

**APLICAÇÃO DOS PROGRAMAS "CORELE", "ACP" E "PIPOUST"  
NO ESTUDO DAS ÁGUAS DAS FONTES  
(Águas da Prata, Est. de São Paulo)**

M. Szikszay\*  
J. M. Teissedre\*\*

\* Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo

\*\* Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental — CETESB — São Paulo

ABSTRACT

A new methodology for the correlation of results of physical, physico-chemical and chemical parameters of 8 spring waters is presented in this paper. The following computer programs were utilized: "CORELE", "ACP" and "PIPOUST". The monthly sampling of waters, during a year, were from May 1978 - April 1979.

The results show ("CORELE") that there is a good correlation (superior of 0,80) between: pH with F, HCO<sub>3</sub> and Na; I with SO<sub>4</sub> and conductivity; conductivity with HCO<sub>3</sub>, Na and SO<sub>4</sub> and Ca with Mg. A medium correlation (0,80 - 0,50) was found, among others, between: temperature with F, Na, pH and HCO<sub>3</sub>; F with Cl and SO<sub>4</sub>; Cl with HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> and NO<sub>3</sub> and Zn with Cr. The "ACP" program has shown the separation of waters with respect to their chemical composition, reflecting the lithology, upon the factorial axis F<sub>1</sub> which is of the origins, and a groupment above and below the factorial axis F<sub>2</sub> being this due to the seasonal variation, corresponding to the dry and wet seasons.

From these statistical treatments can be concluded that the waters reflect different chemical compositions related to the rocks where they circulate and that the variation of their chemical composition during the year is influenced by the rains. The waters can be classified ("PIPOUST") as sodium bicarbonated (diabases and volcanic rocks); as mixed bicarbonated (sandstones and siltstones) and sodium-magnesium bicarbonated (sandstones). They are mineral waters in accordance with the total dissolved solids (5 springs); concentration of CO<sub>2</sub> (3 springs) concentration of I and F (5 springs) and temporary radioactivity (6 springs).

INTRODUÇÃO

As fontes da cidade de Aguas da Prata, que apresentam um grande interesse no aproveitamento de aguas minerais para fins comerciais e terapêuticos, foram bastante estudadas nestes últimos tempos por vários autores. Correlacionamentos da composição química das aguas com a litologia foram tentados, empregando-se várias possibilidades de interpretação, desde comparações simples através de relações características até a aplicação de modelos de simulação hidrometeorológica (MERO et al, 1980). Com esse objetivo, e o de analisar a variação química durante um ano, a partir da amostragem mensal (maio 1978 -



abril 1979), foi utilizada uma nova metodologia de processamento dos resultados das análises físico-químicas, físicas e químicas, usando-se diversos programas de cálculos estatísticos por computador. O tratamento estatístico foi baseado em programas do tipo "CORELE", "ACP" e "PIPOUST" que fornecem resoluções específicas discriminadas a seguir:

- 1 - O programa "CORELE" calcula a média, a variância, o desvio padrão e matriz de variação;
- 2 - O programa "ACP" (Analyse en Composantes Principales), a partir da matriz de correlação, calcula os eixos fatoriais, assim como as coordenadas das variáveis sobre seus eixos e igualmente as coordenadas dos indivíduos;
- 3 - O programa "PIPOUST" (PIPER) calcula a porcentagem em miliequivalentes por litro dos ânions e cátions que são colocados no diagrama de Piper.

Os programas acima mencionados foram executados com o computador tipo HEWLETT - PACKARD 9824A que trabalha com fitas K-7 ou disco, no Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Département de Laboratoire, Service de Géochimie, Orléans la Source, França.

## GEOLOGIA

A cidade de Aguas da Prata situa-se na borda ocidental do planalto de Poços de Caldas, sendo circundada por um dique anelar de tinguaito a oeste e por uma escarpa de rochas clásticas a leste. O maior afloramento de rochas clásticas ocorre logo na saída do perímetro urbano, no vale do Quartel, constituindo um pacote de mais de 100m de espeSSura. Na base desses arenitos foi identificado um folhelho de cor roxa, com numerosas intercalações de leitos arenosos e siltosos concordantes com a estratificação. No topo, os arenitos apresentam uma estratificação cruzada, semelhante à dos da Formação Botucatu.

Além disso, nas camadas observam-se brechas vulcânicas, enquanto mais a leste, todo o conjunto apresenta brechas vulcânicas da Serra do Paiol. Nas brechas perto do contato, descritas por ELLERT (1959), ocorrem fragmentos de gnaisses provenientes do embasamento, diabásio e sedimentos, enquanto na matriz nota-se a presença de quartzo arredondado.

Na saída de Aguas da Prata, ao longo do vale do Quartel, encontram-se afloramentos de rochas de origem vulcânica, brechas e tufos. geralmente associados a arenito.

Essas rochas vulcânicas tiveram sua origem durante as atividades vulcânicas que afetaram o Brasil no fim do Mesozóico e no início do Terciário. As rochas relacionadas a esse vulcanismo possuem, em comum, caráter alcalino-sódico. As rochas são do tipo fonolítico e tinguaitico e os seus correspondentes intrusivos são rochas foiaíticas.

No planalto de Poços de Caldas encontra-se, ainda, topograficamente ressaltada, a beira circular de uma vastíssima caldeira de cerca de 30 km de diâmetro. ELLERT (op. cit.) e BJOERNBERG (1959) mostraram que houve um abatimento da massa central depois das principais atividades vulcânicas. As rochas consolidadas encontram-se principalmente em profundidade, não havendo mais vestígios dos edifícios vulcânicos.

As principais fontes de água mineral dos arredores da cidade de Aguas da Prata pertencem a este conjunto de rochas ígneas e de rochas clásticas (Figura 1), SZIKSZAY e TEISSEDRE (1977).

A fonte Platina localiza-se sobre uma lente de fonolito, aflorando no fundo do vale, perto de um pequeno córrego. A água surge através de fraturas verticais dentro do corpo de fonolito por circulação ascendente através de fissuras e fraturas.



A fonte Paiol é uma perfuração de cerca de 133m de profundidade em rochas alcalinas do tipo tufos vulcânicos, foiaítos e fonolitos. A fonte Villela aparece ao pé de um paredão de cerca de 10m de altura, quase no topo da escarpa de capeamento do arenito. A água brota dos arenitos através de fraturas abertas nos sentidos vertical e horizontal.

As fontes do Boi e Prata-Radioativa situam-se no mesmo complexo arenítico. A água da fonte do Boi nasce diretamente do paredão do arenito, através de fraturas. Uma falha de direção SW-NE é responsável pelo deslocamento do bloco dominante de arenito bastante silicificado. A fonte Prata-Radioativa, localiza-se num lugar bastante elevado, como a fonte Villela. A água surge das fraturas do arenito silicificado e recristalizado, em contato com siltitos.

Perto da fonte do Boi, numa pequena planície aluvionar dominada a norte deste por uma elevação de diabásio, encontram-se as fontes Vitória e Prata-Nova. A fonte Vitória aparece ao pé do maciço de diabásio e a água surge por circulação ascendente através de fissuras no diabásio e fonolito recoberto por aluvião, enquanto que a fonte Prata-Nova consiste num conjunto de poços pouco profundos perfurados nessa baixada.

A fonte Prata-Antiga, do outro lado do rio do Quartel, corresponde a um poço de cerca de 13m de profundidade e a água surge de fissuras de diabásio, por circulação ascendente.

Nota-se que todos os poços, ou seja, as fontes Paiol, Prata-Nova e Prata-Antiga apresentam condições de artesianismo sendo, portanto, fontes naturais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os resultados das determinações físicas, físico-químicas e químicas foram lançados em computador, empregando-se os diversos programas de correlações. O primeiro programa "CORELE" forneceu os resultados dos correlacionamentos experimentais sob forma de triângulo onde aparecem os coeficientes de correlação (Figura 2). Observando o triângulo de correlacionamentos experimentais ou matriz de correlação, os seguintes parâmetros apresentam um coeficiente de correlação superior a 0,800:

- pH com F,  $\text{HCO}_3$  e Na
- I com  $\text{SO}_4$  e condutividade elétrica
- condutividade elétrica com  $\text{HCO}_3$ , Na e  $\text{SO}_4$
- Ca com Mg
- Na com  $\text{HCO}_3$  e F
- F com  $\text{HCO}_3$
- $\text{SO}_4$  com  $\text{HCO}_3$

Conclui-se, assim, que existe uma ligação boa entre esses parâmetros. Um correlacionamento médio (entre 0,800 e 0,500) nota-se entre os seguintes parâmetros:

- T com F, Na, pH e  $\text{HCO}_3$
- pH com Cl, condutividade elétrica, I e  $\text{SO}_4$
- I com  $\text{HCO}_3$ , Na, Cl e F
- condutividade elétrica com Cl e F
- Na com  $\text{SO}_4$  e Cl
- F com Cl e  $\text{SO}_4$
- Cl com  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{SO}_4$  e  $\text{NO}_3$
- Zn com Cr

Admite-se uma ligação secundária em importância entre esses parâmetros.

E finalmente existe um correlacionamento inverso observado entre os seguintes parâmetros:



- pH e radioatividade
- radioatividade e F, HCO<sub>3</sub> e Na
- Zn e Br.

O segundo passo consiste no tratamento dos resultados com o programa "ACP" (Figura 3). Esse programa calcula as coordenadas das variáveis sobre seus eixos e igualmente as coordenadas dos indivíduos. Visualiza ainda as tendências gerais dos dados que são representados sobre um plano em duas dimensões.

O eixo F<sub>1</sub> corresponde ao eixo preferencial ou dispersão das medidas e o F<sub>2</sub> mostra a variação sazonal. Entre os resultados do programa, obtém-se a percentagem de explicação ou de significação e o eixo cuja percentagem de explicação é o mais forte, ou seja, o que descreve melhor as amostras é o que deve ser utilizado.

Observando o gráfico da Figura 3, plotado pelo computador, nota-se que a radioatividade está diretamente ligada ao oxigênio dissolvido e inversamente ao HCO<sub>3</sub>, Na, pH, F, condutividade, Cl, SO<sub>4</sub> e I, que por sua vez, são intimamente ligados entre si.

No eixo fatorial F<sub>2</sub> observa-se que, nas águas onde o Br se encontra com teores mais elevados, existe menos Mg, Ca, Cr e Zn e vice-versa. A seguir todas as análises de todas as águas foram plotadas no gráfico na Figura 4. O primeiro número corresponde aos nomes das fontes: 1 = Platina, 2 = Prata-Antiga, 3 = Prata-Nova, 4 = Paiol, 5 = Vitória, 6 = do Boi, 7 = Prata-Radioativa e 8 = Villela. O segundo número corresponde ao mês das análises, começando com o mês de maio de 1978. (Ex.: 5.2 = fonte Vitória, junho de 1978).

Observando o gráfico da Figura 4, nota-se imediatamente uma separação nítida dos grupos sobre o eixo F<sub>1</sub> ou eixo das origens. Assim, as águas números 6, 7 e 8 (fontes do Boi, Prata-Radioativa e Villela) surgentes de arenitos são as mais radioativas e com valores de condutividade, pH, HCO<sub>3</sub>, Na, Cl, SO<sub>4</sub> e I mais baixos.

Na outra extremidade do eixo F<sub>1</sub> encontra-se a água da Fonte Paiol (nº 4), emergente de brechas e tufos vulcânicos, com condutividade, Na, pH, F, Cl, SO<sub>4</sub> e I mais rica, e radioatividade e oxigênio dissolvido mais pobre.

Em seguida os números 2 e 3 referem-se às fontes Prata-Antiga e Prata-Nova, emergentes de diabásios, com mineralização um pouco menor. Entre essas duas extremidades encontra-se o nº 5 (fonte Vitória) surgindo de rochas vulcânicas e aluvião, com mineralização ainda menor. Completamente separado dos grupos anteriores observa-se o nº 1 (fonte Platina) onde predomina o brometo.

Resumindo, nota-se uma separação das águas dos arenitos (nºs 6, 7 e 8), dos diabásios (nºs 2 e 3), brechas e tufos vulcânicos (nº 4), foliolitos (nº 1) e intermediárias (nº 5), porém, todas alinhadas no mesmo sentido. Existe uma semelhança entre os números 1 e 5 (fontes Platina e Vitória), localizados na mesma posição.

No gráfico da Figura 5 foram plotados os resultados das análises de todas as fontes menos a fonte Platina, porém sem denominação do nome (representadas por número), mas somente de meses, para verificar a variação. Em seguida ligaram-se todos os mesmos meses a fim de verificar se aparece um eixo para cada mês.

Observou-se que nos meses junho, agosto e início de setembro (nºs 2, 3 e 4), correspondendo ao inverno, e no mês de março (nº 11), correspondendo ao outono, localizadas na parte superior do eixo F<sub>1</sub>, as águas são mais quentes e menos ricas em elementos alcalino-terrosos, assim como em SiO<sub>2</sub>, Fe, Cr e Zn.

No mês de agosto (nº 3) existe mais Na, F e Br nas águas. Nota-se que a água da fonte Prata-Antiga apresenta uma anomalia para a análise nº 4 (início de setembro) contrário às outras do mesmo mês, de todas as águas. Essa seria mais fria e mais rica em Ca, Mg e SiO<sub>2</sub>, talvez,



como consequência da influência da água do córrego que se encontra próximo a essa fonte.

Os meses nºs 5, 6 e 10 (fim de setembro, outubro e fevereiro), equivalentes à primavera e início de verão, e os meses de maio e abril (nºs 1 e 12), ou outono, encontram-se na mesma direção com águas ricas em  $SO_4$ ,  $Cl$  e  $HCO_3$ .

Os meses novembro, dezembro e janeiro (nºs 7, 8 e 9) correspondendo às estações de primavera e verão, têm a mesma direção e as águas são mais ricas em  $SiO_2$ ,  $Mg$ ,  $Ca$ ,  $Fe$ ,  $Zn$  e  $Cr$ .

#### CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS - "PIPOUST"

Os dados de todas as análises foram plotados em porcentagem de mili equivalentes no diagrama da Figura 6.

As águas nºs 2, 3, 5, 1 e 4 (fontes Prata-Antiga, Prata-Nova, Vitória, Platina e Paiol) conforme diagrama da Figura 6 podem ser classificadas como bicarbonatadas sódicas. A água nº 7 (fonte Prata-Radioativa) como bicarbonatada mista e as de nºs 6 e 8 (fontes do Boi e Villela) como bicarbonatadas sódio-magnesianas. Essas duas últimas surgindo de arenitos, mostram uma tendência de evolução de sódicas para calco-magnesianas e mistas; portanto verifica-se uma troca de alcalinos pelos alcalino-terrosos na estação verão-outono para a fonte Villela e somente primavera-verão no caso da fonte do Boi.

#### CONCLUSÕES

Do tratamento estatístico dos parâmetros de todas as águas, pode-se concluir que a variação da composição química das águas é influenciada pela precipitação atmosférica (estações seca e chuvosa) cabendo, portanto, ao clima um papel importante.

As águas das fontes estudadas enquadram-se em três grupos distintos, refletindo composições químicas diferentes, relacionadas com as rochas e consequentemente, com os minerais por onde essas águas circulam. Observou-se que as águas provenientes de diabásios (fontes Prata-Antiga e Prata-Nova) são semelhantes quanto aos componentes maiores tais como  $Ca$ ,  $Mg$ ,  $Na$ ,  $K$ ,  $Fe$ ,  $HCO_3$ ,  $Cl$ ,  $SO_4$ ,  $PO_4$  e  $NO_3$  e quanto aos elementos menores  $I$ ,  $F$ ,  $B$ ,  $Ni$ ,  $Cr$  e  $Zn$ .

A água da Fonte Paiol, proveniente de tufos vulcânicos, fonolitos e foiaitos, mostrou semelhança com as águas emergentes do diabásio em  $Na$ ,  $K$ ,  $Fe$ ,  $HCO_3$ ,  $Cl$ ,  $SO_4$  e  $NO_3$  e nos elementos menores  $I$ ,  $F$ ,  $B$ ,  $Ni$ , e  $Zn$  e somente em  $Br$  e  $Cu$  com a fonte Prata-Antiga.

Observou-se ainda semelhança entre essas três águas também na concentração elevada de sólidos totais dissolvidos, refletindo a profundidade de circulação dessas águas onde há dissolução mais acentuada. A circulação em profundidade está ainda comprovada pelo conteúdo baixo e semelhante em oxigênio dissolvido. Essas três águas assemelham-se ainda nos teores elevados em gás carbônico.

Outro grupo de águas são as emergentes de fonolitos (fonte Platina) e fonolito-diabásio e aluvião (fonte Vitória), que se assemelham nos sólidos totais dissolvidos, nos elementos maiores  $Na$ ,  $K$ ,  $HCO_3$ ,  $Cl$ ,  $SO_4$  e  $NO_3$  e nos elementos menores  $I$ ,  $F$ ,  $Ni$ ,  $Cu$ , e  $Zn$ . As duas fontes são semelhantes também no conteúdo de gás carbônico.

O terceiro grupo de águas reflete a circulação nos arenitos e as assemelha na concentração baixa de sólidos totais dissolvidos,  $Mg$ ,  $Na$ ,  $K$ ,  $Fe$ ,  $HCO_3$ ,  $Cl$ ,  $SO_4$  e  $NO_3$  e nos elementos menores  $I$ ,  $F$  e  $B$ .

As águas das fontes são consideradas como minerais pela:

- a) quantidade de sais totais dissolvidos (Prata-Antiga, Prata-Nova, Vitória, Platina e Paiol);
- b) quantidade de concentração em gás carbônico dissolvido (Prata-Antiga)



- tiga, Prata-Nova e Paiol);
- c) seu teor em I e F (Prata-Antiga, Prata-Nova, Vitória, Platina e Paiol) e
  - d) pela radioatividade na fonte (Prata,-Radioativa, Platina, Prata-Nova, fracamente radioativas, do Boi, radioativa e Villela e Vitória, fortemente radioativas).

As águas classificam-se como bicarbonatadas sódicas (fontes Prata - Antiga, Prata-Nova, Vitória, Platina e Paiol), como bicarbonatada mista (fonte Prata-Radioativa) e como bicarbonatadas sódio-magnesianas (fontes do Boi e Villela).

#### AGRADECIMENTOS

Nossos agradecimentos ao Doutor Juan GOÑI, Chargé de la Mission Coopération Scientifique e Vice Président du Conseil Scientifique du B.R.G.M. e aos doutores M. LELEU, P. OUSTIÈRE e C. SARCIA do B.R.G.M. Orléans, França pela utilização dos programas de computador e o processamento dos dados e ainda a Fundação ao Amparo de Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela ajuda financeira na realização das análises das águas.

#### BIBLIOGRAFIA

- BJOERNBERG, A. J. S. - 1959 - Rochas clásticas do Planalto de Poços de Caldas - Bol. Fac. Fil. Ciên. e Letr. - USP - Bol. nº 237, Geologia nº 18:64-122.
- ELLERT, R. - 1959 - Contribuição à geologia do maciço alcalino de Poços de Caldas - Bol. Fac. Fil. Ciên. e Letr. - USP - Bol. nº 237 Geologia nº 18:1-63.
- MERO, F., SZIKSZAY, M e TEISSEDE, J.-M. - 1980 - Simulação hidrometeorológica de fontes da Estância de Águas da Prata - Rev. Soc. Bras. de Geociências, Vol. 10., nº 2:155-166,
- SZIKSZAY, M. e TEISSEDE, J.-M. - 1977 - Fontes da Estância de Águas da Prata, Estado de São Paulo - Bol. do IG/USP, nº 8:83-96.
- SZIKSZAY, M. - 1981 - Hidrogeoquímica das fontes de Águas da Prata, Estado de São Paulo - Origem, Classificação e Caracterização - Tesse de Livre Docência, Inst. de Geociên. USP, Vol. I:1-193.



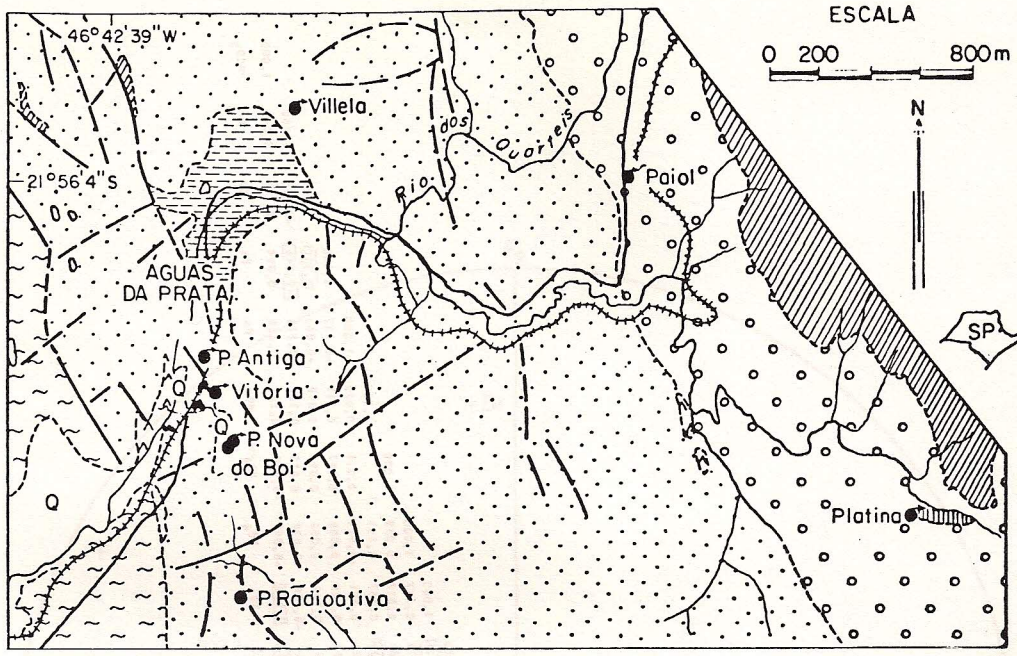


Fig. 1 - MAPA GEOLÓGICO E LOCALIZAÇÃO DAS FONTES





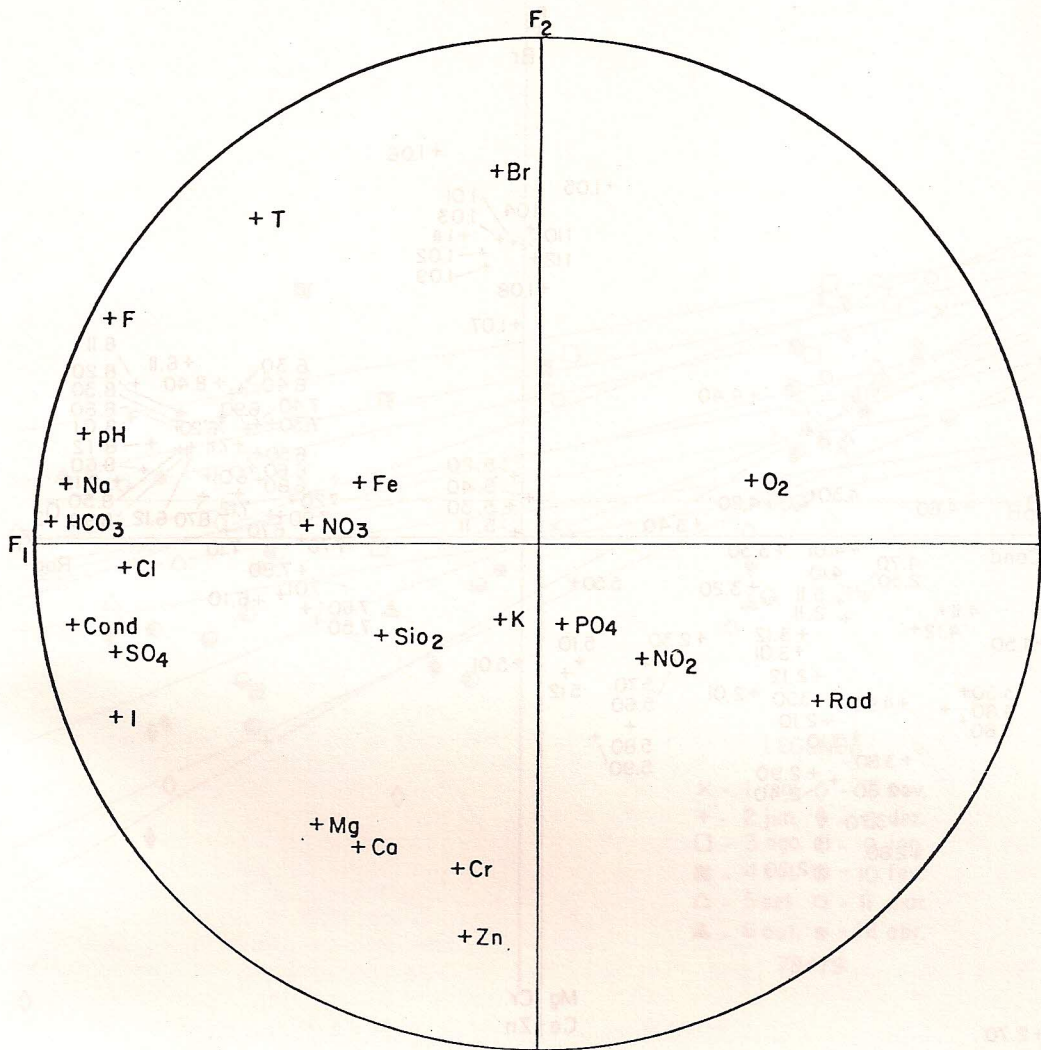


Fig. 3 - REPRESENTAÇÃO BIDIMENSIONAL DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE TODAS AS FONTES



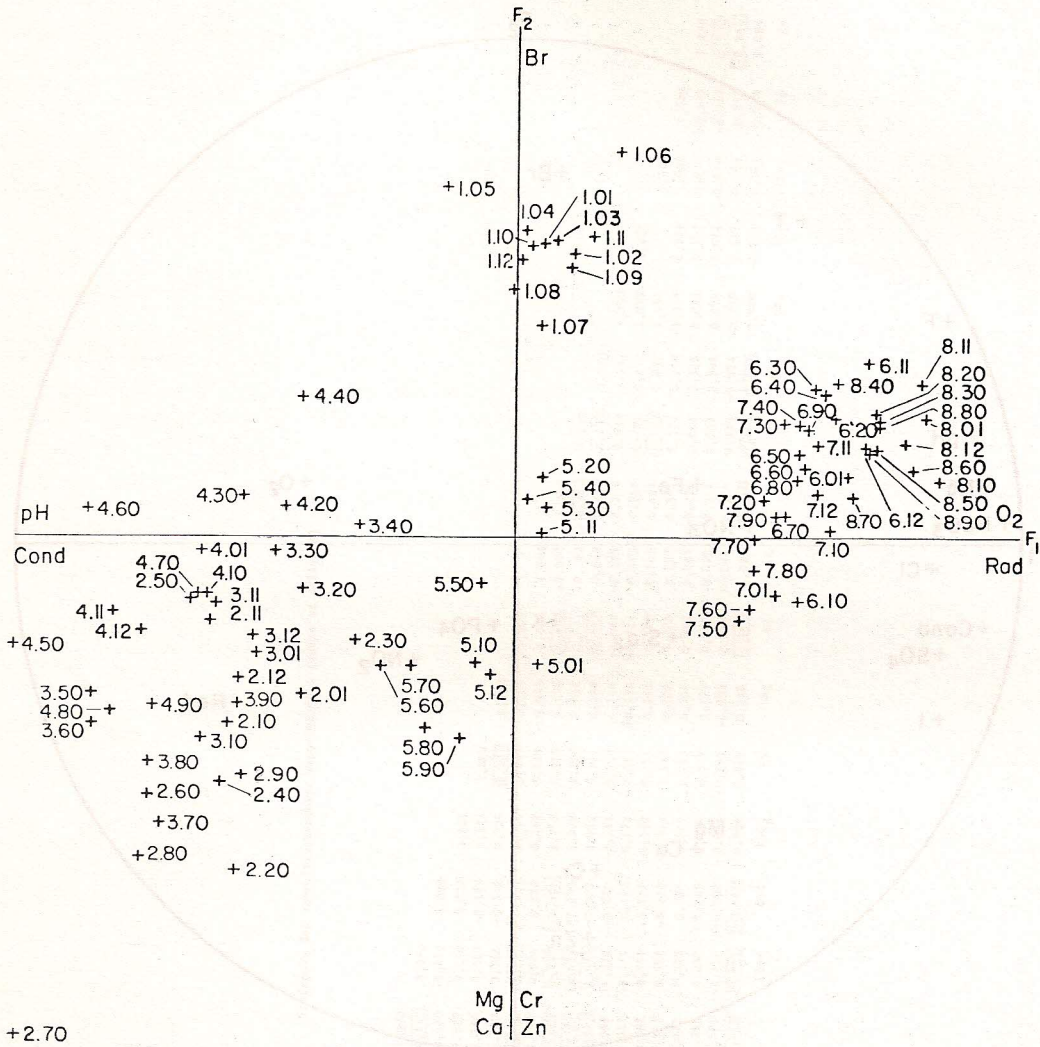


Fig. 4 - REPRESENTAÇÃO BIDIMENSIONAL DA DISTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS DAS FONTES ESTUDADAS



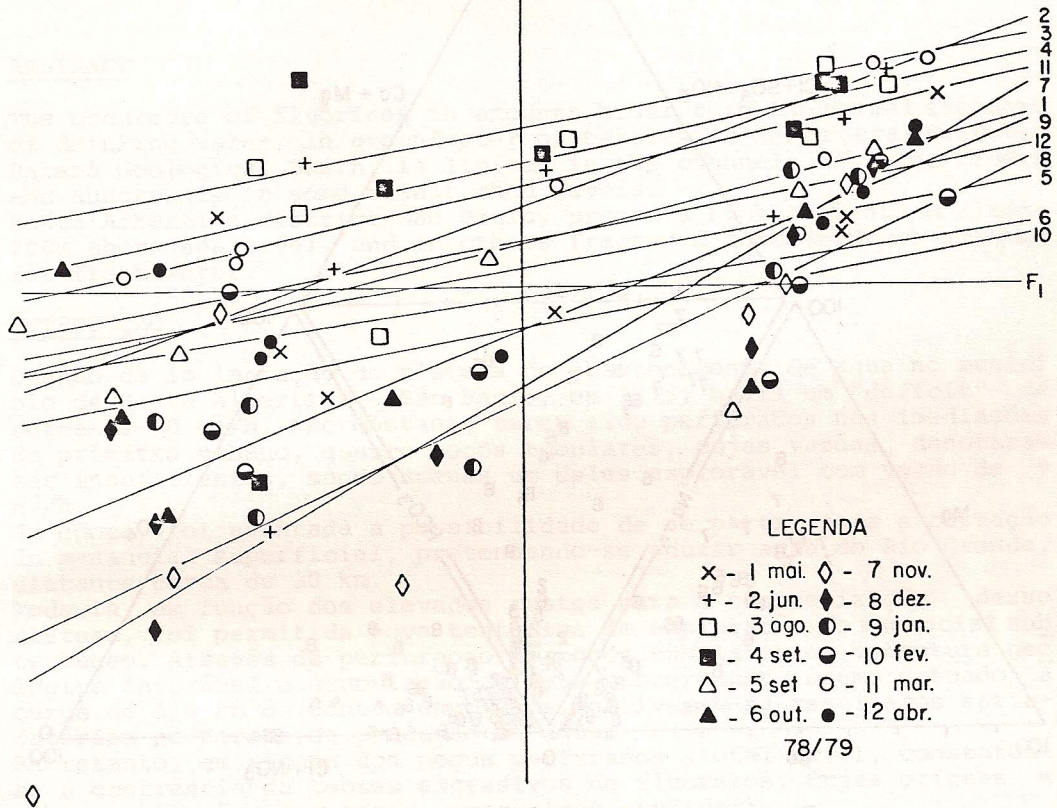


Fig. 5 - REPRESENTAÇÃO BIDIMENSIONAL DA VARIAÇÃO SAZONAL  
 DAS ÁGUAS DAS FONTES ESTUDADAS  
 (exceto a fonte Platina)



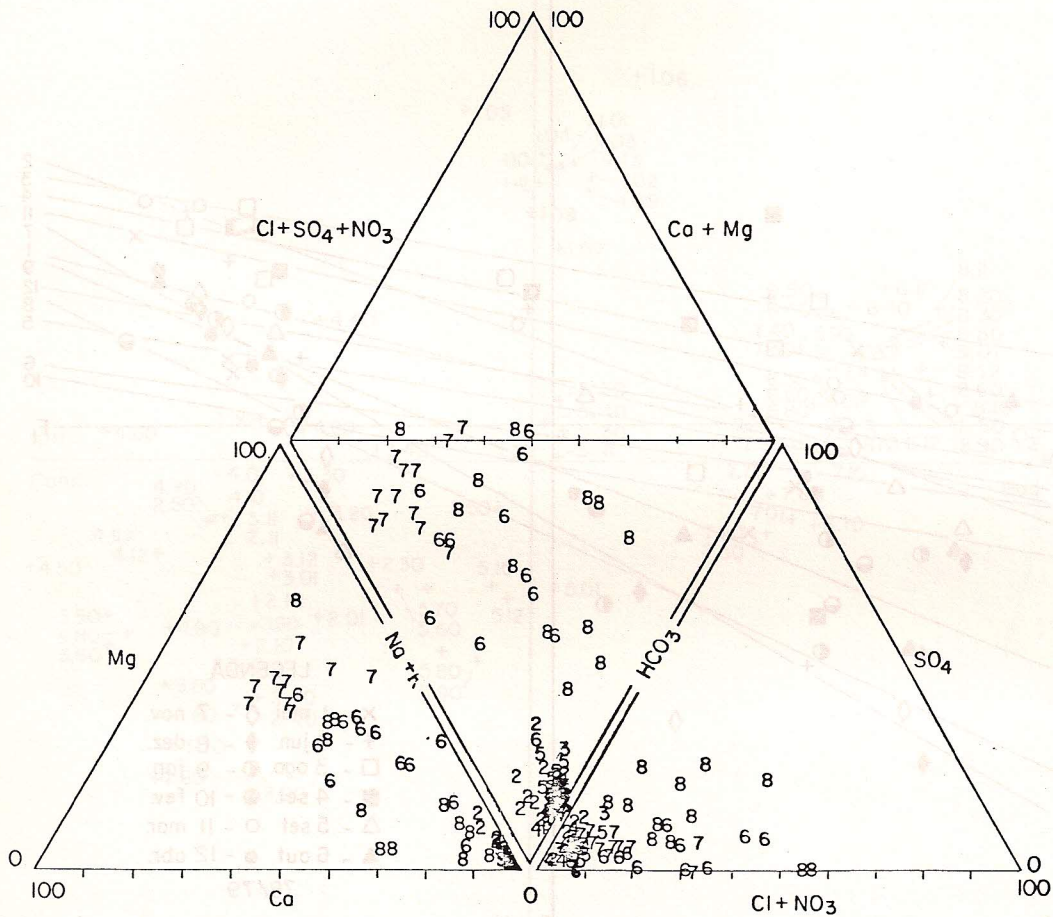


Fig.6- DIAGRAMA PIPER (Programa "PIPOUST").