

HIDROLOGIA ISOTÓPICA E QUÍMICA DO AQUÍFERO
BOTUCATU - BACIA DO PARANÁ - BRASIL

POR

A.A.Kimmelman¹, R.B.G.Silva^{2†}, A.C.Rebouças¹ e M.M.F.Santiago³

RESUMO-- O presente trabalho apresenta resultados parciais de um estudo em andamento (1984-1987), financiado pela IAEA* e a FINEP/PADCT**, que objetiva a aplicação de técnicas de isótopos ambientais (^{18}O , ^2H , ^3H , ^{13}C e ^{14}C) conjugada com a hidroquímica para a melhor caracterização dos mecanismos de circulação e mineralização das águas subterrâneas do aquífero Botucatu na parte brasileira da Bacia do Paraná.

Uma interpretação preliminar dos resultados obtidos através da amostragem de mais de 30 poços profundos nos Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul, Goiás e Paraná, permite confirmar as observações de SILVA (1983) e SILVA, KIMMELMANN e REBOUÇAS (1985): os teores isotópicos de ^{18}O e ^2H indicam que as águas subterrâneas são originárias principalmente da infiltração das precipitações; observa-se ainda um aumento gradual da salinização, pH, temperatura, bem como das idades médias aparentes dessas águas no sentido do confinamento do aquífero; seu quimismo evolue de águas bicarbonatadas cálcicas e/ou mistas, nas bordas da bacia, para bicarbonatadas sódicas, em sua porção central.

INTRODUÇÃO

A Bacia do Paraná estende-se entre os paralelos de 10° e 32° de latitude sul e os meridianos de 47° e 64° de longitude oeste, tendo uma superfície de $1.000.000 \text{ km}^2$ no território brasileiro, 400.000 km^2 na Argentina, 100.000 km^2 no Paraguai e 100.000 km^2 no Uruguai.

O aquífero mais importante na Bacia do Paraná é o aquífero Botucatu, cuja extensão no território brasileiro é de 818.000 km^2 , encontrando-se nos seguintes Estados do norte ao sul: Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Figura 1).

Trata-se de um aquífero livre apenas nas bordas da bacia e confinado pelos basaltos em 90% de sua extensão. Os derrames basálticos podem atingir espessuras de até 2.000m no centro da ba-

¹IG-USP, CEPAS, São Paulo

²DAEE, São Paulo

³DF-UF Ceará, Fortaleza

* Agência Internacional de Energia Atômica (Contrato Nº 3648).

** Financiadora de Estudos e Projetos/Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Contrato Nº 5384057700).

cia. O aquífero está sendo explorado através de poços profundos entre 300 e 2.000m, com vazões entre 100 e 1.000m³/h (REBOUÇAS, 1979).

Os estudos hidrogeológicos já efetuados (REBOUÇAS, 1976; DAEE, 1979 - 1983) revelam reservas importantes, mas são ainda insuficientes para a melhor caracterização das taxas de recarga e da hidrodinâmica do aquífero.

Neste sentido, têm sido realizados estudos geotérmicos (TEIS SEDRE e BARNER, 1981), hidroquímicos e isotópicos (GALLO, 1977; GALLO e SINELLI, 1980; SILVA et alii, 1982) em algumas regiões do aquífero no Estado de São Paulo. SILVA (1983) efetuou pela primeira vez um estudo integrado hidroquímico e isotópico em toda extensão do aquífero Botucatu no Estado de São Paulo.

Nos outros Estados brasileiros, onde o aquífero ocorre, os estudos são raros e pontuais, devido também à densidade reduzida de poços profundos no centro da Bacia do Paraná.

Iniciado em 1984 e com previsão de conclusão no final de 1987, o CEPAS junto com o DAEE vem desenvolvendo um estudo apoiado financeiramente pela IAEA e a FINEP/PADCT, que objetiva a aplicação de técnicas de isótopos ambientais (²H, ¹⁸O, ¹³C, ¹⁴C, ³H) conjugada com a hidroquímica para o conhecimento dos mecanismos de circulação e mineralização das águas subterrâneas do aquífero Botucatu na porção brasileira da Bacia do Paraná.

Neste trabalho são apresentados resultados parciais obtidos através da amostragem da água subterrânea de poços profundos situados no norte, leste e oeste da Bacia do Paraná, situados tanto na zona de afloramento como de confinamento do aquífero Botucatu (Figura 1, Tabela 1).

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS DA ÁREA

Do ponto de vista geológico o aquífero Botucatu é constituído pelas Formações Pirambóia - lamitos e arenitos finos a médios, mal selecionados, silto-argilosos, de origem fluvial, e Botucatu-arenitos finos a médios, bem selecionados de origem eólica. Este pacote sedimentar constitui a base do Grupo São Bento. No Rio Grande do Sul a Formação Pirambóia é equivalente à Formação Rosário do Sul (GAMERMANN, 1973). As Formações Pirambóia - Botucatu são intercaladas entre as camadas permianas do Grupo Passa Dois e os derrames basálticos da Formação Serra Geral, a qual se situa no topo do Grupo São Bento.

O aquífero Botucatu é um aquífero confinado na maior parte da sua extensão, sendo livre apenas nas bordas da bacia. Sua espessura aumenta no sentido do centro da bacia, formando duas sub-bacias, onde estão concentrados os maiores pacotes de sedimentos:

- no norte, entre os Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, com espessuras de cerca 500m;
- no sul, entre o Estado do Rio Grande do Sul e o Uru

guai, com valores da ordem de 1.000m.

A superfície potenciométrica da água apresenta características de artesianismo na porção central da bacia, onde os níveis d'água são da ordem de 400m no norte, podendo atingir 1.000m no sul (REBOUÇAS, 1979). As direções de fluxo das águas subterrâneas convergem das bordas da bacia para o seu eixo central, por onde passa a resultante geral do fluxo de direção sudoeste (GILBOA et alii, 1976).

Para o Estado de São Paulo, a única região onde a disponibilidade de dados permitiu estudos mais detalhados, SILVA (1983) cita os seguintes valores para os parâmetros hidráulicos do Botucatu: a capacidade específica varia entre 1 e 23m³/h/m, sendo entre 10 e 15m³/h/m os valores mais representativos; a transmisividade varia entre 4,7 x 10⁻⁴ e 1,5 x 10⁻²m²/s, a maioria dos valores sendo 10⁻³m²/s, enquanto a permeabilidade varia entre 2,4 x 10⁻⁶ e 4,5 x 10⁻⁵m/s; o coeficiente de armazenamento tem valores entre 4 x 10⁻⁵ e 2 x 10⁻⁴.

Esta configuração hidrogeológica condiciona nesta área aumentos da temperatura de 22° a 61°C, do pH (de 5,40 a 10,35) e dos sais totais dissolvidos (de 31 a 650mg/l) destas águas no sentido sudoeste, das bordas da bacia para a parte muito confinada do aquífero. Na zona de afloramento as águas são atuais, bicarbonatadas magnésianas ou calco-magnésianas, com uma evolução gradativa para bicarbonatadas sódicas e clorosulfatadas sódicas, nas regiões onde o aquífero é confinado, podendo atingir idades superiores a 30.000 anos.

A variação dos teores dos isótopos estáveis $\delta^{18}\text{O}$ (-6,5 a -10,1‰), $\delta^2\text{H}$ (-45,0 a -70,0‰) e $\delta^{13}\text{C}$ (-6,3 a -23,1‰) nas águas subterrâneas permitiram supor possíveis mudanças climáticas durante as diferentes épocas de recarga.

As idades das águas determinadas através do ¹⁴C permitem o cálculo da velocidade aparente da água ao longo das linhas de fluxo. Conhecendo-se o gradiente hidráulico e a porosidade eficaz do aquífero e em seguida aplicando-se a Lei de Darcy, determina-se a permeabilidade aparente do aquífero. Neste caso as permeabilidades médias aparentes são de 2,6 x 10⁻⁵m/s, compatíveis com os dados obtidos a partir de testes de bombeamento em poços entre 2,4 x 10⁻⁶ e 4,5 x 10⁻⁵m/s.

Os resultados isotópicos e hidroquímicos obtidos por SILVA (1983) indicam que as águas subterrâneas são originárias principalmente da infiltração das precipitações nas zonas de afloramento do aquífero e que sua evolução química é determinada pelo grau de confinamento, pelas direções do fluxo e pelo tempo de trânsito da água.

AMOSTRAGEM E ANÁLISES

O trabalho sendo em andamento (1984-1987), foram efetuados até o momento amostragens de águas subterrâneas em mais de 30 po

ços profundos no norte, leste e oeste da Bacia do Paraná, tanto nas zonas de recarga como nas áreas de maior confinamento do aquífero Botucatu.

Nas tabelas 1,2,3,4 e 5 são apresentados os dados de 20 pontos dos Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Goiás, cujas análises são completas na medida de permitir uma interpretação preliminar.

No campo foram determinados uma série de parâmetros físico-químicos como: temperatura, pH, potencial-redox (Eh), alcalinidade pelo método titulométrico e potenciométrico e teor de CO_2 livre pelo método titulométrico (Tabela 2).

Para as análises físico-químicas a serem efetuadas no laboratório (Laboratório da CETESB - Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental, São Paulo) como: parâmetros físicos, íons maiores, metais, elementos traços (Tabelas 3 e 4), as coletas foram efetuadas conforme SOUZA e DERISIO (1977). As análises são efetuadas segundo ANONIMO (1984).

Foram coletadas amostras para análises isotópicas, tanto de isótopos estáveis ^2H , ^{18}O , ^{13}C , como radioativos ^{14}C e ^3H . Para as análises de ^2H e ^{18}O a coleta efetua-se em frascos de polietileno, novos, descartáveis, de 20 ml, bem vedados, enquanto a amostragem para o ^{13}C é similar a para o ^{14}C , que será descrita abaixo. Estas análises são realizadas nos laboratórios do CENA (Centro de Energia Nuclear na Agricultura) em Piracicaba. Como de costume os teores isotópicos são expressos em desvios por mil (‰) do valor de ^{18}O e ^2H em relação ao padrão SMOW (Standard Mean Ocean Water) e do valor de ^{13}C em relação ao padrão PDB (Belemnite Americana da Formação Pee Dee). As medidas de ^2H e ^{13}C foram realizadas com um espectrômetro de massa Micromass 602C, enquanto as de ^{18}O com um Atlas Ga 150.

Foram efetuadas coletas de amostras de ^3H na zona de recarga do aquífero, em frascos de polietileno novos, descartáveis, de 20 ml, bem vedados, para evitar a contaminação com o ar atmosférico. Os teores de ^3H são expressos em TU - Tritium Unit ou UT - Unidade de Tritio. O laboratório de ^3H e ^{14}C do Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung de Hannover (RFA) se encarregou a efetuar as análises.

A atividade do ^{14}C é expressa em percentagem do carbono moderno em relação ao ^{14}C das plantas em 1980, antes de qualquer importante injeção, na atmosfera, de CO_2 livre de ^{14}C , proveniente dos combustíveis fósseis e da liberação de ^{14}C proveniente das explosões termonucleares nos últimos 30 anos.

A partir da atividade de ^{14}C é possível calcular a idade aparente das águas subterrâneas, utilizando a lei do decaimento radioativo, ou o tempo de residência, através de modelos adequados às condições do aquífero. O método permite determinar idades entre 300 e 30.000 a 40.000 anos. Águas mais jovens podem ser datadas através de ^3H , determinando-se tempos de residência de

até 50 anos.

Os métodos de amostragem para medidas de ^{14}C (GEYH & WAGNER, 1979 e ANÔNIMO, 1984) adotados neste trabalho, são descritos a seguir. O princípio dos dois métodos consta da precipitação dos carbonatos dissolvidos na água; por isso, a quantidade de água a ser coletada depende do teor de bicarbonatos, determinado através da medida de alcalinidade, efetuada no campo.

Todas as amostragens foram efetuadas usando-se o primeiro método. Depois de coletar o volume necessário, calculado, de água, acrescenta-se $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ para eliminar os sulfatos e $\text{Ba}(\text{OH})_2$ para a precipitação dos carbonatos, depois de ter elevado o pH acima de 9, através da adição de uma base, NH_3 . Para a amostragem utilizam-se garrafas de 50 l, de produção própria, equipadas na parte inferior com uma torneira (Figura 2) para eliminar a água sobrenadante depois da precipitação. Para evitar a contaminação com o CO_2 atmosférico utiliza-se um tubo absorvente adaptado ao garrafão, através de uma rolha de borracha. O tubo é constituído por quatro camadas: 1. uma camada isolante, ex. palhinha de aço; 2. uma camada de amianto sódado (ascarita); 3. uma outra camada isolante, ex. palhinha de aço; 4. uma camada de silicagel (Figura 2, detalhamento).

Depois da eliminação da água sobrenadante, tira-se o tubo absorvente e ajusta-se uma rolha de borracha, que através de um furo faz a ligação entre o garrafão e o frasco de coleta (2 l) do precipitado de BaCO_3 (Figura 3), formado depois da reação. O processo pode demorar até 48 horas, dependendo das características da água e do teor em bicarbonatos. Através da mesma técnica, somente usando-se um frasco menor (1 l), colhe-se o precipitado para o ^{13}C .

O segundo método, que segue as instruções de coleta da Agência Internacional de Energia Atômica, utiliza os garrafas de 60 l enviados por eles (Figura 4). Depois de calcular o volume necessário de água, acrescenta-se a amostra: $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e uma base (NaOH) para aumentar o pH acima de 12. Como todo o processo tem que se passar no local de coleta, acrescenta-se um flocculante, neste caso Praestol, para acelerar a reação de precipitação do carbonato. Na parte inferior do garrafão encontra-se enroscado o frasco de coleta do precipitado (1 l).

Este método é rápido e dá bons resultados, somente quando as águas tem altos teores de bicarbonato, levando a uma precipitação quase instantânea. Ao contrário, para as águas com teor baixo de bicarbonato, cuja precipitação leva muitas horas, o método clássico é recomendável.

O precipitado obtido, através da adição de $\text{Ba}(\text{OH})_2$ à água, foi enviado ao Laboratório de Radiocarbono da Universidade Federal do Ceará, onde foram feitas as análises. Neste laboratório, a atividade do ^{14}C é determinada nas amostras depois de transformadas em acetileno obtido em três etapas: ataque do precipitado de BaCO_3 para liberação de CO_2 ; reação do CO_2 obtido com lítio metálico

lico aquecido a 600°C, com produção de Li₂C₂ e finalmente, reação do carbureto de lítio com água velha (sem ³H) para obtenção do acetileno. Deve-se esperar entre 4 a 6 semanas para analisar o acetileno, tempo suficiente para o decaimento do radônio evitando, assim, a contaminação com este gás.

A medida da atividade específica do ¹⁴C é feita em um conjunto de dois contadores proporcionais a gás, conectados a um sistema de anticoincidência e comparada com a atividade do padrão internacional, um ácido oxálico, fabricado em 1950 pelo NBS - National Bureau of Standards (SANTIAGO et alii, 1981).

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

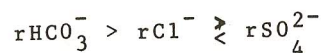
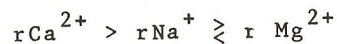
Resultados Hidroquímicos

Os resultados das amostras de água de poços profundos mostram que as águas são fracamente mineralizadas, com valores de resíduo seco a 105°C variando entre 38 e 362mg/l. Os valores de pH destas águas estão no intervalo entre 5,52 e 9,69, predominando águas básicas. A temperatura apresenta-se, nas regiões aflorantes do aquífero e suas proximidades, entre 24,2 e 28°C, aumentando no sentido do seu confinamento até valores da ordem de 46-48°C, como ocorre em Araçatuba e Jales. Este acréscimo, como já observado por TEISSEDE e BARNER (1981) e SILVA (1983), é devido ao grau geotérmico natural (1°C/35m).

A figura 5 mostra a distribuição dos resultados sobre o diagrama de Piper, onde se distinguem duas áreas de concentrações de pontos: uma, onde as águas são classificadas como bicarbonatadas cálcicas e/ou mistas e, outra, onde as águas são bicarbonatadas sódicas.

A família de águas bicarbonatadas cálcicas e/ou mistas, 75% das amostras, é menos alcalina, com resíduos secos inferiores a 119mg/l, pH entre 5,52 e 8,02 e temperaturas entre 24,2 e 38°C. Os teores dos íons maiores, em meq/l, situam-se nos seguintes intervalos: Ca²⁺ de 0,04 a 1,10; Mg²⁺ de 0,04 a 0,59; Na⁺ de 0,01 a 0,76; K⁺ de 0,01 a 0,32; HCO₃⁻ de 0,16 a 1,84; CO₃²⁻ de 0 a 0,04; SO₄²⁻ não detectado e Cl⁻ de 0 a 0,03.

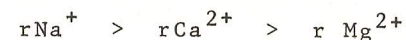
Segundo a classificação proposta por SCHOELLER (1962) estas águas obedecem a seguinte sequência de concentração dos íons maiores:



A família de águas bicarbonatadas sódicas, representando 25% das amostras, apresenta teores de resíduo seco mais elevados (246-362mg/l), pH básicos (8,94 - 9,61) e temperaturas mais elevadas (39-48°C). A variação dos teores dos íons maiores, em meq/l, é a

seguinte: Ca²⁺ de 0,03 a 0,10; Mg²⁺ de 0,01 a 0,03; Na⁺ de 4,00 a 5,65; K⁺ de 0,01 a 0,02; HCO₃⁻ de 0,84 a 2,44; SO₄²⁻ de 0,19 a 1,10; Cl⁻ de 0,31 a 0,59.

A sequência obedecida pelos ânions é a mesma da família anterior havendo modificações apenas na sequência catiônica:



A água do poço de Bauru (4SP) é uma exceção: na classificação é bicarbonatada sódica e apresenta pH básico (9,03), mas a temperatura e o teor de sais dissolvidos são baixos (25,5°C e 91mg/l). Este comportamento distinto pode talvez ser devido à presença na área de um alto estrutural. Esta elevação local propiciou a erosão dos basaltos e a deposição dos sedimentos da Formação Bauru diretamente sobre a Formação Botucatu.

A distribuição espacial destas famílias indica que as águas bicarbonatadas cálcicas e/ou mistas se encontram na porção aflorante do aquífero ou, onde ele é pouco confinado, seja a oeste (Estado de Mato Grosso do Sul), seja a leste (Estado de São Paulo). Já as águas bicarbonatadas sódicas são encontradas no centro da bacia, onde o aquífero é muito confinado.

Resultados Isotópicos

Antes da discussão dos resultados isotópicos obtidos para as águas subterrâneas faremos uma breve consideração sobre as águas de chuva das regiões de recarga do aquífero.

No Estado de São Paulo, SILVA (1983) concluiu que a média anual dos teores de δ¹⁸O das águas de chuva deve ser da ordem de -7,1‰, média das amostras de água subterrânea aí coletadas. Os valores obtidos nas amostras de águas de chuva colhidas nas estações de São Carlos e de Ribeirão Preto (ano hidrológico 1981-1982) não foram considerados como representativos da média plurianual, visto que sendo da ordem de -9,5‰ refletiam o excesso de pluviosidade ocorrido no período da coleta.

Para a região do Estado de Mato Grosso do Sul foram consultados os resultados de δ¹⁸O médios das chuvas da estação de Curitiba, medidos a partir de amostras de dois anos de observação no início da década de setenta (IAEA, 1981). A média ponderada anual para esta estação é de -4,9‰.

Os teores de δ¹⁸O variam entre -5,7 e -9,8‰, quanto os valores para ²H variam entre -32 e -67‰.

A figura 6 mostra a relação entre os valores de δ¹⁸O e ²H comparados à reta meteórica mundial. Como se observa, os pontos estão próximos à reta, δ²H = 8,6 δ¹⁸O + 15, versus δ²H = 8 δ¹⁸O + 10, a fórmula para a reta meteórica mundial, o que indica uma origem meteórica para as águas. Também calculou-se a reta para a região leste da Bacia do Paraná, baseada em 12 pontos:

$$\delta^2\text{H} = 7,0 \delta^{18}\text{O} + 1,4;$$

bem como a reta para a região oeste da bacia, baseada em 8 pontos:

$$\delta^2\text{H} = 8,7 \delta^{18}\text{O} + 17,1.$$

Observam-se, assim, dois grupos distintos:

- um grupo, onde os teores de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ são mais negativos (8,1 a -9,8‰ e -56 a -67‰);
- um segundo grupo, com teores mais positivos (-5,7 a -6,8‰ e -32 a -47‰).

Os pontos reunidos no primeiro grupo, referentes a poços na porção confinada do aquífero (Estado de São Paulo) apresentam um intervalo de variação similar a variação observada por SILVA(1983) na mesma região. Existe um ponto com $\delta^{18}\text{O}$ -7,4‰ e $\delta^2\text{H}$ -49‰, referente ao poço de Araraquara, situado na área livre do aquífero e, no gráfico, entre os dois grupos referidos. Seus teores são compatíveis com a média das águas de chuva da área de recarga (-7,1‰) neste Estado.

Os pontos do segundo grupo são provenientes de poços da região oeste da bacia (Estado de Mato Grosso do Sul), situados na área de recarga ou próximo dela. O fato desse grupo apresentar concentrações de $\delta^{18}\text{O}$ mais positivas que os da área de recarga no Estado de São Paulo (-7,1‰) pode ser explicado possivelmente pela ação do efeito da altitude sobre as chuvas, a região sendo menos elevada. Outros fatores que podem também influenciar este comportamento são variações climáticas e de latitude. Os dados de chuva da estação de Cuiabá (-4,9‰) indicam essa tendência, mais positiva, da recarga nesta área.

Dois poços fogem a este comportamento geral, Camapuã (2 MS), onde o aquífero é livre e Itajá (1 GO), onde o aquífero é confinado, que estão compreendidos no primeiro grupo. À luz dos resultados disponíveis, não é ainda possível dar uma explicação completa a esta diferença. No entanto, como estes poços apresentam-se mais mineralizados e com pH mais alcalino do que os poços próximos, pode-se supor a possibilidade de estas águas serem localmente mais confinadas do que aparentam. Para o poço 2 MS esta explicação parece válida, pois o teor de ^3H , menor do que 2,1 UT, indica uma água mais velha do que 50 anos. Para o poço 1 GO o resultado do ^{14}C , que estamos aguardando, deverá propiciar a elucidação desta dúvida.

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ das amostras de águas subterrâneas variam entre -5,9 e -20,6‰. pode-se observar que na parte leste da bacia (especialmente no Estado de São Paulo) eles são mais positivos, entre -5,9 e -13,5‰, com predomínio do intervalo -5,9 a -8,5‰. Uma exceção apresenta o poço de Araraquara (9SP) com um valor muito negativo -19,5‰, provavelmente devido ao fato de ser situado, na zona de afloramento do aquífero. Os valores entre -5,9 e -8,5‰ correspondem às amostras da área francamen-

te confinada do aquífero.

Na parte norte e oeste da bacia, (correspondente aos Estados de Goiás e de Mato Grosso do Sul) os resultados são mais negativos entre -10,9 e -20,6‰, a maioria situando-se entre -16,4 e -20,6‰. Estes valores são provenientes de amostras das áreas livres e pouco confinadas do aquífero.

Podemos concluir que os teores de $\delta^{13}\text{C}$ são mais negativos nas zonas de afloramentos ou pouco confinadas do aquífero, tornando-se mais positivos com o confinamento do aquífero. Este fato parece ser confirmado pela relação entre os teores de $\delta^{13}\text{C}$ e de CO_2 livre: quanto maior o teor de CO_2 livre mais negativo o $\delta^{13}\text{C}$ (Figura 7).

Os parâmetros que geralmente influenciam os valores de $\delta^{13}\text{C}$ nas águas subterrâneas são oriundos da interação entre o CO_2 de origem biogênica, o CO_2 atmosférico, o CO_2 das rochas, além de processos de troca na zona não-saturada. Fatores climáticos e variações sazonais também interferem nos teores de $\delta^{13}\text{C}$.

Observações parecidas foram feitas por CALF e HABERMEHL(1984) para uma bacia bastante similar com a Bacia do Paraná, o Great Artesian Basin na Austrália. O aquífero mais importante é também constituído por arenitos mesozoicos e a área de estudo tem o dobro do tamanho da nossa. Os autores remarcarão que os valores de C-13 são bem característicos para as zonas de recarga, fato observado no nosso caso também, onde nas duas bacias as amostras provenientes das áreas livres ou pouco confinadas do aquífero tem valores $\delta^{13}\text{C}$ muito negativos.

Foi feita tentativa de correlar os teores de Ca (mg/l) com o C-13 (Figura 8). Pode-se observar a existência de 2 trends, um agrupamento das amostras do Estado de São Paulo, com teores mais baixos em Ca, provenientes de áreas confinadas do aquífero e outro das amostras do norte e oeste da bacia, com valores de Ca mais altos e de C-13 mais negativos, correspondentes a zonas livres ou de pouco confinamento do aquífero, o que confirma tanto as observações hidroquímicas, bem como isotópicas até agora obtidas.

Os valores de ^{14}C em % de carbono moderno variam entre 0,4 a 94,2%, podendo dividi-los em 2 grupos distintos: um grupo com valores entre 0,4 e 7,9%, que corresponde a amostras provenientes da zona leste da Bacia do Paraná (Estado de São Paulo) em sua área francamente confinada. O segundo grupo tem um intervalo de valores entre 67,8 e 94,2% e corresponde a zona oeste da bacia (Estado de Mato Grosso do Sul), em sua área livre ou pouco confinada do aquífero.

A idade aqui apresentada é a "idade convencional", baseada na meia-vida de LIBBY, que é 5570 anos. O erro da percentagem do moderno é o desvio padrão e os limites da idade são baseados nele. A probabilidade da idade verdadeira estar nesta faixa é, portanto, de 68%. Em parte nas amostras coletadas foi necessária uma mistura de gás sem carbono-14, para obter a quantidade de carbono suficiente, para a medida (para as amostras 1SP, 4SP e 8MS,

nem assim a medida não foi conseguida, devido ao teor extremamente baixo de bicarbonato na água, apesar do volume muito alto de água, até 400 l H₂O, coletado). Este procedimento produz um aumento no erro, anotado com * (Tabela 5).

As idades calculadas representam as idades aparentes das águas subterrâneas e foram calculadas utilizando-se a lei do decaimento radioativo:

$$T = 8033 \ln \frac{A_0}{A}$$

onde A₀ é a atividade inicial, aqui suposta a ser 100% C moderno; e A é a atividade que foi medida.

Não foi feita nenhuma correção no cálculo das idades para poder fazer a comparação com as idades determinadas por SILVA (1983)

Para o Estado de São Paulo, estas idades são compatíveis, menos para 2 poços, que fazem uma exceção: o poço de Monto Alto (2 SP) amostrado por SILVA (1983), onde foi determinada uma atividade de 69,5 ± 2,4%, i.e. 2.900 ± 300 anos, enquanto a nossa determinação foi 0,4 ± 0,8%, correspondente à 38.000 anos. A mesma idade foi calculado para o poço de Lins (3SP), enquanto SILVA (1983) achava para um poço vizinho 20,5 ± 1,4%, i.e. 12.700 ± 600 anos. O erro pode ter várias fontes, começando pelo método de amostragem, os laboratórios diferentes, onde foram efetuadas as medidas, o intervalo de mais de 3 anos entre as determinações. É possível e provável que as diferenças se devam a exploração intensa e continua destes poços.

Os resultados de ³H são entre 1,5 e 4,1 UT, valores muito baixos, que indicam águas mais velhas do que 50 anos.

CONCLUSÕES

Neste capítulo serão tiradas algumas conclusões preliminares, especialmente para a porção norte da Bacia do Paraná (Estado de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Goiás), com base nos dados apresentados.

As seguintes considerações sobre as águas subterrâneas podem ser feitas:

a) As sequências evolutivas hidroquímicas, a variação dos teores dos íons maiores e a distribuição espacial observadas permitem as seguintes conclusões preliminares:

- Para o Estado de São Paulo, os novos dados confirmam as considerações de SILVA (1983), completando informações onde há via ausência de dados;
- Para os Estados de Mato Grosso do Sul e Goiás, apesar da es-

cassem de dados e sua distribuição não uniforme, pode-se supor comportamento similar ao do Estado de São Paulo;

- A evolução hidroquímica sugerida, a mesma de SILVA (1983), caracteriza-se por um aumento da temperatura, pH e mineralização das águas a partir das bordas da bacia (a leste no Estado de São Paulo e oeste-noroeste no Estado de Mato Grosso do Sul) no sentido na calha do rio Paraná, acompanhando as direções de escoamento subterrâneo e o confinamento progressivo do aquífero. As águas bicarbonatadas cálcicas e/ou mistas, nas áreas de recarga, passam a bicarbonatadas sódicas nas regiões fortemente confinadas.

b) Os resultados isotópicos de δ¹⁸O e δ²H mostram que as águas da área de recarga no Estado de Mato Grosso do Sul são ligeiramente mais positivas que as da recarga no Estado de São Paulo, provavelmente devido à diferenças climáticas, de altitude e latitude. As amostras dos poços na área fortemente confinada (Estado de São Paulo) são ainda mais negativas, semelhantes aos resultados de SILVA (1983) para a mesma área, cuja razão, ainda em discussão, pode estar relacionada à variações climáticas pretéritas ocorridas na época de recarga destas águas.

c) Os resultados isotópicos de δ¹³C mostram que os valores são mais negativos nas áreas livres ou pouco confinadas do aquífero, tornando-se mais positivas com o confinamento dele.

d) Quanto às idades aparentes, elas aumentam no sentido do confinamento do aquífero Botucatu na Bacia do Paraná. Os dados de ¹⁴C e ³H em conjunto (3MS, 5MS e 7MS) mostram uma mistura de águas nas zonas de recarga, na parte oeste do aquífero, onde ele está livre ou fracamente confinado.

REFERÊNCIAS

- ANONIMO (1984): Muestreo de águas para analisis de ¹⁴C. 5p., Laboratorio de Hidrol. Isot. del OIEA, Vienna.
- ANONIMO (1975): Standard methods for the examination of water and wastewater. 14th ed., Am. Publ. Health Assoc., N.Y.
- CALF, G.E. & HABERMEHL, M.A. (1984): Isotope hydrology and hydrochemistry of the Great Artesian Basin, Australia. IAEA-SM 270/61, Proc. of a Symp. Isotope Hydrology 1983, 12-16 Sep. 1983, Vienna, p. 397-413.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE) (1974): Estudo de águas subterrâneas, região administrativa 6: Ribeirão Preto, São Paulo, 4v.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE) (1976): Estudo de águas subterrâneas, regiões administrativas, 7,8 e 9: Barra, São José do Rio Preto e Araçatuba, São Paulo, 4v.

- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE) (1979): Estudo de águas subterrâneas, regiões administrativas 10 e 11: Presidente Prudente e Marília, São Paulo, 3v.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE) (1981): Estudo de águas subterrâneas, região administrativa 5: Campinas, São Paulo, 2v.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE) (1983): Estudo de águas subterrâneas, região administrativa 4: Sorocaba, São Paulo, 2v.
- GALLO, G. (1977): Utilization complémentaire de l'hydrochimie et de la géochimie isotopique en hydrogéologie: application eaux souterraines de la région de Ribeirão Preto, État de São Paulo, Brésil, These Docteur de 3^{ème} Cycle - Univ. Claude Bernard, Lyon, 206p.
- GALLO, G. & SINELLI, O. (1980): Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas de Ribeirão Preto, SP. Rev. Bras. Geoc., 10 (2), São Paulo: p. 129-140.
- GAMERMANN, N. (1973): Formação Rosario do Sul. Pesquisas, 2, p. 5-35.
- GAMERMANN, N. (1979): Contribution a l'étude de la diagenèse des grès: couleur rouge, argiles authigènes et induration. Formation d'Estrada Nova, de Rosario do Sul et de Botucatu (Brésil) et Bundsandstein des Vosges (France). Sc. Geol. Mémoire n° 59, ULP; 121 p., Strasbourg.
- GEYH, M.A. & WAGNER, R.H. (1979): Guidline for groundwater sampling for isotope analyse. 4p., ¹⁴C & ³H Laboratory, Nieders. Landesamt f. Bodenf., Hannover,
- GILBOA, Y.; MERO, F. & MARIANO, I.B. (1976): The Botucatu aquifer of South America, model of an untapped continental aquifer. Journal of Hydrology, Amsterdam, 29 (1/12), p. 165-180.
- GONZAGA DE CAMPOS, L.F. (1889): Relatório da Comissão Geographica e Geológica de São Paulo, p. 21-34.
- IAEA (1981): Stable isotope hydrology-deuterium and oxygen-18 in the water cycle. Technical Reports Series n° 210, Vienna, 337p.
- REBOUÇAS, A.C. (1976): Recursos hídricos subterrâneos da Bacia do Paraná. Análise de préviabilidade. Tese de Livre-Docência- USP São Paulo, 143p.
- REBOUÇAS, A.C. (1979): Groundwater in Brasil. Proc. III. World Congr. on Water Res., vol. 7. México.
- SANTIAGO, M.F.; RADE, H.; TORQUATO, J.R.; GARRET, L. (1981): Ida e movimento das águas subterrâneas na região de Picos, Piauí (Bacia do Parnaíba) e sua evolução química. Estudos Hidrológicos do Nordeste, BNB-ETENE, p. 73-100.

SCHOELLER, H.I. (1962); Les eaux souterraines, Masson, Paris.

SILVA, R.B.G., DIOGO, A. & FRAIHA JR.O.S. (1982): Características hidroquímicas do aquífero Botucatu no Estado de São Paulo. 2º Congr. Bras. de Ag. Subt., Anais, Salvador.

SILVA, R.B.G. (1983): Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do aquífero Botucatu no Estado de São Paulo. Tese de Doutorado, USP-São Paulo, 133p.

SILVA, R.B.G., KIMMELMANN, A.A. & REBOUÇAS, A.C. (1985): Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do aquífero Botucatu; resultados parciais para a Região Norte da Bacia do Paraná. Comunicação apresentada no 5º Simp. Regional de Geol., São Paulo, 6 a 10 de novembro 1985, Bol. de Res. p. 23, Anais do 5º Simp. Reg. de Geol., (no prelo).

SOUZA, H.B. & DERISIO, J.C. (1977): Guia técnico de coleta de amostras. 257p., CETESB, São Paulo.

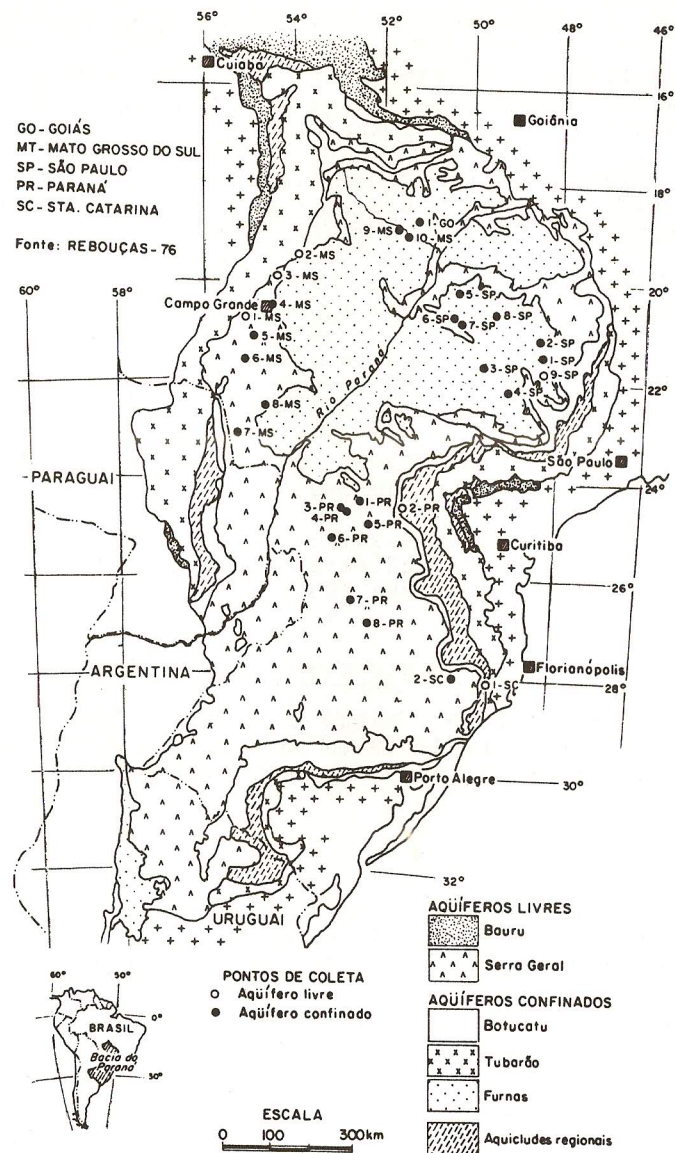
TEISSEDE, J.M. & BARNER, U. (1981): Comportamento geotérmico e geoquímico das águas do aquífero Botucatu no Estado de São Paulo. Rev. Ag. Subt. 4, São Paulo.

AGRADECIMENTOS

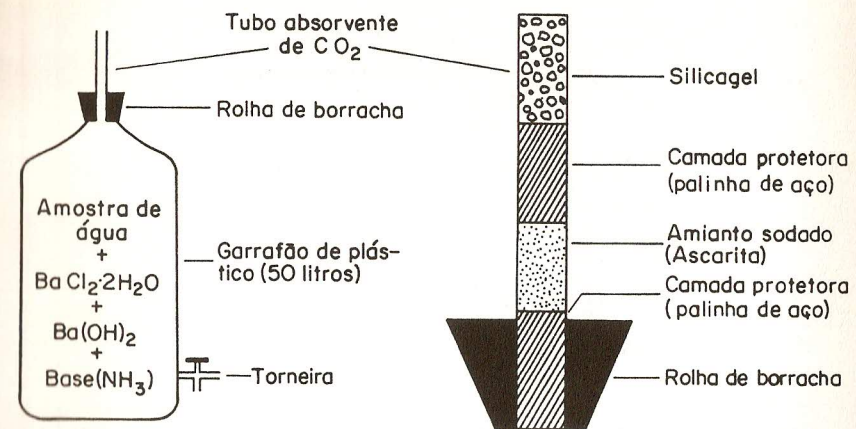
Agradecemos ao Prof. Dr. Mebus A. Geyh por ter se encarregado de executar as análises de ³H no Laboratório de ¹⁴C & ³H do Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung de Hannover - RFA.

† Lamentamos informar o falecimento da nossa colega, co-autora deste trabalho, Rosa Beatriz Gouvêa da Silva, ocorrido no dia 25 de junho de 1986 em Cuzco, no Peru, devido a um atentado terrorista.

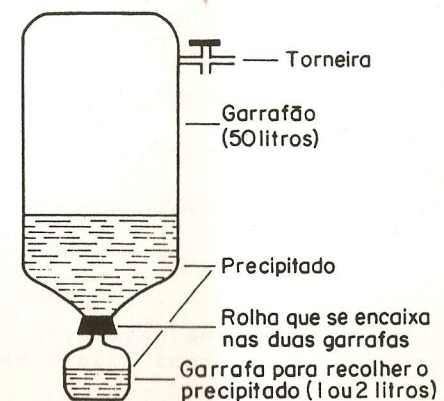
A ideia deste estudo partiu da tese de doutoramento dela (SILVA, 1983), onde ela estudou o aquífero Botucatu no Estado de São Paulo, utilizando técnicas isotópicas e hidroquímicas.



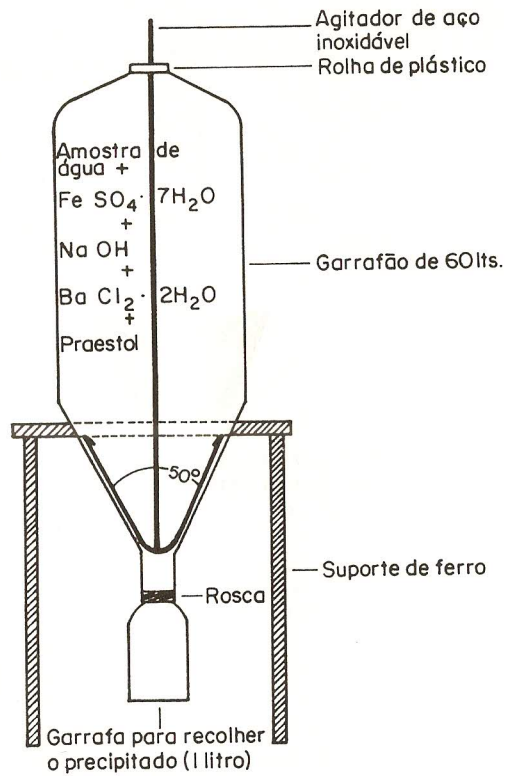
"Figura 1. Localização da área de estudo e dos poços amostrados".



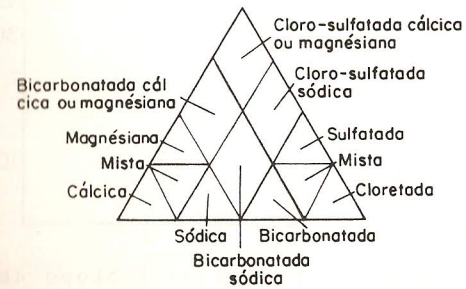
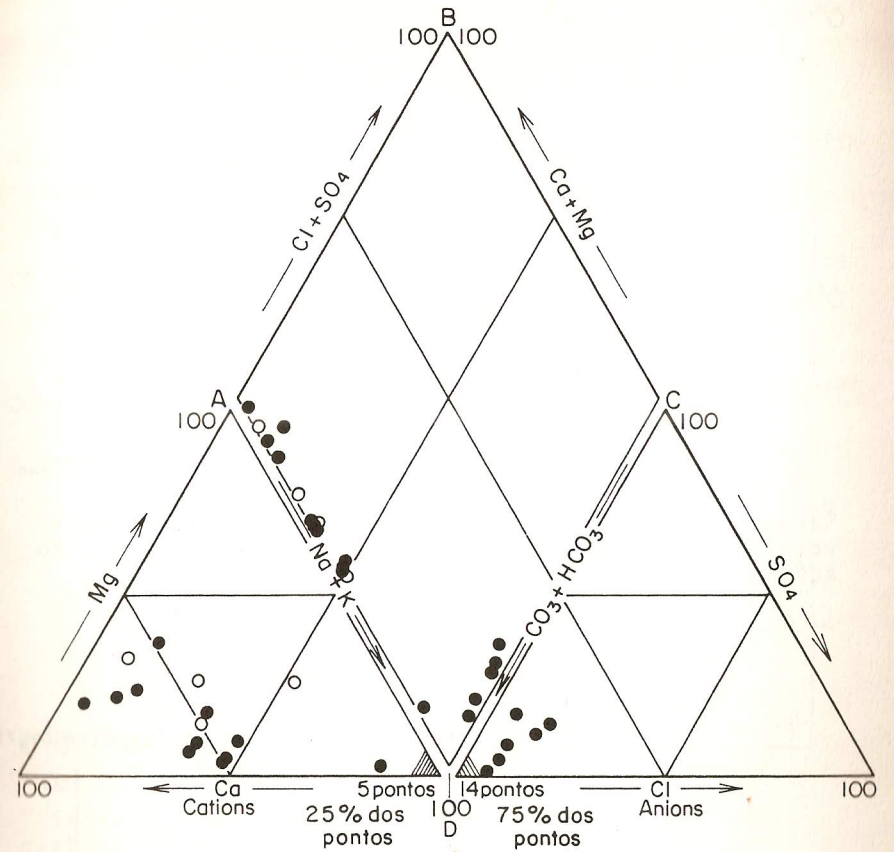
"Figura 2. Esquema do equipamento de campo para a amostragem de ^{14}C , com detalhamento do tubo aborvente".



"Figura 3. Esquema da coleta do precipitado de BaCO_3 , para a análise de ^{14}C ".

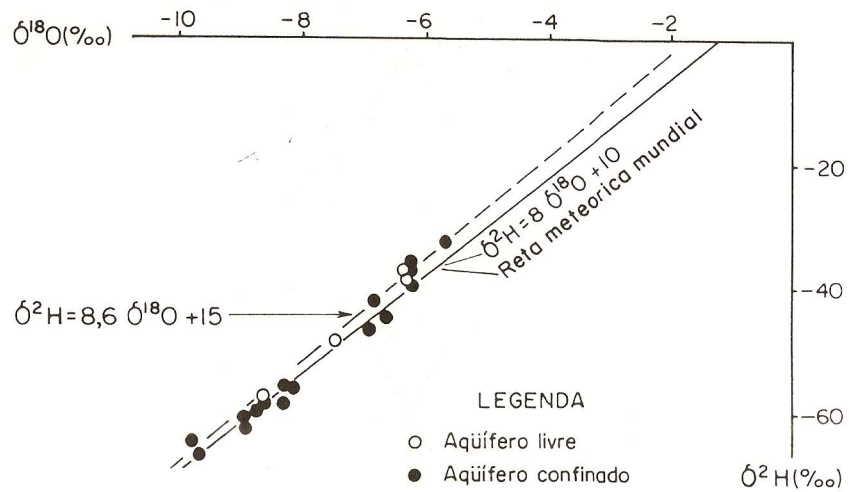


"Figura 4. Esquema do equipamento de campo para a coleta "in situ" do precipitado de BaCO₃, para a análise de ¹⁴C." (Redesenhado após ANONIMO, 1984).

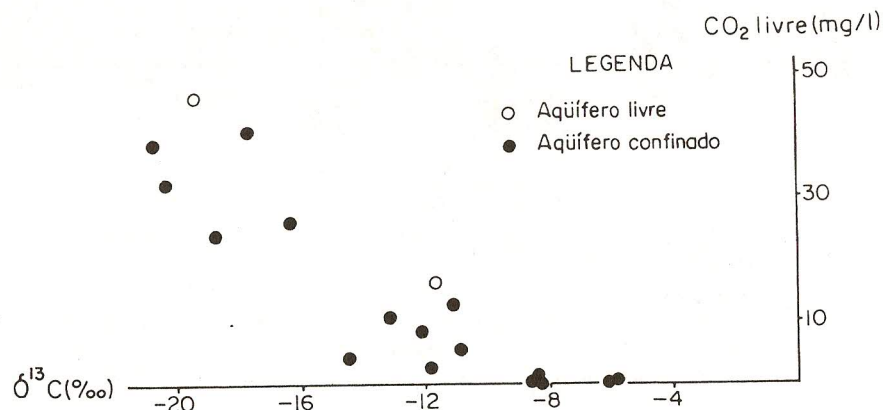


LEGENDA
 ○ Aquífero livre
 ● Aquífero confinado
 ▨ Área de concentração de pontos

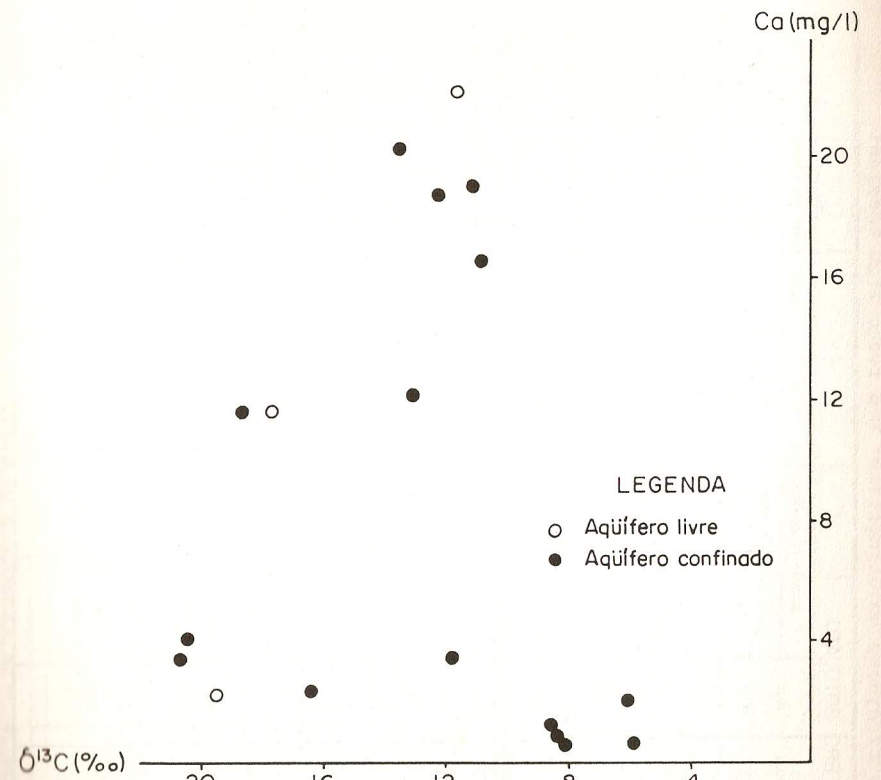
"Figura 5. Distribuição dos dados hidroquímicos no diagrama de Piper, teores em % de meq/l".



"Figura 6. Variação da composição dos isotópos estáveis oxigênio-18 e deutério nas águas subterrâneas do aqüífero Botucatu".



"Figura 7. Correlação entre os teores do isótopo carbono-13 e o CO_2 livre das águas subterrâneas do aqüífero Botucatu".



"Figura 8. Correlação entre os teores do isótopo carbono-13 e o Ca das águas subterrâneas do aqüífero Botucatu".

TABELA 1.

CADASTRO DE POÇOS TUBULARES PERFURADOS NO AQUIFERO BOTUCATU

nº de ordem	código de origem	coordenadas		município	altitude (m)	prof (m)	posição do aquífero		características hidráulicas			
		N-S	E-O				cota topo (m)	espessura (m) l = total p = parcial	cota nível potenciométrico (m)	Q/s m³/h/m	T m²/s	condição do aquífero
1 - SP	119/11	7636,00	788,00	Guariba	590	600	280	290 p	493,0	15,89	$1,3 \times 10^{-2}$	confinado
2 - SP	98/11	7650,90	761,25	Monte Alto	585	581	121	117 p	521,0	2,74	$2,4 \times 10^{-3}$	confinado
3 - SP	135/28	7603,00	627,40	Lins	480	1042	-161	382 t	441,0	19,90	$1,5 \times 10^{-2}$	confinado
4 - SP	212/156	7529,05	702,05	Bauru	525	291	440	201 t	480,4	12,00	*	confinado
5 - SP	31/36	7757,85	546,50	Jales	433	1323	-572	318 p	423,0	9,63	$3,9 \times 10^{-3}$	confinado
6 - SP	90/sn9	(7653,00)	560,00	Araçatuba	(355)	969	(-589)	(25 p)	(+355,0)	J	*	confinado
7 - SP	90/sn9	(7658,00)	557,00	Araçatuba	(410)	1200	(-557)	233 p	(+410,0)	J	*	confinado
8 - SP	74/216	7700,36	662,10	S.J.R.Preto	490	1136	-344	288 p	449,0	14,90	$8,5 \times 10^{-5}$	confinado
9 - SP	166/48	7586,25	797,30	Araraquara	650	256	650	252 p	618,0	5,20	*	livre
1 - MS	ANA-006/80-S	7712,50	677,70	Dois Irmãos	310	112	310	110 p	285,3	1,60	*	livre
2 - MS	CAM-004/84-S	7837,40	810,40	Camapuã	511	121	511	121 p	+511,0	0,23	*	livre
3 - MS	COR-FSESP	7806,00	727,40	Corguinho	280	150	*	*	262,0	5,30	*	livre
4 - MS	CGR-044/81-S	(7739,00)	748,00	Campo Grande	(560)	144	*	*	(548,0)	7,50	*	confinado
5 - MS	SID-006/81-S	7685,20	712,40	Sidrolândia	400	95	323	18 p	397,4	2,10	*	confinado
6 - MS	MAR-004	7607,50	690,90	Maracaju	380	*	*	*	*	*	*	confinado
7 - MS	AMA-017/82-S	7444,00	681,80	Amambai	460	150	420	128 p	447,8	2,71	*	confinado
8 - MS	DO-019/82/S	7542,00	724,00	Dourados	445	798	-35	318 p	365,0	1,12	*	confinado
9 - MS	CAS-LAT 82	*	*	Cassilândia	*	200	*	15 p	*	J	*	confinado
10 - MS	CAS-001	*	*	Cassilândia	*	215	*	5 p	*	J	*	confinado
1 - GO	01	*	*	Itajá	*	150	*	40 p	*	J	*	confinado

* dados foram solicitados
() dados aproximados

TABELA 2.

ANÁLISES FÍSICO - QUÍMICAS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS a - DETERMINAÇÕES DE CAMPO

nº de ordem	código de origem	município	data de coleta	T (°C)	pH	eH (mv)	C.E. (µS)	CO ₂ livre (mg/l)	alcalinidades	
									HCO ₃ ⁻ (mg/l CaCO ₃)	CO ₃ ²⁻ (mg/l CaCO ₃)
1 - SP	119/11	Guariba	10/12/84	31,0	7,95	-	-	4,4	152 *	
2 - SP	98/11	Monte Alto	11/12/84	36,0	7,97	-	-	12,1	128 *	
3 - SP	135/28	Lins	12/12/84	39,0	9,61	-	-	0,0	317 *	
4 - SP	212/156	Bauru	12/12/84	25,5	9,03	-	-	2,2	122 *	
5 - SP	31/36	Jales	15/05/85	48,0	8,94	-	470,0	0,0	105	20
6 - SP	90/sn9	Araçatuba	18/05/85	47,0	9,23	-	470,0	0,0	135	35
7 - SP	90/sn9	Araçatuba	18/05/85	46,0	9,30	-	490,0	0,0	135	32,5
8 - SP	74/216	S.José Rio Preto	19/05/85	43,7	9,24	-	440,0	0,0	135	55
9 - SP	166/48	Araraquara	29/05/85	24,5	6,10	+ 560	31,0	46,2	15 *	
1 - MS	ANA-006/80-S	Dois Irmãos	20/03/85	26,0	5,52	-	21,0	9,9	5	0
2 - MS	CAM-004/84-S	Camapuã	21/03/85	27,0	7,91	-	200,0	16,5	90	0
3 - MS	COR-FSESP	Corguinho	22/03/85	28,0	6,14	-	90,0	40,7	40	0
4 - MS	CGR-044/81-S	Campo Grande	22/03/85	24,2	6,60	-	100,0	24,2	35	0
5 - MS	SID-006/81-S	Sidrolândia	23/03/85	25,5	7,49	-	110,0	11,0	45	0
6 - MS	MAR-004	Maracaju	23/03/85	26,5	7,70	-	175,0	7,7	65	0
7 - MS	AMA-017/82-S	Amambai	24/03/85	25,0	6,10	-	20,0	26,8	10	0
8 - MS	DO-019/82-S	Dourados	24/03/85	38,0	8,00	-	200,0	8,8	80	0
9 - MS	CAS-LAT 82	Cassilândia	16/05/85	27,0	6,14	-	99,0	31,9	20	0
10 - MS	CAS-001	Cassilândia	16/05/85	27,5	5,83	-	43,0	39,6	10	0
1 - GO	01	Itajá	16/05/85	28,0	8,02	-	157,0	5,5	75	0

* Nestas amostras foi efetuada apenas a titulação colorimétrica, não tendo sido possível determinar os teores de CO₃²⁻ quando o pH > 8,3

TABELA 3.

ANÁLISES FÍSICO - QUÍMICAS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS b - DETERMINAÇÕES DE LABORATÓRIO

nº de ordem	código de origem	pH	C.E. (µS)	resíduo a 105°C	dureza total (mg/l CaCO ₃)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Ca ⁺⁺ (mg/l)	Mg ⁺⁺ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l CaCO ₃)	CO ₃ ⁻ (mg/l CaCO ₃)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻ (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)
1 - SP	119/11	8,36	172,0	113,0	59,1	14,0	2,6	20,2	2,1	90,0	2,0	1,0	nd	18,5
2 - SP	98/11	8,22	171,0	104,0	51,4	18,6	2,4	19,0	1,0	92,0	0,0	1,0	nd	14,9
3 - SP	135/28	9,67	573,0	362,0	2,1	130,0	0,6	0,7	0,1	106,0	122,0	12,5	53,0	34,0
4 - SP	212/156	8,92	132,0	91,0	10,5	28,0	0,9	3,5	0,4	58,0	13,0	0,5	nd	14,9
5 - SP	31/36	8,90	372,0	250,0	6,5	92,0	1,0	2,1	0,3	96,0	42,0	20,5	27,0	30,0
6 - SP	90/sn9	9,10	422,0	276,0	3,5	100,0	0,6	0,9	0,3	119,0	57,0	13,5	17,0	27,0
7 - SP	90/Sn9	9,00	450,0	286,0	4,1	105,0	0,7	1,3	0,2	122,0	48,0	21,0	26,0	26,0
8 - SP	74/216	9,20	396,0	246,0	3,6	92,5	0,5	0,8	0,4	109,0	65,0	11,0	9,0	26,0
9 - SP	166/48	5,80	43,0	42,0	12,7	0,4	3,1	3,1	1,2	14,0	0,0	nd	nd	19,7
1 - MS	ANA-006/80-S	6,53	21,0	38,0	4,5	0,8	2,7	0,8	0,7	8,0	0,0	nd	nd	24,0
2 - MS	CAM-004/84-S	8,20	187,0	105,0	84,8	1,2	4,2	22,1	7,2	80,0	0,0	0,5	nd	13,8
3 - MS	COR-FSESP	7,14	94,0	65,0	32,0	0,4	12,5	9,7	1,9	35,0	0,0	nd	nd	23,0
4 - MS	CGR-044/81-S	7,38	89,0	96,0	38,0	2,5	0,5	11,6	2,2	42,0	0,0	0,5	nd	38,0
5 - MS	SID-006/81-S	7,58	95,6	101,0	41,7	3,8	0,6	12,1	2,8	48,0	0,0	0,5	nd	42,0
6 - MS	MAR-004	8,06	160,0	105,0	66,9	3,3	1,5	21,2	3,4	75,0	0,0	0,5	nd	30,0
7 - MS	AMA-017/82-S	7,14	23,0	32,0	10,4	0,5	0,4	2,4	1,1	8,0	0,0	0,5	nd	14,4
8 - MS	DO-019/82-S	8,36	196,0	119,0	53,6	13,0	1,4	18,8	1,6	83,0	1,0	0,5	nd	22,0
9 - MS	CAS-LAT/82	6,00	39,0	49,0	14,4	0,4	5,2	4,1	1,0	15,0	0,0	nd	nd	21,0
10 - MS	CAS-001	6,00	37,0	43,0	10,8	0,6	6,4	3,5	0,5	13,0	0,0	nd	nd	20,0
1 - GO	01	8,00	145,0	98,0	44,9	17,5	2,3	16,5	0,9	75,0	0,0	0,5	nd	26,0

nd - não detectado

TABELA 4.

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS c - DETERMINAÇÕES DE LABORATÓRIO

nº de ordem	código de ordem	Ferro total solúvel (mg/l)	Manganês total solúvel (mg/l)	Zinco (mg/l)	Chumbo (mg/l)	Cobre (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	F ⁻ (mg/l)	Boro (mg/l)	Ortofosfato (mg/l)	Fosfato total solúvel (mg/l)
1SP	119/11	0,01	-	-	-	-	0,02	0,15	0,032	-	-
2SP	98/11	0,01	-	-	-	-	0,02	0,15	nd	-	-
3SP	135/28	0,01	-	-	-	-	nd	2,04	0,240	-	-
4SP	212/156	0,01	-	-	-	-	0,02	0,14	0,070	-	-
5SP	31/36	0,01	0,30	0,006	nd	nd	0,04	1,45	0,163	-	-
6SP	90/n9	nd	nd	0,010	nd	0,010	nd	1,37	0,137	0,015	0,020
7SP	90/n9	nd	0,02	0,060	nd	0,006	nd	1,34	0,225	0,020	0,020
8SP	74/216	nd	nd	0,030	nd	0,004	nd	1,18	0,220	0,010	0,015
9SP	166/48	nd	nd	nd	nd	nd	0,04	0,15	nd	0,050	0,050
1MS	ANA-006/80-S	0,03	nd	0,020	nd	0,010	0,04	nd	nd	0,020	0,025
2MS	CAM-004/84-S	nd	nd	nd	nd	nd	0,10	0,17	nd	0,010	0,015
3MS	COR-FSESP	nd	nd	nd	nd	nd	0,02	nd	nd	0,035	0,060
4MS	CGR-044/81-S	nd	nd	nd	nd	nd	0,58	nd	nd	0,055	0,065
5MS	SID-006/81-S	nd	nd	nd	nd	nd	0,68	nd	nd	0,060	0,065
6MS	MAR-004	nd	nd	nd	nd	nd	0,10	nd	nd	0,020	0,025
7MS	AMA-017/82-S	0,02	nd	nd	nd	nd	0,28	nd	0,070	0,010	0,015
8MS	DO-019/82-S	nd	nd	nd	nd	nd	0,04	0,12	0,047	0,010	0,015
9MS	CAS-Lat/82	nd	nd	nd	nd	0,006	0,02	0,38	nd	0,055	0,060
10MS	CAS-001	nd	nd	nd	nd	0,020	0,02	0,33	nd	0,050	0,050
1GO	01	nd	nd	nd	nd	nd	0,02	0,68	nd	0,025	0,025

nd - não detectado

TABELA 5.

OXIGÊNIO-18, DEUTÉRIO, CARBONO-13, CARBONO-14 E TRÍTIO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

n° de ordem	código de origem	município	data de coleta	$\delta^{18}O$ (‰) x SMOW	δ^2H (‰) x SMOW	$\delta^{13}C$ (‰) x PDB	% ^{14}C moderno x NBS	3H (UT)	idade aparente (anos)
1 - SP	119/11	Guariba	10/12/84	-9,6	-67,0	-13,5	-	-	-
2 - SP	98/11	Monte Alto	11/12/84	-9,8	-65,0	-11,1	0,4±0,6	-	38.000*
3 - SP	135/28	Lins	12/12/84	-8,1	-56,0	-5,9	0,4±0,8	-	38.000
4 - SP	212/156	Bauru	12/12/84	-8,7	-60,0	-11,8	-	-	-
5 - SP	31/36	Jales	15/05/85	-8,3	-59,0	-6,0	1,5±0,8	-	36.651 - 3.347 + 5.844
6 - SP	90/sn9	Araçatuba	18/05/85	-8,9	-63,0	-8,3	-	-	-
7 - SP	90/sn9	Araçatuba	18/05/85	-8,6	-59,0	-8,5	7,1±0,8	-	21.216 - 821 + 914
8 - SP	74/216	S. José Rio Preto	19/05/85	-8,9	-61,0	-8,3	1,7±0,7	-	32.543 ± 2821
9 - SP	166/48	Araraquara	29/05/85	-7,4	-49,0	-19,5	-	-	-
1 - MS	ANA-006/ 80-S	Dois Irmãos	20/03/85	-6,3	-39,0	-	-	-	-
2 - MS	CAM-004/ 84-S	Camapuã	21/03/85	-8,6	-58,0	-11,6	-	<2,1	> 50
3 - MS	COR-FSESP	Corguinho	22/03/85	-6,3	-37,0	-17,7	67,8±0,5	<2,1	3124 ± 54
4 - MS	GGR-044/ 81-S	Campo Grande	22/03/85	-6,3	-37,0	-18,6	93,3±0,6	-	560 ± 52*
5 - MS	SID-006/ 81-S	Sidrolândia	23/03/85	-6,2	-40,0	-13,1	87,1±0,8	4,1±0,6	1109 ± 70*
6 - MS	MAR-004	Maracaju	23/03/85	-5,7	-32,0	-	-	-	-
7 - MS	AMA-017/ 82-S	Amambai	24/03/85	-6,2	-36,0	-16,4	94,2±0,7	≤1,5	480 ± 62*
8 - MS	DO-019/ 82/S	Dourados	24/03/85	-6,8	-42,0	-12,1	-	-	-
9 - MS	CAS-LAT/ 82	Cassilândia	16/05/85	-6,6	-45,0	-20,4	-	-	-
10 - MS	CAS-001	Cassilândia	16/05/85	-6,9	-47,0	-20,6	75,1±0,7	-	2304 ± 73
1 - GO	01	Itajá	16/05/85	-8,2	-56,0	-10,9	**	-	**

* Erro alto

** aguardando resultados

ABSTRACT

The present paper shows the first results of a study that is being done (1984-1987), financed by IAEA - International Atomic Energy Agency - Vienna (Research Contract nº 3648) and FINEP/PADCT - Financiadora de Estudos e Projetos/Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Convênio nº 5384057700), in order to investigate the flow path, the processes controlling the chemical composition, the recharge, as well as, the origin, apparent ages and dynamic of the Botucatu Aquifer in the Brazilian part of the Paraná Basin (818.000 km²) using hydrochemical and environmental isotope technics (²H, ¹⁸O, ¹³C, ³H, ¹⁴C).

The hydrochemical and isotope data obtained after the sampling of about 30 deep wells in the states of São Paulo, Mato Grosso do Sul, Goiás and Paraná permit a preliminary interpretation, that is quite similar to SILVA's (1983) and SILVA, KIMMELMANN & REBOUÇAS' (1985) observations: the recharge is mainly due to the infiltration of precipitations in the outcrop area of the aquifer; the trend of a gradual increase of temperature, pH, salinity, as well as, of average apparent ages is from the outcrop area towards the central part of the basin, following the progressive confinement conditions of the aquifer. The calcium and/or mixed bicarbonated waters on the borders of the basin change to sodium bicarbonated towards its central part.