

CARACTERÍSTICAS HIDROQUÍMICAS DO AQUIFERO BOTUCATU NO ESTADO DE SÃO PAULO

Rosa Beatriz Gouveia da Silva
Adriano Diogo
Seldo Fraiha Junior

Departamento de Águas e Energia Elétrica — DAEE - SP

The authors starting from 43 chemical analyses of water well proceeded to study the chemical composition of the subterranean waters of the Botucatu Aquifer. The area of this aquifer in the State of São Paulo is 150.000 km² being for the most part underneath the basaltic lava (confined) with only 10% showing (out crop) constituting the recharging zone.

Within the given statistics and chemical parameters the larger cations and anions, the temperature and fluorine were selected with a view to showing the varying degrees of chemism of the water. The cations and anions were represented graphically according to the diagrams of Stiff and Piper.

The temperature was correlated from the bottom to the top of the aquifer.

Anomolous concentrations of flourine were analysed in accordance with the characteristics of the wells.

The results obtained show the following conclusions:

- a) The subterranean waters show a differentiated chemical composition throughout the area: in the outcropping area and even in the adjacent area of shallow confinement, the waters are bicarbonated calcic; giving way to chloro-sulphate sodic in those areas more distant from the recharging area and with more density of the confined stratum.
- b) The temperature of the water in the recharging areas vary from

principais: uma de águas predominantemente bicarbonatadas cálcicas e outra de bicarbonatadas sódicas.

As águas bicarbonatadas cálcicas num total de 21 amostras, apresentam menor concentração de sais com resíduo seco variando entre 27 e 291 mg/l. Os teores de cálcio situam-se entre 0,04 e 2,51 meq/l, os de sódio entre 0,01 e 0,74 meq/l, sendo que em 90% das amostras o magnésio é inferior a 0,40 meq/l. Quanto aos ânions, em 76% dos resultados obtidos o bicarbonato mostra valores superiores a 1 meq/l com um máximo de 3,16 meq/l, o carbonato foi detectado em apenas uma análise, o sulfato em quatro e o cloreto em 95% dos casos é inferior a 0,10 meq/l.

Segundo a classificação proposta por Schoeller (1962), as águas bicarbonatadas cálcicas estudadas obedecem à seguinte sequência de concentração dos ions maiores:

Para os ânions: $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--}$ e secundariamente $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{--} > \text{Cl}^-$

Para os cátions: $\text{Ca}^{++} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{++}$

$\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+$

A família de águas bicarbonatadas sódicas apresenta teores de resíduo seco mais elevados, com dois terços dos valores acima de 200 mg/l. O sódio varia entre 0,56 e 16,01 meq/l, o cálcio entre 0,05 e 0,27 meq/l e o magnésio é sempre inferior a 0,12 meq/l. Do ponto de vista aniônico, os teores de bicarbonato estão compreendidos no intervalo 0,10 e 3,40 meq/l, sempre associados a ions de carbonato cujos valores encontrados estão entre 0,12 e 2,90 meq/l. O sulfato e cloreto foram encontrados na maioria das amostras com concentrações em geral baixas, mas superiores às das águas bicarbonatadas cálcicas.

Segundo a classificação de Schoeller (op.cit.) tem-se que para os ânions estas águas apresentam sequência semelhante à das bicarbonatadas cálcicas. Para os cátions a ordenação é a seguinte:

$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++}$.

Além destas duas famílias de águas predominantes, foram encontradas quatro amostras com classificações distintas: uma bicarbonata

da magnesiana, duas cloretadas sódicas e uma sulfatada sódica.

VARIAÇÃO ESPACIAL DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA

A variação espacial da composição química das águas estudadas pode ser observada na figura 2, onde estão dispostos os diagramas de Stiff para algumas amostras. Da distribuição em área destes diagramas verifica-se que tanto a concentração de sais como a predominância de ions cálcio ou sódio está associada à distância dos poços em relação à área de afloramento. Desse modo, na porção aflorante ou próximo a ela, os teores de sais são menos elevados e correspondem ao campo de águas bicarbonatadas cálcicas delimitado no diagrama de Piper. Por outro lado, nas águas provenientes de poços localizados na zona confinada mais profunda cresce a concentração de sais dissolvidos e as águas se tornam bicarbonatadas sódicas e clo-ro-sulfatadas sódicas (DAEE, 1979).

Os resultados obtidos para a relação $r_{Na/Ca}$ mostram que estes valores são menores que 0,77 para as águas menos profundas (cálcicas) e aumentam progressivamente à medida que se afastam da área de recarga, até o máximo de 80,2.

O aumento gradativo da temperatura das águas do aquífero Botucatu com a profundidade de confinamento é explicado por Teissedre e Berner (1981) como decorrente do grau geotérmico natural ($1^{\circ}C/35m$). Os autores propõem a seguinte relação entre a temperatura e a profundidade do topo deste aquífero:

$$T (^{\circ}C) = 0,0282P (m) + 22$$

Ainda segundo estes autores, o acréscimo do teor de sílica dissolvido na água está diretamente relacionado ao aumento da temperatura e segue a expressão abaixo:

$$T (^{\circ}C) = 1,855SiO_2 (mg/l) - 7,68$$

Assim como o aumento da temperatura influencia a dissolução de sílica, será provavelmente um dos fatores responsáveis pela diminuição da solubilidade do $CaCO_3$, gerando, conseqüentemente, águas menos cálcicas nas zonas mais profundas, o contrário devendo ocorrer com o ion sódio, cuja solubilidade aumenta com a temperatura.

O fenômeno de troca de bases possivelmente também deve intervir no sentido de aumentar os teores de sódio nas águas, visto que os valores assumidos pelo índice de troca de bases (segundo Schöeller, op.cit.), embora sempre negativos, diminuem gradativamente para as águas mais sódicas.

Quanto ao fluoreto, constata-se um aumento de sua concentração na porção confinada do aquífero. No entanto, este aumento não é progressivo como o observado para outros ions analisados, estando aparentemente relacionado ao crescimento da quantidade de sódio (Custódio e Llamas, 1976). Os teores excessivamente anômalos encontrados em Presidente Prudente e Londrina escapariam deste mecanismo.

CONCLUSÕES

As águas do aquífero Botucatu no Estado de São Paulo classificam-se, segundo sua composição química, em duas famílias de águas predominantes: uma bicarbonatada cálcica e outra bicarbonata sódica. As águas bicarbonatadas cálcicas ocorrem na zona florante ou próximo a ela e, à medida em que o aquífero se torna fortemente confinado, as águas passam a bicarbonatadas sódicas, evoluindo então para cloro-sulfatadas sódicas (Figura 1).

Esta evolução da composição química bem como o relativo aumento da concentração salina das águas estão associados à distância e profundidade de confinamento do aquífero. Provavelmente, os fenômenos de troca de base e de concentração de sais obedecem às condições regionais de circulação das águas, onde o tempo de residência prolongado e o aumento da temperatura exerçam maior influência (Custódio e Llamas, op.cit.).

A ocorrência de fluoreto em teores excessivos não parece estar associada a evolução regional dos parâmetros hidroquímicos, tratando-se possivelmente de anomalias localizadas, cuja origem não pode ainda ser explicada no atual estágio de conhecimento.

BIBLIOGRAFIA

- CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M.R. Hidrologia Subterrânea. Barcelona, Omega, 1976.
- SÃO PAULO. Secretaria de Obras e do Meio Ambiente, Departamento de Águas e Energia Elétrica. Estudo de Águas Subterrâneas: regiões administrativas 10 (Presidente Prudente) e 11 (Marília), 1979, V. 1.
- SCHOELLER, H. Les eaux souterraines. Paris, Masson, 1962.
- SOARES. P.C. O mesozóico gondwânico no Estado de São Paulo, Rio Claro, 1973. (Tese de Doutorado-UNESP)
- TEISSEDRE, J.M. & BARNER, V. Comportamento geotérmico e geoquímico das águas do aquífero Botucatu na bacia do Paranã. Revista Águas Subterrâneas, 4:85-95, 1981.

TABELA 1 - DADOS DE ANÁLISES QUÍMICA DO AQUIFERO BOTUCATU NO ESTADO DE SÃO PAULO

FOLHA/POÇO	Ca ⁺⁺ meq/l	Mg ⁺⁺ meq/l	Na ⁺ meq/l	K ⁺ meq/l	HCO ₃ ⁻ meq/l	CO ₃ ⁻⁻ meq/l	SO ₄ ⁻⁻ meq/l	Cl ⁻ meq/l	F ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	pH	COND. µS/cm	RESÍDUO a 180° C
031/036	0.05	0.03	4.00	0.03	1.92	0.88	0.56	0.58	0.62	0.02	9.01	365.00	221.00
033/045	0.07	0.02	4.44	0.02	1.84	0.60	0.75	1.31	0.58	0.01	8.80	461.00	334.00
033/049	0.18	0.06	5.48	0.05	1.62	0.76	1.17	1.74	0.78	0.00	9.20	604.00	373.00
057/001	0.04	0.01	3.35	0.01	1.66	1.32	0.29	0.20	0.33	0.08	9.75	347.00	227.00
074/116	0.15	0.02	1.87	0.04	0.48	0.48	0.42	0.16	0.46	0.05	9.30	237.00	115.00
074/215	0.08	0.01	3.96	0.01	1.92	1.32	0.27	0.37	0.62	0.08	9.70	410.00	261.00
081/016	0.16	0.00	0.56	0.12	0.66	0.18	0.02	0.01	0.20	0.01	9.29	84.00	57.00
096/009	0.12	0.06	3.35	0.01	1.72	1.56	0.10	0.04	0.50	0.02	9.50	344.00	218.00
098/011	1.00	0.06	0.70	0.08	1.68	0.04	0.06	0.02	0.19	0.00	8.30	173.00	207.00
100/117	1.21	0.16	0.17	0.08	1.48	0.00	0.00	0.00	0.10	0.06	8.25	155.00	104.00
115/001	0.12	0.08	4.26	0.02	2.04	1.38	0.31	0.32	1.09	0.00	9.50	418.00	501.00
118/024	1.57	0.38	0.48	0.12	1.72	0.00	0.06	0.30	0.30	0.00	6.30	34.00	48.00
121/014	0.17	0.06	0.06	0.06	0.28	0.00	0.00	0.00	1.02	0.00	9.80	512.00	326.00
135/005	0.12	0.05	5.05	0.02	1.70	2.90	0.27	0.13	1.02	0.00	7.66	159.00	143.00
139/010	1.03	0.43	0.37	0.05	1.80	0.00	0.00	0.04	0.17	0.75	9.80	440.00	143.00
139/011	0.11	0.05	4.35	0.02	2.56	1.24	0.46	0.23	0.63	0.18	7.30	334.00	233.00
141/014	1.83	1.13	0.24	0.17	2.60	0.00	0.00	0.31	0.10	3.40	7.30	434.00	233.00
145/001	0.17	0.05	0.28	0.05	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	6.60	33.00	49.00
166/033	0.28	0.22	0.05	0.11	3.40	0.54	0.00	0.03	0.23	0.00	6.30	68.00	68.00
177/082	0.22	0.02	9.79	0.06	0.04	0.44	1.92	3.75	13.30	0.02	8.95	1110.00	632.00
188/001	1.88	0.46	0.13	0.10	2.50	0.00	0.00	0.03	0.20	0.00	7.02	425.00	155.00
188/008	2.51	0.42	0.31	0.05	3.16	0.00	0.00	0.10	0.20	0.00	7.70	311.00	211.00
191/002	0.25	0.08	0.05	0.04	0.42	0.00	0.00	0.01	0.10	0.04	6.53	48.00	60.00
192/006	0.01	0.05	0.05	0.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04	5.45	5.60	21.00
206/002	0.02	0.01	5.57	0.02	1.94	0.00	0.00	0.46	0.00	0.00	****	605.00	366.00
212/153	0.13	0.05	1.09	0.01	0.66	0.34	0.10	0.06	0.10	0.03	8.28	173.00	128.00
212/155	0.27	0.02	1.02	0.03	1.24	0.12	0.00	0.01	0.19	0.06	8.75	141.00	96.00
213/032	1.85	0.17	0.08	0.13	2.08	0.00	0.21	0.01	0.10	0.08	7.30	204.00	147.00
213/033	0.74	0.22	0.25	0.05	1.18	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04	7.90	139.00	93.00
213/035	1.11	0.26	0.47	0.05	1.82	0.00	0.06	0.03	0.10	0.04	8.10	180.00	115.00
214/001	1.21	0.44	0.21	0.06	1.64	0.00	0.00	0.08	0.23	0.80	7.10	184.00	291.00
214/024	0.95	0.16	0.32	0.07	1.44	0.00	0.00	0.03	0.12	0.01	7.97	143.00	92.00
217/006	0.04	0.03	0.03	0.04	0.10	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04	5.85	12.00	18.00
243/009	0.69	0.39	0.16	0.05	1.08	0.00	0.00	0.06	0.10	1.36	6.50	125.00	106.00
245/004	0.06	0.08	0.00	0.02	0.12	0.00	0.00	0.04	0.00	0.32	6.50	14.00	28.00
267/001	0.25	0.02	0.83	0.01	0.94	0.14	0.00	0.01	0.22	0.06	8.80	112.00	89.00
269/010	1.04	0.01	0.40	0.06	1.46	0.00	0.00	0.02	0.25	0.04	8.20	148.00	107.00
272/016	0.04	0.05	0.03	0.07	0.10	0.00	0.00	0.03	0.00	0.38	5.94	10.00	42.00
272/017	0.04	0.03	0.01	0.02	0.06	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	5.90	10.00	27.00
292/012	1.05	0.11	0.74	0.05	1.84	0.00	0.00	0.01	0.00	0.40	7.73	129.00	153.00
294/010	0.72	0.40	0.19	0.06	1.40	0.00	0.00	0.01	0.14	0.04	7.20	84.00	97.00
312/003	0.45	0.08	0.27	0.06	0.82	0.00	0.00	0.01	0.10	0.04	5.99	16.00	33.00
313/011	0.05	0.13	0.01	0.05	0.14	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04	9.20	778.00	465.00
999/001	0.22	0.01	6.96	0.02	2.64	0.88	1.04	2.43	1.49	0.00	9.20	480.00	228.00
999/002	0.06	0.01	4.39	0.02	1.66	2.02	0.54	0.37	0.76	0.10	8.80	310.00	260.00
999/003	0.14	0.01	3.04	0.01	2.52	0.42	0.08	0.09	0.88	0.02	8.85	310.00	260.00
999/004	0.41	0.12	16.01	0.05	0.00	1.04	9.12	7.62	12.00	****	9.10	****	****

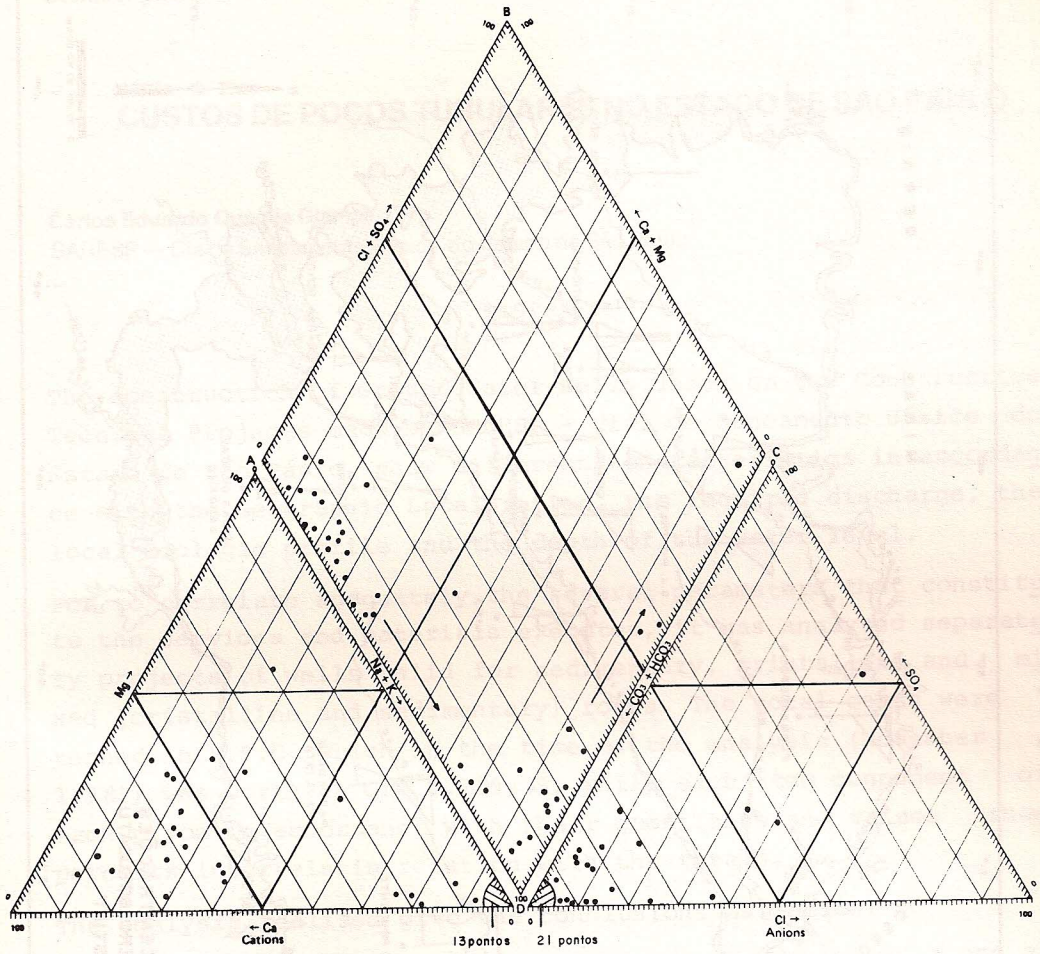
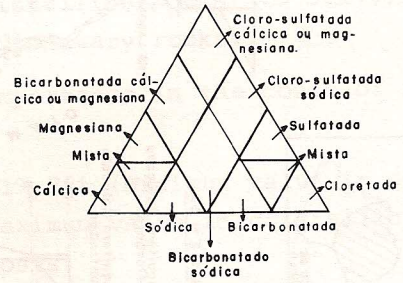


Figura 1 -- DIAGRAMA PIPER DE
 ANÁLISE DE ÁGUA DO AQUÍFERO
 BOTUCATU

LEGENDA



Teores em % de miliequivalentes por litro

