

“ÁGUAS MINERAIS” NO ESTADO DE SÃO PAULO

Características físico-químicas e classificação

*SZIKSZAY, MARIA**
Instituto de Geociências
Universidade de São Paulo
Departamento de Geologia Geral

*TEISSEDRE, JEAN-MARIE ***
CETESB, São Paulo

RESUMÉ

Un relevé des principales sources (79) dans l'Etat de São Paulo a été établi dans le but d'étudier les caractéristiques physiques et physico-chimiques de ces eaux. Les résultats concernant les paramètres physiques montrent que ces eaux sont, du point de vue température, en majorité, de sources froides, sauf quelques unes de Águas de Lindóia et Águas de São Pedro qui sont hypothermales. Les valeurs en pH varient entre 4,7 et 5,7 excepté pour les eaux de Termas de Ibirá et Quilombo qui ont un pH supérieur a 7. La conductivité des eaux provenant des roches cristallines et des grès indurés est inférieure a 200 $\mu\text{mho/cm}$; dans les eaux des sédiments et des basaltes se trouve entre 600 et 650 $\mu\text{mho/cm}$; dans celles de roches volcaniques entre 1000 et 3000 $\mu\text{mho/cm}$ et supérieures à 3000 $\mu\text{mho/cm}$ dans les eaux de couches sédimentaires argileuses profondes. Les déterminations concernant la radioactivité temporaire indiquent que, seulement les eaux de roches cristallines et des grès silicifiés, se classent dans la catégorie de faiblement radioactives à radioactives, faisant exception deux sources très radioactives. Les débits sont généralement petits et seulement les forages en pompage et certaines sources naturelles de Campos do Jordão ont fourni des débits supérieurs à 10 l/s.

En ce qui concerne la composition chimique, les résultats indiquent que les eaux des roches cristallines et des grès sont peu minéralisées (28–200 mg/l). Celles des roches volcaniques sont plus chargées en sels dissous avec des teneurs entre 680 et 2300 mg/l et celles des couches sédimentaires profondes du Bassin du Paraná avec des valeurs entre 2000 et 2600 mg/l. Parmi les éléments majeurs prédominent le magnésium et le bicarbonate; pour les éléments mineurs le bore et le fluor, ce dernier étant très élevé dans les eaux provenant de roches volcaniques et certaines du Bassin du Paraná.

Les eaux peuvent être classées en quatre groupes principaux: bicarbonatées-magnésiennes, sulfo-chloro-magnésiennes, bicarbonatées-sodiques et chlorurées-sodiques.

D'après le Code des Eaux Minérales du Brésil, sept sources peuvent être considérés comme minérales suivant les teneurs en sels dissous; d'après la radioactivité douze sont faiblement radioactives, dix-huit radioactives et deux très radioactives à l'émergence. Les eaux des sources restantes appartiennent à la catégorie des eaux de table.

RESUMO

Um inventário das fontes mais importantes (79) no Estado de São Paulo foi realizado com o objetivo de se estudar as características físicas e físico-químicas das suas águas.

Os resultados correspondentes aos parâmetros físicos mostraram que as águas, são quanto a temperatura, na grande maioria, águas de fontes frias, com exceção de algumas de Águas de Lindóia e Águas de São Pedro que são hipotermiais. O pH varia entre 4,7 e 5,7 com exceção de águas de Termas de Ibirá e Quilombo onde foram encontrados valores superiores a 7. A condutividade das águas provenientes de rochas cristalinas e de arenitos silicificados é baixa, inferior

a 200 $\mu\text{mho/cm}$, de sedimentos e basaltos entre 600 e 650 $\mu\text{mho/cm}$, de rochas vulcânicas entre 1000 e 3000 $\mu\text{mho/cm}$ nas de sedimentos argilosos muito profundos. As águas provenientes de rochas cristalinas e de arenitos silicificados são fracamente radioativas a radioativas, com duas exceções de fortemente radioativas. As vazões são baixas. Os valores superiores a 10 l/s pertencem a poços profundos bombeados ou as fontes naturais de Campos do Jordão.

Quanto aos aspectos químicos, observou-se que as águas de rochas cristalinas e de arenitos são pouco mineralizadas (28–220 mg/l). As águas de rochas vulcânicas apresentam valores de sólidos totais dissolvidos mais elevados (680–2300 mg/l) e as de sedimentos profundos da Bacia do Paraná variam entre 2000–2600 mg/l. O cátion predominante é o magnésio e o ânion o bicarbonato. Entre os elementos menores o boro e o fluoreto são os mais abundantes e especialmente o fluoreto nas águas emergentes de rochas vulcânicas e algumas da Bacia do Paraná.

As águas classificam-se em quatro grupos principais: bicarbonatadas magnesianas, sulfato-cloretadas magnesianas, bicarbonatadas sódicas e cloretadas sódicas.

De acordo com o Código de Águas Minerais do Brasil, sete fontes podem ser consideradas como minerais, quanto aos teores de sólidos totais dissolvidos; quanto à radioatividade doze como fracamente radioativas, dezoito como radioativas e duas como fortemente radioativas na fonte. O restante das fontes enquadra-se na categoria de águas de mesa.

INTRODUÇÃO

A finalidade do nosso trabalho consiste num estudo das fontes existentes no Estado de São Paulo, visando o conhecimento de propriedades físicas e físico-químicas de suas águas. As análises serviram para classificar 79 dessas águas do ponto de vista químico, assim como fazer a distinção entre água mineral e de mesa.

Reconhece-se que não é completo o inventário porque existem fontes das quais soube-se após o término do nosso estudo e, certamente, ainda há outras, sobre as quais não se tem conhecimento divulgado.

Trabalhos preliminares com essa finalidade sobre fontes de diferentes regiões já foram publicados por SZIKSZAY & TEISSEDE (1977a, 1977b, 1978, 1979a e 1979b) ou estão no prelo. No primeiro trabalho (1977a) encontra-se a descrição da metodologia utilizada.

CONTEXTO GEOLÓGICO

As fontes estudadas abrangem geologicamente quase todas as formações encontradas no Estado de São Paulo, desde o cristalino até os sedimentos da Bacia do Paraná. A grande maioria (43 fontes) localiza-se em rochas

magmáticas e metamórficas na faixa do Complexo Cristalino e somente 9 fontes pertencem aos sedimentos da Bacia do Paraná, e 1 fonte situa-se nos sedimentos terciários da Bacia de São Paulo. Dessas 10 fontes 7 são poços profundos captando água de diversas formações. Não pertencem a estes grandes grupos, as fontes da Estância de Águas da Prata, que aparecem em rochas vulcânicas e arenitos silicificados da borda da caldeira de Poços de Caldas. Para visualizar melhor as características das fontes foi elaborado o quadro da Tabela I agrupando-as pela litologia.

Regionalmente as fontes encontram-se localizadas em rochas pertencentes aos vários grupos de rochas definidas por COUTINHO (1972) nos arredores da Bacia de São Paulo, tais como Grupo São Roque, Complexo Cristalino e Faixa Gnaissica. Em volta dessa bacia, a litologia, sem entrar em detalhe, é representada por gnaisses, migmatitos, mica-xistos e granitos pré-Cambrianos. A litologia da região de Campos do Jordão é essencialmente representada por ectonitos e migmatitos do pré-Cambriano Superior. Nessas rochas encontram-se lentes e enclaves de quartzitos, anfibolitos, rochas calcossilicatadas, calcários metamórficos e dolomíticos. As fontes da região de Lindóia, Serra Negra e vizinhança localizam-se no complexo metamórfico conhecido como gnaiss Amparo que se

“ÁGUAS MINERAIS” NO ESTADO DE SÃO PAULO

TABELA I – Agrupamento das fontes por litologia

Nome da Fonte	Localidade – Município	Litologia
Jandira	Jandira	Granito
dos Bandeirantes ou Pluma	Cotia	Granito
da Montanha (várias) – Pilar	Ribeirão Pires	Granito
Serrania – Pilar	Ribeirão Pires	Granito sintectônico
Marisa	Campos do Jordão	Granito porfirítico
São Lourenço	Campos do Jordão	Granito embrechítico
São João – Fontalis	São Paulo	Granodiorito
Nossa Sra. do Rosário	Serra Negra	Granodiorito
Santo Antônio	Serra Negra	Granodiorito
Sonia	Valinhos	Granodiorito
Nossa Sra. das Graças	Campos do Jordão	Migmatitos
São Bernardo	Lindóia	Migmatitos
Nossa Sra. das Brotas	Lindóia	Migmatitos
São Jorge	Lindóia	Migmatitos
Nossa Sra. Aparecida	Serra Negra	Migmatitos
Bocaina	Amparo	Migmatitos
Jacob	Amparo	Migmatito – anatexito
da Encosta nº 1 – Pilar	Ribeirão Pires	Gnaíse granítico
dos Jesuítas	Embu	Gnaíse migmatítico
Dotta – Petra	Rio Grande da Serra	Gnaíse
Aurea	Poá	Gnaíse
Renato	Campos do Jordão	Gnaíse
Lindália*	Águas de Lindóia	Gnaíse
São Sebastião	Águas de Lindóia	Gnaíse
Boa Vista	Itapira	Gnaíse
São Benedito	Lindóia	Biotita-gnaíse
São José*	Lindóia	Gnaíse
São Francisco	Lindóia	Gnaíse-migmatito
Santa Bernadette	Lindóia	Gnaíse
Bom Jesus	Monte Alegre do Sul	Gnaíse-embrechito
da Saúde	Monte Alegre do Sul	Granito-gnaíse-embrechito
São Bento	Socorro	Gnaíse
Pompeia	Socorro	Gnaíse-pegmatito
Primavera	Poá	Mica-xistos – xistos
Jaraguá	Perús	Xistos, Hornfels
Santa Isabel	Águas de Lindóia	Mica-xistos – quartzitos
Filomena	Águas de Lindóia	Leptinito – Mica-xistos – Quartzitos
São Roque	Águas de Lindóia	Leptinito – Mica-xistos – Quartzitos
Gloria	Águas de Lindóia	Leptinito – Mica-xistos – Quartzitos
Beleza	Águas de Lindóia	Leptinito – Mica-xistos – Quartzitos
Água Santa	Campos do Jordão	Dolomito – Quartzito
Santa Filomena	Campos do Jordão	Dolomito – Pegmatito
Simão	Campos do Jordão	Solo de alteração
Petrópolis*	São Paulo	Sedimentos Terciários
Natal	Americana	Arenitos e Argilitos
Juventude*	Águas de São Pedro	Arenito Botucatu e Grupo Estr. Nova
Almeida Salles*	Águas de São Pedro	Arenito Botucatu e Grupo Estr. Nova
Gioconda*	Águas de São Pedro	Arenito Botucatu e Grupo Estr. Nova
Santa Fé*	Termas de Ibirá	Arenito Bauru e Basalto
Carlos Gomes*	Termas de Ibirá	Arenito Bauru e Basalto
Nova*	Termas de Ibirá	Arenito Bauru e Basalto
Quilombo*	Iacanga	Arenito Bauru e Basalto
Santa Barbara	Santa Barbara do Rio Pardo	Basalto
do Boi	Águas da Prata	Arenito silicificado
Prata-Radioativa	Águas da Prata	Arenito silicificado
Villela	Águas da Prata	Arenito silicificado
Vitória	Águas da Prata	Diabásio, Fonolito e Aluvião
Prata-Antiga*	Águas da Prata	Diabásio
Prata-Nova*	Águas da Prata	Diabásio, Fonolito
Platina	Águas da Prata	Fonólito
Paíol nº 1*	Águas da Prata	Tufos vulcânicos, Fonolitos
Paíol nº 2	Águas da Prata	Brechas vulcânicas

* Poço tubular

encontra delimitado a leste pelo maciço granítico de Socorro (WERNICK, 1967). O gnaiss Amparo é formado por um biotita-gnaiss com ou sem hornblenda, com intercalações de granada-biotita-xisto, quartzitos e rochas calcossilicatadas. Todavia, existe uma passagem progressiva entre os gnaisses e os migmatitos e também entre os embrechitos e os anatexitos. Na região de Serra Negra na faixa migmatítica ocorre um pacote gnaissico um pouco diferente denominado de gnaiss Serra Negra, gnaiss que se assemelha bastante a um granodiorito por sua paragenese.

Num contexto geológico bem diferente enquadram-se as fontes de Águas da Prata, pertencendo a um conjunto de rochas ígneas e clásticas. Certas fontes localizam-se nos arenitos que formam a borda do maciço vulcânico. As outras fontes emergem de rochas alcalinas do tipo foiaítos e fonolitos e ainda de diabásio, brechas e tufo vulcânicos.

Na parte da Bacia do Paraná as fontes ou os poços exploram a água de várias formações geológicas, desde o Grupo Tubarão, do Carbonífero Superior, até o Grupo Bauru, do Cretáceo Superior. O Grupo Tubarão atinge uma espessura de mais de 1000 m e assenta-se discordantemente, seja sobre sedimentos do Grupo Paraná, seja no embasamento cristalino. Os sedimentos basais pertencentes à Formação Furnas são representados por arenitos glaciais nos quais encontram-se siltitos e conglomerados. Sobre o Grupo Tubarão jazem os sedimentos do Permiano Superior do Grupo Passa Dois, cuja espessura varia de 200 a 600m. Este Grupo se subdivide, no Estado de São Paulo, em duas formações. Na base aparece a Formação Irati representada por argilitos e folhelhos pirobetuminosos associados a lentes de calcário de pequena espessura e intercalação de siltitos; no topo encontra-se a Formação Estrada Nova constituída por arenitos e siltitos cinza e marrom esverdeados, e argilitos pretos intercalados. O capeamento basáltico alcança mais de 1500 m de espessura e representa a fase final de Grupo São Bento. Sobrejacente aos basaltos aparece a Formação Bauru, do Cretáceo Superior, formada por vários litofácies. Lito-

logicamente a Formação Bauru é caracterizado por arenitos, arenitos argilosos e siltitos, com ou sem cimentação carbonática.

No que se refere ao tipo de surgências, as saídas de águas são ocasionadas por fraturas ou diaclases num tipo de rocha, ou no contato entre duas rochas, ou ainda por circulação ascendente nas fissuras. Em casos extremos são poços tubulares que exploram a água de rochas magmáticas ou de várias formações sedimentares.

Sobre o mapa geológica (Figura 1) do Estado de São Paulo, apresenta-se a localização das fontes assim como o número de fontes por cada localidade.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

Nesse parágrafo são discutidos os principais parâmetros físicos e químicos das águas. Estabeleceu-se uma classificação das fontes em função das temperaturas medidas nas surgências. Definiu-se faixas de valores, em função da litologia para o pH, condutividade, radioatividade e os principais elementos químicos.

Aspectos físicos e físico-químicos Os resultados das determinações dos parâmetros físicos e físico-químicos, resumidamente, são os seguintes:

- Temperatura: Identificam-se três grupos: O primeiro grupo, compreendendo a grande maioria das fontes, possui uma temperatura média entre 16°C e 23°C sendo que as mais frias correspondem à região de Campos do Jordão. O segundo grupo apresenta temperaturas médias entre 22°C-25°C e no terceiro grupo as temperaturas médias situam-se entre 25°C e 33°C. As temperaturas mais elevadas foram encontradas em algumas águas de fontes de Águas de Lindóia, Águas de São Pedro e em poços profundos. Tal fenômeno comprova a origem profunda da água onde a temperatura mais elevada é provocada pelo efeito do gradiente geotérmico. A subida da água ocorre rapidamente nas fissuras evitando portanto o resfriamento. Todas as águas com temperatura entre 25°C e 33°C pertencem a classe de águas hipotermais.

- pH: A grande maioria das águas, por pertencer às rochas cristalinas e clásticas, apresentam um pH ácido variando de 4,7 a 5,7. Somente as fontes encontradas nas rochas vulcânicas da caldeira de Poços de Caldas possuem um pH básico ou próximo ao neutro. Valores francamente básicos foram encontrados nas águas de Termas de Ibirá e Quilombo que se localizam sobre uma anomalia geoquímica dentro da Bacia do Paraná onde as águas são oriundas das fraturas do basalto.

- Condutividade elétrica: A condutividade elétrica geralmente é baixa na maioria das fontes, inferior a 200 $\mu\text{mho/cm}$, indicando uma mineralização fraca das águas e um tempo de percolação rápido, representativo de rochas cristalinas ou clásticas. Com valores de 600 a 650 $\mu\text{mho/cm}$, encontram-se as águas das fontes de Termas de Ibirá e com valor ligeiramente inferior as de Quilombo. Valores entre 1000 e 3000 $\mu\text{mho/cm}$ foram observados nas águas provenientes de rochas vulcânicas, tais como das fontes Platina e Vitória. Acima de 3000 $\mu\text{mho/cm}$ encontram-se 3 "fontes" de Águas de São Pedro que exploram a água das formações profundas, inclusive da Formação Irati na Bacia do Paraná. A mais alta condutividade foi registrada no poço Juventude de Águas de São Pedro com 4100 $\mu\text{mho/cm}$. Essa heterogeneidade e a amplitude de variação da condutividade refletem a origem da água, além de permitir uma classificação em função das formações geológicas armazenadoras ou fornecedoras das águas.

- Radioatividade: Segundo a classificação estabelecida pelo Código de Águas Minerais do Brasil, a grande maioria das águas são fracamente radioativas. Certas águas do cristalino podem ser consideradas como radioativas na fonte, nas regiões de Águas de Lindóia, Lindóia, Campos do Jordão e nos arredores da Bacia de São Paulo. A água mais radioativa foi encontrada na cidade de Águas da Prata, dentro dos arenitos silicificados, (Fonte Villela) onde foi anotado um valor de 34 nCi/l. A forte radioatividade dessa fonte é

devida à presença de óxido de urânio existente nas fraturas da formação arenítica.

- Vazão: Em geral, as vazões são baixas, de alguns litros por segundo até menos de 1 litro/segundo. Vazões superiores a 10 l/s foram obtidas por bombeamento em alguns poços profundos. Somente na região de Campos do Jordão as fontes naturais apresentam vazões elevadas, chegando até 24 l/s na Fonte Água Santa. Neste caso, as condições morfológicas e estruturais, aliadas a uma pluviosidade média de 2000 mm por ano podem ser responsáveis pelo armazenamento da água em profundidade e as altas vazões nas surgências.

Aspectos Químicos Os resultados das determinações dos parâmetros químicos, resumidamente, são os seguintes:

- Sólidos Totais Dissolvidos: A grande maioria das águas das fontes no Estado de São Paulo é pouco mineralizada. As fontes das regiões de rochas cristalinas do pré-cambriano encontram-se com sólidos totais dissolvidos entre 28–220 mg/l. Somente as de Águas da Prata, provenientes de rochas vulcânicas alcalinas com teores variando entre 680 a 2300 mg/l, e as de Águas de São Pedro, provenientes de poços profundos nos sedimentos da Bacia do Paraná com concentrações variando entre 2000–2600 mg/l, apresentam valores mais elevados. No restante das águas da bacia sedimentar, os sólidos totais dissolvidos variam de 20 a 480 mg/l.

- Gases: O oxigênio dissolvido nas águas varia com a profundidade. Assim, foi observado que as águas que circulam em menores profundidades, perto da superfície, contêm oxigênio ao redor de 12–18 mg/l e as de aquíferos profundos entre 0–9 mg/l.

- O gás carbônico dissolvido encontra-se com teores mais elevados nas águas provenientes de regiões de vulcanismo (Águas da Prata), variando de 180–300 mg/l.

- O gás sulfídrico foi encontrado somente nas águas das fontes de Águas de São Pedro,

“ÁGUAS MINERAIS” NO ESTADO DE SÃO PAULO

onde a água provém de sedimentos profundos consistindo de folhelhos pirobetuminosos, denunciando a existência de matéria orgânica.

– Elementos e compostos principais: Quanto aos elementos principais as águas de rochas cristalinas, em geral, apresentam concentrações baixas. O cátion predominante é o magnésio e o ânion o bicarbonato. Encontram-se teores mais elevados somente nas águas referidas previamente com sólidos totais dissolvidos mais elevados onde o cátion predominante é o sódio e o ânion o bicarbonato e sulfato (Águas da Prata) e bicarbonato e cloreto (Águas de São Pedro).

– Sílica: A sílica dissolvida encontra-se com teores relativamente baixos, considerando o pH também bastante baixo. Esse conteúdo varia de 1,1–13 mg/l nas rochas cristalinas e 5,3–13 mg/l nas águas provenientes de sedimentos.

– Alumínio: O alumínio é controlado também pelo pH. Assim sendo, como a grande maioria das águas, especialmente das rochas cristalinas, tem pH ácido, esse elemento quase está ausente. O ferro também encontra-se com valores baixos.

– Elementos menores: Entre os elementos menores o boro varia com a profundidade e encontram-se valores mais elevados somente em águas provenientes de poços profundos de sedimentos (Termas de Ibirá e Águas de São Pedro), e ainda de rochas vulcânicas (Águas da Prata).

– O fluoreto foi encontrado com concentração bastante elevada nas águas de fontes de Águas da Prata e Águas de São Pedro. Nessas mesmas águas o iodeto e brometo encontram-se mais elevados, também.

Os outros elementos menores, tais como cromo, cobre, níquel e zinco mostraram variações locais refletindo a litologia das surgências.

CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS

Com o objetivo de determinar os tipos de água, foi elaborada uma classificação das águas baseada no diagrama de Piper e também

no Código de Águas Minerais vigente no Brasil. Cabe aqui definir uma água mineral de acordo com o Código de Águas Minerais do Brasil, Decreto-Lei nº 7.841, de 8 de agosto de 1945, que diz:

“Águas minerais são aquelas provenientes de fontes naturais ou artificialmente captadas que possuem composição química ou propriedades físicas ou físico-químicas distintas das águas comuns, com características que lhes conferem uma ação medicamentosa”;

e

“Poderão ser também classificadas como minerais, águas que mesmo sem atingir os limites da classificação estabelecida nos Capítulos VII e VIII, possuem incontestemente e comprovada ação medicamentosa”.

Classificação segundo o diagrama de Piper Na Figura 2 encontram-se os resultados das determinações químicas das águas colocadas no diagrama de Piper.

Observando o diagrama de Piper, verifica-se que a grande maioria das águas das fontes ocupa a parte esquerda e central do losango, classificando essas águas como predominantemente bicarbonatadas magnesianas e em seguida como bicarbonatadas calcomagnesianas correspondendo aos granitos, granodioritos, gnaisses e migmatitos, assim como quartzitos, xistos, leptinitos e micaxistos, representando os grupos I, II e III. No grupo I encontra-se ainda a Fonte Natal (nº 71) registrada com litologia de arenito e argilito, porém pela sua colocação corresponderia mais a uma água proveniente de granitos ou gnaisses.

No grupo II (nºs 5, 11, 10, 23, 9, 16, 22, 63, 65, 7, 4, 48, 55 e 24) as águas podem ser classificadas como predominantemente sulfo-cloretadas magnesianas. Nesse grupo encontram-se as fontes nºs 23, 22 e 63 (Mongaguá nº 2, Petrópolis e Simão) que surgem de solos ou sedimentos com ou sem contato imediato com rochas cristalinas (tipos granito ou gnaisses).

DIAGRAMA DE PIPER

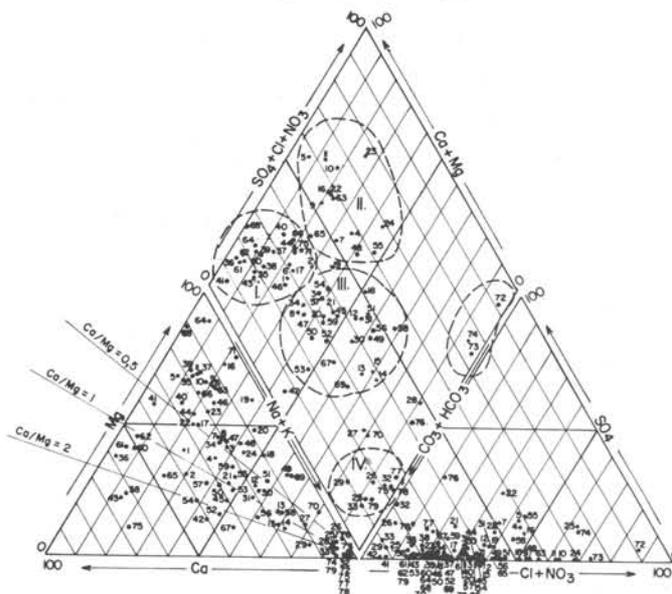


Fig. 2 - DIAGRAMA DE PIPER

a) Arredores de São Paulo

1. Jandira
2. Embú
3. Pluma
4. Poá - Aurea
5. Poá - Primavera
6. PILAR - Serrania
7. PILAR - Fonte Encosta Nº 1
8. PILAR - Fonte da Montanha Nº 1
9. PILAR - Fonte Vidraria
10. PILAR - Fonte Moradia
11. PILAR - Fonte Encosta Nº 2
12. PILAR - Fonte das Casas
13. PILAR - Fonte B-2
14. PILAR - Fonte B-1
15. PILAR - Fonte da Divisa
16. Petra - Fonte Dotta
17. ROCHÁGUA - Fonte Jaraguá
18. PERUS - Fonte Nº 1
19. PERUS - Fonte Nº 2
20. PERUS - Fonte Nº 3
21. Fontalis
22. Petropolis
68. Itapecerica da Serra Nº 1
69. Itapecerica da Serra Nº 2
70. Itapecerica da Serra Nº 3

b) Mongaguá - Litoral Santos

23. Mongaguá Nº 2
24. Mongaguá Nº 3

c) Águas da Prata

25. Fonte Platina
26. Fonte Paiol Nº 1
27. Fonte Paiol Nº 2
28. Fonte Villela
30. Fonte do Bói
31. Fonte Prata-Antiga
33. Fonte Prata-Nova

d) Águas de Lindóia e Região

34. Fonte Lindália - Águas de Lindóia
35. Fonte Santa Isabel - Águas de Lindóia
36. Fonte São Sebastião - Águas de Lindóia

37. Fonte Filomena - Águas de Lindóia

38. Fonte São Roque - Águas de Lindóia
39. Fonte Gloria - Águas de Lindóia
40. Fonte Beleza - Águas de Lindóia
41. Fonte Boa Vista - Itapira
42. Fonte São Benedicto - Lindóia
43. Fonte São José - Lindóia
44. Fonte São Francisco - Lindóia
45. Fonte São Bernardo - Lindóia
46. Fonte Santa Bernardette - Lindóia
47. Fonte Nossa Sra. das Brotas - Lindóia
48. Fonte São Jorge - Lindóia
49. Fonte Nossa Sra. do Rosário - Serra Negra
50. Fonte Santo Antonio - Serra Negra
51. Fonte Nossa Sra. Aparecida - Serra Negra
52. Fonte Bocaina - Amparo
53. Fonte Jacob - Amparo
54. Fonte Bom Jesus - Monte Alegre do Sul
55. Fonte da Saúde - Monte Alegre do Sul
56. Fonte São Bento - Socorro
57. Fonte Pompeia - Socorro
58. Fonte Sonia - Valinhos
59. Fonte Santa Tereza - Valinhos
67. Fonte Clarys - Itupeva

e) Campos do Jordão

60. Fonte Água Santa
61. Fonte Marisa
62. Fonte Santa Filomena
63. Fonte Simão
64. Fonte São Lourenço (Tabatinga)
65. Fonte Nossa Senhora das Graças
66. Fonte Renato

f) Bacia do Paraná

71. Fonte Natal - Americana
72. Fonte Juventude - Águas de São Pedro
73. Fonte Almeida Salles - Águas de São Pedro
74. Fonte Gioconda - Águas de São Pedro
75. Fonte Sta. Barbara - Sta. Barbara do Rio Pardo
76. Fonte Ibirá ou Santa Fé - Termas de Ibirá
77. Fonte Carlos Gomes - Termas de Ibirá
78. Fonte Nova - Termas de Ibirá
79. Fonte Quilombo - Iacanga

O grupo III (n^{os} 54, 3, 57, 34, 8, 47, 20, 59, 21, 45, 18, 12, 31, 51, 56, 58, 50, 52, 30, 49, 53, 67, 69, 13, 15 e 14) pode ser classificado como águas bicarbonatadas sódicas ou mistas provenientes, predominantemente, de rochas graníticas. Exceção são os n^{os} 31 e 30 (Fontes Prata-Radioativa e do Boi) surgindo de arenitos silicificados.

Entre os grupos I, II e III localiza-se o n^o 19 (Fonte Perus n^o 2) surgindo de rochas xistosas muito alteradas.

O n^o 42 (Fonte São Benedito), pelas observações surgiria de biotita-gnaiss, porém pelo seu elevado teor em cálcio, admite-se que a sua circulação principal deve ocorrer em rochas com minerais mais cálcicos e sódicos.

O grupo IV (n^{os} 29, 26, 32, 25, 33, 75, 77, 78 e 79) classifica-se como bicarbonatadas sódicas, provenientes de uma parte de rochas vulcânicas (n^{os} 26 e 25, Fontes Paiol n^o 1 e Platina), de diabásios (n^o 32, Fonte Prata-Antiga), de diabásio e fonolito (n^{os} 29 e 33, Fontes Vitória e Prata-Nova) e os n^{os} 77, 78 e 79 (Fontes Carlos Gomes, Nova e Quilombo) de arenitos com basalto, mostrando assim a semelhança de influência de diabásio e basalto sobre as águas que nelas circulam.

Os números espalhados, 27, 28, 70 e 76 (Fontes Paiol n^o 2, Villela, Itapeceira da Serra n^o 3 e Ibirá, respectivamente), correspondem as rochas vulcânicas misturadas com sedimentos arenosos (n^o 27), arenitos (n^o 28) e arenitos e rochas cristalinas alteradas (n^o 70) e arenitos e basaltos (n^o 76), classificando-as como bicarbonatadas sódicas.

Os números 72, 73 e 74 (Fontes Juventude, Almeida Salles e Gioconda) classificam-se como cloretadas sódicas surgindo de arenitos e argilitos bastante profundos, correspondendo a Formação Irati e as águas mais profundas da Bacia do Paraná.

Ainda para a classificação mais exata, foram utilizadas as relações características que se encontram no diagrama de Piper (Figura 2). Essas relações características de rCa/rMg podem facilitar na classificação das águas quando existe a dúvida sobre a predominância de um ou outro elemento. Assim, observa-se que a grande maioria das águas são magnesianas com rCa/rMg < 1, correspondendo as águas

provenientes de rochas cristalinas graníticas, gnaissicas (73%), sedimentos arenosos (17%) e as restantes 10% as rochas ou entre os dois tipos ou as rochas vulcânicas.

Onde a relação rCa/rMg > 1, ou seja, as águas são mais cálcicas do que magnesianas, correspondem as águas emergentes de gnaisses e migmatitos (69%) e as restantes de rochas tais como quartzitos com calcários dolomíticos e arenito. Onde a relação rCa/rMg > 2 pertencem as águas emergentes de rochas cristalinas metamórficas de outro tipo (54%) e a restante (46%) de rochas basálticas ou diabásios associados ou não com arenitos.

Classificação segundo o Código de Águas Minerais do Brasil As águas podem ser consideradas como águas minerais, segundo o Código, quanto aos:

1 – Sólidos Totais Dissolvidos: as águas de 4 fontes de Águas da Prata (Paiol n^o 1, Vitória, Prata-Antiga e Prata-Nova) e as de Águas de São Pedro (Juventude, Almeida Salles e Gioconda), com mais de 1000 mg/l de sais dissolvidos;

2 – Radioatividade:

a) fracamente radioativas (entre 1,8–3,63 nCi/l ou 5–10 Mache): as fontes Embu, Pilar-Serrania, Santa Isabel, São Sebastião, São José, São Francisco, São Bernardo, Santa Bernardette, São Jorge, Bom Jesus, Marisa e Nossa Senhora das Graças;

b) radioativas (entre 3,63–18,18 nCi/l ou 10–50 Mache): as fontes Pluma, Pilar-Encosta n^o 1, Pilar-Montanha, Petra, Aurea, Jaraguá, Fontalis, Paiol n^o 2, Prata-Nova, Prata-Radioativa, Prata-Antiga, do Boi, Platina, Lindália, Beleza, São Benedito, Nossa Senhora das Brotas e São Lourenço;

c) fortemente radioativas (superior a 18,18 nCi/l ou 50 Mache): as fontes Villela e Vitória.

Entre todas as águas das fontes do Estado de São Paulo, 15,2% podem ser consideradas como fracamente radioativas, 22,8% como radioativas e 2,5% como fortemente radioativas. No total 40% das águas do

Estado de São Paulo são de uma forma ou outra radioativas na fonte, todas provenientes de rochas cristalinas ou de arenitos silicificados.

3 – Outros elementos: Elementos tais como iodeto e fluoreto que se encontram com concentrações significativas:

a) fluoreto das águas das fontes de Águas da Prata onde está com concentração muito elevada (limite 0,7–1,5 mg/l) e nas de Águas de São Pedro;

b) iodeto das águas das fontes Prata-Antiga, Prata-Nova, Vitória, Platina, Paiol, Juventude e Almeida-Salles (limite 0,01 mg/l).

4 – Temperatura: Quanto a temperatura as águas das fontes Filomena, São Roque, Glória, Beleza, Quilombo, Santa Barbara e as das Águas de São Pedro podem ser classificadas como hipotermiais. As restantes das águas são frias.

CONCLUSÕES

Os estudos realizados sobre as águas de fontes no Estado de São Paulo, permitem as seguintes conclusões:

As águas de rochas cristalinas, tanto graníticas como gnaissicas, enquadram-se na categoria das águas bicarbonatadas calco-magnesianas, que juntamente com certas influências locais de calcários e dolomitos, são águas frias com condutividade e pH baixos.

As águas provenientes de sedimentos ou rochas cristalinas muito alteradas ou terrenos com os dois tipos, podem se classificar como sulfo-cloretadas calco-magnesianas.

Destacam-se as águas provenientes de

rochas vulcânicas, de diabásios e arenitos associados aos basaltos, que se classificam como bicarbonatadas sódicas.

As águas emergentes de poços que atravessam as formações areníticas e argilosas profundas, classificam-se como cloretadas sódicas.

Nota-se uma separação acentuada de fácies de águas, correspondendo a litologias bem diferenciadas. Observa-se também que quando as águas são provenientes de uma mistura de litologias, essa característica aparece no diagrama de Piper.

As águas que pertencem à categoria de águas minerais, de acordo com o Código de Águas Minerais do Brasil, são aquelas que contêm mais que 1 g/l de sais dissolvidos (7 fontes) ou pelas suas radioatividades temporárias (32 fontes) ou pela temperatura mais elevada do que a temperatura média anual do ar (9 fontes). As águas restantes enquadram-se na categoria de água potável de mesa.

AGRADECIMENTOS

Queremos expressar nossos agradecimentos aos responsáveis (gerentes e administradores) das fontes pela gentileza com que fomos sempre recebidos e ainda à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela ajuda financeira. Agradecemos ainda a Dra. Maria Helena Pereira TEIXEIRA MENDES (DNPM) pelas recomendações feitas junto as empresas das fontes, facilitando o nosso contato com as mesmas.

Nossos agradecimentos especiais à química Maria Helena OLIVEIRA SAMPA (IEA/USP) pelas determinações de radioatividade.

BIBLIOGRAFIA

- COUTINHO, J. M. V. – Petrologia do pré-Cambriano de São Paulo e Arredores – Bol. IG/USP, Nº 3.
 SZIKSZAY, M. & TEISSEDE, J.-M. – 1977a – Análise hidrogeoquímica preliminar das fontes dos arredores das fontes da bacia de São Paulo – Rev. Bras. Geoc. Vol. 7, Nº 1, pp. 32–44.
 SZIKSZAY, M. & TEISSEDE, J.-M. – 1977b – Fontes da Estância de Águas da Prata, Estado de São Paulo, Bol. IG/USP, Vol. 8, pp. 83–96.
 SZIKSZAY, M. & TEISSEDE, J.-M. – 1978 – Análise hidrogeoquímica preliminar das águas das fontes da região de Águas de Lindóia – Rev. Bras. Geoc. Vol. 8, Nº 4, pp. 235–248.

"ÁGUAS MINERAIS" NO ESTADO DE SÃO PAULO

- SZIKSZAY, M. & TEISSEDE, J.-M. - 1979a - Fontes de Campos do Jordão - Bol. IG/USP, Vol. 10, pp. 1-10.
- SZIKSZAY, M. & TEISSEDE, J.-M. - 1979b - Mineral Water in the State of São Paulo - III World Congress on Water Resources, Mexico, Papers 7, pp. 3449-3455.
- SZIKSZAY, M. & TEISSEDE, J.-M. - Estudo hidrogeoquímico das fontes da bacia sedimentar do Paraná - Águas Subterrâneas - Revista da ABAS - No prelo (enviado em 1979).
- WERNICK, E. - 1967 - A geologia da região de Amparo (Leste do Estado de São Paulo) - Tese de doutoramento - FFCL de Rio Claro - Universidade de Campinas.