0	8,0	382,0	1,84	210,0	574	"
" 14	5,0	0,60	7,6	0,0	2,0	10,0	0,72	4,0	63	"
" 15	5,0	0,40	7,70	5,5	7,0	144,0	0,32	110,0	276	"
" 16	5,0	0,32	9,3	0,0	037,0	290,0	0,32	4,0	770	"
" 17	75,0	34,0	9,4	0,0	042,0	158,0	2,08	30,0	299	"
" 18	5,0	0,45	7,70	5,7	5,0	146,0	0,24	40,0	259	"
" 19	5,0	0,34	7,30	19,0	10,0	184,0	0,40	150,0	333	"
" 20	5,0	0,39	8,9	0,0	027,0	330,0	1,28	4,0	3332	Não utiliz.
" 21	5,0	3,5	7,7	0,0	2,0	16,0	0,24	30,0	21	Satisfatória
" 22	5,0	0,78	8,4	0,0	09,0	132,0	0,24	150,0	368	"
" 23	5,0	0,95	8,0	1,0	1,0	50,0	0,32	32,0	90	"
" 24	400,0	64,0	6,7	31,0	7,0	78,0	15,12	100,0	368	"
" 25	5,0	0,90	6,3	46,0	7,0	46,0	0,32	90,0	224	"
" 26	5,0	0,31	7,10	7,5	7,0	46,0	0,24	50,0	94	"
" 27	5,0	0,65	8,8	0,0	033,0	380,0	1,28	40,0	3217	Não utiliz.
" 28	5,0	0,69	8,6	1,2	013,0	200,0	0,72	20,0	2872	"
" 29	5,0	0,80	5,2	90,0	39,0	8,0	0,48	20,0	20	Satisfatória
" 30	5,0	6,70	8,0	2,2	3,0	120,0	0,32	50,0	241	"
" 31	5,0	0,62	6,4	32,0	44,0	38,0	0,24	50,0	110	"
" 32	5,0	0,32	8,7	0,0	024,0	335,0	0,72	20,0	6090	Não utiliz.
" 33	5,0	22,0	8,6	0,0	043,0	1495,0	0,16	2,0		

(*) Realizada pelo SEMAE

(**) Conditividade elétrica para fins de irrigação.

Tabela 6 - Análise química das águas subterrâneas da região de Piracicaba (*)

Amostra	ppm Na ⁺	ppm K ⁺	ppm SO ₄ ⁻	ppm Cl ⁻	ppm Ca ²⁺	ppm Mg ²⁺	ppm Zn ²⁺	ppm Mn	ppm Cu	ppm Fe
PP-1	39,3	4,65	< 5	7,0	43,5	1,70	<0,01		<<0,1	<0,1
PP-2	681	1,64	364	500	1,35	0,40	<0,01		0,1	0,1
PP-3	675	1,18	305	450	0,95	0,42	<0,01		Ca0,1	0,1
PP-4	<100	4,00	1600	270	5,50	1,75	0,12		<<0,1	0,1
PP-5	415	1,46	525	88,5	43,0	1,02	0,06			
PP-6	358	0,82	315	45,5	0,75	0,095	<0,01			
PP-7	725	1,21	250	595	0,80	0,098	<0,01			
PP-8	157	0,81	57	12,0	1,10	0,40	0,13			
PP-9	34,9	4,16	< 5	23,3	1,00	2,25	Ca0,03			
PP-10	500	1,34	420	362	24,2	2,04	Ca0,03			
PP-11	46,4	1,92	< 5	Ca 4	14,3	5,50	Ca0,03			
PP-12	23,9	4,25	< 5	Ca 5	35,4	14,1	<0,01			
PP-13	125	1,87	Ca 6	13,8	18,5	8,1	<0,01			
PP-14	5,6	0,12	8,0	< 1	Ca 0,2	0,16	Ca0,04			
PP-15	27,0	3,26	5	< 1	14,2	6,50	<0,01			
PP-16	223	0,42	64	26,0	Ca 0,25	0,08	<0,01			
PP-171	89	0,63	< 5	< 1	2,05	1,18	0,42			
PP-18	80	1,03	5	< 1	5,85	0,61	0,06			<0,3
PP-19	10,9	7,80	5	< 1	34,5	8,40	<0,01			<0,1
PP-20	820	1,63	150	805	0,48	0,07	<0,01			
PP-21	6,6	0,75	< 5	< 1	0,80	9,3	0,62			
PP-22	14,1	4,14	< 5	18,5	34,0	2,12	Ca0,03			
PP-23	6,1	2,29	< 5	Ca 2	4,63	8,50	<0,01			
PP-24	14,2	56,8	49	33,0	4,80	8,50	Ca0,03			
PP-25	10,8	0,56	< 5	15,5	5,70	-	0,06			<4,5
PP-26	8,0	0,49	< 5	Ca 2	6,70	1,22	<0,01			<0,1
PP-27	780	1,80	5	885	0,60	0,20	<0,01			
PP-28	670	2,02	275	580,30	3,30	0,56	<0,01			
PP-29	5,8	0,80	< 5	Ca 2	0,50	0,37	0,07			
PP-30	37,0	1,41	< 5	Ca 2	6,62	3,40	Ca0,03			
PP-31	8,0	Ca 0,1	< 5	5,5	2,55	4,60	Ca0,03			
PP-32	1300	4,13	990	1150	2,45	0,71	<0,01			
PP-33	815	Ca 0,1	45	Ca 5	0,60	0,05	<0,1			

(*) Realizada pelo CENA

Na Tabela 1 pode-se observar as pequenas vazões registradas nos poços.

SUMMARY

A STUDY ON THE GROUNDWATERS OF THE PIRACICABA REGION

An alternative for supplying water to industry and population has been the utilization of groundwaters. In the Piracicaba region, where the sources of surface waters show the highest pollutant contents in Brasil, the utilization of groundwaters has been tried.

As a contribution to the practical steps in the establishment of a series of artesian wells, a systematic study has been initiated on the quality of these waters, with a view to its utilization as water supply for the population, industry and agriculture.

For this study, samples of groundwater of the Piracicaba region were analyzed from 20 artesian wells, 4 artesian flowing wells, 5 phreatic wells and 3 springs.

Determination of D and ^{18}O isotope concentration were made using mass spectrometry and the correlation of these data with the D and ^{18}O concentration previously determined by SALATI *et alii* (1974) for the rainwater in the same region and for the Piracicaba river has been studied. Chemical analyses also were made.

These preliminary analyses suggest that:

- a) due to the small variations observed in the isotopic concentrations, the groundwater obtained from the various wells in the region may be representative of a single aquifer;
- b) the equivalence between the D and ^{18}O concentration in the groundwater suggest rather permeable recharge zones;

- c) the higher isotopic concentrations in the water of the Piracicaba river when compared of the ground-water concentrations indicate that this river is a drainer of the aquifers in the region under study;
- d) generally speaking, the groundwaters showed to be inadequate for human consumption;
- e) evidence has also been found that most of the deep wells have a small outflow.

In addition, this study has made available further information which will be of great help in future hydrogeological studies.

LITERATURA CITADA

- SALATI, E. *et alii*, 1972. Medidas de concentração de ^{18}O em águas de chuva do Estado de São Paulo. Boletim Científico 2, CENA, ESALQ, USP, 24p.
- DANSGAARD, W., 1964. Stable isotopes in precipitation. Tellus, Suecia, 16(4): 436-468.
- FRIEDMAN, I., 1953. Deuterium content of natural waters and other substances. Geochimica et Cosmochimica, Acta 4: 89-103.
- MATSUI, E.; SALATI, E.; FERRAZ, E.S.B., 1971. Medida da variação natural da relação D/H em amostras d'água. Boletim Científico 1, CENA, ESALQ, USP. 31p.
- EPSTEIN, S.; MAYEDA, T., 1953. Variation of ^{18}O content of waters from natural sources. Geochimica et Cosmochimica, Acta 4: 213-324.
- McKINNEY, C.R.; McCREA, J.M.; EPSTEIN, S.; ALLEN, H.A.; UREY, H.C., 1950. Improvements in mass spectrometer for the measurement of small differences in isotope abundance ratios. The Review of Scientific Instruments 21: 724-730.

CRAIG, H., 1961. Isotopic variation in meteoric waters. Science 133: 1702-1703.

OLIVEIRO, J.V., 1974. Concentrações de D e ^{18}O nas águas de precipitação e de superfície dos Estados de Minas Gerais, São Paulo e Paraná, dissertação de mestrado, Piracicaba, CEENA, ESALQ, MG, 153p.



Impresso por
R. Vieira Gráfica e Editora Ltda.
Rua do Açúcar, 244
Campinas - SP - CEP 13.100

COMPOSIÇÃO E DIAGRAMAÇÃO

JORGE LUIZ DIORIO
PIRACICABA-SP