

VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS

III SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE  
DRAULICA E RECURSOS HÍDRICOS

0981

ador 8 a 13 nov 87

ANAIS

4

NOVOS ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS, HIDROQUÍMICOS E ISOTÓPICOS DAS  
ÁGUAS TERMOMINERAIS DE ÁGUAS DE SÃO PEDRO NO ESTADO DE SÃO PAULO

POR

A.A.Kimmelman e Silva<sup>1</sup>, S.Yoshinaga<sup>2</sup>, H.Murakami<sup>3</sup>  
e J.A.Mattos<sup>4</sup>

RESUMO--Este trabalho consiste na apresentação de novos aspectos hidrogeológicos, hidroquímicos e isotópicos, resultados de uma pesquisa em andamento das águas termominerais de Águas de São Pedro no Estado de São Paulo. Está sendo realizada com o apoio financeiro da FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, Processo nº 86/2352-2) em conjunto com a Paulistur.

Pela primeira vez são apresentados os perfis de três poços perfurados em 1936 pelo DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral) do Rio de Janeiro para prospecção petrolífera e que, em vez de petróleo, estão produzindo até hoje as águas termominerais, erroneamente chamadas de "fontes": Gioconda, Juventude e Almeida Salles.

Os poços tem profundidades que variam entre 329,43 e 626,50m, penetrando no Grupo Tubarão até a Formação Itararé da Bacia do Paraná.

Foram feitas análises físico-químicas e, pela primeira vez, isotópicas das águas termominerais.

A água produzida pelos poços é termal com temperaturas entre 22,5 e 32°C e segundo o Código de Águas Minerais do Brasil também mineral com teores de sólidos totais dissolvidos entre 1928 e 2051 mg/l. Conforme o diagrama do Piper são águas cloretadas sódicas, indicando uma circulação profunda, que propicia uma boa dissolução e uma ascensão rápida que mantém as temperaturas altas. O aquecimento das águas é devido ao grau geotermico, 1°C por 35 m de profundidade.

Os valores isotópicos de  $^{18}\text{O}$  e  $^2\text{H}$  indicam que as águas são originárias principalmente da infiltração das precipitações.

<sup>1</sup> Professora Doutora de Hidrogeologia, Universidade de São Paulo (IG-USP-CEPAS), SP

<sup>2</sup> Pesquisadora, Instituto Geológico, SP

<sup>3</sup> Engenheira Química, Paulistur, SP

<sup>4</sup> Geólogo, Paulistur, SP

## INTRODUÇÃO

Este trabalho consiste na apresentação de novos aspectos hidrogeológicos, hidroquímicos e isotópicos referentes a ocorrência de águas termominerais de Águas de São Pedro, um dos recursos hídricos mais ricos deste tipo no Estado de São Paulo.

Desde a década do trinta é conhecido que as "fontes" Gioconda, Juventude e Almeida Salles de Águas de São Pedro são na realidade poços profundos, inicialmente perfurados para prospecção de petróleo e que produziram água quente e mineralizada.

Durante muitos anos estiveram perdidos os perfís iniciais desenhados pelos especialistas da firma de perfuração do DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral) do Rio de Janeiro.

Neste trabalho é apresentado pela primeira vez o conjunto de três perfís com a nomenclatura geológica e litológica atualizada, que junto com resultados de análises físico-químicas e isotópicas das águas termominerais podem esclarecer melhor a origem destas águas.

### BREVE HISTÓRICO DA PESQUISA HIDROGEOLÓGICA NA REGIÃO

O levantamento dos trabalhos publicados referentes as "fontes" de Águas de São Pedro se caracteriza pela grande escassez de dados.

Os trabalhos antigos são na maioria de natureza crenológica como o trabalho de LOPES (1956), dentre os principais.

SZIKSZAY & TEISSEDE (1981) estudaram também as águas termominerais de Águas de São Pedro no âmbito de uma pesquisa das águas termominerais do Estado de São Paulo.

Desde 1985, o CEPAS (Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas) da Universidade de São Paulo vem estudando através da aplicação de novas técnicas químicas e isotópicas as ocorrências de águas termominerais do Estado de São Paulo. Um destaque maior foi dado a pesquisa das águas de Águas de São Pedro por ser um valioso recurso hídrico termomineral.

### QUADRO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

Do ponto de vista geológico, os três poços que correspondem as três "fontes" Gioconda, Juventude e Almeida Salles em Águas de São Pedro encontram-se na parte leste da Bacia do Paraná, na

área de afloramento do complexo aquífero Botucatu-Pirambóia, parte inferior do Grupo São Bento, de idade triássica e jurássica (Figura 1).

Neste capítulo são descritos os perfis dos 3 poços ( Figuras 2, 3 e 4) do ponto de vista litológico, geológico e hidrogeológico.

#### Descrição das formas de ocorrência

Os três poços que produzem as águas minerais e termominerais de Águas de São Pedro, hoje chamadas erroneamente de "fontes", foram perfurados pelo DNPM em 1936 num programa de prospecção de petróleo. Os poços receberam a seguinte denominação:

- 1- Poço nº 112, correspondente à "fonte" Gioconda (jorrante)
- 2- Poço nº 55, correspondente à "fonte" Juventude
- 3- Poço nº 22, correspondente à "fonte" Almeida Salles (jorrante).

Uma vez que não produziram petróleo, mais água termomineral, passaram sob a jurisdição da "Empresa de Águas Sulfídricas e Termominerais S/A".

Os perfis aqui apresentados pela primeira vez, pertencem ao Sr. Francisco de Moura Andrade, que os cedeu gentilmente ao antigo FUMEST (Fomento de Urbanização e Melhoria das Estâncias), hoje Paulistur. Os perfis foram desenhados em 12-4-1936 de acordo com as especificações fornecidas pelo Dr. Avelino Ignácio de Oliveira Diretor do SFPM (Serviço de Fomento da Produção Mineral) do Ministério da Agricultura, Rio de Janeiro.

Os perfis (Figuras 2, 3 e 4) apresentados neste trabalho tem as unidades geológicas e litológicas atualizadas (entre parêntesis ficam as nomenclaturas usadas inicialmente), conforme o Mapa Geológico do Estado de São Paulo, 1:500.000 (1981).

Nos subcapítulos seguintes é apresentado brevemente cada um dos três poços.

#### Fonte Gioconda (poço 112)

O poço nº 112, correspondente à atual "fonte" Gioconda (figura 2), tem uma profundidade de 625,50 m e uma vazão atual de 1,6 m<sup>3</sup>/h, sendo artesiano até hoje. Ele está atravessando as seguintes unidades geológicas:

#### A- Grupo (Série) São Bento

- a. Formação Pirambóia, 11,43m de espessura, composta de argilas arenosas.

B- Grupo (Série) Passa Dois

- a. Formação Corumbataí (Estrada Nova) 159,92m que pode ser dividida em três: um pacote de arenitos róseos e avermelhados de 74,97m, um pacote de folhelhos de 59,49m e um pacote de calcário silicoso e folhelhos de 25,46 m de espessura.
- b. Formação Irati com folhelhos betuminosos de 77,50 m de espessura, com cheiro de gás natural e gotas de petróleo.

C- Grupo (Série) Tubarão

- a. Formação Tatuí composta de 67 m de arenitos finos e 14 m de folhelhos cinzentos.
- b. Seguem 29 m de diabásio.
- c. Formação Itararé composta de 5,35 m de folhelhos, 36,27 m de arenitos, 14,40 m de areia, 55,10 m de arenitos cinzentos seguidas por 22,49 m de arenitos brancos e 52,81 m de arenitos cinzentos claros.

O aquífero contido nos primeiros 36,27 m de arenitos produziu inicialmente em condições de artesianismo água ligeiramente salgada com uma vazão de 7,2 m<sup>3</sup>/h (460, 35 - 470,29 m de profundidade).

O aquífero contido nos 55,10 m de arenitos cinzentos produziu inicialmente em condições de artesianismo água com uma vazão entre 7,2 - 33 m<sup>3</sup>/h (545,70 a 551,70 m de profundidade).

O aquífero contido nos 22,49 m de arenitos brancos, produziu inicialmente, também em condições de artesianismo água com uma vazão de 33 m<sup>3</sup>/h (574,21 m de profundidade).

Fonte Juventude (poço nº 55)

O poço nº 55, correspondente à "fonte" Juventude tem uma profundidade de 469,01 m e uma vazão atual de 10-11 m<sup>3</sup>/h. É o único poço que não é artesianiano, mesmo que no ano de perfuração houve artesianismo de um aquífero contido numa camada de arenito (288,28-318,84 m de profundidade produzindo água salina e desentupimento de gás combustível).

O poço atravessa as seguintes unidades geológicas:

A- Grupo (Série) São Bento

- a. Formação Pirambóia (e talvez parte inferior do Botucatu) 80,70 m de espessura de arenitos com intercalações de folhelhos e arenitos com intercalações de finas camadas de calcário.

B- Grupo (Série) Passa Dois

- a. Formação Corumbataí (Estrada Nova) com sequências de arenitos e folhelhos com 24,41 m de espessura.
- b. Formação Irati - Composta de calcários e folhelhos alternados (28,49 m).

C- Grupo (Série) Tubarão

- a. Formação Tatuí, composta por arenitos brancos (48,35 m), 30,50 m de arenitos cinzentos, 21,88m de folhelhos e 55,38 m de arenitos cinzentos com variações.  
O aquífero contido nos 30,56 m de arenitos cinzentos produziu inicialmente em condições de artesianismo água salina.
- b. Formação Itararé  
Esta formação começa com um fino conglomerado com seixo de granito e continua com arenitos cinzentos e brancos (62,09 m).

Fonte Almeida Salles (Poço nº 22)

O poço nº 22, correspondente à "fonte" Almeida Salles tem uma profundidade de 329,43 m sendo o menos profundo dos três, artesiano, com uma vazão atual de 0,5 m<sup>3</sup>/h, devido a obstrução do revestimento, Este está em operação de limpeza.

O poço atravessa as seguintes formações geológicas:

A- Grupo (Série) São Bento

- a. Formação Pirambóia, com arenitos cinzentos de 13,73 m de espessura.

B- Grupo (Série) Passa Dois

- a. Formação Corumbataí (Estrada Nova)  
Esta formação é composta de camadas de folhelhos roxos (20,41m) arenitos com intercalações de folhelhos (47,35m), camadas de pequena espessura de arenitos e calcários (14,48 m), uma camada de 35,66 m de arenitos cinzentos escuros e 29,27m de folhelhos.

- b. Formação Irati. Esta formação é composta por 18,22m de calcários e 19,37m de arenitos e folhelhos negros com intercalações de calcários.

C- Grupo (Série) Tubarão

a. Formação Tatuí

Este poço só penetrou na formação Tatuí, composta por vários pacotes de arenitos calcíferos (24,57m), arenitos claros intercalados com folhelhos negros (26,62m), arenitos cor laranja (32,2m) e arenitos cinzentos intercalados com folhelhos (39,24m).

AMOSTRAGEM E ANÁLISES

Foram efetuadas amostragens para análises físico-químicas e isotópicas durante três anos (1985-87) incluindo-se também na discussão dos resultados as análises físico-químicas do FUMEST, referentes aos anos 1978-1986. As análises isotópicas foram realizadas pela primeira vez.

No campo foram determinados vários parâmetros físico-químicos, tais como: temperatura, pH, Eh, alcalinidade (pelo método potenciométrico) e CO<sub>2</sub> livre (pelo método titulométrico).

As análises físico-químicas foram efetuadas nos seguintes laboratórios: CETESB (Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental) São Paulo, CEPAS (Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas) São Paulo, e INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais) Cachoeira Paulista. Os parâmetros analisados foram físicos e químicos como: íons maiores, íons menores, metais e elementos traços. Elas foram efetuadas segundo ANONIMO (1975), por cromatografia iônica e absorção atômica.

As coletas foram feitas segundo SOUZA & DERISIO (1977).

Para a análise isotópica (<sup>18</sup>O e <sup>2</sup>H) foram coletadas amostras de água em frascos de polietileno, novos, descartáveis, de 20ml, bem vedados. As medidas de <sup>18</sup>O foram realizadas com um espectrômetro de massa Atlas Ga 150 e de <sup>2</sup>H com um Micromass 602C no CENA (Centro de Energia Nuclear na Agricultura) em Piracicaba.

Como de costume os teores isotópicos são expressos em desvios por mil (‰) do valor de <sup>18</sup>O e <sup>2</sup>H em relação ao padrão SMOW (Standard Mean Ocean Water).

A ascensão é rápida, o que mantém as temperaturas altas o aquecimento das águas é devido ao grau geotermico, 1°C por 35m de profundidade.

Em seus trabalhos SZIKSZAY & TEISSEDE (1981) afirmam que as águas de Águas de São Pedro fossem provenientes do arenito Botucatu ou do "Grupo Estrada Nova" - a nomenclatura atualizada sendo Formação Corumbataí conforme BISTRICHI et al. (1981). Hoje, na luz dos novos dados, podemos afirmar que para a "fonte" Gioconda o aquífero produtor em condições de artesianismo é contido na Formação Itararé (Grupo Tubarão). Infelizmente a vazão inicial de até 33 m<sup>3</sup>/h diminuiu para a vazão atual de 1,6 m<sup>3</sup>/h.

O poço Juventude é equipado com uma bomba e o aquífero produtor é contido em arenitos da Formação Tatuí (Grupo Tubarão).

Para o poço Almeida Salles o aquífero produtor é situado na Formação Tatuí (Grupo Tubarão) e produz água termomineral em condições de artesianismo.

#### Resultados isotópicos

Os teores de  $\delta^{18}O$  variam entre - 6,3 e 6,5‰, os de  $\delta^2H$  entre - 35 e 36‰, mostrando a mesma origem destas águas. Os valores de  $^{18}O$  são compatíveis com a média das águas de chuva da área de recarga (-7,1‰).

Na Figura 6 estes valores são representados junto à reta meteórica mundial. A grande proximidade dos pontos, imediatamente acima desta linha, indica uma origem meteórica para as águas.

#### Exploração e aproveitamento das fontes

Desde a perfuração os três poços artesianos, produtores de água termal e mineral, foram administrados pela "Empresa de Águas Sulfídricas e Thermais S/A" para depois passar sob a jurisdição da FUMEST, extinto em 1987 e transformado em Paulistur.

Dentre outras ações, o extinto FUMEST reformou em 1978 o balneário, abastecido principalmente pelas "fontes" Juventude e Almeida Salles por encanamento e parcialmente pela "fonte" Gioconda via caminhão-pipa.

Cabe a nós criticar neste trabalho o estado deplorável do poço Gioconda, cuja água está sendo desperdizada e cujo perímetro de proteção é em estado de abandono. Sugerimos selar o poço e por

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### Resultados Hidroquímicos

Os resultados referentes aos parâmetros físico-químicos mostram que as três "fontes" de Águas de São Pedro são termais quanto a temperatura:

"Fonte" Gioconda - 32°C  
"Fonte" Juventude - 25°C  
"Fonte" Almeida Salles - 22,5°C

O pH varia entre 8,47 e 9,21, a condutividade elétrica entre 3500 e 3700  $\mu$ S/cm e o Eh entre -85 e -123.

As vazões eram inicialmente altas, com o tempo foram baixando devido a problemas de entupimento dos poços.

Quanto aos resultados químicos as águas são fortemente mineralizadas:

"Fonte" Gioconda - 2051 mg/l  
"Fonte" Juventude - 1928 mg/l  
"Fonte" Almeida Salles - 1980 mg/l,

podendo classificá-las como minerais, segundo Código de Águas Minerais do Brasil, que prevê para uma água ser mineral um teor mínimo de 1000 mg/l de sólidos totais dissolvidos.

O cátion predominante é o sódio entre 689 e 761 mg/l e o ânion predominante é o cloro 1001,90 - 1699,37 mg/l, o que indica uma circulação profunda destas águas. Esta circulação profunda é dentro do Grupo Tubarão, confirmada pelos perfis junto a indicação dos horizontes produtores de água em condições de artesianismo. Um outro ânion também abundante é o sulfato proveniente provavelmente das formações betuminosas.

Conforme a diagrama de Piper (Figura 5) as águas podem ser classificadas como cloretadas - sódicas.

Dentre os íons menores destaca-se o alto teor de fluoreto entre 7,44 e 10,7 mg/l, refletindo talvez, como observam SZIKSZAY & TEISSEDE (1981), minerais de argila ricos em fluoreto, proveniente da alteração de micas, assim como a influência dos teores elevados em sódio, o que facilitaria a solubilidade de fluoreto com fluoreto de sódio.

Os resultados físico-químicos refletem o modo de circulação das águas. Elas circulam em altas profundidades, rápido, possibilitando uma boa dissolução.

um registro, bem como traze-la nos estabelecimentos balneários via canalização devido a vazão alta e as boas propriedades terapêuticas.

### CONCLUSÕES

O estudo dos três perfis dos poços produtores de água termomineral de Águas de São Pedro junto com as análises físico-químicas e isotópicas permite as seguintes conclusões.

Os resultados físico-químicos junto com os perfis dos poços indicam que as águas provêm dos arenitos do Grupo Tubatão (Formação Tatuí e Itararé), circulam muito profundo, o que proporciona uma boa dissolução e uma ascensão rápida, o que mostram as temperaturas elevadas.

Os resultados isotópicos mostram a origem meteórica destas águas.

Como a pesquisa está em andamento, pretendemos fazer determinações de idade das águas, para confirmar a origem delas, através de medidas de  $^{14}\text{C}$  e eventualmente  $^3\text{H}$ .

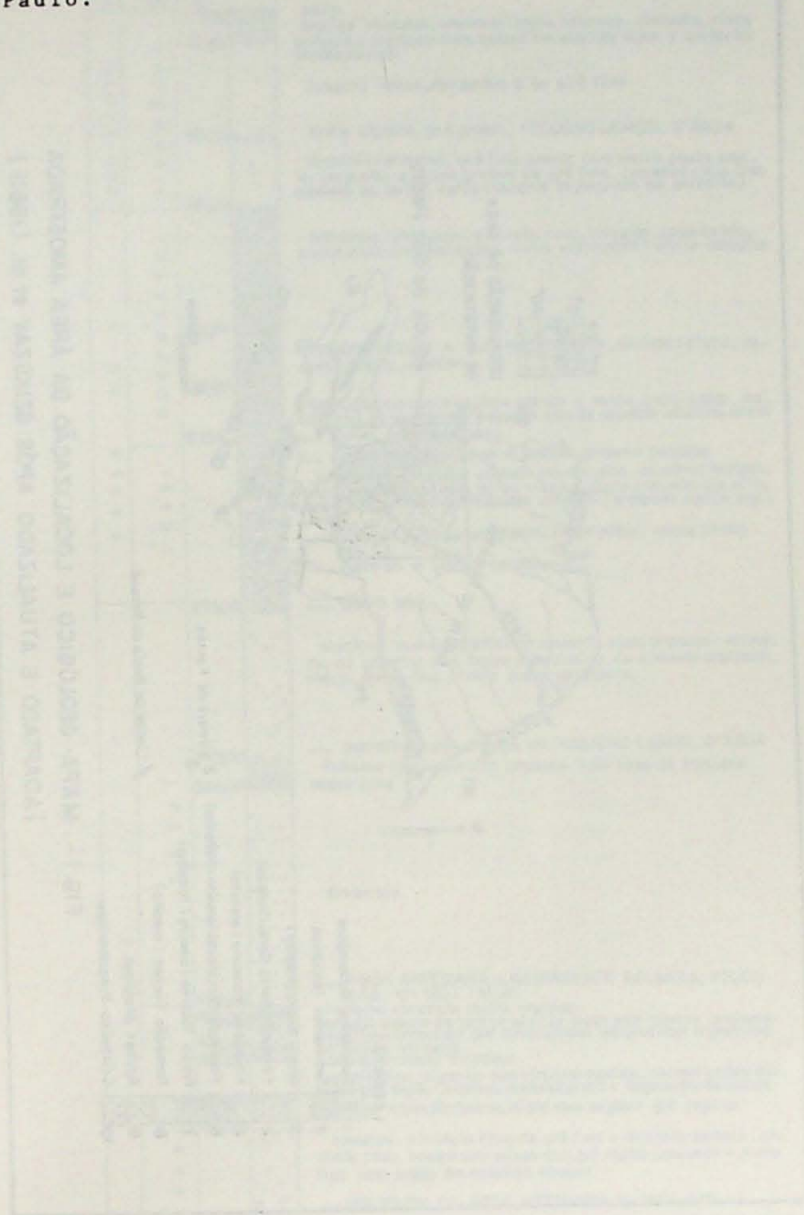
### AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Sr. Francisco Moura de Andrade por ter posto a nossa disposição os perfis originais dos três poços de Águas de São Pedro.

### BIBLIOGRAFIA

- ANONIMO : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 14<sup>th</sup> Ed., Am. Publ. Health Assoc., 1975, N.Y.
- BISTRICHI, C.A., CARNEIRO, C.A.S., DANTAS, A.S.L., PONÇANO, W.L., CAMPANHA, G.A.C., NAGATA, N. ALMEIDA, M.A. STEIN, D.P., MELO, M.S. e CREMONINI, O.A. - Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000, vol. I, 126p., 1981., IPT (nº 1184).
- LOPES, R.S. - Águas Minerais do Brasil. DNPM, 147p., 1956, Rio de Janeiro.
- SOUZA, H.B. & DERISIO, J.C. - Guia Técnico de Coleta de Amostras. 257p., 1977, CETESB, São Paulo.
- SZIKSZAY, M. & TEISSEDE, J.M. - "Águas Minerais" no Estado de São Paulo. Características Físico-Químicas e Classificação. Bol. IG, Inst. de Geociên. USP: v.12, 11-22, 1981, São Paulo.

SZIKSZAY, M. & TEISSEDE, J.M. - Fontes da Bacia Sedimentar do Pa  
raná, Estado de São Paulo. Águas Subt. nº 3, pp. 85-102, 1981,  
São Paulo.





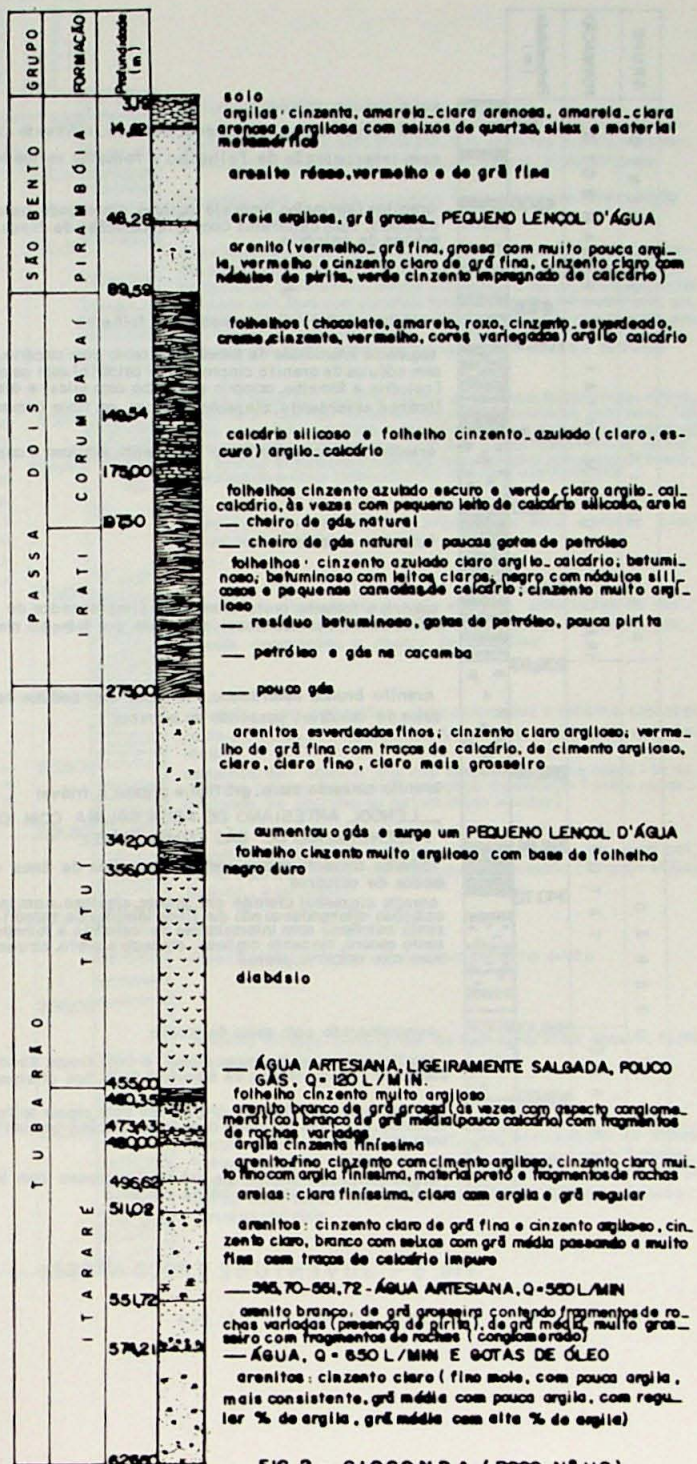


FIG. 2 - GIOCONDA (POÇO N° 112)

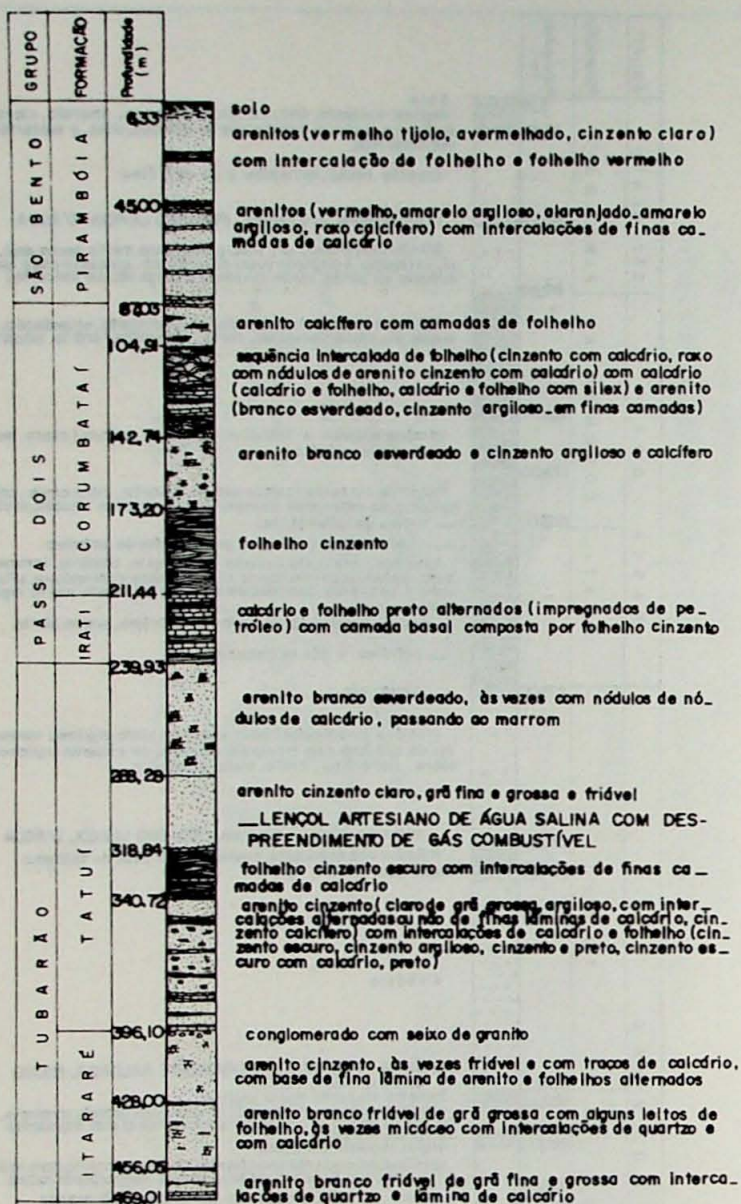


FIG. 3 - JUVENTUDE (POÇO Nº55)

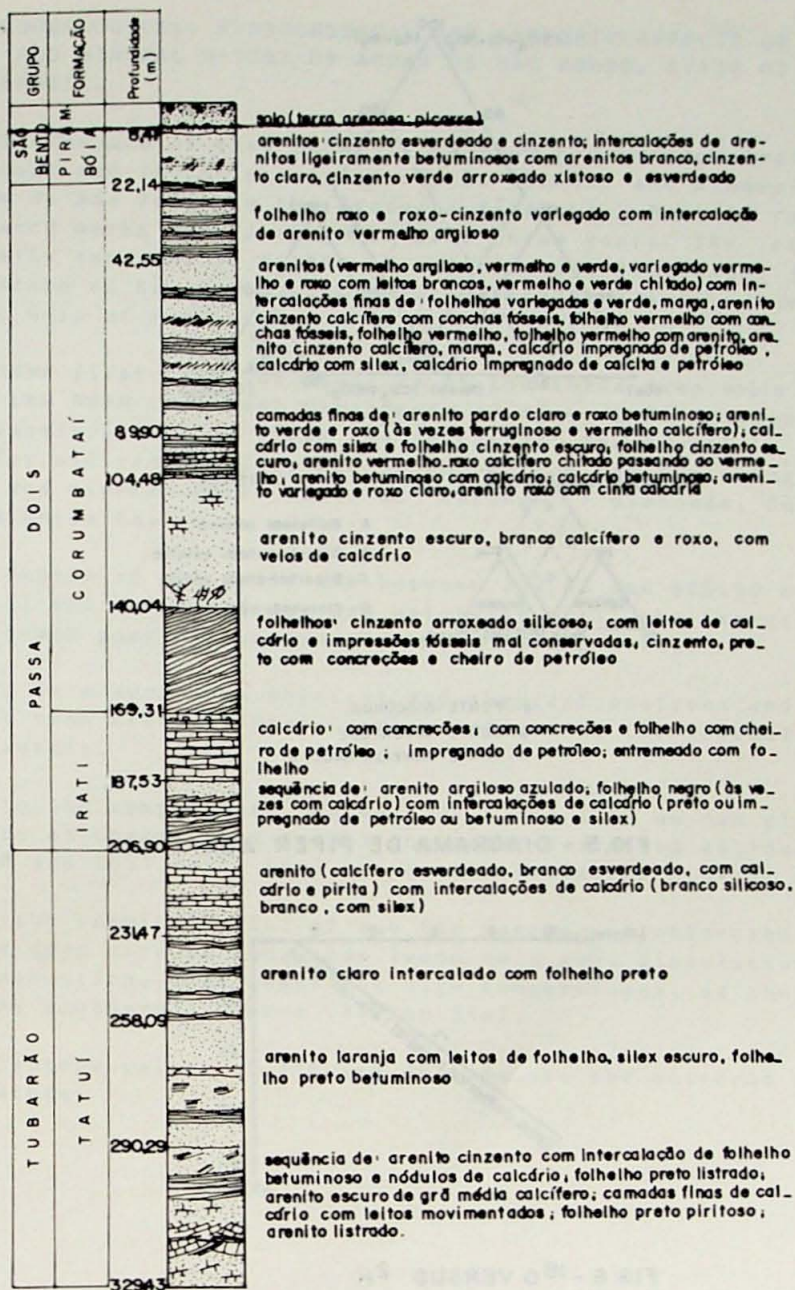
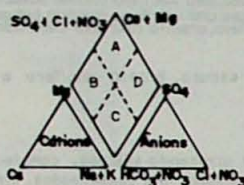
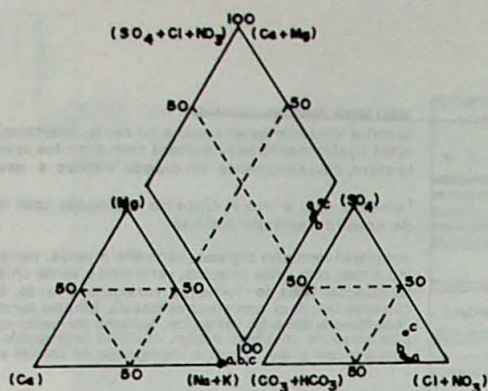


FIG. 4 - ALMEIDA SALLES (POÇO N° 22)



LEGENDA

- A - Sulfetada cálcica
- B - Bicarbonetada cálcica
- C - Bicarbonetada sódica
- D - Clorateda sódica

- a - FONTE GIOCONDA
- b - FONTE JUVENTUDE
- c - FONTE ALMEIDA SALLES

FIG.5 - DIAGRAMA DE PIPER ADAPTADO

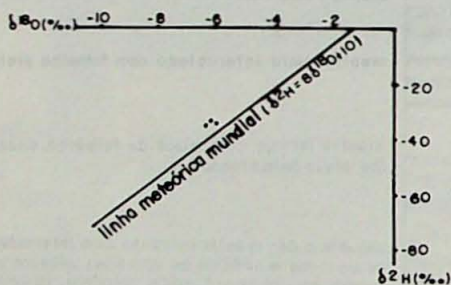


FIG.6 -  $\delta^{18}O$  VERSUS  $\delta^2H$

NEW HYDROGEOLOGICAL, HYDROCHEMICAL AND ISOTOPIC ASPECTS OF THE  
THERMAL AND MINERAL WATERS OF ÁGUAS DE SÃO PEDRO, STATE OF SÃO  
PAULO, BRAZIL.

ABSTRACT--The aim of this paper is to show new hydrogeological, hydrochemical and isotopic aspects of the thermal and mineral waters of Águas de São Pedro in the State of São Paulo, Brazil, results of research works done during the last three years. The study is financially supported by FAPESP (Foundation for Scientific Research in the State of São Paulo), Process nº 86/2352-2 and is executed with the help of Paulistur.

For the first time the profiles of the three deep wells digged 1936 by the DNPM (National Department of Mineral Production) from Rio de Janeiro, will be shown and described. These wells were digged for oil prospection, but produced from the beginning the thermal and mineral water known as "springs" : Gioconda, Juventude and Almeida Salles.

The depths of the wells are between 329,43 and 626,50 m entering until the Tubarão Group and partially until the Itararé Formation (lower part of the Group) in the Paraná Basin.

There have been done physical and chemical analyses and for the first time stable isotope determinations of the thermal and mineral waters.

Due to the temperature, between 22,5 and 32°C we can classify the waters as thermal and due to the total dissolved solids, between 1928 and 2051 mg/l, they can be classified as mineral waters.

From the chemical point of view the waters are chlorosodic, showing a deep circulation, that leads to a good dissolution and a rapid ascension, that keeps the high temperatures, as they are due to the geothermic degree (1° for 35m).

The isotope values of  $^{18}\text{O}$  and  $^2\text{H}$  indicate the meteoric origin of the waters.