UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC
30900005659

Instituto de Geociências
BIBLIOTECA
T 765
e 2
U.S.P.

ESTUDO HIDROQUÍMICO E ISOTÓPICO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO AQÜÍFERO BOTUCATU NO ESTADO DE SÃO PAULO

Rosa Beatriz Gouvêa da Silva

Orientador: Prof. Dr. Aldo da Cunha Rebouças

TESE DE DOUTORAMENTO

COMISSÃO EXAMINADORA

	nome	ass.
Presidente:	Dr. Aldo C. Rebouças	
Examinadores:	Dr. Uriel Duarte	
	Dr. Osmar Sinelli	
	Dr. Robert Cleary	R. Cleary
	Dr. Adolpho J. Melfi	

São Paulo
1983

Instituto de
BIBLIOTECA
UFMG

".....
Pensei que seguindo o rio
eu jamais me perderia:
ele é o caminho mais certo,
de todos o melhor guia.
Mas como segui-lo agora
que interrompeu a descida?
....."

(João Cabral de Melo Neto-
Morte e Vida Severina)

A

Gerôncio Albuquerque Rocha

e

Julio Cesar Arantes Perroni

dedico
com gratidão e carinho

Instituto de Geociências
BIBLIOTECA
U.S.P.

AGRADECIMENTOS

A execução desta tese demandou, pela sua abrangência, o apoio infra-estrutural de várias empresas estatais e instituições de pesquisa e a colaboração de profissionais e colegas.

Dentre todos, agradeço com especial reconhecimento:

- Ao Professor Dr.Aldo da Cunha Rebouças, meu orientador no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IG-USP) que acompanhou de perto meu trabalho, orientando, esclarecendo dúvidas e dando todo o apoio para que ele chegasse a bom termo.

- Ao Departamento de Águas e Energia Elétrica(DAEE), órgão em que trabalho, pela autorização, interesse e apoio, criando as condições materiais imprecindíveis à consecução do estudo. Saliento especialmente os colegas Ivanir Borella Mariano, Assistente Técnico de Diretoria e Luiz Guidorzi, Diretor do Serviço de Águas Subterrâneas.

- Ao Instituto de Geociências (IG-USP) pelo apoio prestado.

- Às seguintes instituições de pesquisa e tecnologia, pela colaboração na coleta de amostras e execução de análises físico- químicas e isotópicas:

  . Centro de Energia Nuclear na Agricultura(CENA), através do Dr. Eiichi Matsui e equipe.

  . Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto (FFCLRP-USP), através do Prof. Dr. Osmar Sinelli e de Carlos Alberto Brunello.

  . Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da Escola de Engenharia de São Carlos(CRHEA-EESC-USP), através do Professor Arthur Mattos e de Vera Lucia Pereira e Célia Aparecida Pereira.

  . Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental(CETESB), através de Caraí Ribeiro de Assis Bastos e José Antonio D'Ambrósio.

. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares(IPEN - CNEN-SP), através de Umesh Chandra e Maria Cecília Pereira.

- Às seguintes empresas estatais, pela fornecimento de dados de poços profundos:

. Consórcio CESP-IPT(Paulipetro), através de Nivaldo Bósio.

. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), através de Carlos Eduardo Q.Giampá.

. Superintendência de Recursos Hídricos e Meio Ambiente-(SURHEMA), através de Andrew Pinheiro Neto.

. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais(CPRM), através de Mário Nascimento Souza Filho.

- Aos colegas do DAEE. Seldo Fraiha Junior, João Batista Caixeta, Dorival Gomes, José Carlos Palos e Jorge Titoshi pelo acompanhamento na coleta de amostras, tratamento e processamento dos dados.

- Aos amigos e colegas Gerôncio Albuquerque Rocha, Júlio Cesar A. Perroni, Antonio Carlos Bertachini, Maria Marlúcia F. Santiago, Mário Sérgio de Mello, Maria Margaret Lopes e Basílio Miranda, pelas discussões e elucidação de questões.

- Aos professores Dr. Eiichi Matsui e Dr. Osmar Sinelli pela leitura das notas originais.

- A Amiris Nerilo Marcon(desenhos e mapas), Claudete Salinas Franzosi e Marta Guerra(datilografia), Armando Fava Filho, Maria de Fátima Vieira de Azevedo, Felipe Albano Torres, Adelaide Nirce Reis e Marcos Mila Paschoal(diagramação e organização de tabelas), Ana Helena Salvi e Nelson Diniz (fotolitos e reduções) e Jaime Alves e equipe(impressão).

SUMÁRIO

Página

LISTA DE ANEXOS iii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES iv

RESUMO 1
ABSTRACT 2

CAPÍTULOS

I. INTRODUÇÃO 3

1. Localização e Importância da Área de Estudo. . 4
2. Nível de Conhecimento do Aqüífero Botucatu . . 6
3. Objetivos do Estudo 8
4. Revisão da Literatura 13

II. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO 17

1. Aspectos Sócio-Econômicos 18
2. Fisiografia 20
3. Clima, Solos e Vegetação 21
4. Aspectos Geológicos 23
5. Quadro Hidrogeológico 28

III. METODOLOGIA 33

1. Levantamento dos Dados Hidrogeológicos Básicos 34
2. Caracterização Física do Aqüífero Botucatu . . 35
3. Caracterização Hidroquímica e Isotópica do Aqüífero Botucatu 36
   Programa de amostragem
   Coleta e Análise das Águas
4. Processamento dos Resultados de Análise . . . 40
   Dados físicos e químicos
   Dados isotópicos

Página

IV. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 48

1. Geometria e Comportamento Hidráulico do Aqüífero Botucatu 49
2. Composição e Evolução Química das Águas Subterrâneas 53
   - Características físicas e químicas das águas de chuva e subterrâneas
   - Comportamento dos íons maiores
   - Estudo das relações iônicas
   - Evolução hidroquímica regional
3. Os Isótopos Ambientais nas Águas de Chuva e Subterrâneas 87
   - Oxigênio-18 e deutério nas águas de chuva
   - Oxigênio-18 e deutério nas águas subterrâneas
   - Idade aparente e velocidade de circulação das águas subterrâneas
   - Interpretação conjunta dos dados de isótopos ambientais

V. CONCLUSÕES 97

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 101

ANEXOS 111

LISTA DE ANEXOS

página

ANEXO 1 - Cadastro de poços tubulares perfurados no aqüífero Botucatu 112

ANEXO 2 - Resultados de análises físico-químicas de amostras de águas de chuva e subterrâneas . . 122

ANEXO 3 - Resultados das determinações isotópicas em amostras de águas de chuva e subterrâneas 128

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Páginas

Figuras

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo na bacia do Paraná 5

Figura 2 - Coluna estratigráfica da bacia do Paraná no estado de São Paulo 25

Figura 3 - Superfície de tendência de grau 3 de distribuição da transmissividade média (10^{-3} m^2/s) do aqüífero Botucatu 52

Figura 4 - Variação da salinidade das águas de chuva em Ribeirão Preto, no ano hidrológico 1981-1982 55

Figura 5 - Variação da temperatura da água subterrânea com a profundidade do topo do aqüífero Botucatu 57

Figura 6 - Classificação das águas do aqüífero Botucatu segundo o diagrama de Piper. Teores em porcentagem de meq/l 58

Figura 7 - Correlação entre parâmetros físico-químicos das águas do aqüífero Botucatu: a- Sólidos Totais Dissolvidos x Temperatura; b- Logarítmo da Temperatura x pH; c- Logarítmo dos Sólidos Totais Dissolvidos x pH . 61

Figura 8 - Correlação entre parâmetros físico-químicos das águas do aqüífero Botucatu: a- Sódio + Potássio x Temperatura; b- Logarít-

Páginas

mo de Sódio + Potássio x pH; c- Sódio + Potássio x Sólidos Totais Dissolvidos. . . 62

Figura 9 - Correlação entre parâmetros físico-químicos das águas do aqüífero Botucatu: a- Cálcio x Temperatura; b- Cálcio x pH; c- Cálcio x Sólidos Totais Dissolvidos . . . 63

Figura 10 - Variação do Cálcio com os Sólidos Totais Dissolvidos nas águas do aqüífero Botucatu, em condições de sistema aberto 64

Figura 11 - Correlação entre parâmetros físico-químicos das águas do aqüífero Botucatu: a- Magnésio x Temperatura; b- Magnésio x pH; c- Magnésio x Sólidos Totais Dissolvidos 66

Figura 12 - Correlação entre parâmetros físico-químicos das águas do aqüífero Botucatu: a- Bicarbonato + Carbonato x Temperatura ; b- Bicarbonato + Carbonato x pH; c- Bicarbonato + Carbonato x Sólidos Totais Dissolvidos 67

Figura 13 - Correlação entre parâmetros físico-químicos das águas do aqüífero Botucatu: a- Logarítmo do Cloreto x Temperatura; b- Logarítmo do Cloreto x pH; c- Logarítmo do Cloreto x Sólidos Totais Dissolvidos . 68

Figura 14 - Correlação entre parâmetros físico-químicos das águas do aqüífero Botucatu: a- Sulfato x Temperatura; b- Sulfato x pH;

Páginas

c- Sulfato x Sólidos Totais Dissolvidos . . 69

Figura 15 - Superfície de tendência de grau 2 de distribuição da relação $rCl/rHCO_3$ nas águas do aqüífero Botucatu 71

Figura 16 - Superfície de tendência de grau 2 de distribuição da relação rMg/rCa nas águas do aqüífero Botucatu 73

Figura 17 - Superfície de tendência de grau 3 de distribuição da relação rNa/rCa nas águas do aqüífero Botucatu 74

Figura 18 - Superfície de tendência de grau 3 de distribuição do índice de troca de bases (itb) nas águas do aqüífero Botucatu 75

Figura 19 - Diagrama de equilíbrio Anortita-Montmorilonita-Caulinita - Gibsita (a 25ºC e 1 atm) 80

Figura 20 - Diagrama de equilíbrio Albita-Montmorilonita-Caulinita-Gibsita(a 25ºC e 1 atm). . . 81

Figura 21 - Relação entre o pH medido e o pH de equilíbrio das águas do aqüífero Botucatu 83

Figura 22 - Variação do fluoreto com o sódio nas águas do aqüífero Botucatu 86

Figura 23 - Relação entre os teores de oxigênio- 18 e deutério das águas de chuva (a) e das águas do aqüífero Botucatu (b) 88

Páginas

Tabelas

Tabela 1 - Variação sazonal dos indicadores principais da salinidade das águas de chuva em Ribeirão Preto 54

Tabela 2 - Variação sazonal da carga total de sais das precipitações por km^2 em Ribeirão Preto . . . 56

Tabela 3 - Variação das relações rK/rNa, $rCl/rHCO_3$ e rSO_4/rCl com o aumento dos Sólidos Totais Dissolvidos nas águas subterrâneas 72

Tabela 4 - Parâmetros e índices físicos e químicos das águas subterrâneas calculados: a- CO_2 livre; b- pressão de CO_2; c- força iônica; d- pH de equilíbrio; e- índice de saturação da calcita 78

Tabela 5 - Teores anômalos de fluoreto e força iônica das águas do aqüífero Botucatu 86

Tabela 6 - Idade aparente das águas subterrâneas e teores de $\delta^{13}C$ e $\delta^{18}O$ correlatos 93

Pranchas

Prancha 1 - Mapa de distribuição de poços e respectivos dados utilizados no estudo.

Prancha 2 - Mapa de isópacas das Formações Botucatu-Pirambóia.

Prancha 3 - Mapa de contorno estrutural da Formação Botucatu.

Prancha 4 - Mapa da superfície potenciométrica do nível d'água do aqüífero Botucatu.

Prancha 5 - Mapa de distribuição da composição química das águas subterrâneas do aqüífero Botucatu.

Prancha 6 - Perfis hidroquímicos do aqüífero Botucatu a partir da área de recarga.

Prancha 7 - Mapa de zoneamento dos teores de resíduo seco das águas subterrâneas.

Prancha 8 - Mapa de isotermas das águas subterrâneas.

Prancha 9 - Mapa de distribuição da idade média aparente das águas subterrâneas.

RESUMO

Neste trabalho são utilizadas técnicas hidroquímicas e isotópicas (^{18}O, ^{2}H, ^{13}C e ^{14}C) para investigar os mecanismos da evolução da composição química, origem, idades aparentes e velocidades de circulação das águas subterrâneas do aqüifero Botucatu do estado de São Paulo. Os resultados obtidos mostram que estas águas são originárias, principalmente, da infiltração das precipitações na zona de afloramento do aqüifero, sendo sua evolução hidroquímica determinada pelas condições de confinamento do aqüifero, pelas direções e sentidos do fluxo subterrâneo e pelo tempo de residência das águas. Esses fatores implicam em um aumento da temperatura e da salinidade das águas no sentido sudoeste, desde a zona aflorante até a região fortemente confinada do aqüifero. Neste sentido, as águas recentes bicarbonatadas magnesianas e calco-magnesianas evoluem para bicarbonatadas cálcicas, bicarbonatadas sódicas e cloro-sulfatadas sódicas, quando chegam a atingir idades da ordem de 30.000 anos. A permeabilidade média aparente calculada a partir dos dados de ^{14}C e de gradiente hidráulico é cerca de $2,6 \times 10^{-5}$ m/s. A variação dos teores dos isótopos estáveis ^{18}O, ^{2}H e ^{13}C nas águas subterrâneas permitem supor possíveis oscilações climáticas nas diferentes épocas de recarga dessas águas. Há 30.000 anos reinava um clima quente e úmido que, por influência do último período glacial ocorrido no hemisfério norte, passa, entre 25.000 e 11.000 anos, a frio e seco, e, então, gradualmente, adquire as características atuais.

ABSTRACT

The processes controlling chemical composition of groundwater, its origin and apparent age as well as, the natural flow rate of the water in Botucatu aquifer in State of São Paulo-Brazil, have been investigated using hydrochemical and environmental isotopic (^{18}O, ^{2}H, ^{13}C e ^{14}C) technics. The main recharge process is assumed to be the infiltration of rain water in the aquifer outcrop area. The progressive confining condition with the increasing depth of the top of aquifer layer makes the groundwater temperature slowly greater. Moreover, the residence time increases the water salt content towards the natural flow direction (southwest). By this way, the recent magnesium and sodium bicarbonated waters changes first to sodium bicarbonated and then to sodium chloride-sulfated waters which are the oldest found out in the research area (around 30.000 years ago). The mean Darcy permeability estimated on basis of ^{14}C and hydraulic gradient data is $2,6 \times 10^{-5}$ m/s. Different amounts of stable isotopes ^{18}O, ^{2}H and ^{13}C of the groundwater had allowed to suppose that the warm and humid climate of 30,000 years ago has changed, between 25,000 and 11,000 years ago, to cold and dry, by influence of the last glacial period of the northern hemisphere and then, gradually, has acquired the characteristcs of nowadays climate of the region.

CAPÍTULO I
INTRODUÇÃO

O sistema aqüífero Botucatu ou simplesmente aqüífero Botucatu, como será denominado neste trabalho, estende- se por quase toda a bacia sedimentar do Paraná, abrangendo uma área de cerca de 818.000 quilômetros quadrados em território brasileiro. No estado de São Paulo é constituído pelas Formações Pirambóia e Botucatu e está intercalado entre as camadas permianas do Grupo Passa Dois e os derrames basálticos cretáceos da Formação Serra Geral. Trata-se de um aqüífero livre apenas nas bordas da bacia e confinado pelos basaltos em 90% de sua extensão. Graças as suas excelentes características hidrogeológicas, constitui-se no principal aqüífero da maior província hidrogeológica brasileira, a bacia do Paraná.

1. Localização e Importância da Área de Estudo

O presente trabalho se restringe à porção do aqüífero Botucatu situada na região nordeste da bacia do Paraná, entre os paralelos 20º e 23º30' de latitude sul e os meridianos 47º e 52º30' de longitude oeste, dentro dos limites do estado de São Paulo (Figura 1). A área do estudo abrange o centro-oeste do estado, sendo limitada a norte pelo rio Grande, a oeste pelo rio Paraná, a sul pelo rio Paranapanema e a leste pela linha de contato geológico entre os Grupos São Bento e Passa Dois. Sua extensão total é de aproximadamente 150.000 quilômetros quadrados, representando cerca de 60% do território estadual.

Nesta região predomina a atividade agrícola, mas vem aumentando, expressivamente, a urbanização e o desenvolvimento industrial, devido à necessidade de alargar as fronteiras de crescimento até então concentrado no leste do estado e principalmente na região metropolitana da Grande São Paulo.

Trata-se, portanto, de uma região onde cresce dia a dia a demanda de água para consumo humano, industrial e agrícola.Neste quadro, a água subterrânea vem adquirindo papel de destaque em municípios onde a captação de águas superficiais é onerosa,seja pela degradação de sua qualidade,seja por sua dis-

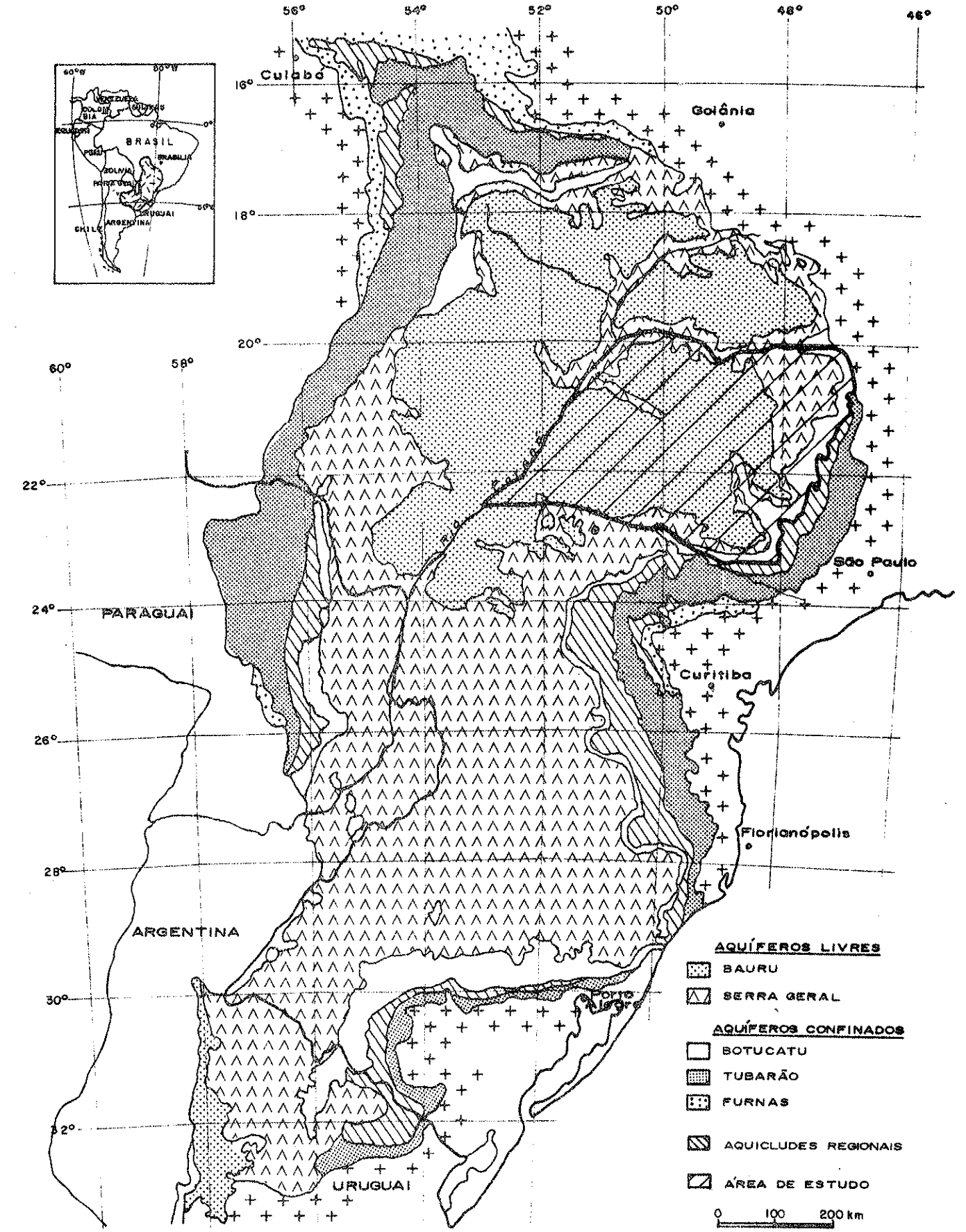


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo na bacia do Paraná.

tância dos centros consumidores.

Dentre os aqüíferos existentes nesta porção do estado, o aqüífero Botucatu se destaca graças às altas vazões(muitas vezes superiores a 500 m^3/h) que pode fornecer em poços, a sua vasta área de ocorrência e à excelente qualidade físico-química da água para abastecimento público. É ainda pouco explorado na zona de forte confinamento devido a dificuldades tecnológicas de captação de água por poços com mais de 1.000 metros de profundidade. No entanto, em função dos avanços técnicos do setor, que já vêm sendo observados recentemente e dos baixos custos do metro cúbico de água, se comparados com aqueles dos mananciais superficiais, deverá dentro de alguns anos tornar-se a maior fonte de fornecimento de água da região.

2. Nível de Conhecimento do Aqüífero Botucatu

O aqüífero Botucatu no estado tem sido objeto de vários estudos de diferentes enfoques e graus de abrangência. Há os que se referem à ocorrência do aqüífero em toda a bacia do Paraná, sem especial destaque a sua porção paulista. Outros tratam o aqüífero no quadro geral das águas subterrâneas do estado.

Dentre os estudos regionais no âmbito da bacia destacam-se os de Maack (1970), Rebouças (1976) e Gilboa et alii (1976).

Maack (1970) em seu estudo sobre as águas subterrâneas da bacia do Paraná inclui o arenito Botucatu entre as melhores rochas armazenadoras de água da bacia, citando vazões no estado de São Paulo de até 50 m^3/h.

Rebouças (1976),com base na integração dos dados existentes a nível de toda a bacia do Paraná, sistematiza as características hidráulicas de seus principais aqüíferos, ou se-

ja, o sistema Bauru-Caiuá, as zonas aqüíferas da Formação Serra Geral e o sistema Botucatu. O aqüífero Botucatu é mais uma vez considerado o de maior importância, por suas excelentes propriedades hidráulicas, tais como permeabilidades variando entre 10^{-5} e 10^{-4} m/s e coeficientes de armazenamento entre 10^{-6} e 10^{-3}. Outro aspecto relevante do aqüífero, salientado pelo autor, é a potencialidade de exploração de recursos geotermais, devido a suas águas atingirem temperaturas de até 120ºC. Trata-se de um trabalho que procura fazer uma avaliação de reservas e custos de exploração de água subterrânea. O autor ressalva ainda a limitação da exploração do aqüífero nas porções centrais da bacia, já que a grande profundidade acarreta altos custos de captação.

Gilboa et alii (1976) discutem as direções de fluxo e estimam o volume de recarga do aqüífero Botucatu em toda a Bacia do Paraná. Segundo estes autores, as águas de recarga do aqüífero são predominantemente oriundas das precipitações que ocorrem em suas áreas aflorantes, presentes em quase todo o contorno da bacia. A partir destas áreas as águas apresentam fluxo em direção ao eixo central da bacia, por onde passa o principal fluxo subterrâneo no sentido das regiões de descarga do aqüífero situadas, provavelmente, a sudeste (próximo ao litoral nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina) e a sudoeste (na Argentina).

Leinz e Sallentien (1962) foram os primeiros autores a apresentar um estudo globalizante sobre as águas subterrâneas do estado de São Paulo, a partir de dados provenientes de 850 poços. Como conclusão deste levantamento, os autores sugerem a divisão do estado em 7 províncias hidrogeológicas. Uma delas (Província nº 3) abrangeria os sedimentos desde a "série" Tubarão até o Arenito Botucatu. Segundo os autores, o Arenito Botucatu é considerado a melhor formação fornecedora de água da bacia do Paraná, visto que é constituída por arenitos com alta porosidade e boa permeabilidade. Cerca de 43,7% dos poços estudados apresentaram vazões superiores a 20 m^3/h, podendo atingir valores de até 300 m^3/h.

O Departamento de Águas e Energia Elétrica-DAEE , entre 1972 e 1982, efetuou estudos sobre as águas subterrâneas do estado de São Paulo em suas onze regiões administrativas. Partindo do inventário sistemático dos poços construídos no estado, estes estudos fornecem dados hidrogeológicos básicos sobre as formações aqüíferas presentes. O aqüífero Botucatu é caracterizado quanto ao potencial explorável, demanda volume de água extraída e propriedades hidráulicas. Teissedre et alii (1982), utilizando dados dos estudos do DAEE, caracterizaram o aqüífero Botucatu no estado quanto a sua geometria e condições de exploração.

Além destes, alguns estudos se referem a aspectos particulares do aqüífero ou circunscrevem seus trabalhos a áreas geograficamente restritas. Salientam-se Gallo (1977), Gallo e Sinelli (1980), Hamza e Eston (1981), Silva et alii (1982), Sinelli (1979), Szikszay et alii (1981), Taltasse (1968) e Teissedre e Barner (1981). De modo geral estes trabalhos dão ênfase à hidroquímica das águas do aqüífero Botucatu. Por sua maior pertinência para este estudo, serão tratados mais especificamente no item 4 deste capítulo.

3. Objetivos do Estudo

O presente trabalho se propõe a explicar a evolução hidroquímica e os mecanismos de circulação das águas do aqüífero Botucatu, com base em um estudo hidroquímico e isotópico associado às características hidráulicas do aqüífero.

A hidroquímica permite estabelecer a evolução da composição das águas subterrâneas ao longo de seu trajeto de percolação nas rochas. Permite ainda relacionar a esta evolução as direções, sentidos de fluxo e o tempo de permanência das águas nos aqüíferos.

No entanto, a ocorrência de fenômenos modificadores da composição química das águas no interior dos aqüíferos

-trocas de base, reduções de sulfatos e ferro, óxido- reduções, concentrações, dissoluções e precipitações-limita uma melhor caracterização da história evolutiva do percurso da água.Por esta razão, vem sendo largamente difundida a associação aos dados hidroquímicos de estudos de isótopos ambientais.

Para aqüíferos confinados, onde são baixas as velocidades de circulação, os isótopos mais utilizados são o oxigênio-18 e o deutério,constituintes da molécula da água,e o carbono-14 e carbono-13, encontrados em compostos dissolvidos na água.

Só três espécies de combinações entre os isótopos estáveis do oxigênio e do hidrogênio para a formação da molécula da água são suficientemente abundantes para utilização prática: $^{1}H_2\ ^{16}O$ (99,73%), $^{1}H_2\ ^{18}O$ (0,20%), $^{1}H\ ^{2}H\ ^{16}O$ (0,032%). Devido a suas diferenças de massa, estas três espécies isotópicas apresentam pressões de vapor ligeiramente diferentes, propiciando, no momento de uma mudança parcial de fase, o aparecimento de um fracionamento isotópico, de maior relevância por ocasião da condensação e evaporação. Este fracionamento é dado pela expressão:

$$\alpha = \frac{R_{líquido}}{R_{vapor}}$$

onde

$$R = \frac{[^{18}O]}{[^{16}O]} \quad \text{ou} \quad \frac{[^{2}H]}{[^{1}H]}$$

O fracionamento isotópico α traduz o enriquecimento ou empobrecimento em isótopos pesados de uma fase em relação à outra. Em geral, α diminui com o aumento da temperatura (Bottinga & Craig, 1969; Merlivat & Nief, 1967; o'Neil,1968). É importante ressaltar que para temperaturas comumente encontradas em estudos hidrológicos e hidrogeológicos,o vapor é sempre em

pobrecido em isótopos pesados em relação ao líquido de origem e, inversamente, o condensado é mais rico nestes isótopos em comparação ao vapor original (Fontes, 1976).

Graças a estas propriedades, os isótopos estáveis oxigênio-18 e deutério são particularmente úteis para estudos do ciclo hidrológico, já que funcionam como traçadores diretamente incorporados à molécula da água.

Cada precipitação (condensação) rouba isótopos pesados do reservatório de vapor de procedência. Assim, as precipitações sucessivas saídas da mesma massa de vapor d'água inicial serão gradativamente empobrecidas destes isótopos, já que o vapor residual vai se tornando também cada vez mais empobrecido.

Vários fatores são responsáveis pelas variações de composição isotópica nas águas de chuva, sendo a temperatura o principal deles. O conteúdo de oxigênio-18 e deutério cresce com o aumento da temperatura. Os teores isotópicos das precipitações dependem ainda da latitude, altitude, estação do ano, distância do litoral e da quantidade de chuva. Desse modo, em geral, a concentração destes isótopos nas precipitações é menor à medida que aumentam a latitude, a altitude, a quantidade de chuva e a distância do litoral- efeito continental (Dansgaard, 1964 e Yurtsever, 1975).

No fenômeno de evaporação, o líquido residual se enriquece em isótopos pesados em relação ao líquido inicial. No entanto, ao se desenvolver um processo de troca do líquido com o vapor atmosférico (com condensação de moléculas deste na superfície do líquido), o enriquecimento do líquido atinge um patamar, ou seja, o estado estacionário. Esta evolução da composição isotópica depende de muitos fatores como a fração evaporada, a temperatura, a umidade relativa, a atividade do líquido e o teor em isótopos pesados do vapor atmosférico (Craig et alii, 1963; Craig & Gordon, 1965; Gonfiantini, 1965 e Fontes & Gonfiantini, 1967).

No processo de precipitação (condensação) das águas naturais, os teores de deutério e oxigênio-18 apresentam uma relação que é traduzida pela reta meteórica de águas mundiais: $\delta^{2}H=8 \times \delta^{18}O + 10$, em partes por mil (Craig, 1961a). Para águas sujeitas à evaporação as retas de correlação mostram declividades variáveis, em geral entre 3 e 5, dependendo de cada situação climática (Fontes, 1976).

Nas águas subterrâneas a determinação destes isótopos permite investigar a origem ou a história destas águas. A composição isotópica da água reflete sua origem quando não há alteração do conteúdo isotópico no interior do aqüífero, podendo-se neste caso identificar a localização, período e processo de recarga das águas. Quando a concentração isotópica se modifica ao longo do fluxo subterrâneo, esta permitirá conhecer a história da água pela compreensão de processos de mistura, salinização e descarga (Fontes, 1980).

O carbono-14 origina-se nas altas camadas da atmosfera, por interação entre o nitrogênio e neutrons produzidos por rais cósmicos. Trata-se de um isótopo radioativo do carbono, emissor de radiações . Sua taxa de produção natural é da ordem de 2,5 átomos/m^2/s. O carbono-14 oxida-se na atmosfera, passa a $^{14}CO_2$, entrando no ciclo global do carbono.

O CO_2 dos solos, de origem biogênica, está em equilíbrio com a atmosfera e contém carbono-14 que é dissolvido pelas águas de infiltração e penetra no reservatório subterrâneo. O princípio da datação de águas subterrâneas através do carbono-14 baseia-se na diminuição, por decaimento radioativo, da quantidade deste elemento a partir de sua entrada no aqüífero, onde não mais se verifica o suprimento de carbono moderno.

Embora seja considerada constante a concentração de carbono-14 na atmosfera para efeito de datação radiométrica, alterações significativas vêm ocorrendo no último século. A queima de combustíveis fósseis a partir do grande surto de desenvol

vimento industrial moderno (1890), reduziram a concentração de carbono-14 na atmosfera (Efeito Suess). Por outro lado, os ensaios nucleares em escala mundial, realizados a partir de meados da década de 50, provocaram aumentos consideráveis na concentração de carbono-14 na atmosfera.

O carbono-14 é utilizado para datação de águas de até 30-40 mil anos. Este método de determinação da idade absoluta das águas subterrâneas não pode ser aplicado mecanicamente, já que processos geoquímicos podem ocorrer no aqüífero, alterando a atividade inicial do carbono-14. Para correção desta atividade inicial, vários métodos e modelos vêm sendo propostos na literatura, considerando a geoquímica do aqüífero, trocas isotópicas e iônicas, a presença de sistemas abertos ou fechados, destacando-se: Erikson (1962),Evans et alii (1978), Fontes e Garnier (1979), Geyh (1972), Johansson (1980), Mook (1976), Münnich (1957), Münnich e Vogel (1959), Tamers (1967), Vogel e Ehhalt (1963), Vogel (1970), Wigley (1975) e Wigley (1976).

Pearson (1965) e Pearson e Hanshaw (1970) propõem correções da atividade inicial do carbono-14 baseadas no conteúdo de carbono-13 das águas subterrâneas. Este modelo é embasado na diferença dos teores deste isótopo observada em calcários de origem marinha (inorgânicos) e aqueles de origem biogênica. Os primeiros apresentam valores no intervalo entre -2 e + 2 $^{o}/oo$ e os últimos oscilam entre -12 e -25 $^{o}/oo$ dependendo do tipo de vegetação e das condições climáticas reinantes. A partir destas constatações pode-se determinar a fração de carbonatos de origem biogênica na água e também reconstituir aproximadamente as condições climáticas na época de sua recarga.

Embora seja importante, em muitos casos, a determinação da idade absoluta das águas, para a identificação da direção e velocidade do fluxo subterrâneo é em geral suficiente o cálculo da idade relativa ou aparente das águas (Santiago et alii, 1980), diretamente da fórmula de decaimento radioativo,sem nenhuma correção.

O estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do aqüífero Botucatu aqui realizado tem como objetivos específicos investigar:

- os mecanismos de evolução química da água ao longo do seu caminho subterrâneo, relacionando-a às direções e sentidos de fluxo e ao tempo de residência;

- os fenômenos modificadores da composição química da água ocorridos nessa evolução;

- a origem da água e os tipos de clima existentes na sua época de recarga;

- as idades aparentes e velocidades de percolação das águas subterrâneas, com previsão do seu período de renovação.

4. Revisão da Literatura

Vários autores pesquisaram as características químicas e físicas das águas do aqüífero Botucatu. Já em 1968, Taltasse classifica as águas deste aqüífero, em sua área aflorante, como bicarbonatadas-cálcicas. Nos estudos do DAEE, as observações de Taltasse são confirmadas, sendo no entanto constatado que à medida que o aqüífero se torna confinado aumenta a concentração de sais dissolvidos e as águas passam a bicarbonatadas - sódicas (DAEE, 1974 e 1976).

Gallo (1977) e Gallo e Sinelli (1980) foram os primeiros a efetuar um estudo integrado, hidroquímico e isotópico,nos aqüíferos Botucatu e Serra Geral, nas proximidades da cidade de Ribeirão Preto, numa área de 1.500 quilômetros quadrados. Em seu estudo, realizado a partir de 14 amostras de água de poços, observaram que a mineralização das águas do aqüífero Botucatu é muito baixa na sua zona de afloramento refletindo a influência apenas das precipitações locais. Esta mineralização aumenta

para oeste principalmente no que se refere aos teores de cálcio, bicarbonato e sílica, onde o aqüífero encontra-se recoberto por basaltos intensamente fraturados. Segundo os autores, este enriquecimento salino é devido à hidrólise ácida dos minerais dos basaltos provocada pela percolação das águas de chuva. Nesse sentido o Botucatu, apesar da cobertura basáltica, funciona como um sistema quimicamente aberto na área, com presença inclusive de CO_2 livre.

Os dois poços (Sertãozinho e Barrinha) situados a oeste de Ribeirão Preto mostram que neste local as águas evoluiram para um sistema fechado, sem presença de fase gasosa capaz de manter uma pressão parcial de CO_2 constante. Estas águas atingiram o equilíbrio de saturação em relação a calcita. Por outro lado, o carbono-14 mostrou que ali as águas são muito antigas, com idades superiores a 10 mil anos.

Todas as amostras se encontram em equilíbrio com a caulinita, mostrando tendência a evoluir para o domínio de equilíbrio com a montmorilonita, à medida que o aqüífero se torna confinado.

As determinações de oxigênio-18 e deutério nas águas subterrâneas mostraram perfeita homogeneidade, com valores compatíveis com as precipitações atuais, salvo para as águas mais antigas situadas na área confinada, cujos valores mais negativos indicam precipitações em clima mais frio que o atual.

Sinelli (1979) analisa as relações entre a composição química das águas subterrâneas e os diferentes tipos litológicos por elas atravessados, tendo desenvolvido sua pesquisa em áreas localizadas da bacia do Paraná e do embasamento cristalino. Em São Paulo, o aqüífero Botucatu é estudado pelo autor nos arredores de Ribeirão Preto, tendo chegado a conclusões semelhantes àquelas já obtidas por Gallo (1977).

Em 1979, os levantamentos do DAEE, realizados

nas regiões administrativas de Presidente Prudente e Marília, demonstraram que nas zonas de forte confinamento do aqüífero começam a ocorrer também águas cloro-sulfatadas-sódicas.

Teissedre e Barner (1981) explicam o aumento gradativo da temperatura das águas do aqüífero Botucatu com sua profundidade de confinamento, como decorrência do grau geotérmico natural (1ºC/35 metros) e atribuem o acréscimo do teor de sílica observado nestas áreas à elevação da temperatura.

Hamza e Eston (1982) classificam o aqüífero Botucatu como um sistema hidrotermal de baixa temperatura e avaliam a energia termal total do sistema em $27,4 \times 10^{20}$ J.

Szikszay et alii (1981) constataram a existência de anomalias físicas e químicas em fontes da Formação Bauru, no estado de São Paulo, ao longo de dois alinhamentos estruturais : E-W, acompanhando o vale do rio Grande e N-S, desde o rio Grande até o rio Tietê. Os autores atribuem a ocorrência das anomalias (aumento nas concentrações de sólidos dissolvidos, bicarbonatos, sulfatos, cloretos e sódio e secundariamente de fluoreto e boro) à ascensão das águas do aqüífero Botucatu através das fraturas regionais de grande porte dos basaltos da Formação Serra Geral . As águas quentes seriam ainda enriquecidas em sais neste trajeto pela dissolução dos constituintes dos basaltos.

Silva et alii (1982),discutindo as características físico-químicas das águas do aqüífero a partir dos dados do DAEE, atribuem a evolução química destas águas, desde as regiões aflorantes até as áreas de maior confinamento, como provavelmente devida a fenômenos de trocas de base, tempo de residência prolongado e aumento da temperatura. Os autores mencionam ainda, de passagem,que esta evolução seguiria o padrão clássico evolutivo observado em aqüíferos confinados e referido por Custódio e Llamas (1976).

O esquema clássico de evolução química de águas

subterrâneas cativas foi inicialmente estudado por Ignatovich e Souline (citados por Bogomolov (s/d) e Schoeller, 1962) em 1951; em 1955, Chebotarev (citado por Freeze & Cherry, 1979) propõe um esquema semelhante àquele dos pesquisadores soviéticos.

Chebotarev observa que a evolução química das águas subterrâneas sofre modificações regionais, no que tange aos anions presentes, determinadas pelo tempo de residência destas águas ao longo do fluxo subterrâneo preferencial. Sugere três zonas principais nesta evolução,correlacionáveis em geral com a profundidade do aqüífero:

- zona superior: caracterizada por águas de rápida circulação fluindo através de rochas relativamente bem lixiviadas, com predomínio do anion bicarbonato e pequena quantidade de sólidos totais dissolvidos.

- zona intermediária: águas de circulação mais lenta, concentrações mais elevadas de sólidos totais dissolvidos, com predominância do anion sulfato.

- zona inferior: onde o fluxo da água é muito lento determinando a presença de minerais altamente solúveis, anion cloreto predominante e elevada concentração de sólidos totais dissolvidos.

A ocorrência destas três zonas depende do tempo de permanência da água no aqüífero e da presença de minerais que sirvam de fonte para a solubilização destes anions.

CAPÍTULO II
CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

1. Aspectos Sócio-Econômicos

As águas do aqüífero Botucatu, na área de estudo, vêm sendo cada vez mais exploradas, sobretudo nas sedes dos municípios mais populosos aí encontrados, tais como: Ribeirão Preto , Araraquara, Bauru, São José do Rio Preto e Presidente Prudente. O quadro geral quanto ao número de municípios,distribuídos por região administrativa, e grau de urbanização é o seguinte:

REGIÃO Município Sede	Nº de Municípios	Municípios entre 50 e 100.000 habitantes	Municípios com mais de 100.000 habitantes
4 Sorocaba	12(*)	Botucatu	-
5 Campinas	10(*)	-	-
6 Ribeirão Preto	80	Barretos Sertãozinho	Araraquara,Franca,Ribeirão Preto, São Carlos
7 Bauru	37	Jaú, Lins	Bauru
8 São José do Rio Preto	84	Catanduva Votuporanga	São José do Rio Preto
9 Araçatuba	38	Birigui	Araçatuba
10 Presidente Prudente	50	-	Presidente Prudente
11 Marília	48	Assis,Ourinhos,Tupã	Marília
Total	359	13 municípios	9 municípios

(*) considerados apenas os municípios incluídos na área de estudo.

O total da população residente na área é de aproximadamente 5.600.000 habitantes, o que representa 22,5% da população do estado de São Paulo (IBGE,1981). A região apresenta um elevado estágio de urbanização com 76,5% dos seus habitantes fixados nas cidades.

A região de Ribeirão Preto destaca-se como a mais populosa da área, atingindo 1.800.000 habitantes, sendo que a cidade de Ribeirão Preto está entre as mais populosas do estado,ocupando o oitavo lugar, e é abastecida quase que exclusivamente por poços que exploram o aqüífero Botucatu.

Apesar de possuir uma população rural relativamente pequena predominam na área de estudo as atividades agrícolas. Esse fato é explicável por se tratar de uma agricultura com elevado grau de mecanização,registrando-se tendência à metropolização das principais cidades, sendo previsível o crescimento da atividade industrial à medida em que se acentue o grau de saturação dos centros industriais tradicionais. Entretanto não é provável que venha a ser alterado o predomínio da agro-pecuária, já que este setor tem hoje um peso muito forte. Basta ver que a área considerada detém hoje 67% de toda a produção agrícola do estado de São Paulo, ocupando dois terços de suas áreas de cultivo, onde os principais gêneros produzidos são: café, cana de açúcar, milho, soja, laranja, amendoim, algodão, arroz e trigo.Além disso, encontram-se ali 70% das áreas de pastagem, com 83% da produção de carne bovina, 53% da produção de carne suína e 58% do leite produzido em São Paulo (SEADE, 1981).

Já no que se refere à produção industrial,a participação da área é ainda de apenas 19% do total do estado, sendo o ramo mais destacado o da produção de alimentos.

2. Fisiografia

O relevo da região, segundo a divisão geomorfológica do estado (IPT, 1981a), compreende a parte extremo-oeste da Depressão Periférica, as Cuestas Basálticas e o Planalto Ocidental.

A Depressão Periférica faz-se presente na Zona do Médio Tietê e na Zona do Paranapanema, notando-se em ambas a ocorrência da área de afloramento das Formações Pirambóia e Botucatu. A zona do Médio Tietê apresenta relevo constituído por colinas e morrotes, sendo que nas áreas mais próximas das linhas de cuestas, salientam-se da topografia morros testemunhos do tipo mesas basálticas. Observa-se comumente a presença de patamares, graças à alternância de arenitos silicificados e basaltos. Já na Zona do Paranapanema, nos sopés da serra basáltica, o relevo é ondulado e coberto por denso cerrado. É notória a presença de diques verticais, orientados a NW, sustentando cristas lineares em um relevo de morrotes alongados.

Caminhando para oeste, onde se inicia o domínio de confinamento do aqüífero Botucatu, encontram-se as Cuestas Basálticas que apresentam, nos limites com a Depressão Periférica, relevo escarpado e, em seguida, uma seqüência de plataformas estruturais com inclinação para a calha do rio Paraná, de relevo mais suave, caracterizado principalmente por morros amplos e morros arredondados (reverso das cuestas). As escarpas variam de 10 a mais de 100 quilômetros de extensão, com desníveis que oscilam de menos de 100 a mais de 500 metros entre topo e base. A faixa de Cuestas Basálticas desenvolve-se desde o rio Grande, no limite com o estado de Minas Gerais, até o rio Paranapanema, na fronteira com o estado do Paraná, coincidindo aproximadamente com a área de exposição da Formação Serra Geral. Sua largura é maior a norte do rio Tietê (oscilando de 30 a 80 quilômetros), estreitando-se para sudoeste com interrupções ocasionadas pelas "percées" dos rios Tietê e Paranapanema. Nestes dois intervalos não há uma separação clara, quanto ao relevo, entre a Depressão Periférica e

o Planalto Ocidental.

O Planalto Ocidental, abrangendo a maior parte da área, apresenta relevo suave de colinas e morrotes. Esta amenização do relevo rumo a oeste, no domínio dos sedimentos do Grupo Bauru, é devida a um enfraquecimento dos controles litológicos e estruturais existentes na faixa das cuestas. Trata-se de uma extensa plataforma estrutural com níveis topográficos próximos aos 500 metros, caindo lentamente para oeste até atingir 247 metros na foz do rio Paranapanema. Salientam-se desta topografia monótona platôs residuais que se elevam de 150 a 200 metros acima dos níveis citados, constituídos por arenitos com cimento carbonático do Grupo Bauru. Esses platôs foram considerados como unidades geomorfológicas (IPT, 1981a) a saber: Planalto de Marília (incluindo os Platôs de Garça, Marília-Tupã e de Echaporã), Planalto de Monte Alto e Planalto de Catanduva.

A drenagem principal da área é conseqüente e seus rios de maior extensão e importância (Grande, Tietê, Paranapanema e seus principais afluentes como o Mogi-Guaçu, Pardo, Claro, Piracicaba) têm cabeceiras situadas no Planalto Atlântico e Depressão Periférica, desaguando todos no rio Paraná. Além destes, outros rios conseqüentes de menor envergadura são formados no Planalto Ocidental, destacando-se o Aguapeí, Peixe e São José dos Dourados. Secundariamente, estão presentes rios resseqüentes no reverso das Cuestas Basálticas como é o caso do Jacaré-Pepira e Jacaré-Guaçu.

3. Clima. Solos e Vegetação

A região está sujeita principalmente aos climas tropicais alternadamente secos e úmidos do interior, nas áreas da Depressão Periférica e do Planalto Ocidental. Sofre ainda influência dos climas úmidos, controlados pelas massas tropicais e polares na região sudoeste do Planalto Ocidental.

Segundo a classificação de Koeppen (Setzer,1966)

90% da região apresenta os tipos de clima Aw (tropical úmido) e Cwa (quente e úmido). O clima tropical úmido é característico da porção noroeste das Cuestas Basálticas e do Planalto Ocidental, marcado por inverno seco, temperatura média do mês mais frio superior a 18ºC, com índices pluviométricos anuais médios (período 1941-1975) inferiores a 1.300 mm e ocorrência dos valores menores do estado - inferiores a 1.200 mm (Setzer, 1980).

O clima úmido e quente (Cwa) presente na maior parte do restante da área apresenta características semelhantes ao tipo Aw, com apenas duas diferenças: a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18ºC e a pluviometria anual média é mais elevada, atingindo índices superiores a 1.400 mm.

Segundo Setzer e Porto (1979), a área estudada abrange as zonas ecológicas Serra Geral (SG) e Arenito Bauru(AB).

A zona ecológica Serra Geral, identificada grosso modo com a área de exposição do Grupo São Bento, caracteriza-se principalmente pela presença de dois tipos de solos:

- solos arenosos, produto da alteração das Formações Botucatu e Pirambóia, isentos de cimento calcífero, com teor de argila em geral inferior a 8%, ausência de rochas e camadas pouco ou nada densificadas até 1,5 metros de profundidade.

- solos dos basaltos, originando terras roxas mais ricas quando pedregosas, com teores mínimos de argila entre 20-30%, podendo atingir 60% em 5% dos casos, com camada mais densificada a 60 cm de profundidade, chegando algumas vezes a se constituir em quase impermeável ou apresentando horizonte de seixos rolados.

A zona ecológica AB coincide com a área de ocorrência do Grupo Bauru, apresentando dois tipos principais de solos:

- solos arenosos, com teor de argila inferior a

15% em 95% dos tipos observados, semelhantes aos solos arenosos da zona ecológica Serra Geral.

- solos do mesmo arenito, com cimento calcífero, onde em 10% dos tipos observados os teores de argila estão entre 20 e 30%.

Além dos tipos de solos presentes, ocorre localizadamente tanto na zona SG como na AB, um terceiro tipo mais argiloso, em áreas de basalto em meio ao arenito e portanto uma terra roxa arenosa.

As duas zonas ecológicas SG e AB se subdividem, respectivamente, em função do clima, em duas subzonas a norte com predominância do clima mais quente e úmido (SGq e ABq) e duas a sul (SGf e ABf), onde o clima é menos quente e mais seco. Nestas subzonas estão presentes estes mesmos tipos de solos alterados diferentemente pelas variações climáticas.

A cobertura vegetal natural existente corresponde somente a 10% da área total da região, apresentando algumas variações quanto à predominância de tipos de vegetação. Desse modo, recobrindo tanto a região aflorante como a área confinada do aqüífero Botucatu, a mata ocupa 2,6% da área total, a capoeira 2,9% ,o cerradão 0,5%, o cerrado 3,6% e o campo cerrado 0,5%. A presença do cerrado e campo cerrado é mais acentuada na porção livre do aqüífero. Não há nestas regiões ocorrencia de campo,que se faz presente no restante do estado (SEADE, 1981).

4. Aspectos Geológicos

O domínio de estudo compreende a porção paulista do flanco nordeste da bacia do Paraná, onde afloram os Grupos São Bento e Bauru, de idade mesozóica. As demais unidades estratigráficas constituintes da bacia e depositadas no Paleozóico (Grupos Paraná, Tubarão e Passa Dois) estão expostas fora da á-

rea, a leste. A figura 2 mostra a coluna estratigráfica da Bacia do Paraná em São Paulo (IPT, 1981b).

A bacia sedimentar do Paraná caracteriza-se como uma unidade geotectônica, abrangendo área de 1.750.000 quilometros quadrados localizada na região sudeste da América do Sul. Sua evolução iniciou-se nos limites entre o Siluriano e o Devoniano Inferior e é marcada por períodos de subsidência e ascensão epirogênica, possibilitando a acumulação em sua região central de mais 5.000 metros de sedimentos, lavas basálticas e intrusivas básicas.

Interessa aqui sobretudo destacar os aspectos da evolução tectono-sedimentar da bacia, na sua porção nordeste, situada no estado de São Paulo. Almeida (1981) identifica quatro estágios deste processo evolutivo, assinalando que os três primeiros ocorreram quando a bacia comportava-se como sinéclise.

O primeiro estágio iniciou-se no Devoniano Inferior com uma fase de subsidência e transgressão de mar aberto, seguida de regressão e ascensão epirogênica, quando então depositaram-se as Formações Furnas e Ponta Grossa, constituintes do Grupo Paraná. Com o soerguimento da bacia estas camadas foram levemente inclinadas para o norte, sofrendo deformações locais e ficando expostas a um intenso processo erosivo.

O segundo estágio teve início no Carbonífero Inferior com a deposição do Grupo Tubarão e sua duração compreendeu duas fases. A primeira delas, de grande movimentação tectônica, estendeu-se até o Permiano Médio. Trata-se de um novo período de subsidência com ingressões de mar aberto e presença de fenômenos de glaciação. Nesta fase ascenderam estruturas positivas na bacia, destacando-se em São Paulo o Alto da Pitanga, e formaram-se em pontos de subsidência depocentros, como é o caso do Embaciamento de São Paulo que acumulou cerca de 1.200 metros de sedimentos das Formações Itararé e Aquidauana. Salienta-se aqui a atividade do Arco de Ponta Grossa e dos alinhamentos estruturais de

		Gr.	FORMAÇÃO	LITOLOGIA
MESOZÓICO	CRETÁCEO	BAURU	MARILIA	Arenitos de granulação fina a grossa, subordinadamente ocorrem lentes de siltitos, argilitos e arenitos muito finos. Presença de nódulos carbonáticos.
MESOZÓICO	CRETÁCEO	BAURU	ADAMANTINA	Arenitos finos e muito finos, podendo apresentar cimentação e nódulos carbonáticos com lentes de siltitos arenosos e argilitos.
MESOZÓICO	CRETÁCEO	BAURU	SANTO ANASTÁCIO	Arenitos muito finos a médios, mal selecionados, apresentando localmente cimento e nódulos carbonáticos.
MESOZÓICO	JURÁSSICO A CRETÁCEO	BAURU	CAIUÁ	Arenitos finos a médios, com grãos bem arredondados. Localmente ocorrem cimento e nódulos carbonáticos.
MESOZÓICO	JURÁSSICO	SÃO BENTO	SERRA GERAL	Rochas vulcânicas toleíticas dispostas em derrames basálticos, textura afanítica, com intercalações de arenitos intertrapianos.
MESOZÓICO	JURÁSSICO	SÃO BENTO	BOTUCATU	Arenitos eólicos avermelhados de granulação fina a média e localizadamente depósitos fluviais de natureza areno-conglomerática e camadas de siltitos e argilitos lacustres.
MESOZÓICO	TRIÁS.	SÃO BENTO	PIRAMBÓIA	Depósitos de arenitos finos a médios, siltico-argilosos com níveis de folhelhos e arenitos argilosos.
PALEOZÓICO	PERMIANO SUPERIOR	PASSA DOIS	RIO DO RASTRO	Não aflorante no Estado de São Paulo.
PALEOZÓICO	PERMIANO SUPERIOR	PASSA DOIS	CORUMBATAÍ	Depósitos possivelmente marinhos de planícies de maré, incluindo argilitos, folhelhos e siltitos com bancos carbonáticos, silexitos e camadas de arenitos finos.
PALEOZÓICO	PERMIANO SUPERIOR	PASSA DOIS	IRATI	Siltitos, argilitos e folhelhos sílticos, folhelhos pirobetuminosos e restritos níveis conglomeráticos.
PALEOZÓICO	CARBONÍFERO SUP. A PERMIANO MÉDIO	TUBARÃO	TATUÍ	Depósitos marinhos predominando siltitos, arenitos finos.
PALEOZÓICO	CARBONÍFERO SUP. A PERMIANO MÉDIO	TUBARÃO	ITARARÉ	Depósitos glaciais continentais, glacio-marinhos, fluviais deltaicos, lacustres e marinhos compreendendo arenitos de granulação variada, conglomerados, diamictitos, tilitos, siltitos, folhelhos, ritmitos.
PALEOZÓICO	CARBONÍFERO SUP. A PERMIANO MÉDIO	TUBARÃO	AQUIDAUANA	Depósitos continentais predominantemente arenitos médios a grossos, subordinadamente arenitos finos, conglomerados, siltitos, folhelhos rítmicos e diamictitos.
PALEOZÓICO	DEVONIANO	PARANÁ	PONTA GROSSA	Não aflorante no Estado de São Paulo.
PALEOZÓICO	DEVONIANO	PARANÁ	FURNAS	Depósitos marinhos predominantemente arenitos de granulação grossa, subordinadamente arenitos finos e arenitos conglomeráticos.

Figura 2 - Coluna estratigráfica da bacia do Paraná no estado de São Paulo (Fonte: IPT, 1981b).

Paranapanema (Fúlfaro, 1974),de Guapiara (Ferreira et alii,1981) e do Tietê (Coimbra et alii, 1977 e Saad, 1977). A grande importância do Arco de Ponta Grossa no Permiano Inferior Médio é a compartimentação da bacia em duas sub-bacias. A segunda fase, pós-glacial, estendeu-se do Permiano Médio ao fim do Paleozóico tendo sido iniciada pela erosão dos sedimentos da fase anterior. Caracteriza-se por um período de calma tectônica com lenta subsidência da região central da bacia. Depositaram-se, então, em ambiente provavelmente marinho de baixa energia, a Formação Tatuí e o Grupo Passa Dois. O ponto culminante de calma tectônica ocorreu por ocasião da sedimentação Irati, em ambiente aquoso restrito de mar epicontinental.

Após a deposição da Formação Rio do Rastro, teve lugar uma ascensão epirogênica da bacia com estabelecimento de um longo período erosivo entre o Permiano e o Triássico Inferior ou Médio que irá marcar, com importante discordância, o limite entre as camadas paleozóicas e mesozóicas.

O terceiro estágio, que se desenvolveu no Triássico-Jurássico, foi uma época sem inquietação tectônica e de sedimentação essencialmente continental. Dois fatores comprovam esta quiescência tectônica: a moderada espessura de sedimentos acumulados nesse período indicando lenta subsidência; a alta maturidade mineralógica dos sedimentos, principalmente constituídos por arenitos e siltitos.

No Triássico as duas sub-bacias formadas pela atividade do Arco de Ponta Grossa adquiriram conformações definidas. A norte, em ambiente predominantemente fluvial, ocorreu a sedimentação da Formação Pirambóia com seu depocentro em Mato Grosso e espessuras não superiores a 400 metros. Em São Paulo essas espessuras apresentam um eixo em calha aberta,aumentando para noroeste e não ultrapassando 350 metros (Soares, 1973). A sul teve lugar a deposição da Formação Rosário do Sul, atingindo espessuras de até 800 metros. As duas sub-bacias provavelmente interligavam-se na porção axial da bacia do Paraná.

As condições de clima quente, possivelmente reinantes já no tempo Pirambóia, tendem a se agravar, instaurando-se um clima semi-árido no Jurássico, quando então ocorre a sedimentação da Formação Botucatu em condições desérticas. A calma tectônica imperante nessa época propiciou o alastramento deste deserto por toda a bacia, inclusive recobrindo formações depositadas anteriormente e mesmo rochas do embasamento cristalino (Soares,1973).

A pequena espessura desta formação, não superior a 150 metros, sugere uma brusca interrupção da sedimentação, marcada pelo início do quarto estágio, no limite Jurássico- Cretáceo, quando a bacia passa de sinéclise para anfíclise. É o momento do intenso diastrofismo e magmatismo que irá recobrir de lava basáltica toda a bacia. Este estágio, chamado por Almeida (1967) Reativação Wealdeniana, é caracterizado pela movimentação de antigas estruturas e surgimento de novas. O Arco de Ponta Grossa sofreu nesse período intensos fraturamentos que hospedaram numerosos diques de diabásio associados a sills, compartimentando toda a região do alinhamento estrutural de Guapiara. Estas intrusões diabásicas também se fizeram presentes em outras porções da bacia.

A Formação Serra Geral, constituída pelos espessos derrames de basalto, atingiu espessura de 1.500 metros no extremo sudoeste do estado, indicando grande subsidência da bacia neste período. Localmente, conservaram-se regiões mais elevadas, como é o caso de Bauru onde essas lavas inexistem (Mariano & Barner, 1976).

Terminado o vulcanismo, ocorreu a deposição do Grupo Bauru no Cretáceo Superior, apenas na porção norte da bacia, graças ao soerguimento da região basáltica central. O ambiente de deposição das formações constituintes deste Grupo é continental , predominantemente fluvial, em clima quente, chegando a semi- árido por ocasião da sedimentação Marília. Graças ao soerguimento epirogênico ocorrido no Terciário, foi modelado o relevo atual da bacia com escavação da Depressão Periférica.

No Cenozóico, a sedimentação limitou-se a áreas restritas, originando depósitos ao longo dos principais vales no interior da bacia.

5. Quadro Hidrogeológico

Os sistemas aqüíferos da bacia do Paraná no estado de São Paulo podem ser classificados em dois grupos distintos, de acordo com a natureza litológica e as propriedades hidráulicas:

- Sistemas Sedimentares, permeáveis por porosidade granular
  Aqüíferos: Tubarão, Botucatu e Bauru

- Sistemas "Cristalinos" ou Zonas Aqüíferas "Cristalinas",permeáveis por fraturamento
  Aqüífero: Serra Geral

São de interesse deste estudo apenas os aqüíferos Botucatu, Serra Geral e Bauru, presentes na área.

O aqüífero Botucatu estende-se sobre as camadas do Grupo Passa Dois, mergulhando para oeste, sob os derrames basálticos da Formação Serra Geral. O substrato Passa Dois é classificado como aquiclude porque só permite uma circulação muito lenta ou praticamente nula da água acumulada em seus sedimentos silto-arenosos e argilosos.

O aqüífero Botucatu é constituído pelas Formações Pirambóia e Botucatu, compostas respectivamente de lamitos e arenitos finos a médios,mal selecionados de origem fluvial e de arenitos finos a médios, bem selecionados de órigem eólica. Os teores de silte e argila variam entre 6 e 20%, encontrando-se os valores mais elevados na base do aqüífero. O quartzo é responsável por cerca de 90% dos constituintes mineralógicos, na

base do aqüífero, elevando-se a 97% em seu topo. Os demais componentes da fração leve são feldspatos (menos de 10%), micas (meno de 1%) e fragmentos de rocha (menos de 1%). Ocorre ainda, como cimento, a sílica e/ou a limonita (Soares, 1973).

O sistema aqüífero é contínuo, de extensão regional, parcialmente livre (16.000 quilômetros quadrados) e dominantemente confinado (134.000 quilômetros quadrados), com elevada transmissividade. Suas características geométricas e hidraúlicas serão abordadas em pormenor no Capítulo IV.

A seqüência de derrames basálticos e intrusivas associadas da Formação Serra Geral constitui o aqüífero de mesmo nome. Sua área de afloramento de 38.600 quilômetros quadrados ocorre entre os limites aflorantes da Formação Botucatu sotoposta e do Grupo Bauru sobreposto e também ao longo dos vales dos afluentes do rio Paraná, principalmente na porção centro- norte do estado. A parte não aflorante encontra-se recoberta pelos sedimentos do Grupo Bauru e cenozóicos. Regionalmente se comporta como camada confinante (praticamente impermeável) do aqüífero Botucatu. Sua espessura aumenta de leste para oeste até atingir valores da ordem de 1.500 metros na confluência dos rios Paraná e Paranapanema.

O sistema aqüífero Serra Geral caracteriza-se por apresentar localmente porosidade de fratura com circulação da água nas zonas de contatos entre os "traps", nas descontinuidades verticais e horizontais de origem primária dos derrames, nas zonas de fraturamento secundário intenso e, ocasionalmente, em bancos de arenito intratrapianos.

Dois tipos principais de texturas e estruturas são verificados nos corpos dos derrames. No topo de cada derrame predominam basaltos vesiculares ou amigdaloidais, com fraturamento horizontal dominante. A parte central é constituída por basaltos compactos microcristalinos, com sistema de fraturamento preferencialmente vertical (Rebouças, 1978). O caráter aleatório

das descontinuidades presentes nos derrames origina a heterogeneidade e anisotropia elevadas, próprias deste sistema aqüífero.

A composição mineralógica das rochas basálticas, segundo Rüegg (1975), é basicamente formada por plagioclásios, piroxênios e minerais opacos, tais como magnetita, ilmenita e mais restritamente sulfetos. Estes minerais encontram-se envolvidos por matriz ou material intersticial variados, ora constituído por material vítreo, ora formando uma malha de microminerais coloridos (destacando-se os do grupo das cloritas e serpentinas), ou ainda uma matriz micropegmatítica onde estão presentes quartzo, feldspato potássico e/ ou apatita. Olivina pode ser encontrada embora sem expressão quantitativa e, ainda, minerais secundários podem preencher vesículas e outras estruturas das rochas, como por exemplo, quartzo, sílica, calcita, clorita e zeólitas.

A utilização econômica de seu potencial de água subterrânea restringe-se às áreas aflorantes ou com escassa cobertura sedimentar.

Quanto ao comportamento hidráulico dos basaltos, os poucos dados do coeficiente de transmissividade existentes encontram-se compreendidos no intervalo de 10^{-5} a 8×10^{-3} m^2/s, sendo a maioria dos valores inferiores a 10^{-3} m^2/s.

Nas regiões de Presidente Prudente e Marília (DAEE, 1979) foram analisados 159 dados de capacidade específica, verificando-se que a maioria dos poços associados a lineamentos estruturais e linhas de drenagem possuem valores que variam de 1 a 10 $m^3/h/m$, e que os poços situados fora destes lineamentos apresentam valores inferiores, sendo na maior parte compreendidos na faixa de 0,1 a 1 $m^3/h/m$.

Nos domínios aflorantes, o sistema Serra Geral comporta-se como aqüífero livre, com as linhas de fluxo dirigindo-se para as calhas de drenagem principais. Nas áreas de confinamento pode funcionar como meio de transferência hidráulica de

fluxos ascendentes ou descendentes, dependendo da relação existente entre os níveis potenciométricos dos aqüíferos superior e inferior e da ocorrência de descontinuidades verticais que favoreçam esses fluxos.

O aqüífero Bauru recobre os basaltos da Formação Serra Geral, sendo constituído de arenitos muito finos a médios das Formações Caiuá, Santo Anastácio e Adamantina e de arenitos grosseiros a conglomeráticos da Formação Marília (carbonáticos). Ocupa área aproximada de 104.000 Km^2 sendo o aquífero livre de maior extensão no estado de São Paulo. Caracteriza-se como um aqüífero contínuo, de extensão regional, dominantemente livre e localmente semi-confinado, com transmissividade moderada a baixa. Sua espessura saturada varia de 50 a 200 metros.

Quanto ao comportamento hidráulico, dados de transmissividade, capacidade específica e permeabilidade média aparente, distribuídos praticamente em toda a extensão do Grupo Bauru no estado, foram tratados por Rocha et alli (1982) que chegaram às seguintes considerações:

Os valores de capacidade específica compreendidos no intervalo de 0,5 a 1 $m^3/h/m$ são mais frequentes na área que corresponde grosso modo aos domínios de ocorrência da Formação Adamantina. A faixa de 1 a 2 $m^3/h/m$ encontra-se limitada a oeste pelo rio Paraná, correspondendo aproximadamente à zona de afloramentos da Formação Santo Anastácio e de sua transição a sudoeste para a Formação Caiuá. Esta faixa encontra-se também a sudoeste, na região de Rancharia, onde ocorre a litofácies mais permeável da parte inferior da Formação Adamantina. Áreas com valores abaixo de 0,5 $m^3/h/m$ ocorrem a sudoeste, devido a pequena espessura saturada, e a norte, na margem esquerda do rio Grande, onde a litofácies da Formação Adamantina é menos permeável. Valores acima de 2 $m^3/h/m$ são características da Formação Caiuá.

O coeficiente de transmissividade tem uma distri

buição similar à variação da capacidade específica, com valores entre 3×10^{-4} e 6×10^{-4} m^2/s predominantes na porção aflorante da Formação Adamantina. A faixa de 6×10^{-4} a 10^{-3} m^2/s é mais freqüente na área de exposição da Formação Santo Anastácio, sendo encontrada também nas áreas de São José do Rio Preto e de Rancharia. O intervalo de 10^{-3} a 2×10^{-3} m^2/s é típico da Formação Caiuá.

A permeabilidade média apresenta uma variação de 10^{-6} a 10^{-5} m/s. O intervalo de 10^{-6} a 3×10^{-6}m/s é dominante em área, estando associado principalmente à Formação Adamantina. Valores de 3×10^{-6} a 10^{-5} são encontrados nas Formações Santo Anastácio, Caiuá, e na parte inferior da Formação Adamantina. Na região de Mirante do Paranapanema, onde a espessura saturada do Arenito Caiuá é da ordem de 100 metros, os valores de permeabilidade chegam a atingir 3×10^{-5}m/s.

A recarga natural do aqüífero é dada diretamente pelas chuvas, em suas regiões de ocorrência. As superfícies potenciométricas existentes, mostram as linhas de fluxo convergindo dominantemente para as calhas dos rios, com os divisores de águas subterrâneas coincidindo aproximadamente com os divisores superficiais. Os gradientes hidráulicos são da ordem de 8 a 10 m/Km nas áreas de montante das bacias e de 3 a 5 m/Km a jusante. A velocidade média de circulação da água subterrânea é da ordem de 10^{-6} m/s nas áreas de domínio das Formações Caiuá e Santo Anastácio e de 5×10^{-7} m/s nas áreas da Formação Adamantina.

CAPÍTULO III
METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a execução da pesquisa consistiu, inicialmente, no levantamento dos dados básicos existentes sobre o aqüífero Botucatu na área de estudo para a caracterização de sua geometria e comportamento hidráulico. Partindo deste quadro físico, foi programado o estudo propriamente dito visando o delineamento dos aspectos hidroquímicos e isotópicos das águas do aqüífero.

1. Levantamento dos Dados Hidrogeológicos Básicos

A coleta de dados básicos iniciou-se pela pesquisa bibliográfica das principais publicações que pudessem fornecer informações geológicas, hidráulicas, hidroquímicas e isotópicas sobre o aqüífero na bacia do Paraná, particularmente no estado de São Paulo.

Em seguida, através do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIDAS) do DAEE, foi obtida uma listagem de todos os poços tubulares perfurados no aqüífero Botucatu no estado. Os dados obtidos foram analisados para cada poço e comparados com as respectivas fichas de cadastro de campo, o que determinou a eliminação de poços com perfis pouco confiáveis. Passou-se, depois, à complementação deste inventário, com informações de poços ainda não armazenados no SIDAS, a saber: poços recém-cadastrados pelo DAEE nas regiões administrativas 4 (Sorocaba) e 5 (Campinas); poços recém-perfurados pela Companhia de Saneamento Básico do estado de São Paulo-SABESP, e pelo convênio DAEE - Serviços Autônomos de Águas de Prefeituras Municipais; poços de pesquisa de petróleo perfurados pela Petrobrás e Consórcio IPT-CESP (Paulipetro). Em razão da escassa disponibilidade de dados nas áreas de maior confinamento do aqüífero, foram também coletados dados de seis poços localizados fora do estado, porém próximos de seus limites, sendo 1 no estado de Mato Grosso do Sul e 5 no Paraná.

No total, foram selecionados 179 poços que estão listados no Anexo 1 com as seguintes informações: nº de ordem, código de origem, altitude do terreno, profundidade, cota do topo do aqüífero, espessura penetrada, e, quando existentes, nível potenciométrico, vazão específica, transmissividade e condição do aqüífero.

2. Caracterização Física do Aqüífero Botucatu

Nesta fase, determinou-se primeiramente a escala de trabalho de 1:1.000.000, em função da extensão da área, da densidade de dados e do caráter regional do estudo. As folhas SF-22 e SF-23 da Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo do Departamento Nacional de Produção Mineral-DNPM, 1978, serviram de subsídio para a confecção da base geológica simplificada do aqüífero no estado. Sobre esta base, foram traçados os principais alinhamentos estruturais de caráter regional, compilados do Mapa Geológico-Estrutural da bacia do Paraná, escala 1:2.500.000 (Fúlfaro et alii, 1982).

Foi elaborado, em seguida, o mapa de distribuição dos poços cadastrados (Prancha 1), a partir do qual foram confeccionados mapas temáticos de isópacas, contorno estrutural (modificados de Teissedre et alli, 1982) e de superfície potenciométrica (modificado de Teissedre, 1982, inédito). Em virtude da escassez de dados de transmissividade, preferiu-se submetê-los a uma análise de tendência através da utilização do programa TRENDSUP, implantado no DAEE.

Foi possível, desse modo, obter uma caracterização hidrogeológica do aqüífero, fundamental para o estudo hidroquímico e isotópico desenvolvido.

3. Caracterização Hidroquímica e Isotópica das Águas do Aqüífero Botucatu

Programa de amostragem

Em primeira instância, foram reunidas cerca de 100 análises físico-químicas já efetuadas anteriormente na área, provenientes dos estudos de águas subterrâneas executados pelo DAEE a partir de 1972, do Convênio DAEE-SABESP e DAEE- Prefeituras Municipais, do projeto "Controle de Poluição das Águas Subterrâneas na Zona de Recarga do Aqüífero Botucatu" (em execução pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental-CETESB) e uma do poço de Londrina (PR), gentilmente cedida pela Superintendência de Recursos Hídricos e Meio Ambiente - SURHEMA, do Paraná. Com exceção desta, todas as análises foram realizadas nos laboratórios da CETESB.

Estes resultados foram objeto de seleção com base nos seguintes critérios: amostras de poços com perfil geológico confiável e distribuição espacial conveniente. Foram assim selecionadas 61 análises físico-químicas, satisfazendo a estas condições, coletadas entre 1976 e 1981. O fato da amostragem ter sido efetuada em diferentes épocas não foi considerado preocupante por duas razões: na zona de recarga, onde a variação sazonal da composição química das águas é maior, estas são muito pouco salinizadas e as alterações passíveis de ocorrer não comprometeriam conclusões gerais do estudo regional proposto; na zona confinada, as variações devem ser pequenas.

Dentre os 61 poços já amostrados, foram eleitos 26 pontos de amostragem, com adequada distribuição na área, para reexame físico-químico e análise isotópica, dos quais 25 para determinação de oxigênio-18, 23 para deutério, 17 para carbono-14 e 3 para carbono-13.

Nesta etapa foram ainda instalados dois coletores

de água de chuva na zona de recarga do aqüífero, para análise de oxigênio-18, deutério e algumas determinações químicas.

Coleta e análise das águas

A amostragem das águas subterrâneas foi efetuada entre março de 1981 e outubro de 1982, diretamente na boca dos poços, após um período contínuo de bombeamento de duas horas, no mínimo. Por ocasião da coleta, foram medidos o pH e a temperatura das águas.

As amostras destinadas às análises físico-químicas foram coletadas em frascos de polietileno, novos, descartáveis, sendo três de 1,5 litros, sem preservação, para determinação do pH, condutividade elétrica, resíduo a 105°C e a 180°C, ions maiores, dureza, sílica, fluoreto, ferro solúvel, e um frasco de 1,0 litro, preservado com 2 ml de H_2SO_4 concentrado, para exame de nitrato.

As amostras para determinação de oxigênio-18 e deutério foram recolhidas em frascos de polietileno, novos, descartáveis, com capacidade de 20 ml, bem vedados para impedir fracionamento isotópico pelo contato com o ar atmosférico.

Para a análise de carbono-14 e carbono-13, coletou-se um volume variando entre 150 e 250 litros de água, em bombonas plásticas, previamente lavadas com a água do próprio poço. No campo, foi efetuada a precipitação de $BaCO_3$, por adição de $Ba(OH)_2$, com anterior elevação do pH até torná-lo superior a 8. Após um período mínimo de 12 horas, o precipitado de $BaCO_3$ era transferido para frascos menores eliminando-se o sobrenadante por sifonamento. Esta operação foi executada com o máximo de presteza para minimizar a possível contaminação com o CO_2 atmosférico.

Após a coleta, as amostras foram enviadas aos

respectivos laboratórios para análises.

Nos laboratórios da CETESB, os parâmetros físico-químicos foram analisados pelos seguintes métodos, a 25ºC: pH (potenciométrico); condutividade elétrica (condutivímetro de eletrodo); resíduo a 105ºC e 180ºC (gravimétrico); Ca^{++}, Mg^{++} e dureza total (titulométrico com EDTA); Na^{+} e K^{+} (absorção atômica); HCO_3^- e CO_3^{--} (titulação potenciométrica); Cl^- (titulométrico nitrato-mercúrico); SO_4^{--} (turbimétrico cloreto de bário); NO_3^- (auto-analyser com sulfanilamida); Fe^{++} (auto-analyser com ortofenantrolina); F^- (colorimétrico spadns) e SiO_2 (colorimétrico com molibdato de amônia).

No Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares -IPEN, foi determinada a atividade específica do carbono-14, segundo procedimento descrito por Oikawa (1978), consistindo nas seguintes etapas: ataque ácido do precipitado de $BaCO_3$, para liberação de CO_2; reação do CO_2 com lítio metálico a 600-1000ºC, para formação do Li_2C_2; conversão do Li_2C_2, em acetileno (C_2H_2), pela reação do Li_2C_2 e H_2O; conversão do acetileno em benzeno (C_6H_6), com auxílio do catalisador Perlkator D-1. O benzeno sintetizado é colocado no recipiente próprio para medição pelo processo de cintilação líquida, com prévia adição de substâncias cintiladoras, e de benzeno inerte, quando necessário, para completar a massa de 6 gramas. A contagem no espectrômetro de cintilação líquida teve duração de 900 minutos para a amostra e para o padrão, este obtido a partir do ácido oxálico, fabricado em 1950 pelo National Bureau of Standards - NBS.

Os resultados da atividade específica, em desintegrações por minuto e por grama de carbono (dpm/q), são então obtidos, após correções da eficiência do sistema e da adição de benzeno inerte.

Nos laboratórios do Centro de Energia Nuclear na Agricultura-CENA, foram determinados os teores de oxigênio-18, deutério e carbono-13. Os métodos usuais de análise destes isó-

topos são aqueles utilizados pela Agência Internacional de Energia Atômica-IAEA, com modificações desenvolvidas no CENA (Matsui,1980). Para o oxigênio-18, procede-se ao equilíbrio isotópico entre a água amostrada e CO_2, o que propicia ao oxigênio- 18 da água substituir parte do oxigênio-16 do CO_2. No caso do deutério, o hidrogênio da amostra é liberado da molécula de água através da oxidação de urânio metálico a 660-880°C. As medidas das relações isotópicas $^{18}O/^{16}O$ e $^{2}H/^{1}H$ são efetuadas no CO_2 e H_2 , respectivamente, com o auxílio da espectrometria de massa, por comparação com o padrão internacional, Standard Mean Ocean Water -SMOW (Craig, 1961b). A relação $^{13}C/^{12}C$ é medida por espectrometria de massa diretamente no CO_2 liberado da amostra a partir do ataque ácido do precipitado de $BaCO_3$. O padrão de referência é o PDB,calcário de origem marinha-Belemnitella Americana da Formação Peede do Cretáceo da Carolina do Sul.

Para os três isótopos, a composição isotópica é expressa em partes por mil (°/oo)segundo a relação:

$$\delta^{18}O \text{ ou } \delta^{2}H \text{ ou } \delta^{13}C = \frac{R \text{ amostra} - R \text{ padrão}}{R \text{ padrão}} x1000$$

onde

$$R = \frac{[^{18}O]}{[^{16}O]} \text{ ou } \frac{[^{2}H]}{[^{1}H]} \text{ ou } \frac{[^{13}C]}{[^{12}C]}$$

Os dois coletores de águas de chuva foram instalados na zona de recarga do aqüífero, sendo um em Ribeirão Preto, nas dependências do Departamento de Geologia, Física e Matemática da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras - FFCL/USP, e o outro em São Carlos, na bacia experimental do Campus da Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP. Estas duas localidades foram selecionados tendo em vista os apoios locais encontrados para proteção do coletor e o condicionamento das amostras semanalmente.

Os coletores, cedidos pelo CENA, consistem de

recipientes de vidro, cuja abertura é fechada por rolha de borracha à qual se adapta um funil para coleta de água, protegido por tela para evitar a entrada de detritos. Um tubo plástico de cerce de 0,5 cm de diâmetro é inserido na rolha, de modo que sua porção externa, de 0,5 m de comprimento, permaneça dobrada em U, servindo como respiradouro para impedir a evaporação da água do recipiente. As coletas se efetuaram quase sempre semanalmente, pelo período de um ano, a partir de 6/7/1981. Nas amostras coletadas foram determinados os teores de oxigênio-18 e deutério, no CENA.

Em algumas das amostras colhidas em Ribeirão Preto foram efetuadas análises físico-químicas, no laboratório do Departamento de Geologia, Física e Matemática, com as seguintes determinações: temperatura, pH (por método potenciométrico), condutividade elétrica (com condutivímetro de eletrodo), Ca^{++} e Mg^{++} (absorção atômica), Na^{+} e K^{+} (fotométrico de chama), Cl^{-} (colorimétrico), SiO_2 (fotométrico de azul de heteropoliáceo).

4. Processamento dos Resultados de Análise

A partir dos resultados obtidos das análises físico-químicas e isotópicas das águas subterrâneas e pluviais foram realizados cálculos, gráficos e mapas que subsidiassem a caracterização hidroquímica e isotópica das águas do aqüífero Botucatu.

Dados físico-químicos

Os resultados físico-químicos das águas subterrâneas foram tratados primeiramente pelo programa QLIST adaptado no DAEE a partir do original da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais-CETEC, cujo processamento fornece as seguintes informações:

- listagem dos resultados de análise para cada parâmetro;

- transformação dos resultados dos íons maiores, originalmente em mg/l, para meq/l, cálculo da soma de cátions e anions em meq/l e porcentagem de cada íon;

- cálculo do STD (sólidos totais dissolvidos) em mg/l;

- cálculo das seguintes relações iônicas, em meq/l: rK/rNa, rMg/rCa, rNa/rCa, $rCl/rHCO_3$ e rCl/rSO_4;

- cálculo do índice de troca de bases segundo Schoeller (1962):

$$itb\ (-) = \frac{rCl - r(Na + K)}{r(HCO_3 + SO_4 + NO_3)}$$

- cálculo dos erros prático e teórico, segundo Custódio e Llamas(1976):

$$\text{erro prático} = \%\ Ep = \frac{\Sigma\ \text{anion} - \Sigma\ \text{cátion}}{\frac{\Sigma\ \text{anion} + \Sigma\ \text{cátion}}{2}} \times 100$$

com Σ anions e Σ cátions em meq/l.

erro teórico - percentual máximo de erro prático permitido, levando-se em consideração os valores da condutividade elétrica, conforme quadro abaixo:

condutividade elétrica (µS/cm)	50	200	500	2000	>2000
Erro permitido (%)	30	10	8	4	<4

Os resultados da saída do programa QLIST estão apresentados no Anexo 2.

Os erros práticos de 47 das análises mostraram-se abaixo dos respectivos erros teóricos. Em 14 análises isto não ocorreu. Observando-se estes casos com erros elevados, constatou-se que neles a soma de anions é menor que a soma de cátions. Os erros mais elevados coincidem com águas provenientes da zona de afloramento do aqüífero, cuja baixa salinização propicia erros analíticos na determinação de sulfato e cloreto, visto que os teores destes anions estão próximos dos limites de detecção dos métodos utilizados. Nos quatro casos restantes, os erros são apenas pouco acima dos permitidos e o laudo do laboratório levanta a hipótese da presença de anions não analisados.

Desse modo, como o que se almeja no estudo é a evolução relativa da química das águas subterrâneas a nível regional, optou-se pela utilização destas análises.

Os dados físico-químicos das águas de chuva de Ribeirão Preto foram relacionados à pluviometria para avaliação da variação da concentração salina das águas de recarga e serviram de base para o cálculo da carga total de sais existente nas precipitações.

Para a compreensão da variabilidade no comportamento de cada íon maior nas águas subterrâneas, estabeleceu-se a correlação entre estes e os parâmetros temperatura, pH e STD, através de regressão linear. Foram também elaboradas superfícies de tendências (programa TRENDSUP) com as relações rNa/rCa, rMg/rCa , $rCl/rHCO_3$ e itb.

Os resultados das análises físico-químicas serviram, ainda, para a execução do diagrama Piper de classificação das águas e de mapas de distribuição espacial dos diagramas de Stiff, resíduo seco a 105ºC e temperatura, o que permitiu uma visualização geral da hidroquímica do aqüífero.

Foi necessário, ademais, estudar o equilíbrio dos carbonatos nas águas, sendo calculados CO_2 livre, pressão de CO_2 (pCO_2), força iônica (I), pH de equilíbrio e índice de saturação

da calcita(ISC). Os cálculos foram realizados a partir de fórmulas classicas deduzidas das equações de equilíbrio das reações que ocorrem desde a dissolução do CO_2 na água com formação do ácido carbônico,dissociação deste em íons H^+, HCO_3^- e CO_3^{--} e ataque do $CaCO_3$ da rocha, quando disponível. As fórmulas utilizadas foram:

- CO_2 livre em mg/l: obtida de Tillmans (citado por Custódio & Llamas,1976).

$$\log CO_2 \cong 6 - pH + \log (1,589 \times HCO_3^{--})$$

onde

HCO_3^{--} = mg/l de HCO_3^{--}

- pCO_2 em atmosferas: a partir de Garrels e Christ (1965)

$$\frac{(H_2CO_3)}{pCO_2} = 10^{-1,47} \text{ a } 25°C$$

$$\log pCO_2 = 1,47 + \log a_{H_2CO_3}$$

onde

$a_{H_2CO_3} \cong m_{H_2CO_3}$ = molalidade CO_2 livre

- I: a partir de Garrels e Christ (1965)

$$I = \frac{1}{2000} \times \Sigma Z_i \times C_i$$

onde

Z_i = valência do íon i

C_i = concentração do íon i em meq/l

- pH_{eq}: cálculos deduzidos do gráfico de Hoover - Langelier (Custódio & Llamas,1976)

$$pH_{eq} \cong 0.1 \times \log C.E. - \log Ca^{++} - \log (HCO_3^- + CO_3^{--}) + 11,782$$

para águas com STD $\leq$ 1000 mg/l

onde

C.E. = condutividade elétrica, em µS/cm

Ca^{++} = mg/l Ca^{++}

HCO_3^- e CO_3^{--} = em mg/l $CaCO_3$

- ISC: de Langmuir e Shuster e White (citados por Gallo,1977)

$$ISC = pH - pH_{eq}$$

Em conclusão ao estudo hidroquímico, pesquisou-se o equilíbrio entre as águas subterrâneas e os silicatos das rochas, sendo elaborados diagramas de equilíbrio de plagioclásios, a partir de Tardy (1969).

Dados isotópicos

Os resultados isotópicos de oxigênio-18 e deutério das águas de chuva foram colocados em gráfico e calculada a função linear correspondente para comparação com a reta de águas meteóricas mundiais (Craig, 1961a). Foi também calculado o valor médio de $\delta^{18}O$ anual das chuvas em Ribeirão Preto e São Carlos, pela ponderação dos valores semanais destes isótopos em relação à precipitação acumulada. Estes valores foram comparados a outros, fornecidos pelo CENA, em Piracicaba, Ribeirão Preto e Mato Grosso do Sul, em diferentes períodos de observação. Os teores dos isótopos estáveis determinados nas águas subterrâneas foram então comparados aos das águas plu-

viais.

Os cálculos da porcentagem de carbono-14 moderno e da idade das amostras são efetuados a partir das atividades específicas determinadas, em relação a 0,95 da atividade específica do padrão de ácido oxálico NBS. A atividade específica do padrão é assim corrigida para torná-la equivalente àquela da madeira de 1890, antes da Revolução Industrial.

A porcentagem de carbono-14 moderno é dada pela expressão:

$$\% \, {}^{14}C = \frac{A}{0,95 \times A_p} \times 100 \left(1 \pm \frac{\sigma A^2}{A^2} + \frac{\sigma A_p^2}{A_p^2}\right)$$

onde

A e σA = atividade específica da amostra e seu desvio padrão, em dpm/g

Ap e σA_p = 14,24 ± 0,07 dpm/g

O cálculo da idade baseia-se na equação de decaimento radioativo:

$$A = A_p \, e^{-\lambda t}$$

isolando t,

$$t = \lambda^{-1} \ln \frac{A_p}{A}$$

onde:

t é a idade

λ, a constante de decaimento do carbono-14 = 8033 anos^{-1}

Desse modo, a idade máxima da amostra é:

$$t_{máx} = 8033 \times \ln \frac{(0,95 \times A_p) + \sigma A_p}{A - \sigma A}$$

e, a idade mínima:

$$t_{min} = 8033 \times \ln \frac{(0,95 \times A_p) - \sigma A_p}{A + \sigma A}$$

sendo então, a idade média, expressa por:

$$t = \frac{t_{máx} + t_{min}}{2} \pm \frac{t_{máx} - t_{min}}{2}$$

Os resultados isotópicos encontram-se reunidos no Anexo 3.

As idades das águas foram colocadas em mapa, juntamente com os resultados de oxigênio-18, e traçadas as isócronas.

As idades determinadas permitiram cálculos da velocidade aparente de circulação das águas (v) ao longo de linhas de fluxo. Aplicou-se, em seguida, a lei de Darcy para determinação da permeabilidade aparente do aqüífero (k), segundo a expressão:

$$k = \frac{v \times n}{i}$$

deduzida da combinação de

$$Q = k \times i \times S \text{ e } Q = v \times n \times S$$

onde

Q = vazão, em m^3/s

k = permeabilidade aparente, em m/s

i = gradiente hidráulico

S = área utilizada, em m^2

v = velocidade aparente, em m/s

n = porosidade eficaz do aqüífero

Os valores de k calculados foram comparados àqueles obtidos a partir de testes de bombeamento em poços, onde:

$$k = \frac{T}{b}$$

sendo

T = transmissividade do aqüífero, em m^2/s

b = espessura do aqüífero, em m.

Uma vez sistematizados e tratados os dados da pesquisa, foi possível proceder a sua interpretação em estreita conexão com os condicionamentos estruturais e hidráulicos do aaqüífero.

CAPÍTULO IV
APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

1. Geometria e Comportamento Hidráulico do Aqüífero Botucatu

O aqüífero Botucatu no estado de São Paulo estende-se sobre as camadas do Grupo Passa Dois, apresentando-se livre na borda leste da bacia do Paraná, na área de afloramento das Formações Pirambóia e Botucatu. Em direção à região central da bacia, a oeste, torna-se confinado, mergulhando sob os derrames basálticos da Formação Serra Geral, que por sua vez é recoberta pelos sedimentos do Grupo Bauru.

A base do aqüífero é praticamente impermeável, já que o Grupo Passa Dois funciona como aquiclude. Apresenta tendência geral de mergulho para oeste, com configuração semelhante a do topo (Prancha 2), descontada naturalmente a espessura total de deposição.

Os derrames basálticos que confinam o aquífero se comportam como um capeamento impermeável por quase toda sua extensão, a exceção principalmente das bordas da bacia onde a menor espessura da Formação Serra Geral e sua maior intensidade de fraturamento chegam a permitir a existência de fluxos descendentes.

A prancha 2 mostra a configuração do contorno estrutural do topo do aqüífero (Formação Botucatu), cujas altitudes da ordem de 600 metros à leste, na borda da bacia, vão declinando gradualmente rumo à calha do rio Paraná até valores de -600 metros, ao longo do eixo do vale do rio Tietê. A partir daí, a topografia torna-se mais acidentada: ao aumento gradual das altitudes no sentido noroeste até cotas de -400 metros, se contrapõem as depressões de Fernandópolis com -900 metros e do Pontal do Paranapanema com -1500 metros.

O gradiente regional médio desta superfície é da ordem de 6m/km, sendo que próximo aos alinhamentos estruturais do Tietê, Paranapanema e do alto estrutural de Bauru-Piratininga, junto à borda leste da bacia, observam-se gradientes de até 30m/km.

O mapa de isópacas das Formações Botucatu e Pirambóia (Prancha 3) apresenta a variação espacial da espessura do aqüífero Botucatu no estado. A partir das bordas da bacia, a norte e a leste,e da região elevada do arco de Ponta Grossa, a sul, onde as espessuras são da ordem de 100 metros, o espessamento do aqüífero se acentua, convergindo para a região do Baixo Tietê, até ultrapassar 400 metros. Forma-se aí um "embaciamento" elipsoidal em calha aberta para noroeste, rumo ao estado de Mato Grosso do Sul. Este comportamento geral é perturbado por uma anomalia estrutural positiva na região de Bauru-Piratininga, onde o adelgaçamento das camadas provoca, localmente, o seu desaparecimento. Na porção confinada, a espessura saturada do aqüífero varia entre 200 e 400 metros. Verifica-se que os alinhamentos estruturais do Tietê e Paranapanema,que influenciam o contorno estrutural do topo da Formação Botucatu,não afetam a configuração das espessuras do aqüífero.

A superfície potenciométrica dos níveis d'água do aqüífero, mostrada na prancha 4, apresenta-se inclinada para oeste, encontrando-se entre as altitudes de 600 a 800 metros em sua porção livre, chegando a valores inferiores a 400 metros nas vizinhanças do rio Paraná. Apresenta gradientes, próximo a sua porção livre,da ordem de 2m/km que diminuem para 0,5 m/km nas regiões de forte confinamento.

As direções e sentidos de fluxo das águas do aqüífero, observadas na prancha 4, são leste-oeste, a partir da porção livre do aqüífero e nordeste-sudoeste a partir do limite norte do estado (Rio Grande). Estas direções e sentidos confluem para uma resultante regional nordeste-sudoeste que acompanha o fluxo preferencial no eixo central da bacia do Paraná em direção a suas áreas de descarga ao sul da bacia. De acordo,portanto, com as observações apontadas por Gilboa et alii (1976).

O confinamento do aqüífero caracteriza condição de artesianismo em 90% da área. No extremo oeste do estado e nos vales situados topograficamente em cotas inferiores a 450 metros, aproximadamente, o nível potenciométrico está em alti

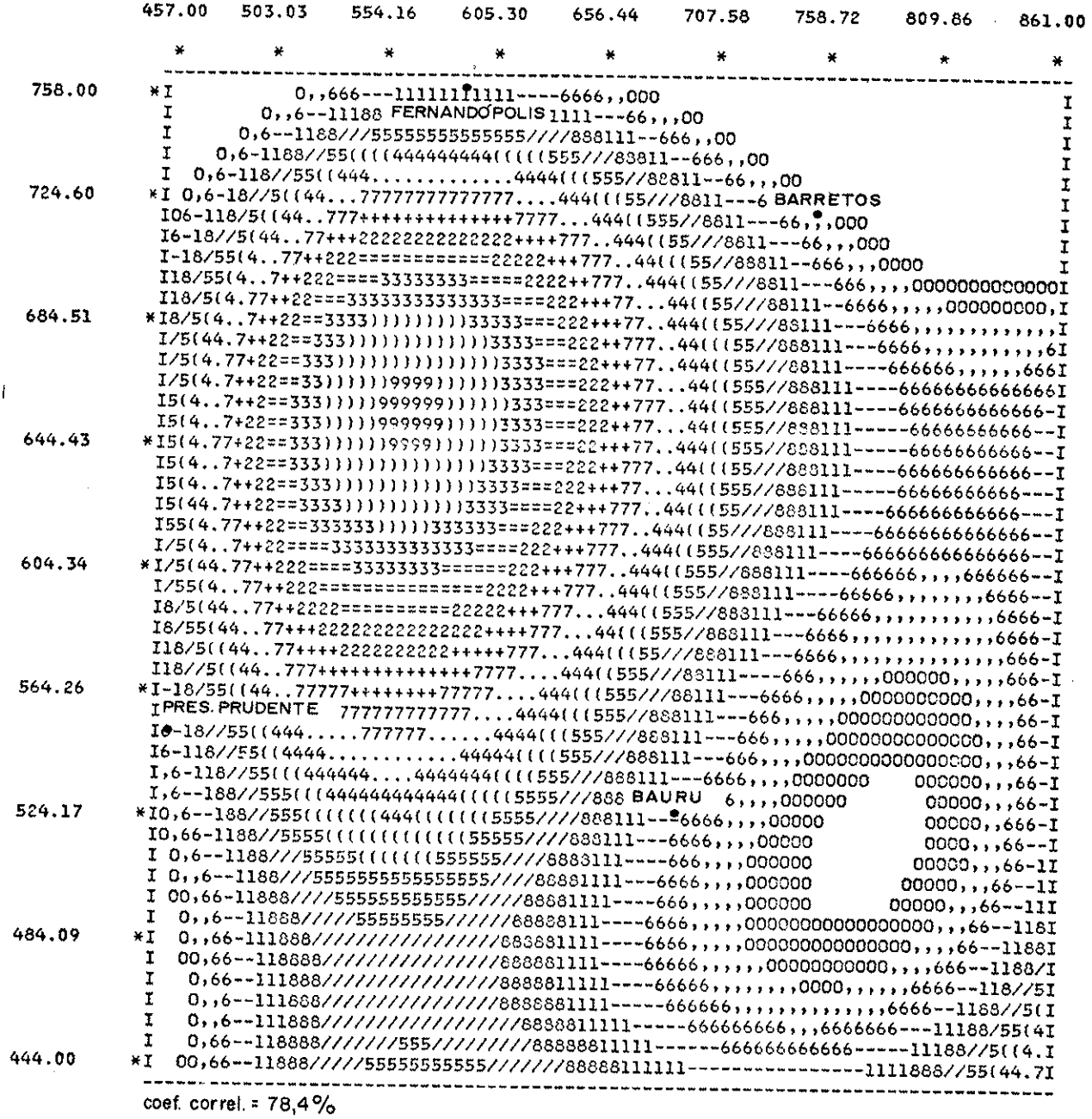
tude superior à do terreno, constituindo um domínio de surgência. No restante da área de confinamento o artesianismo não é surgente (Prancha 4).

Estas condições de cargas hidráulicas engendram zonas onde o nível potenciométrico do Botucatu está acima do nível d'água dos aqüíferos Bauru e Serra Geral, favorecendo fluxos verticais ascendentes. Estas zonas situam-se aproximadamente a oeste da linha isopotenciométrica 450, no domínio da área de artesianismo surgente. A leste desta linha, os níveis d'água destes dois aqüíferos são mais elevados que os do Botucatu, favorecendo um fluxo vertical no sentido descendente.

Quanto aos parâmetros hidráulicos do aqüífero, dos 115 dados de capacidade específica constantes do Anexo 1, 30% dos valores são inferiores a 1 $m^3/h/m$, 38% situam-se no intervalo entre 1 e 5 $m^3/h/m$ e o restante dos valores são superiores a 5 $m^3/h/m$. A maior incidência de valores inferiores a 5 $m^3/h/m$ é devida à deficiência construtiva dos poços e/ou ao fato destes poços serem parcialmente penetrantes. Em poços com características construtivas adequadas e totalmente penetrantes, os valores médios de capacidade específica são da ordem de 10 a 15 $m^3/h/m$, chegando a atingir 23 $m^3/h/m$ no poço recentemente construído em Lins (bombeado à vazão de 600 m^3/h).

O coeficiente de transmissividade obtido através de ensaios de bombeamento em poços varia de $4,7 \times 10^{-4}$ a $1,5 \times 10^{-2}$ m^2/s, predominando valores em torno de 10^{-3} m^2/s. A superfície de tendência de grau 3 de distribuição da transmissividade na área, elaborada a partir de 30 valores, pode ser vista na figura 3. Como se pode observar, as transmissividades tendem a se elevar para noroeste, respeitando de maneira geral o padrão de espessamento do aqüífero (Prancha 3).

Ademais, a homogeneidade litológica da camada aqüífera observada nos perfis de poços existentes leva a supor uma pequena variação dos valores do coeficiente de permeabilidade. O



LEGENDA DO MAPA

SIMBOLO	VALOR MAX	SIMBOLO	VALOR MAX
0	1.0000	.	11.0000
,	2.0000	7	12.0000
6	3.0000	+	13.0000
-	4.0000	2	14.0000
1	5.0000	=	15.0000
8	6.0000	3	16.0000
/	7.0000	)	17.0000
5	8.0000	9	18.0000
(	9.0000	*	19.0000
4	10.0000	$	ALEM

N

Figura 3 - Superfície de tendência de grau 3 de distribuição da transmissividade média (10^{-3} m^2/s) do aqüífero Botucatu.

coeficiente de permeabilidade aparente, calculado com base nos dados de transmissividade e espessura penetrada, situa-se entre 2,4 x 10^{-6} e 4,5 x 10^{-5} m/s.

Devido ao pequeno número de determinações em relação às dimensões da área e a sua má distribuição espacial, não é possível ainda a elaboração de mapas de transmissividade e permeabilidade, devendo o resultado da análise de tendência destes dados ser encarado como preliminar.

Ensaios de bombeamento realizados em poços de Bauru e Ribeirão Preto, pelo DAEE indicaram valores de coeficiente de armazenamento variando entre 2 x 10^{-4} e 4 x 10^{-5}. Estes valores refletem as condições de confinamento do aqüífero nestas áreas. A porosidade eficaz do aqüífero foi estimada pelo DAEE em 1974 para a região de Ribeirão Preto, a partir de resultados de análises granulométricas, situando-se entre 10 e 15%.

2. Composição e Evolução Química das Águas Subterrâneas

Características físicas e químicas das águas de chuva e subterrâneas

As análises físico-químicas de amostras de *água de chuva* de Ribeirão Preto, para o ano hidrológico 1981-1982 (Anexo 2) mostram que estas águas são muito pouco salinizadas, calco-magnesianas, com valores de condutividade elétrica variando de 1,5 a 31 µS/cm, pH entre 5 e 6, e os seguintes teores dissolvidos: cálcio entre 0,24 e 2,46 mg/l, magnésio entre 0,29 e 3,08 mg/l, sódio entre 0 e 0,6 mg/l, potássio entre 0 e 1 mg/l, sílica entre 0 e 2 mg/l e cloreto (4 amostras) entre 2,5 e 3 mg/l. Lamentavelmente, não foram analisados os anions sulfato e bicarbonato cuja presença é comum nas águas pluviais (Matthess, 1982).

A figura 4 compara a variação da salinidade da água com a pluviometria semanal correspondente. O aumento máximo dos teores salinos é observado na primavera, antes das precipitações mais intensas de verão ocorridas em janeiro quando, por diluição, estes teores atingem seus valores mínimos. A partir do outono a concentração salina das águas de chuva volta a aumentar gradualmente até o inverno, como mostra a tabela 1, obtida a partir das médias dos valores semanais.

Tabela 1 - Variação sazonal dos indicadores principais da salinidade das águas de chuva em Ribeirão Preto.

estação do ano	CE(µS/cm)	pH	Mg^{++}(mg/l)	Ca^{++}(mg/l)
Primavera 1981	14,46	5-6	1,88	1,26
Verão 1981-1982	5,80	5,0-5,5	0,54	0,40
Outono 1982	9,5	5,0-5,5	0,37	0,46
Inverno 1982	9,25	5,5	0,80	0,75

Este fato já havia sido constatado por Sinelli (1979) para a mesma região no ano hidrológico 1977-1978.

A carga total de sais contidos nas precipitações sazonais pode não respeitar estas diferenças observadas, já que há também variações da pluviometria em cada período. Para efeito de verificação foi calculada então, para cada estação do ano, a carga total de magnésio, cálcio e sólidos totais dissolvidos das precipitações, em uma área unitária de um quilômetro quadrado (Tabela 2). Os sólidos totais dissolvidos foram calculados, aproximadamente, a partir da fórmula STD= 0,65 x CE (Matthess, 1982).

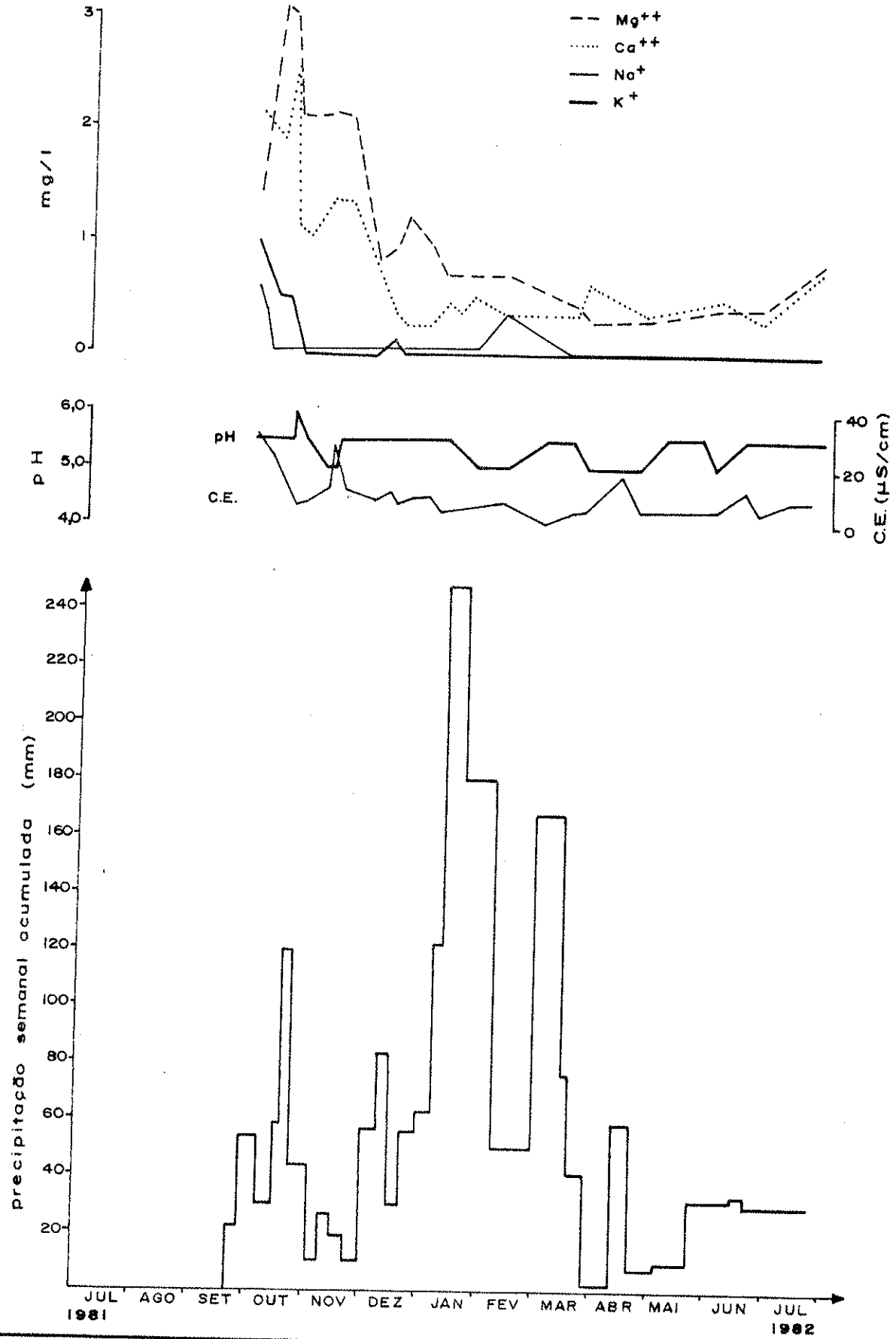


Figura 4 - Variação da salinidade das águas de chuva em Ribeirão Preto, no ano hidrológico 1981-1982.

Tabela 2 - Variação sazonal da carga total de sais das precipitações por km^2 em Ribeirão Preto.

estação do ano	precipitação acumulada (mm)	STD (mg/1)	carga total de sais (Kg/Km^2) Mg^{++}	Ca^{++}	STD
Primavera 1981	568,4	9,4	1060	716	5343
Verão 1981-1982	962,0	3,8	519	385	3656
Outono 1982	217,6	6,2	80	100	1349
Inverno 1982	60,1	6,0	48	45	360
Total Anual	1808,1		1707	1246	10708

Estes resultados demonstram que é de fato na primavera que ocorre a maior carga de sais provenientes das precipitações. Contestam no entanto a situação do verão. Nesta estação, a carga salina das chuvas é maior que no outono e inverno devido ao maior volume de suas precipitações.

Quanto às *águas subterrâneas*, os resultados físicos e químicos obtidos para 61 amostras (Anexo 2) mostram que estas águas são em geral fracamente salinas, com resíduo seco a 105°C inferior a 250 mg/1 em 84% das amostras, e atingindo, em apenas uma, 1212 mg/1 (Londrina, poço 176). O pH destas águas varia de 5,40 a 10,35 - portanto, de ácido a alcalino com predomínio de águas alcalinas.

A temperatura da água, medida na boca dos poços, assume valores de 22 a 25°C na porção aflorante, aumentando gradativamente com a profundidade de confinamento, chegando a atingir 63°C em Presidente Prudente (poço 87). Este aumento é devido ao grau geotérmico natural de 1°C/35 metros, como já foi observado por Teissedre e Barner (1981). A regressão linear (Figura 5) entre a profundidade do topo do aqüífero e a temperatura das águas, elaborada a partir dos dados deste trabalho, confirmam as observações dos autores citados.

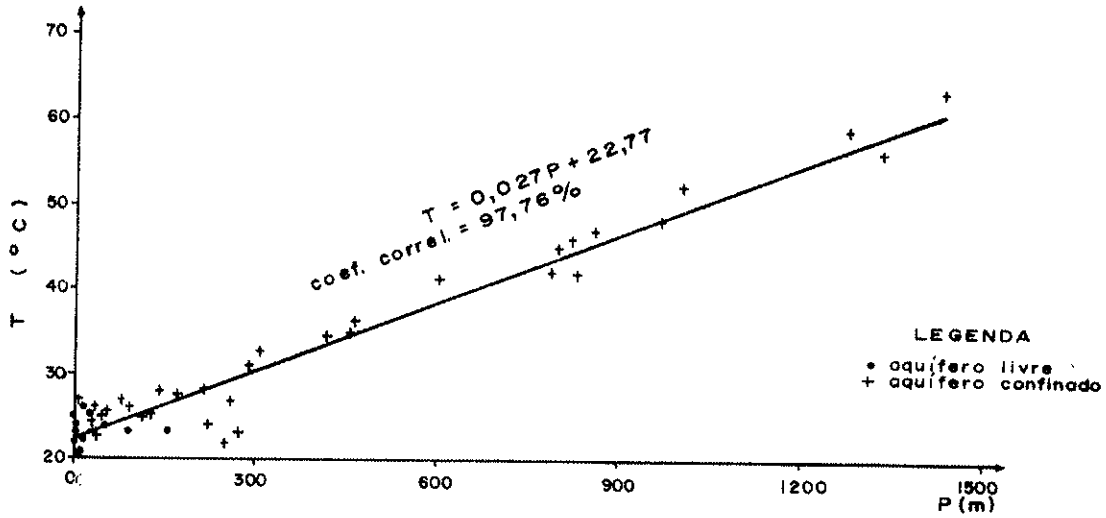
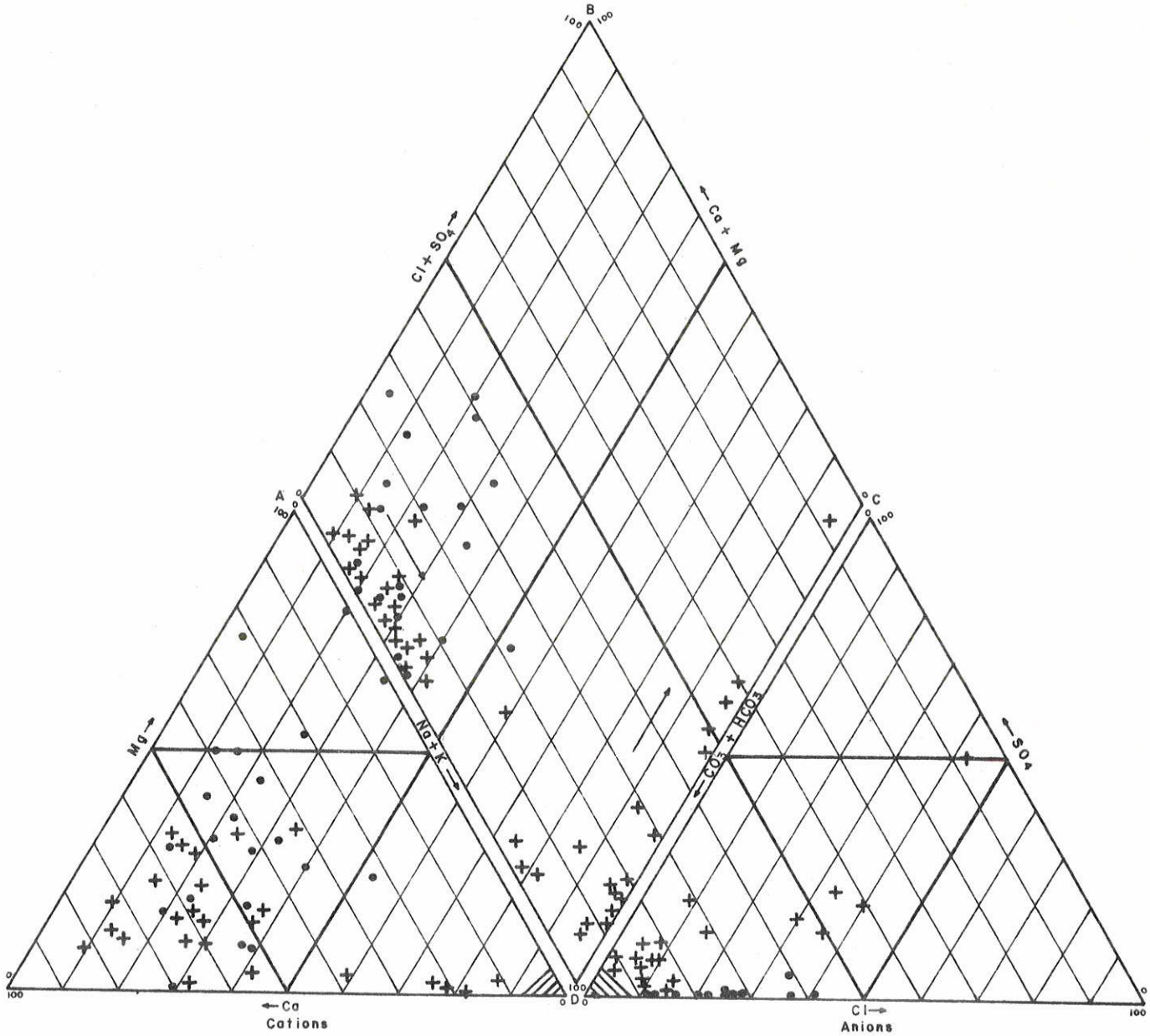


Figura 5 - Variação da temperatura da água subterrânea com a profundidade do topo do aqüífero Botucatu.

Quanto à dureza, na maioria das amostras as águas são brandas, sendo 25% pouco duras e 6% duras; em 52% dos casos, o teor de sílica é superior a 20 mg/l de SiO_2; o teor de nitrato é maior que 1 mg/l de N em apenas seis amostras e em duas a concentração de fluoreto é excessiva, superior a 10 mg/l de F (Presidente Prudente e Londrina). A variação dos íons maiores, será discutida no próximo item.

A figura 6 mostra a distribuição dos resultados químicos das análises no diagrama de Piper de classificação das águas. Neste diagrama observam-se dois campos principais de concentração de pontos, caracterizando duas famílias de águas: uma de águas predominantemente bicarbonatadas cálcicas e calco-magnesianas e outra de bicarbonatadas sódicas.

A família de *águas bicarbonatadas cálcicas e calco-magnesianas*, num total de 36 amostras, apresenta menor concentração de sais com valores de resíduo seco a 105°C sempre infe



LEGENDA

- ● Aquífero livre
- + Aquífero confinado
- ▨ Zona de concentração de pontos

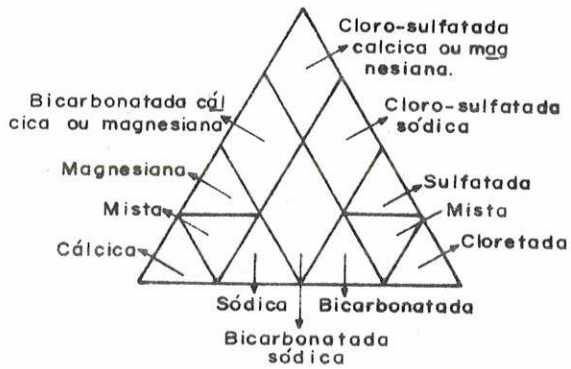


Figura 6 - Classificação das águas do aqüífero Botucatu segundo o diagrama de Piper. Teores em porcentagem de meq/l.

riores a 294 mg/l. A maior parte dos valores do pH é inferior a 7,5. Os teores de cálcio situam-se entre 0,04 e 2,51 meq/l, os de sódio entre 0,0 e 0,87 meq/l, os de potássio entre 0,02 e 0,17 meq/l e os de magnésio são sempre inferiores a 1,13 meq/l. Quanto aos anions, o bicarbonato apresenta valores superiores a 0,06 meq/l com um máximo de 3,16 meq/l, o carbonato possue valores inferiores a 0,04 meq/l, o sulfato é sempre menor que 0,21 e o cloreto que 0,31 meq/l.

Segundo a classificação proposta por Schoeller (1962), estas águas obedecem à seguinte seqüência de concentração dos íons maiores:

Para anions: $rHCO_3^- > rCl^- \gtrless r\,SO_4^{--}$

Para cátions: $rCa^{++} > rNa^+ \gtrless rMg^{++}$

A família das *águas bicarbonatadas sódicas*, num total de 18 amostras, apresenta valores de resíduo seco mais elevados compreendidos entre 61 e 650 mg/l. O pH destas águas é sempre alcalino, situando-se entre 8,15 e 10,35. Quanto aos cátions, o sódio varia de 0,56 a 9,79 meq/l;o cálcio apresenta valores entre 0,02 e 0,84 meq/l; o potássio entre 0,01 e 0,12 meq/l; o magnésio é sempre inferior a 0,08 meq/l. Nos anions, os teores de bicarbonato estão compreendidos no intervalo 0,66 a 3,40 meq/l, sempre associados aos íons carbonato, cujos teores são sempre inferiores a 2,9 meq/l; o sulfato apresenta concentração menor que 1,92 meq/l e o cloreto tem seus valores entre 0,01 e 3,75 meq/l.

Segundo a classificação de Schoeller (1962) tem-se que, para estes anions, a seqüência é semelhante a das águas bicarbonatadas cálcicas. Para os cátions a ordenação é a seguinte:

$rNa^+ > rCa^{++} > rMg^{++}$

Além destes tipos predominantes de águas consta-

tou-se a presença de quatro amostras de águas bicarbonatadas magnesianas, duas cloro-sulfatadas sódicas e uma sulfatada sódica. As primeiras apresentam concentração salina menor que as bicarbonatadas cálcicas. As demais são mais mineralizadas que a família de águas bicarbonatadas sódicas.

Comportamento do íons maiores

Para o estudo das causas e mecanismos que determinam a variação da composição química destas águas subterrâneas, as concentrações dos íons maiores foram relacionadas a parâmetros que refletem não só as características físicas e químicas globais das águas, como também sua evolução regional. Neste sentido foram escolhidos a temperatura, o pH e os sólidos totais dissolvidos (STD). A temperatura, por se relacionar linearmente com a profundidade do topo do aqüífero (Figura 5), podendo também por isso ser utilizada como parâmetro indicativo da distância à zona de afloramento; o pH por ser uma medida do grau de dissociação da água, suceptível de modificação quando varia a quantidade de substâncias dissolvidas; o STD por permitir a identificação de quais íons são responsáveis pelo aumento da salinidade da água, auxiliando na identificação de fenômenos modificadores. Estes parâmetros, correlacionados entre si, mostram comportamento interdependente: a elevação de cada um é associada à elevação dos outros dois (Figura 7). Este fato evidencia ainda, o aumento progressivo da carga de sais dissolvidos na água e sua tendência de alcalinização no sentido do fluxo subterrâneo.

Nas águas estudadas o *sódio* varia de 0 a 225 mg/l e o *potássio* de 0,1 a 6,5 mg/l. Os valores do coeficiente de correlação entre a soma destes cátions, a temperatura, o pH e o STD são sempre superiores a 89% (Figura 8). O íon sódio, muito mais abundante que o potássio, é altamente solúvel, liberando-se com facilidade dos minerais silicosos (feldspatos principalmente) e dos solos. Em águas naturais raramente atinge seu ponto de saturação, salvo quando se encontram presentes depósitos salinos. Por

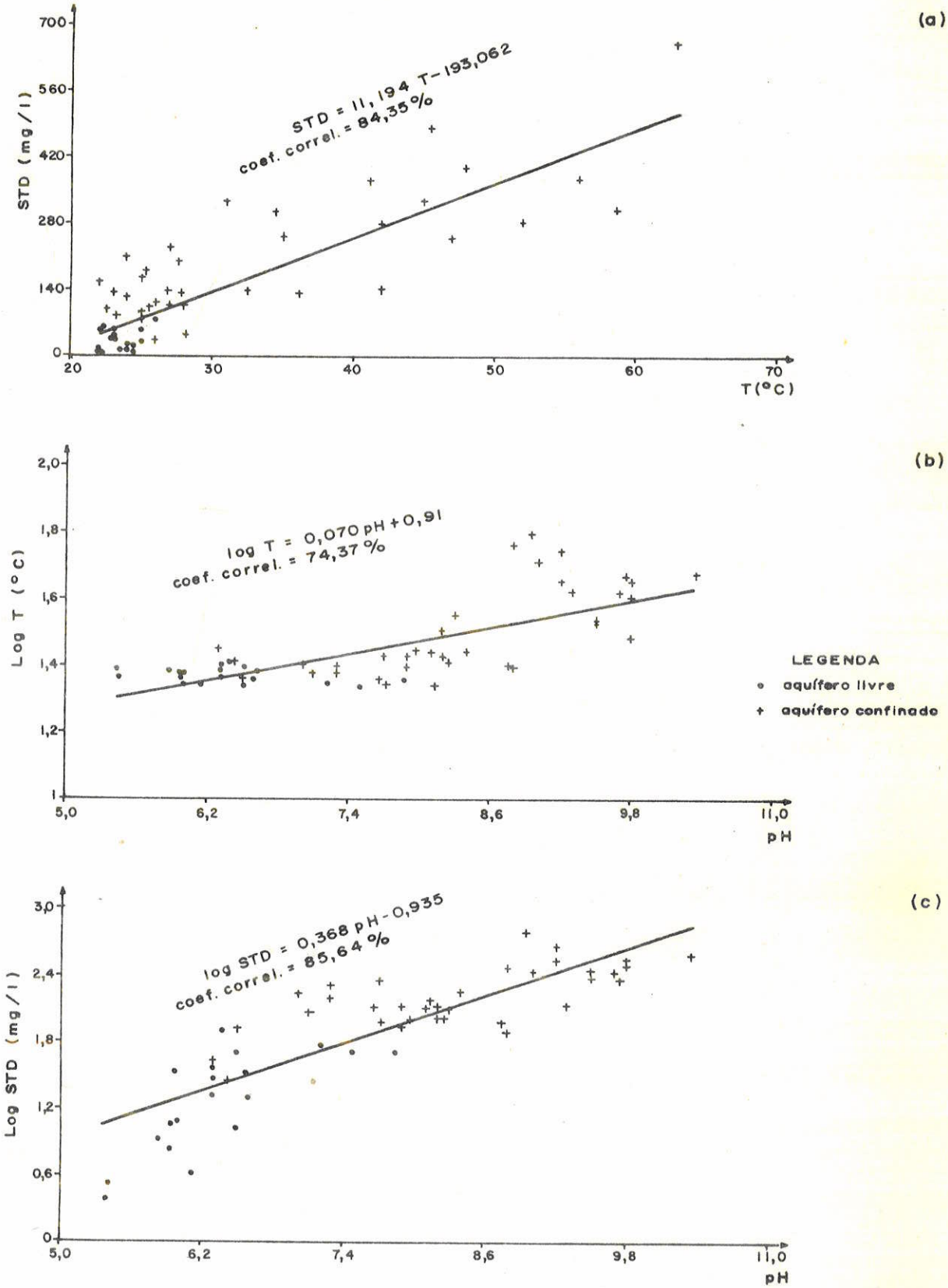


Figura 7 - Correlação entre parâmetros físico-químicos das águas do aqüífero Botucatu: a - Sólidos Totais Dissolvidos x Temperatura; b - logarítimo da Temperatura x pH; c - logarítmo dos Sólidos Totais Dissolvidos x pH.

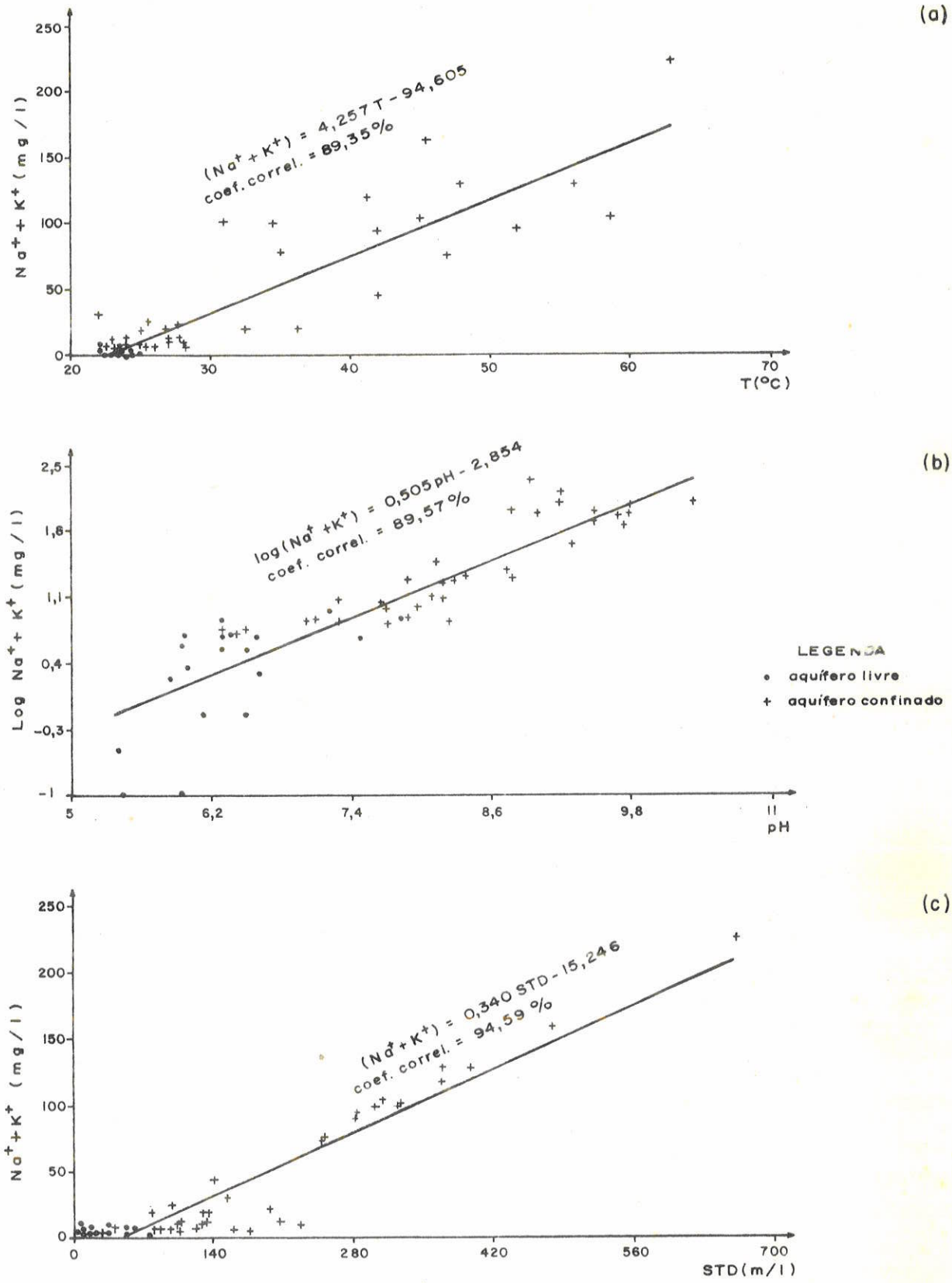


Figura 8 - Correlação entre parâmetros físico-químicos das águas do aqüífero Botucatu: a - Sódio + Potássio x Temperatura; b - logarítmo de Sódio + Potássio x pH; c - Sódio + Potássio x Sólidos Totais Dissolvidos.

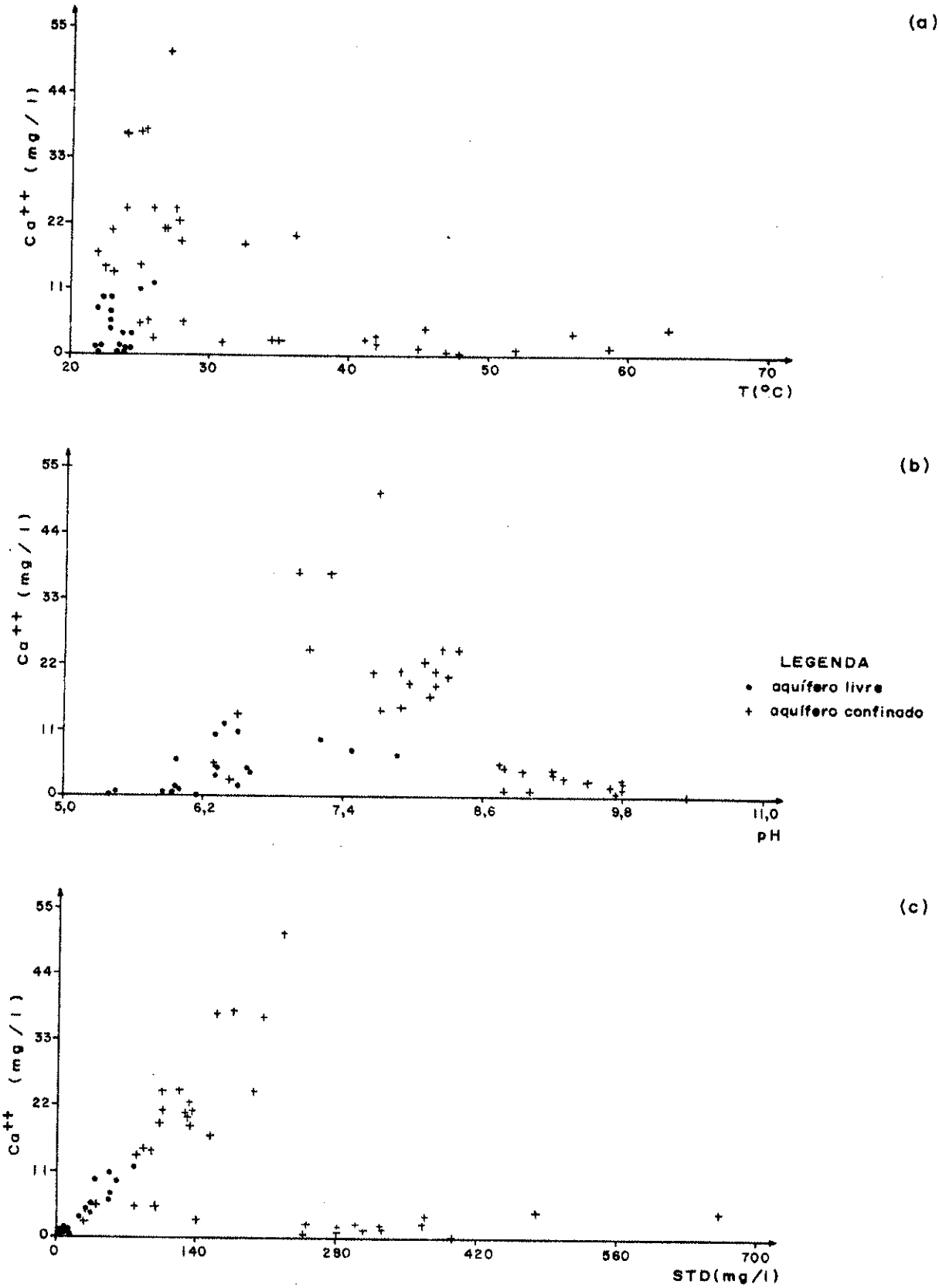


Figura 9 - Correlação entre parâmetros físico-químicos das águas do aqüífero Botucatu: a - Cálcio x Temperatura; b - Cálcio x pH; c - Cálcio x Sólidos Totais Dissolvidos.

esta razão, como observado, aumenta seus teores desde a zona de afloramento do aqüífero até suas porções mais confinadas, sendo responsável pelo aumento constante da salinidade das águas do ponto de vista catiônico.

O ion *cálcio* apresenta em geral teores baixos, sempre inferiores a 50,4 mg/l, e correlações muito baixas com os parâmetros temperatura, pH e STD (Figura 9). Observa-se, entretanto, em relação ao aumento destes três parâmetros, uma tendência geral de diminuição dos teores de cálcio. Nas figuras 9a e 9c, pode-se constatar que seus teores aumentam até um valor máximo, acompanhando o aumento da temperatura e STD, caindo bruscamente, em seguida, para valores menores que 5 mg/l. A figura 9c mostra claramente estes dois padrões bem definidos de comportamento deste íon. Até valores de STD da ordem de 250mg/l há um acréscimo de cálcio, baixando então para valores menores e praticamente constantes. O aumento do STD é acompanhado pelo aumento linear do cálcio (Figura 10) apenas na fase inicial da concentração salina das águas subterrâneas, devendo ser proveniente das águas de chuva e/ou da provável dissolução de plagioclásios e de minerais secundários dos basaltos, como a calcita.

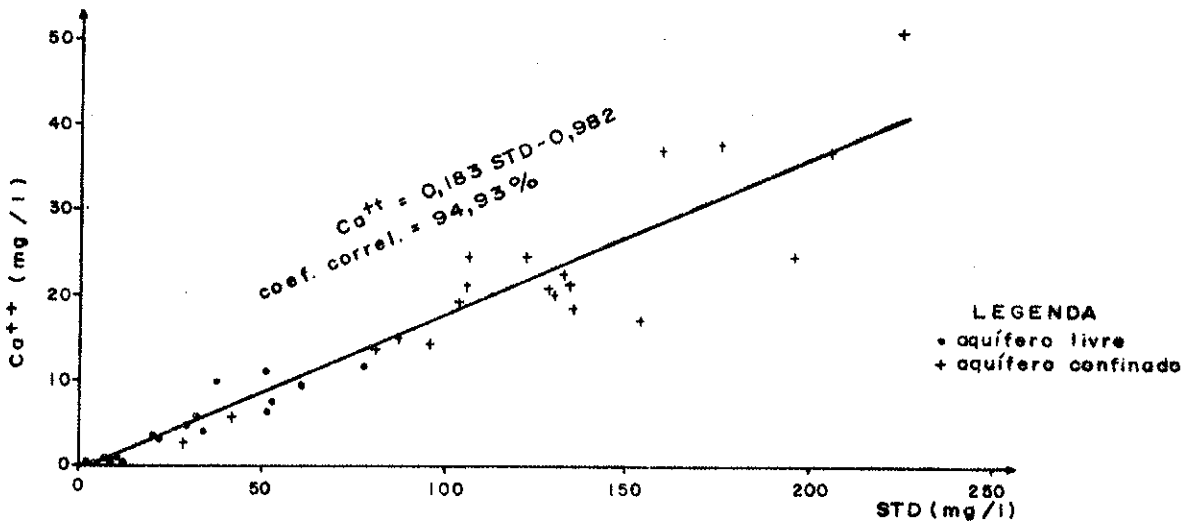


Figura 10 - Variação do Cálcio com os Sólidos Totais Dissolvidos nas águas do aqüífero Botucatu, em condições de sistema aberto.

A variação do íon *magnésio*, oriundo das águas de chuva e possivelmente da dissolução dos piroxênios dos basaltos, apresenta grande similaridade com a do cálcio. Seus teores menos elevados, entre 0 e 13,7 mg/l, de maneira geral diminuem com o aumento da temperatura, pH e STD (Figura 11). Embora sua concentração se eleve inicialmente a partir da porção livre do aqüífero, isto só pode ser observado com clareza na figura 11b, em que o parâmetro de comparação é o pH. Neste caso atinge seu teor mais elevado quando o pH é da ordem de 7.

O anion predominante nas águas do aqüífero Botucatu é o *bicarbonato*, proveniente do CO_2 presente nos solos combinado com a água. É praticamente o único anion presente no aqüífero desde a recarga em quantidades significativas. O íon *carbonato* torna-se detectável a partir da elevação do pH acima de 8,3. Nas águas do aqüífero Botucatu este íon e o bicarbonato são responsáveis pelo principal aumento do STD, no que diz respeito aos anions. O bicarbonato varia de 1 a 170 mg/l e o carbonato de 0 a 145 mg/l, e sua soma apresenta boas correlações com a temperatura, pH e STD como mostra a figura 12.

O íon *cloreto*, presente em pequenas quantidades nas águas das regiões de afloramento do aqüífero, aumenta gradualmente com a elevação da temperatura, do pH e do STD (Figura 13), até alcançar teores maiores que 100 mg/l na porção confinada. Suas melhores correlações são com a temperatura e o STD (maior que 75%). Pode ser originário de duas fontes: precipitação meteórica e/ou dissolução das micas (sericita e biotita-presentes em pequenas quantidades nas Formações Botucatu e Pirambóia e cloritas-minerais secundários de alteração dos basaltos). A alta solubilidade do cloreto e o longo tempo de permanência das águas no aqüífero vão provocando a concentração gradativa e constante de seus teores nas águas subterrâneas.

O íon *sulfato* não foi encontrado na porção livre do aqüífero, talvez por não apresentar teores passíveis de serem detectados pelos métodos analíticos utilizados. Sua ocorrência aumenta lentamente no sentido do confinamento do aquífero, até

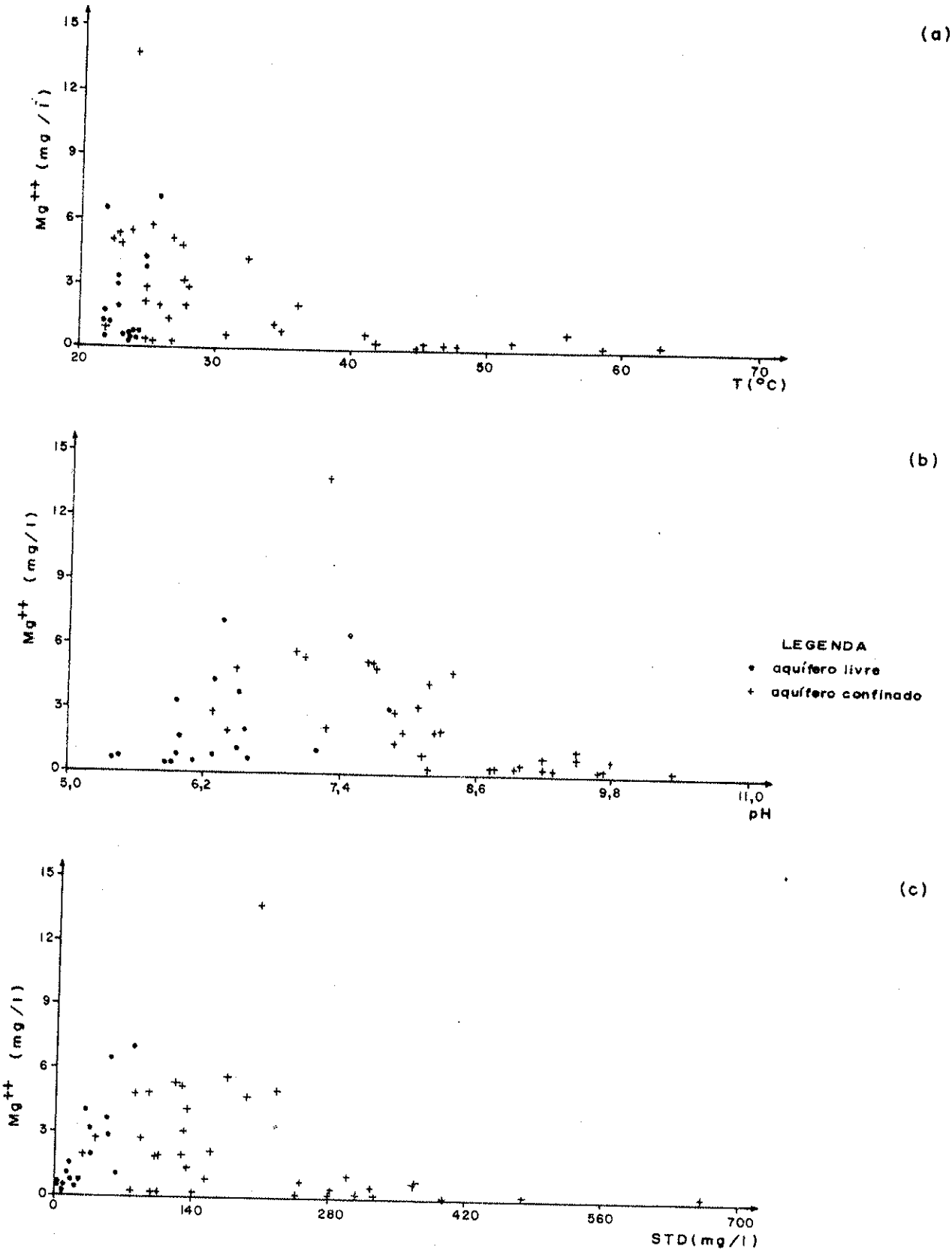


Figura 11 - Correlação entre parâmetros físico-químicos das águas do aqüífero Botucatu: a - Magnésio x Temperatura; b - Magnésio x pH; c - Magnésio x Sólidos Totais Dissolvidos.

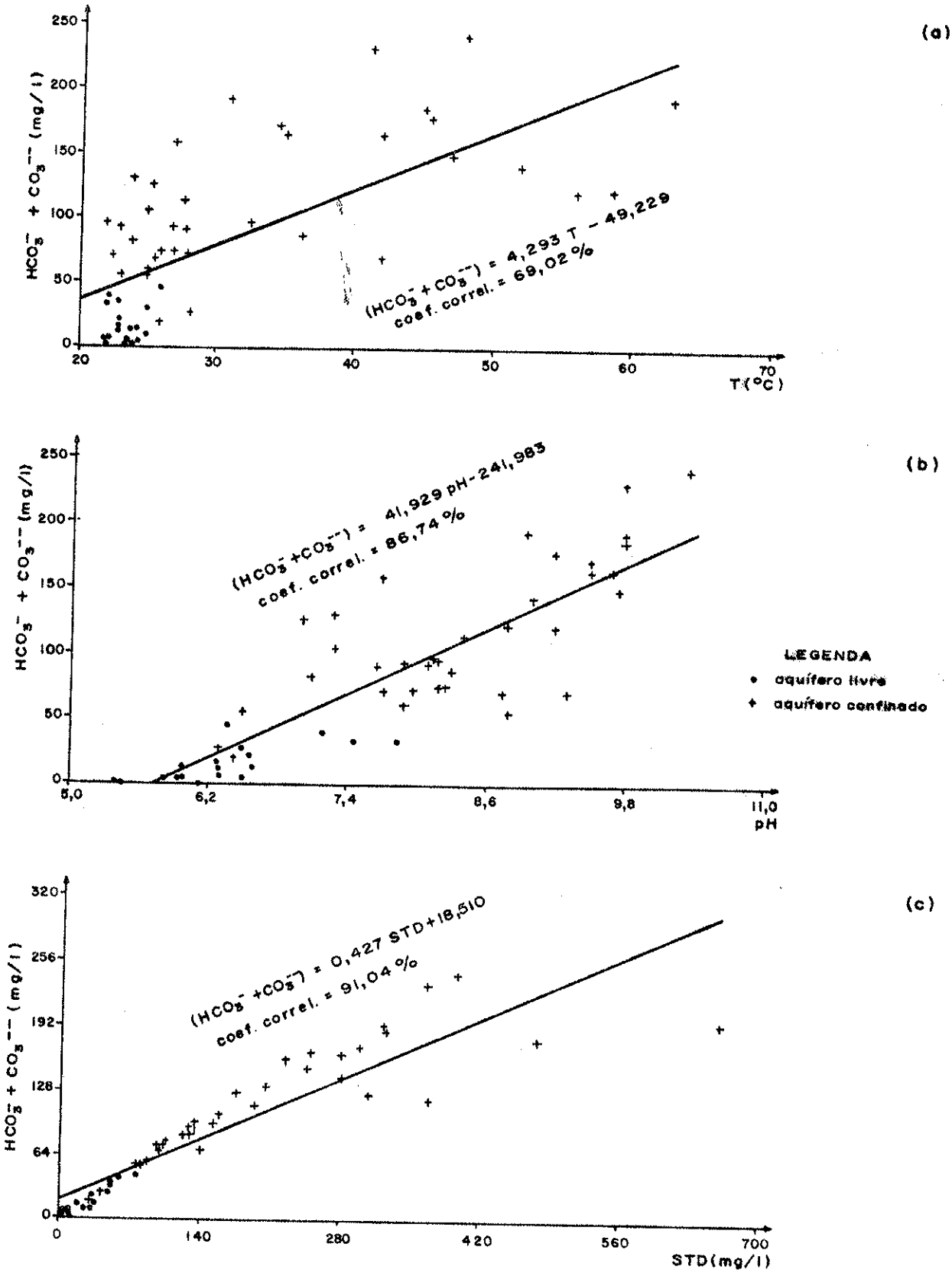


Figura 12 - Correlação entre parâmetros físico-químicos das águas do aqüífero Botucatu: a - Bicarbonato + Carbonato x Temperatura; b - Bicarbonato + Carbonato x pH; c - Bicarbonato + Carbonato x Sólidos Totais Dissolvidos.

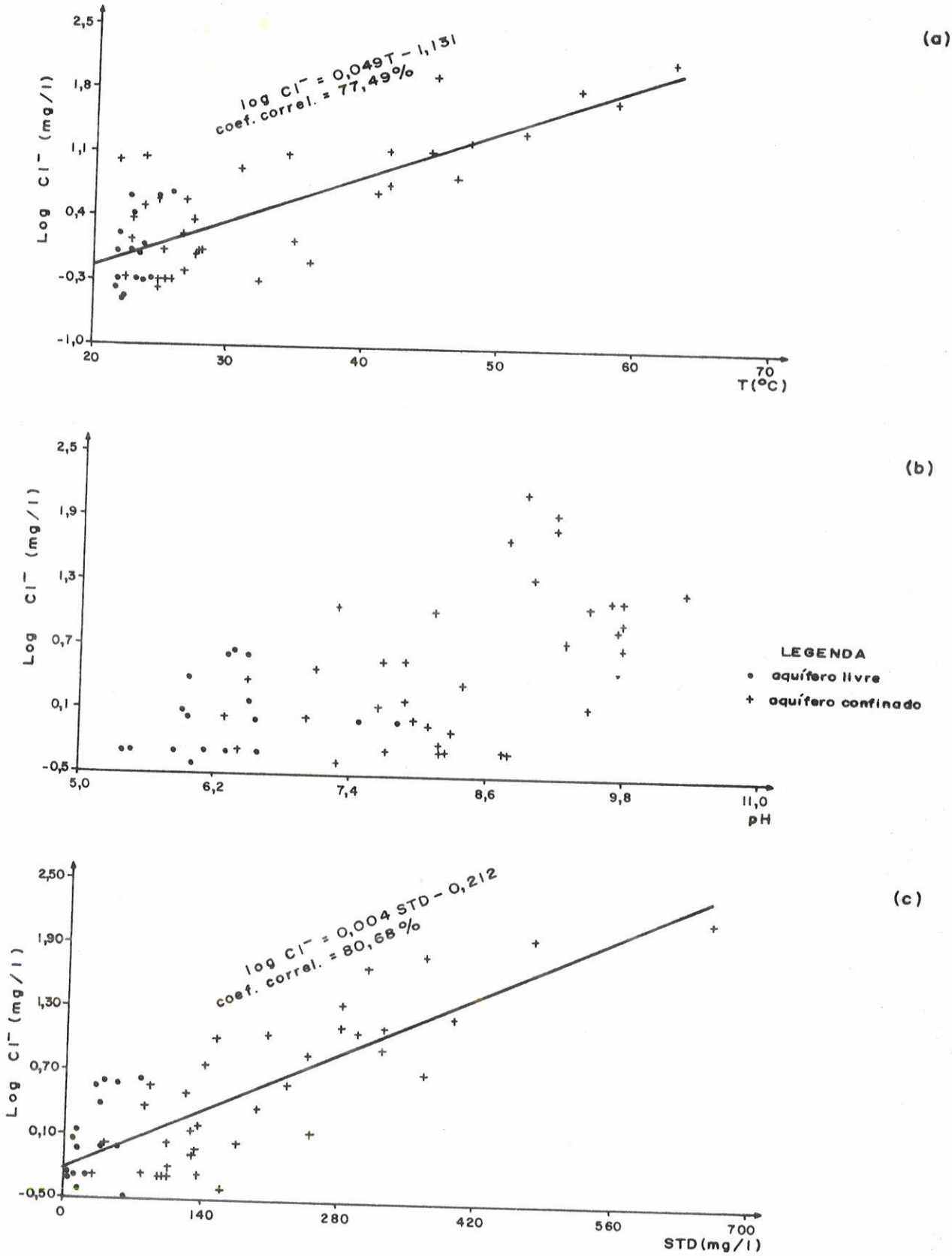


Figura 13 - Correlação entre parâmetros físico-químicos das águas do aqüífero Botucatu: a - logarítmo do Cloreto x Temperatura; b - logarítmo do Cloreto x pH; c - logarítmo do Cloreto x Sólidos Totais Dissolvidos.

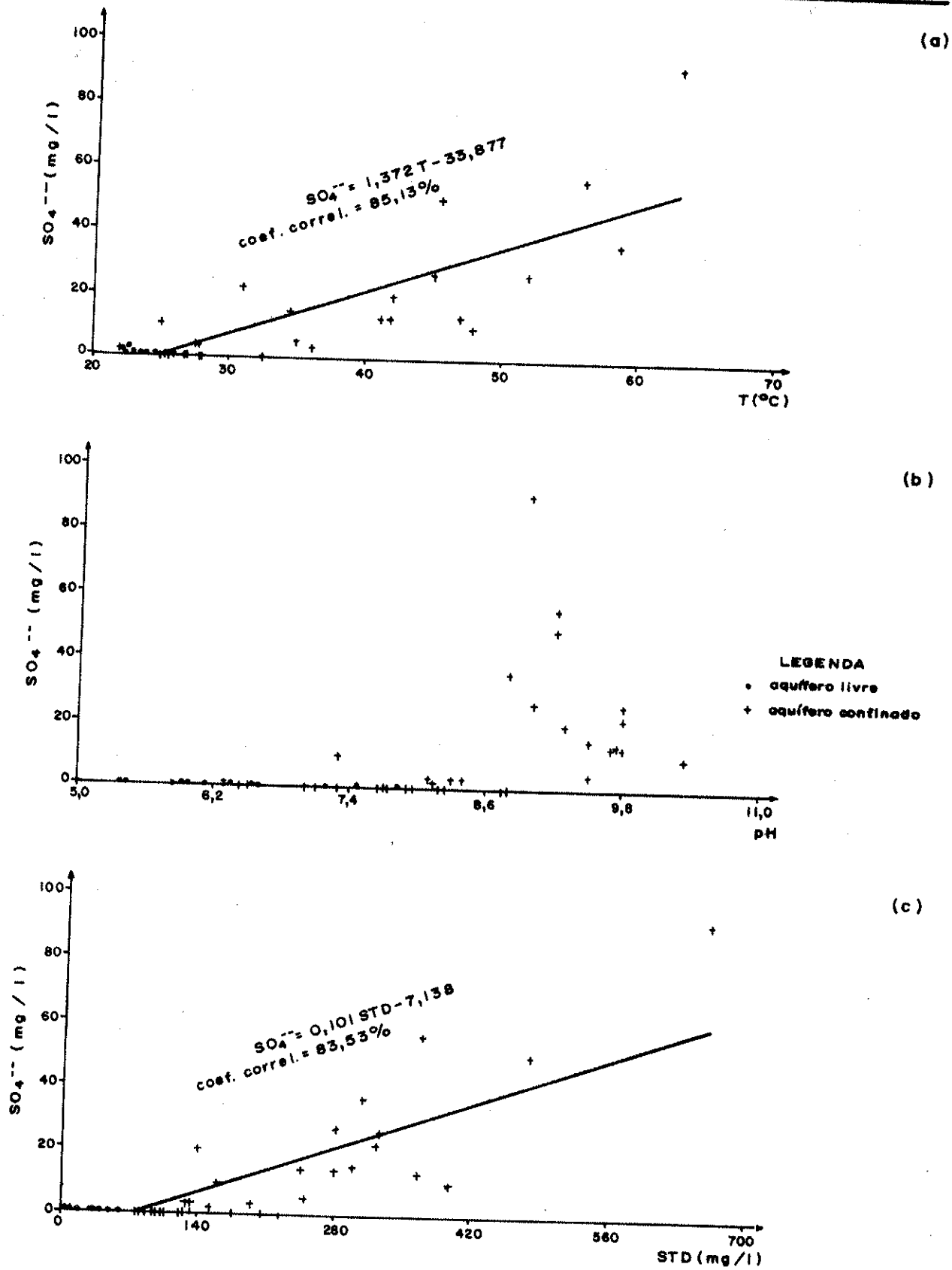


Figura 14 - Correlação entre parâmetros físico-químicos das águas do aqüífero Botucatu: a - Sulfato x Temperatura; b - Sulfato x pH; c - Sulfato x Sólidos Totais Dissolvidos.

alcançar o teor máximo de 92 mg/l. A elevação de seus teores mostra-se bem correlacionada com o aumento da temperatura e do STD e é péssima com o pH (Figura 14). Sendo um íon muito solúvel é provável que seus teores aumentem por concentração a partir das águas de chuvas,e por dissolução de sulfetos que podem ocorrer em pequenas quantidades nos basaltos (Rüegg,1975).

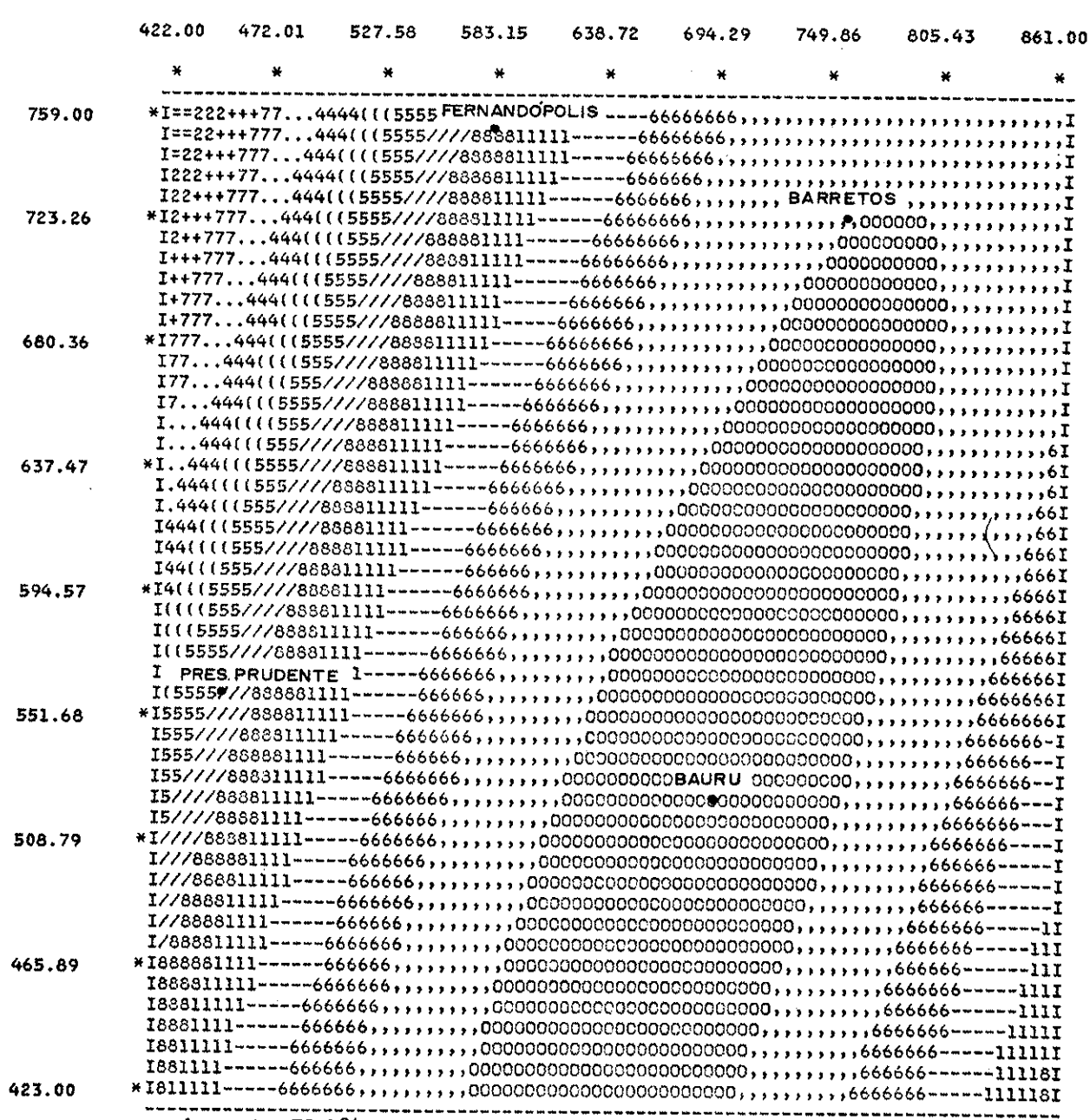
Neste estudo do comportamento dos íons maiores,os resultados físico-químicos referentes à amostra de Londrina (poço 176) não foram considerados porque distorceriam as correlações efetuadas, já que são excessivamente elevados e anômalos.

Estudo das relações iônicas

As relações iônicas calculadas (Anexo 2) forneceram subsídios adicionais importantes para a compreensão do quimismo das águas do aqüífero Botucatu. Assim, as relações rK/rNa, $rCl/rHCO_3$ e rSO_4/rCl servem como medida do grau de salinização das águas. Já as relações rNa/rCa, rMg/rCa e o índice de troca de bases (itb) são úteis para a indicação de fatores modificadores que ocorram no interior do aqüífero.

A *relação rK/rNa* varia de 0,003 a 3,72, tendendo a diminuir,com o aumento do tempo de residência das águas subterrâneas, no sentido do maior confinamento do aqüífero.Deste modo, quanto maior a salinização das águas, menor o valor desta relação, já que o potássio é mais facilmente fixado nas rochas percoladas (Custódio & Llamas, 1976).

As *relações* $rCl/rHCO_3$ *e* rSO_4/rCl apresentam comportamento inverso, ou seja, seus valores predispõem-se a aumentar com a concentração salina das águas no sentido preferencial do fluxo subterrâneo. A primeira varia de 0 a 1,10, dentro do intervalo característico das águas continentais, e a segunda de 0 a 2,84. A superfície de tendência de grau 2 de distribuição da relação $rCl/rHCO_3$ demonstra exatamente este aumento no sentido oeste-noroeste do aqüífero (Figura 15), acompanhando seu maior



LEGENDA DO MAPA

SIMBOLO	VALOR MAX	SIMBOLO	VALOR MAX
0	0.1000	.	1.1000
,	0.2000	7	1.2000
6	0.3000	+	1.3000
-	0.4000	2	1.4000
1	0.5000	=	1.5000
8	0.6000	3	1.6000
/	0.7000	)	1.7000
5	0.8000	9	1.8000
(	0.9000	*	1.9000
4	1.0000	$	ALEM

N

Figura 15 - Superfície de tendência de grau 2 de distribuição da relação $rCl/rHCO_3$ nas águas do aqüífero Botucatu.

confinamento.

A tabela 3 compara a variação das relações rK/rNa, $rCl/rHCO_3$ e rSO_4/rCl com o aumento da salinidade das águas.

Tabela 3 - Variação das relações rK/rNa, $rCl/rHCO_3$ e $rSO_4/$ rCl com o aumento dos Sólidos Totais Dissolvidos nas águas subterrâneas.

STD (mg/l)	rK/Na	$rCl/rHCO_3$	$rSO_4/$ RCl
0-50	0,47 - 3,72	0 - 0,71	0
50-100	0,01 - 0,85	0,01 - 0,19	0 - 1,85
100-300	0,003 - 1,70	0 - 0,30	0 - 2,84
> 300	0,003 - 0,01	0,08 - 1,10	0,43 - 2,04

A *relação rMg/rCa* tem sua variação (entre 0 e 3,30) ilustrada na figura 16 através da superfície de tendência de grau 2 de distribuição dos valores na área estudada. Seus maiores valores situam-se a leste onde o aqüífero é livre. Diminuem para noroeste atingindo índices mínimos na porção central da bacia do Paraná no estado. Para além da região de recarga, onde a influência do magnésio das águas meteóricas é grande, independentemente dos processos físico- químicos ocorridos no interior do aqüífero, a quantidade de cálcio em solução é sempre proporcionalmente maior que a de magnésio, dominando então na zona confinada valores menores que 1,00 para a relação entre os dois cátions.

As figuras 17 e 18 apresentam, respectivamente, as superfícies de tendência de grau 3 de distribuição da relação rNa/rCa e do índice de troca de bases. A *relação rNa/rCa* aumenta no sentido noroeste onde está circunscrita uma área com seus

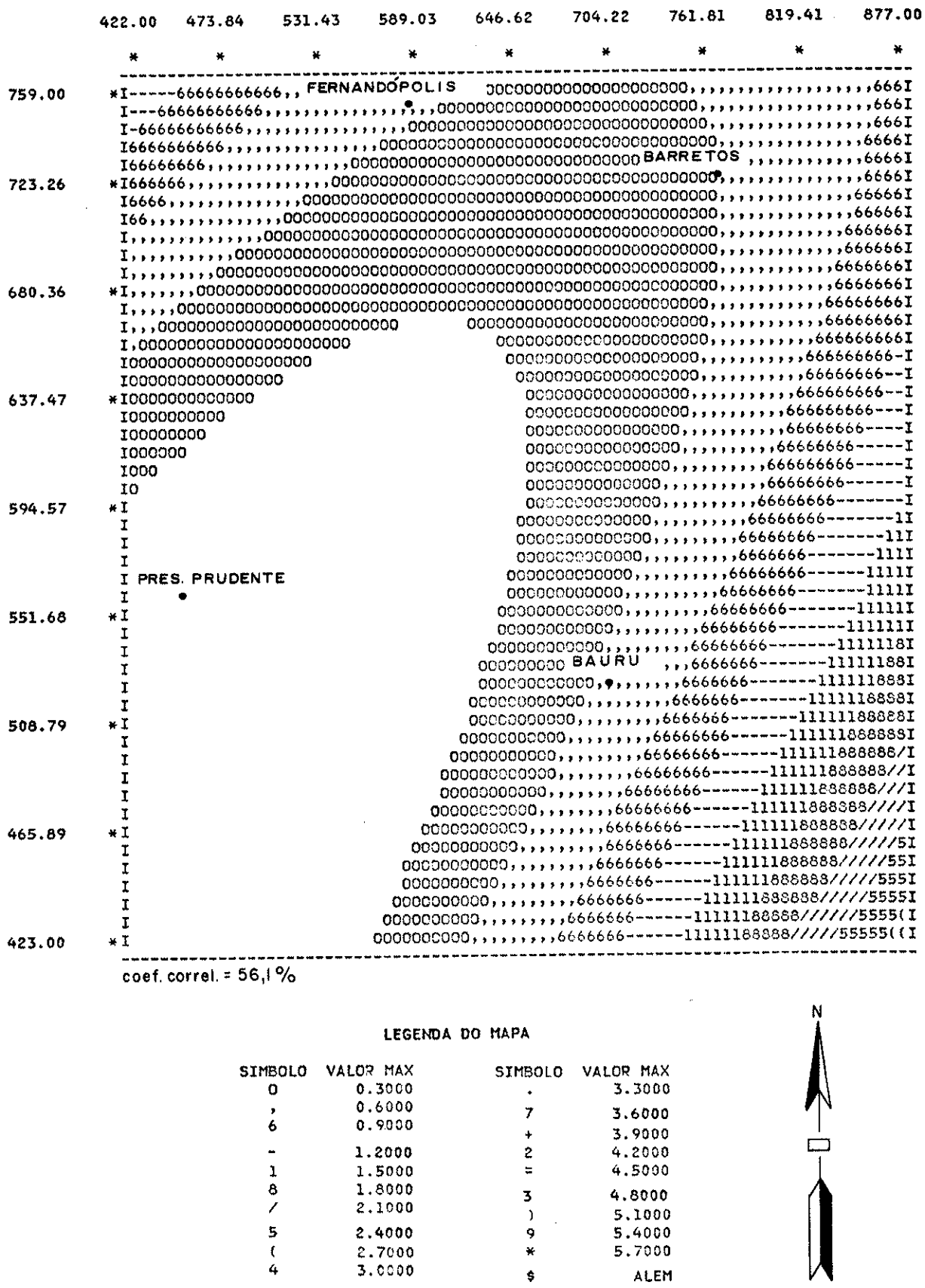


Figura 16 - Superfície de tendência de grau 2 de distribuição da relação rMg/rCa nas águas do aqüífero Botucatu.

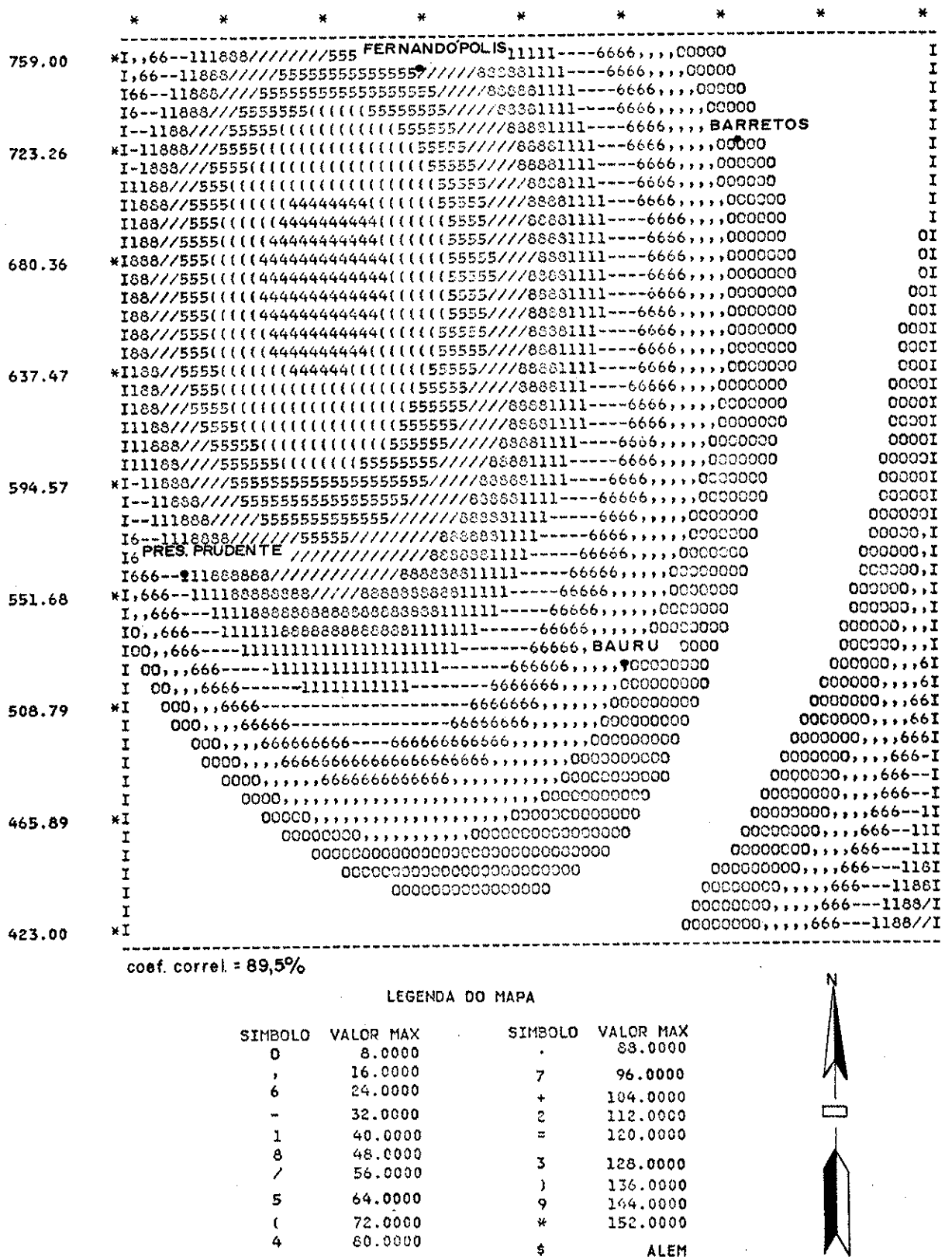
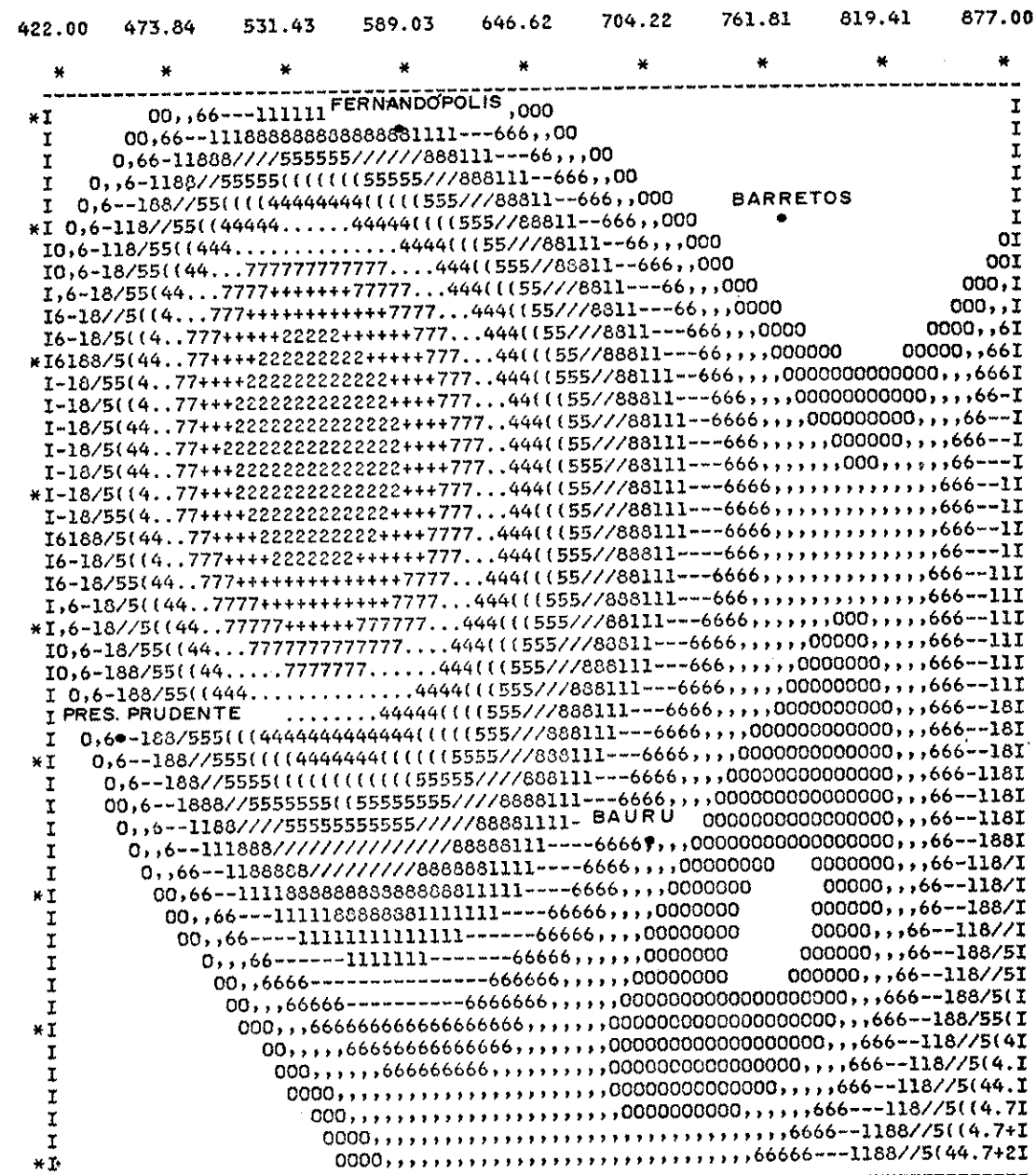


Figura 17 - Superfície de tendência de grau 3 de distribuição da relação rNa/rCa nas águas do aqüífero Botucatu.



LEGENDA DO MAPA

SIMBOLO	VALOR MAX	SIMBOLO	VALOR MAX
0	-0.3000	.	-3.3000
,	-0.6000	7	-3.6000
6	-0.9000	+	-3.9000
-	-1.2000	2	-4.2000
1	-1.5000	=	-4.5000
8	-1.8000	3	-4.8000
/	-2.1000	)	-5.1000
5	-2.4000	9	-5.4000
(	-2.7000	*	-5.7000
4	-3.0000	$	ALEM

Figura 18 - Superfície de tendência de grau 3 de distribuição do índice de troca de bases (itb) nas águas do aqüífero Botucatu.

maiores valores, que são da ordem de 80. Já o *índice de troca de bases (itb)*, apesar de tornar-se cada vez mais negativo neste sentido até atingir -2,77, determina uma conformação da sua superfície de tendência semelhante a da relação rNa/rCa.

O aumento da relação rNa/rCa e a diminuição do índice de troca de bases podem significar dois fenômenos: a existência de troca de bases (o cálcio das águas é retido pelas argilas que o faz liberando sódio) e/ou precipitação de calcita no interior do aqüífero.

Evolução hidroquímica regional

A evolução hidroquímica das águas do aqüífero Botucatu no estado de São Paulo é norteada por fenômenos modificadores que determinam um comportamento diferenciado para os íons maiores.

A distribuição espacial da composição química das águas amostradas (Pranchas 5 e 6) permite visualizar uma variação na concentração e na predominância de cada um dos íons maiores, associada à distância em relação à área de afloramento do aqüífero. A partir daí dois domínios podem ser delimitados espacialmente, correspondendo às famílias de águas identificadas no diagrama de Piper (Figura 6):

- águas bicarbonatadas magnesianas, calco-magnesianas e cálcicas, situadas a leste, na porção livre do aqüífero e em uma faixa contígua de cerca de 60 quilômetros.

- águas bicarbonatadas sódicas e cloro-sulfatadas sódicas na região de maior confinamento do aqüífero, à oeste.

Esta diferenciação da composição química é acompanhada por um aumento gradual, para sudoeste, do teor de sais das águas (Prancha 7) e do seu pH, sendo influenciada pela pressão

de confinamento, elevação da temperatura (devida ao grau geotérmico natural-Prancha 8) e pela direção e sentido preferenciais de fluxo (Prancha 4).

Na porção livre do aqüífero as águas subterrâneas são pouco mineralizadas, apresentando resíduo seco inferior a 100 mg/l (Prancha 7) e força iônica variando entre 0,06 e 1,96 x x 10^{-3} (Tabela 4). Sua composição química é diretamente influenciada por aquela das águas de recarga (precipitações), gerando águas com pH ácido e dominância dos cátions magnésio e cálcio. Por outro lado, no caminho de percolação das águas de chuva através dos solos, o CO_2 atmosférico dissolvido nestas soma-se ao CO_2 de origem biogênica existente nos solos.

Na água subterrânea o CO_2 total dissolvido se apresenta sob a forma de CO_2 livre (CO_2 + H_2CO_3) e CO_2 combinado (HCO_3^- e CO_3^{--}) de acordo com as seguintes reações:

$$CO_2 \text{ gás} \rightleftharpoons CO_2 \text{ dissolvido}$$

$$CO_2 \text{ dissolvido} + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$$

$$H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$$

$$HCO_3^- \rightleftharpoons H^+ + CO_3^{--}$$

O CO_2 livre nesta área atinge valores de 36,3 mg/ l com correspondente pressão de CO_2 de 2,44 x 10^{-2} atmosferas (Tabela 4).

A dissociação do H_2CO_3, segundo as reações acima, fornece íons H^+ (dando caráter ácido às águas subterrâneas com pH sempre inferior a 6,6) e bicarbonato nesta porção do aqüífero. Graças à acidez dessas águas, o íon CO_3^{--} estará presente em quantidades desprezíveis.

Ainda nesta área, no que diz respeito aos demais íons maiores, o cloreto e o sódio aparecem em baixas concentrações-compatíveis com as das precipitações - e o sulfato encon-

Tabela 4 - Parâmetros e índices físicos e químicos das águas subterrâneas calculados: a- CO_2 livre: b- pressão de CO_2; c- força iônica; d- pH de equilíbrio; e- índice de saturação da calcita.

Nº de Ordem	Código de origem	(a) CO_2 livre (mg/l)	(b) $pCO_2 \times 10^{-2}$ (atm)	(c) $I \times 10^{-5}$	(d) pH eq.	(e) ISC
8	31/36	0,18	0,01	4,79	9,39	-0,38
9	33/45	0,28	0,02	5,25	9,29	-0,48
10	33/49	0,10	0,007	6,62	8,92	0,28
11	57/1	0,03	0,002	4,27	9,48	0,26
17	74/215	0,04	0,003	4,81	9,13	0,57
18	74/216	0,04	0,003	2,53	9,21	0,09
22	81/16	0,03	0,002	1,03	9,35	-0,05
23	96/9	0,05	0,003	4,40	8,94	0,56
24	98/11	0,82	0,05	2,49	8,27	0,03
25	98/13	1,30	0,09	2,67	8,31	-0,16
29	100/20	13,68	0,92	0,53	9,72	-1,47
34	100/117	0,81	0,05	2,25	8,25	-1,81
39	101/5	36,35	2,44	1,80	8,76	-2,38
44	115/1	0,06	0,004	5,22	8,92	0,57
46	118/24	4,28	0,28	3,32	8,09	-0,50
49	119/9	11,21	0,75	0,68	9,47	-2,88
50	119/11	1,16	0,08	2,58	8,26	-0,06
52	121/7	9,71	0,65	0,83	9,78	-3,47
54	121/11	17,77	1,19	1,26	8,97	-2,47
56	121/14	13,60	0,91	0,42	9,77	-3,46
59	135/5	0,03	0,002	6,79	8,82	0,98
61	139/10	3,82	0,26	2,59	8,23	-0,57
62	139/11	0,04	0,003	5,43	8,94	0,86
65	141/14	12,63	0,85	4,62	7,86	-0,55
66	142/2	0,93	0,06	1,05	9,10	-1,24
76	145/1	6,81	0,46	0,39	9,76	-3,15
79	165/5	2,87	0,19	0,07	-	-
80	166/33	26,22	1,76	0,86	9,29	-2,98
83	167/1	14,57	0,98	0,80	9,29	-2,99
85	168/9	2,12	0,14	1,33	9,07	-1,59
87	177/82	0,37	0,02	11,10	8,65	0,29
89	188/1	23,13	1,55	3,72	7,87	-0,85
90	188/8	6,11	0,41	4,75	7,63	0,07
93	191/1	26,38	1,77	0,80	9,58	-3,59
94	191/2	12,01	0,80	0,59	9,42	-2,89
98	191/34	7,71	0,52	0,05	-	-
104	192/6	13,75	0,92	0,09	11,57	-6,12
105	206/2	0,01	0,001	7,11	9,49	0,85
109	212/153	0,03	0,002	1,54	9,37	0,09
111	212/155	0,21	0,01	1,56	8,92	-0,17
117	213/32	10,10	0,68	3,38	7,92	-0,62
118	213/33	1,44	0,10	1,75	8,55	-0,65
120	213/35	1,40	0,09	2,61	8,20	-0,10
122	214/1	12,62	0,85	2,65	8,20	-1,10
126	214/24	1,49	0,11	2,03	8,36	-0,39
128	217/6	13,69	0,92	0,15	10,78	-4,93
135	243/9	33,09	2,22	1,76	8,61	-2,11
144	245/4	3,68	0,25	0,23	10,50	-4,00
146	267/1	0,14	0,01	1,31	9,05	-0,25
148	269/10	0,89	0,06	2,02	8,31	-0,11
149	272/16	10,62	0,71	0,21	10,76	-4,80
150	272/17	6,67	0,44	0,15	11,00	-5,06
154	292/12	2,24	0,15	2,49	8,22	-0,32
155	292/13	1,11	0,07	2,94	8,07	0,17
157	294/10	2,53	0,17	1,96	8,48	-0,75
160	312/3	5,01	0,34	1,14	8,88	1,68
174	999/1	0,16	0,01	8,18	8,67	0,52
176	999/2	-	-	22,53	-	-
177	999/3	0,02	0,001	5,85	9,19	0,60
159	294/42	0,87	0,06	3,28	8,07	0,32
160	312/3	5,01	0,34	1,14	8,88	-1,68
162	313/11	13,88	0,93	0,28	10,55	-4,56
174	999/1	0,16	0,01	8,18	8,67	0,52
176	999/2	-	-	22,53	-	-
177	999/3	0,02	0,001	5,85	9,19	0,60

tra-se abaixo do limite de detecção.

No início do confinamento do aqüífero, até uma faixa de cerca de 60 quilômetros adjacente a sua porção livre, as águas são predominantemente bicarbonatadas cálcicas, apresentando maior salinização, com resíduos que chegam a ultrapassar 200 mg/l e força iônica no intervalo entre 1,54 e 5,43 x 10^{-3} (Tabela 4). A prancha 6 mostra uma grande similaridade na configuração dos diagramas de Stiff das águas do aqüífero Botucatu e daquelas da Formação Serra Geral. Nesta área, o capeamento basáltico, intensamente fraturado, apresenta pequenas espessuras e cargas hidráulicas superiores às do aqüífero Botucatu. Este quadro hidrogeológico propicia ao aqüífero características de semi-confinamento, permitindo-lhe funcionar como um sistema quimicamente aberto.

Nesta região, as águas das precipitações, ao se infiltrarem, dissolvem CO_2 segundo as equações apresentadas, adquirindo características ácidas com condições para ataque e dissolução dos minerais dos basaltos tais como: plagioclásios (andesina e labradorita, na maior parte), piroxênios e em menor abundância feldspatos potássicos e calcita. Sendo assim, as águas são gradualmente enriquecidas em cálcio (principalmente), sódio, sílica, magnésio, potássio e ferro.

O ataque ácido efetuado pelas águas pluviais nestes silicatos (hidrólise) é irreversível e ocasiona uma dissolução dita incongruente, já que origina também como produto novos minerais e substâncias sólidas amorfas (Freeze & Cherry, 1979). No caso dos plagioclásios e feldspatos potássicos, a dissolução incongruente libera cálcio, sódio, potássio e H_4SiO_4, e dá origem ao equilíbrio das águas com a caulinita. As figuras 19 e 20 mostram os diagramas desse equilíbrio, evidenciando que ele evolui com o maior confinamento do aqüífero para um equilíbrio com a montmorilonita, controlado pelo aumento gradual do pH das águas.

No caso dos piroxênios, a dissolução ocorre de

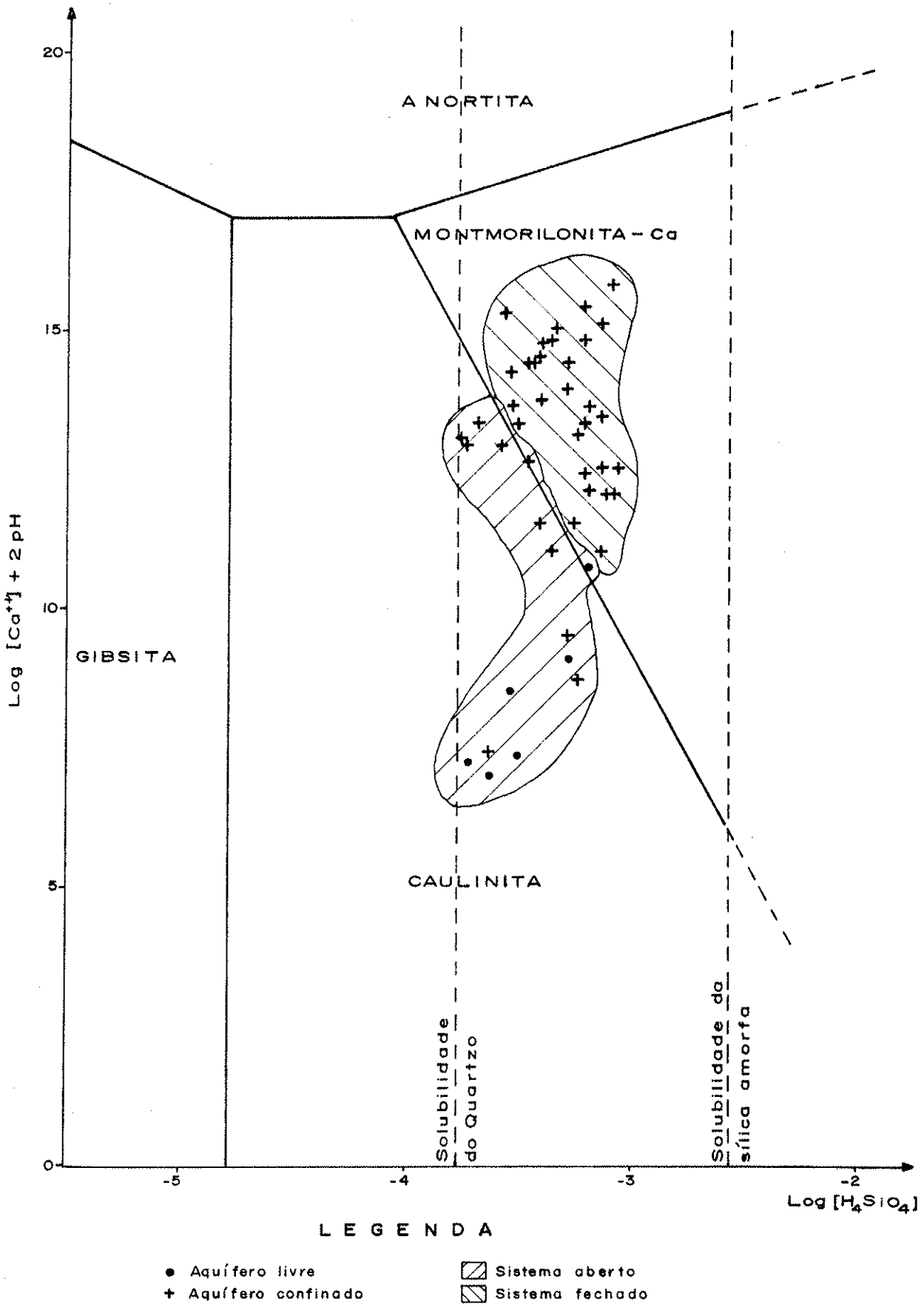
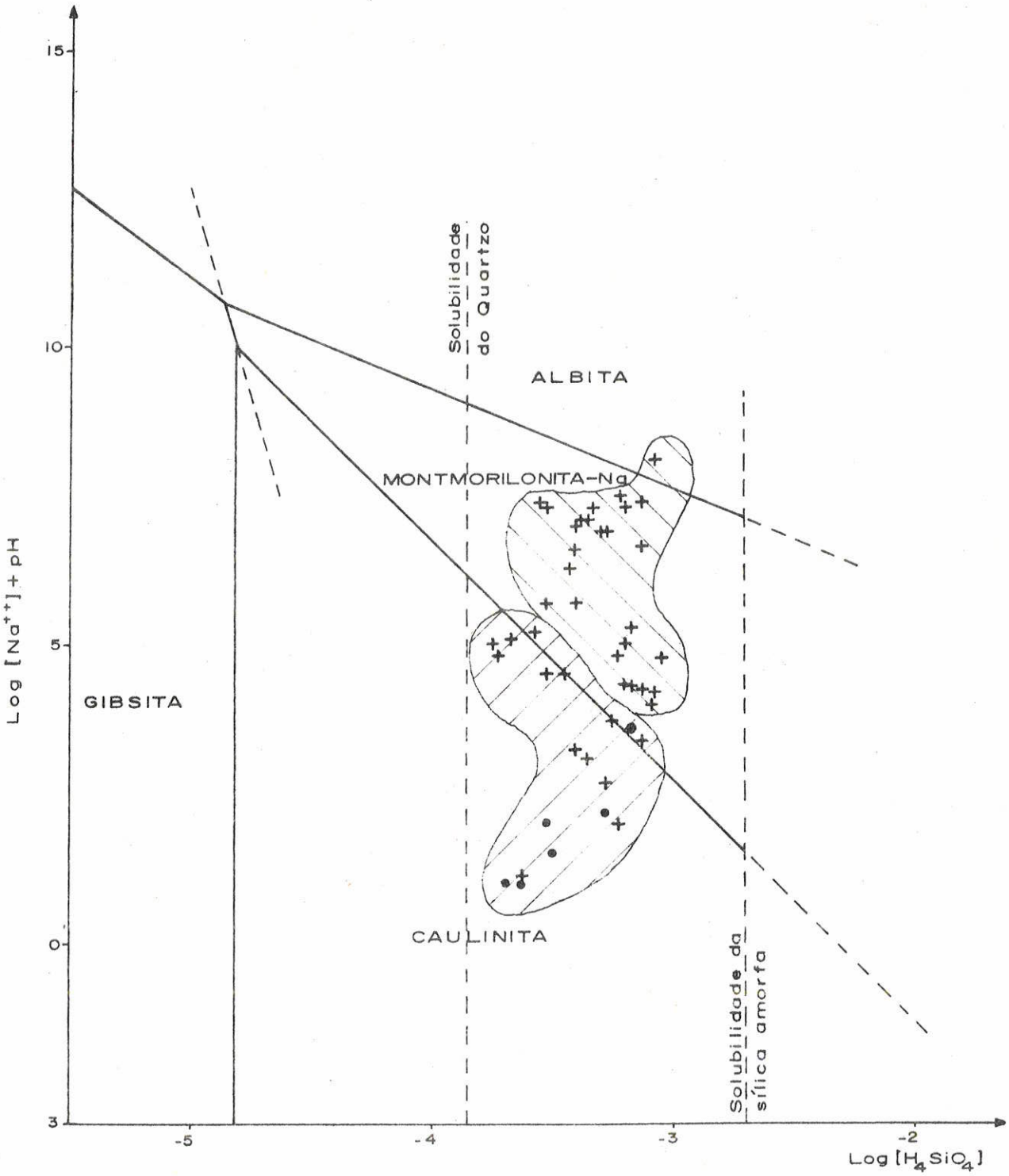


Figura 19- Diagrama de equilíbrio Anortita - Montmorilonita - Caulinita e Gibsita (a 25°C e 1 atm.).



LEGENDA

● Aquífero livre
+ Aquífero confinado
Sistema aberto
Sistema fechado

Figura 20 - Diagrama de equilíbrio Albita - Montmorilonita - Caulinita - Gibsita (a 25°C e 1 atm.).

forma mais lenta, graças à menor solubilidade do magnésio, liberando ainda íons ferro.

Apesar dos processos acima descritos liberarem íons K^+, não existe um aumento sensível dos seus teores na água, primeiro porque os feldspatos potássicos são pouco abundantes nos basaltos, e também devido à facilidade com que este íon é logo absorvido pelas argilas. Fenômeno semelhante ocorre com o íon Fe^{++} que se precipita facilmente como $Fe(OH)_3$ provocando a cimentação limonítica da Formação Botucatu.

Apesar de estar presente em quantidades restritas, como mineral secundário dos basaltos, a dissolução da calcita deve também provavelmente contribuir para o aumento dos teores de cálcio nesta porção do aqüífero. A reação de dissolução da calcita é dada por:

$$CaCO_3 + H_2CO_3 \rightleftharpoons Ca^{++} + 2HCO_3^-$$

Sendo assim, a dissolução destes vários minerais consome íons H^+ causando aumento do pH da água, e, à medida em que se aproxima do limite desta faixa inicial com a zona de maior confinamento do aqüífero, o pH de equilíbrio da calcita é atingido (Figura 21). Neste ponto, graças ao aumento gradual da temperatura e do pH, o teor de cálcio nas águas atinge seu valor máximo ocorrendo então precipitação de calcita. O índice de saturação da calcita, calculado para todas as amostras (Tabela 4), comprova esta afirmação: seus valores são negativos até o início do confinamento efetivo do aqüífero (águas agressivas), tornando-se a partir daí positivos (águas incrustantes). A precipitação de calcita é então evidenciada pela queda brusca da concentração de cálcio (Figura 9). Portanto, a elevação da relação rNa/rCa (Figura 17) e a diminuição do itb (Figura 18) não estão relacionadas a fenômenos de troca de bases no aqüífero.

Embora nestas condições o produto de solubilidade do carbonato de magnésio seja mais dificilmente alcançado, o

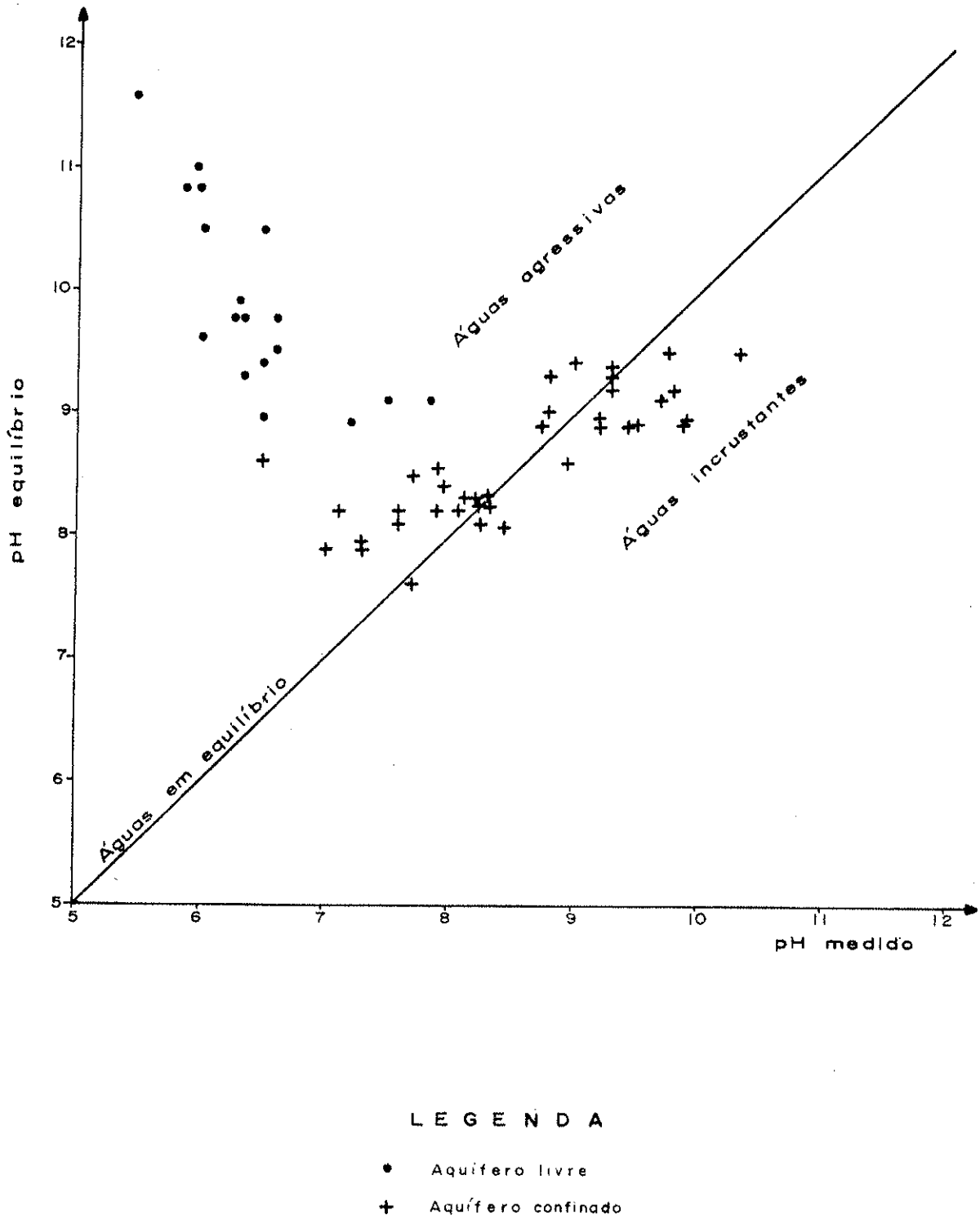


Figura 21 - Relação entre o pH medido e o pH de equilíbrio das águas do aqüífero Botucatu.

comportamento do íon magnésio é semelhante ao do íon cálcio (Figura 11), sugerindo a ocorrência de precipitação de dolomita.

Devido às diversas reações de dissolução de silicatos (hidrólise) e calcita, e conseqüente alcalinização da água, as reações de equilíbrio de carbonatos são deslocadas para a direita propiciando o aumento dos teores do íon bicarbonato. Quando o pH da água atinge 8,3 aparecem teores detectáveis do íon carbonato.

Registrou-se também teores do íon cloreto mais elevados para algumas amostras, bem como a eventual presença do íon sulfato, provavelmente em função da concentração dos teores desses anions a partir das águas pluviais.

A partir da faixa inicial até aqui descrita, quando se ingressa na região de maior confinamento do aqüífero, a quantidade de CO_2 livre dissolvida é mínima, inferior a 0,28 mg/l (Tabela 4), devendo ocorrer o mesmo com o O_2 dissolvido (não determinado).

Apesar das condições de pressão de confinamento serem mais favoráveis a altos conteúdos de gases dissolvidos na água, a elevação da temperatura e do pH funcionam em sentido oposto. Assim, com um sistema progressivamente fechado, o fornecimento de oxigênio deve ser prejudicado e o caráter inicialmente oxidante das águas de recarga praticamente desaparece nesta região.

Neste domínio, as águas apresentam maior concentração salina chegando a atingir 650 mg/l de resíduo seco e $1,11 \times 10^{-2}$ de força iônica, no extremo oeste do estado.

O cátion predominante é o sódio que, partindo do nível de 70%, chega a atingir 97% dos cátions existentes. Nesta área, devido à elevada alcalinidade das águas, estas se encontram em equilíbrio com a montmorilonita (Figuras 19 e 20).

O enriquecimento das águas subterrâneas em sódio é acompanhado pelo aumento da concentração dos anions bicarbonato, carbonato, sulfato e cloreto. Seus maiores teores no estado são observados em Presidente Prudente (poço 87), onde também a temperatura atinge o maior valor registrado nas águas do aqüífero - 63ºC. Além disto, esta é a região de descarga do aqüifero na área estudada, indicando um maior tempo de residência das águas que aí se encontram.

O comportamento geral acima descrito não é obedecido para os poços 44,62,89 e 126 que, apesar de relativamente próximos à região de afloramento do aqüífero, apresentam águas com salinização mais elevada que a média da dos poços adjacentes.Isto provavelmente se deve à proximidade destes poços ao alinhamento estrutural do Tietê que,atuando como barreira natural,retarda a velocidade do fluxo da água e propicia maior enriquecimento salino. Além destes, o poço 176 (Londrina) apresenta mineralização excessiva como já foi referido, indicando uma anomalia local, provavelmente devida à compartimentação estrutural observada na região. Sua localização, entre o alinhamento de Paranapanema e o arco de Ponta Grossa, área de ocorrência de enxames de diques de diabásio (Almeida, 1981) só fazem reforçar esta hipótese.

Cabe ainda discutir algumas considerações a respeito da presença de teores elevados de fluoreto nas águas do aqüífero Botucatu. Segundo Hem (1959),teores deste íon superiores a 1 mg/l estão em geral associados a águas sódicas. De fato, observou-se que em toda a região confinada do aqüífero, a elevação contínua dos teores de sódio é acompanhada pela concentração de fluoreto (Figura 22).

Adicionalmente observa-se que teores de fluoreto acima de 1 mg/l coincidem com valores de força iônica nunca inferiores a $5,22 \times 10^{-3}$ (Tabela 5). Dada esta relação,é possível que as elevadas concentrações deste íon não estejam associadas necessariamente à ocorrência de alguma fonte mineral anô-

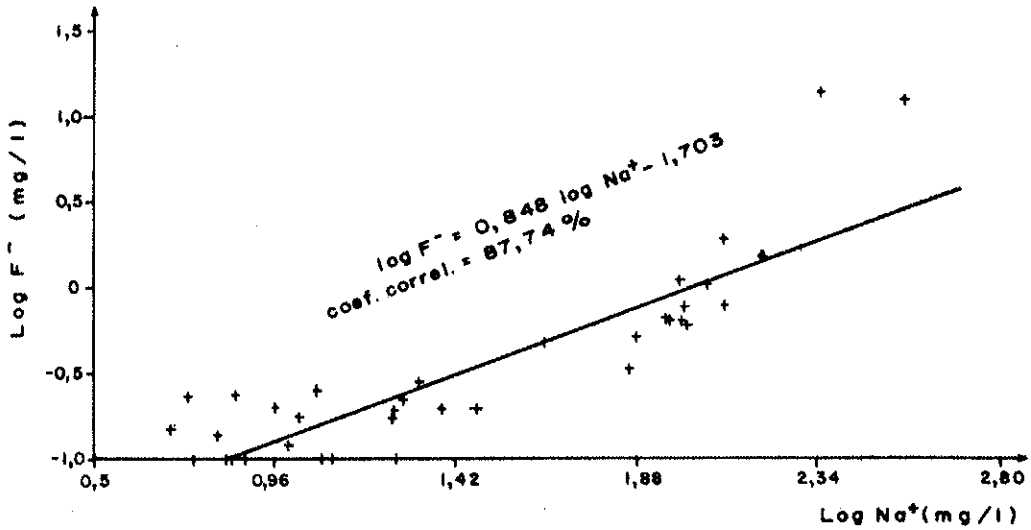


Figura 22 - Variação do fluoreto com o sódio nas águas do aqüífero Botucatu.

mala nestas áreas. Talvez a presença deste íon resulte de uma maior capacidade destas águas, com elevada força iônica, em dissolver minerais traços (como apatita)disseminados no aquífero. Portanto,o aumento de fluoreto acompanharia mais a elevação da salinidade das águas,não guardando necessariamente uma relação direta com o sódio, já que este reflete apenas esta salinização.Quanto às ocorrências excepcionais de Presidente e Londrina(poços 87 e 176), é possível que estes teores estejam relacionados à presença de intrusivas básicas no pacote Botucatu-Pirambóia.Mesmo neste caso, o mecanismo sugerido deve atuar como um fator de aceleração do enriquecimento em fluoreto.

Tabela 5 - Teores anômalos de fluoreto e força iônica das águas do aqüífero Botucatu

nº do poço	F^-(mg/l)	I x 10^{-3}
44	1,09	5,22
59	1,02	6,79
105	1,91	7,11
174	1,49	8,18
87	13,30	11,10
176	12,0	22,53

Concluindo, as águas do aqüífero Botucatu, em termos gerais, obedecem em sua evolução hidroquímica regional ao padrão proposto por Chebotarev (Freeze & Cherry, 1979), já descrito no item I.4. Graças às boas características hidráulicas e à constituição litológica do aqüífero, suas águas apresentam em geral baixa concentração de sólidos totais dissolvidos. Na maior parte da área de estudo predomina o anion bicarbonato, caracterizando o domínio da zona superior de Chebotarev. Na zona de maior confinamento, localizada no sudoeste do estado, passam a ocorrer águas mais mineralizadas, com elevados teores também de cloreto e sulfato, indicando provavelmente um ingresso na zona intermediária. A zona inferior (altas concentrações de sais e predominância do íon cloreto) não é observada no estado, podendo talvez ocorrer mais para o sul, na porção central do trecho meridional da bacia do Paraná, nas proximidades das regiões de descarga do aqüífero.

3. Os Isótopos Ambientais nas Águas de Chuva e Subterrâneas

Oxigênio-18 e deutério nas águas de chuva

Os resultados de oxigênio-18 e deutério determinados nas amostras de chuvas semanais em São Carlos e Ribeirão Preto (Anexo 3), no ano hidrológico 1981-1982, interelacionam-se pela regressão linear:

$$\delta\,^{2}H = 7{,}7\ \delta^{18}O + 7{,}3$$

Esta relação é muito próxima da reta de águas meteóricas mundiais (Craig, 1961a) como mostra a figura 23a.

A grande variabilidade observada nos teores desses isótopos ao longo do ano pode ser devida a dois fatores: efeito da quantidade - de um modo geral, a negatividade acentua-se com o aumento da pluviometria (Dansgaard, 1964); e influência das massas polares, que, embora ocorrendo durante todo o a-

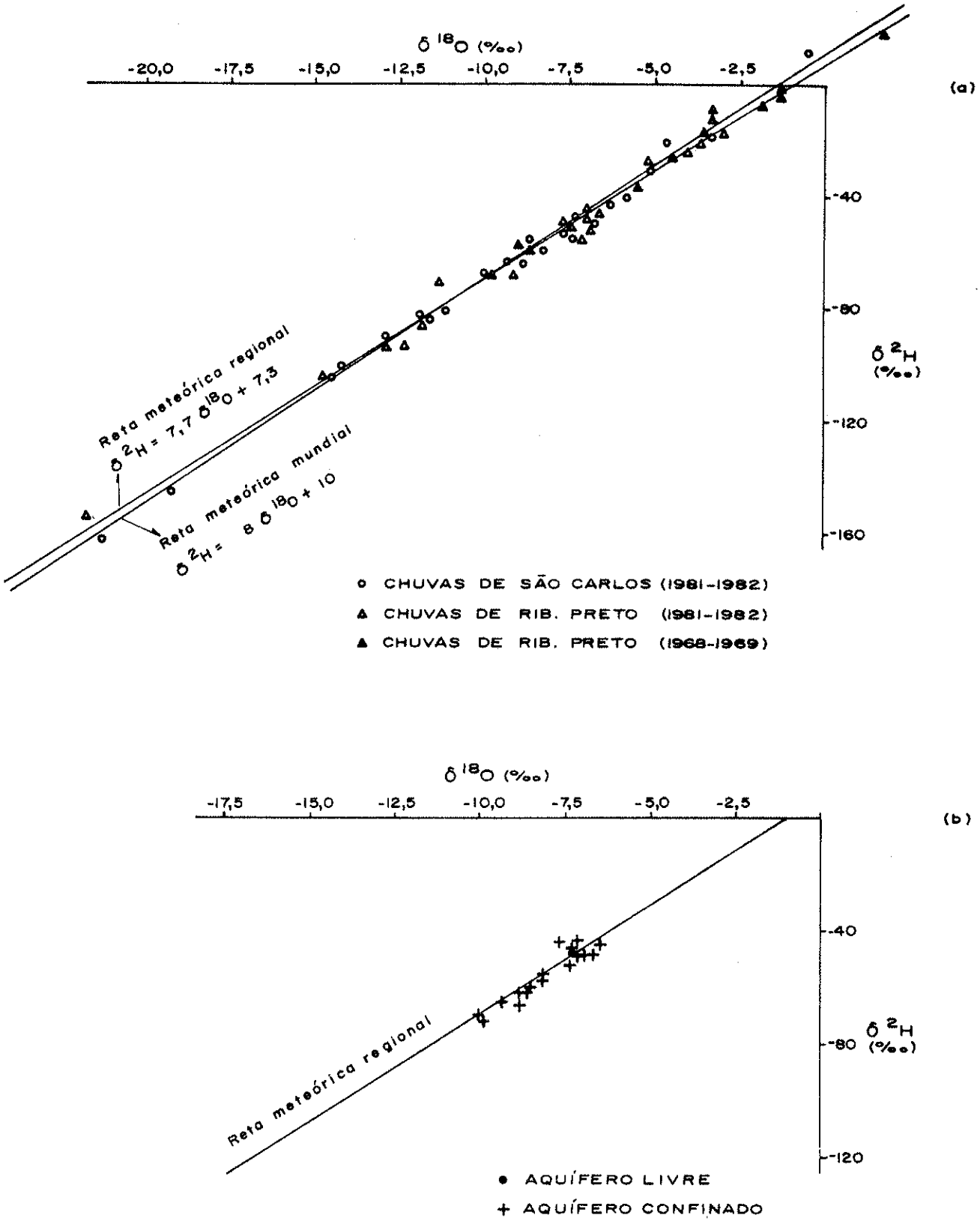


Figura 23 - Relação entre os teores de oxigênio-18 e deutério das águas de chuva (a) e das águas do aquífero Botucatu (b).

no, provocam chuvas excepcionalmente negativas (menores que -12 $^{o}/oo$ para $\delta^{18}O$ e que -85 $^{o}/oo$ para $\delta\ ^{2}H$) principalmente no verão, quando o fenômeno de convecção já presente na atmosfera torna-se extremo.

Para este ano hidrológico, a média ponderada dos teores de oxigênio-18 em relação às precipitações foi de -9,3 $^{o}/oo$ e -9,7 $^{o}/oo$ para São Carlos e Ribeirão Preto, respectivamente.

Yurtsever e Gat (1981), a partir de dados obtidos na rede mundial de estações de observação do IAEA, referem-se a valores da média ponderada anual de oxigênio-18 das precipitações, para as regiões sul e sudeste do Brasil (Rio de Janeiro e Porto Alegre), entre -5 $^{o}/oo$ e -4 $^{o}/oo$ (dados obtidos para mais de 24 meses de observação, anteriormente a 1972). Medidas efetuadas pelo CENA em Ribeirão Preto e Piracicaba, para o ano hidrológico 1968-1969, fornecem valores de -7,5 $^{o}/oo$ e -7,3 $^{o}/oo$, respectivamente (arquivo CENA).

Nesse sentido, os resultados -9,3 $^{o}/oo$ e -9,7 $^{o}/oo$ obtidos são mais negativos do que seria esperado para a região. Este fato deve-se possivelmente aos altos índices pluviométricos ocorridos em 1981-1982 (próximos a 1.800 mm), refletindo portanto uma influência do efeito da quantidade (Dansgaard , 1964). Realmente, a pluviometria em Ribeirão Preto no ano 1968-1969 foi da ordem de 1.100 mm, daí seu valor menos negativo.Os dados de Piracicaba também confirmam essa hipótese: em 1968 -1969, a pluviometria foi de cerca de 1.100 mm ($\delta\ ^{18}O$ igual a -7,3 $^{o}/oo$ como já mencionado) e, em 1981-1982, atingiu 1.700mm, com teor de oxigênio-18 de -8,3 $^{o}/oo$.

Oxigênio-18 e deutério nas águas subterrâneas

Os teores dos isótopos oxigênio-18 e deutério para os 26 poços amostrados constam do Anexo 3 e variam de -6,5

a -10,1 $^{o}/oo$ e de -45 a -70 $^{o}/oo$, respectivamente. Estes valores são comparados à composição isotópica das águas meteóricas do ano hidrológico 1981-1982 na figura 23b.

A apreciação da distribuição espacial dos teores de oxigênio-18 das águas subterrâneas na prancha 9 evidencia particularidades importantes: os valores de $\delta^{18}O$ encontrados nas regiões próximas ao aqüífero livre são sempre superiores a -7,7 $^{o}/oo$. A média das amostras nesta área (-7,1 $^{o}/oo$) parece refletir melhor o teor médio desse isótopo nas precipitações dos últimos anos, já que, como mencionado, os valores mais negativos encontrados em 1981-1982 devem ser excepcionais. No sentido do confinamento do aqüífero, os teores de $\delta^{18}O$ tornam-se progressivamente mais negativos (variando entre -8,2 e -10,1 $^{o}/oo$), voltando, então, na região mais fortemente confinada, a elevar-se (-6,8 $^{o}/oo$ e -7,4 $^{o}/oo$).

Fontes (1981) sugere que em alguns casos a variação da composição isotópica das águas subterrâneas, com o confinamento do aqüífero, pode estar relacionada à profundidade do topo do aqüífero e/ou ao conteúdo salino das águas. No entanto, ao aumento constante da profundidade do aqüífero e da salinidade de suas águas, no sentido sudoeste, contrapõe-se uma inicial diminuição do conteúdo isotópico com posterior elevação. Desse modo, resta a opção de relacionar estas modificações de composição isotópica a oscilações pretéritas das condições climáticas, as quais teriam engendrado alterações no conteúdo isotópico das precipitações.

Idade aparente e velocidade de circulação das águas subterrâneas

Os valores da atividade específica de carbono- 14 determinados para as dezessete amostras de água subterrânea (Anexo 3) permitiram o cálculo da porcentagem de carbono-14 moderno. Para efeito de cálculo da idade das águas subterrâneas, as corre

ções propostas na literatura não foram utilizadas, tendo sido considerada apenas a idade aparente dessas águas, por duas razões: primeiramente, o conhecimento da idade absoluta das águas não é fundamental para a determinação de sua velocidade aparente de circulação na direção e sentido do fluxo subterrâneo (Santiago et alii, 1980); e, ainda, aquelas correções perdem consideravelmente sua importância já que, devido à ausência de calcários nas rochas do aqüífero Botucatu, os carbonatos dissolvidos na água são oriundos de CO_2 basicamente de origem biogênica (a dissolução de calcita deve ser insignificante, haja vista sua ocorrência restrita como mineral secundário dos basaltos). Sabe-se que as correções mencionadas preocupam-se fundamentalmente com a determinação da quantidade de CO_2 de origem biogênica nas águas.

Os resultados obtidos mostram uma variação da porcentagem de carbono-14 moderno nas águas amostradas entre 2,42 $\pm$ 0,85 e 90,80 $\pm$ 0,02 %, correspondendo a idades de 30.000 $\pm$ 1.900 e 800 $\pm$ 160 anos (Tabela 6).

O mapa de distribuição da idade média aparente das águas (Prancha 9) indica uma tendência regional de aumento das idades no sentido sudoeste a partir da zona de afloramento do aqüífero. Esta tendência regional observada ratifica as constatações já feitas relativamente ao comportamento hidráulico e hidroquímico das águas do aqüífero. Assim, o aumento gradual da salinidade das águas (Pranchas 5 e 7) no sentido do fluxo subterrâneo (Prancha 4) está intimamente relacionado com o tempo de residência das águas no aqüífero. A região sudoeste do estado, para onde converge a resultante geral do fluxo subterrâneo da área estudada, apresenta águas mais mineralizadas e mais antigas (com idades superiores a 18.000 anos).

Algumas idades elevadas foram observadas em poços próximos à zona de afloramento do aqüífero, o que entretanto é uma exceção. Este é o caso dos poços 34, 56, 80, 89 e 126. Os três primeiros estão localizados na região de Ribeirão Preto em

áreas permeadas por diques e sills de diabásio. Este fato explica provavelmente essas idades graças à compartimentação da área onde a circulação das águas no aqüífero é lenta. Os poços 89 e 126 estão situados nos limites do alinhamento estrutural do Tietê que serve de barragem para os fluxos da água subterrânea, aumentando consequentemente sua idade. Estas observações são concordantes com aquelas obtidas no estudo hidroquímico (p. 83).

Foi ainda efetuado o cálculo da velocidade aparente de circulação das águas (v), utilizando os valores de idade aparente entre poços situados ao longo da mesma linha de fluxo. Calculou-se em seguida a permeabilidade média aparente (k), segundo a lei de Darcy (Capítulo III), adotando-se para a porosidade eficaz do aqüífero o valor médio de 12%. Os resultados são mostrados no quadro abaixo:

Intervalo entre os poços:	i (gradiente hidráulico)	v (m/s)	k (m/s)
24 e 23	0,0014	3×10^{-7}	$2,5 \times 10^{-5}$
155 e 105	0,0012	3×10^{-7}	$2,7 \times 10^{-5}$
105 e 87	0,00015	3×10^{-7}	2×10^{-4}

Os valores obtidos de permeabilidade média aparente são da ordem de 3×10^{-5} m/s, entre os poços 24 e 23 (Monte Alto e Catanduva) e entre os poços 155 e 105 (Bernardino de Campos e Paraguaçu Paulista), próximos aos valores médios determinados por testes de bombeamento na região (p. 53). Já o valor de 2×10^{-4} m/s determinado para o intervalo entre os poços 105 e 87 (Paraguaçu Paulista e Presidente Prudente) é muito elevado, levando a supor que a idade determinada para a amostra de Presidente Prudente é inferior à real. Isto é possível pois, a idade média determinada (30.000 anos) pode estar minimizada já que está próxima do limite de detecção do método utilizado.

Tabela 6 - Idade aparente das águas subterrâneas e teores de $\delta^{13}C$ e $\delta^{18}O$ correlatos

nº de ordem	código de origem	% ^{14}C moderno x NBS	idade aparente (anos)	$\delta^{13}C$ (‰) x PDB	$\delta^{18}O$ (‰) x SMOW
10	33/49	27,11 ± 0,85	10.500 ± 300		- 8,6
17	74/215	28,79 ± 0,81	10.000 ± 250		- 8,8
23	96/9	35,71 ± 1,35	8.300 ± 350		- 8,9
24	98/11	69,51 ± 2,41	2.900 ± 300		- 9,6
34	100/117	21,16 ± 1,53	12.500 ± 600		- 8,8
44	115/1	34,83 ± 1,54	8.500 ± 400		- 8,6
50	119/11	90,80 ± 0,02	800 ± 150		- 9,8
56	121/14	66,91 ± 2,08	3.200 ± 300		- 7,3
59	135/5	20,52 ± 1,37	12.700 ± 600		- 9,2
80	166/33	50,37 ± 1,77	5.500 ± 300	-23,08	- 7,7
87	177/82	2,43 ± 0,85	30.000 ± 1900		- 6,8
89	188/1	19,82 ± 2,41	13.000 ± 1000		- 8,1
105	206/2	9,47 ± 0,69	18.900 ± 600		- 8,5
118	213/33	38,51 ± 2,07	7,700 ± 450		- 7,4
126	214/24	15,69 ± 5,11	15.000 ± 2750		-10,1
155	292/13	52,11 ± 1,52	5.200 ± 250	-18,1	-
174	TL-1-MT	30,34 ± 2,04	9.600 ± 600	- 6,29	- 7,4

Interpretação conjunta dos dados de isótopos ambientais

Evidências de fenômenos geológicos, geomorfológicos e variações eustáticas ocorridos no Quaternário sugerem grandes modificações climáticas neste período, refletindo cicliicidade de fases glaciais. Estas fases glaciais, melhor definidas no hemisfério norte, indicam que a última glaciação (Würm, segundo esquema europeu) teve início há cerca de 25.000 anos, chegou a seu máximo há 18.000 anos (quando o nível do mar atingiu -120m), com término há aproximadamente 7.000 anos (Fontes, 1981).

Embora não existam registros de que esta glacia-

ção tenha atingido diretamente o território brasileiro, há evidências de que, sob sua influência teria ocorrido aridez climática em latitudes inferiores a 25º, em ambos os hemisférios. Estas evidências vêm sendo discutidas, por vários autores, em estudos sobre o Cenozóico Paulista (citados por IPT, 1982).

Nestes estudos, o sincronismo de fases de clima mais seco com as fases glaciais, identificadas no hemisfério norte, é indicado, por exemplo, pelas superfícies de aplainamento escalonadas na topografia, às quais associam-se depósitos clásticos grossos. Tais superfícies e depósitos vêm sendo considerados como produto da atuação de morfogênese mecânica, com acentuada pedimentação, em fases de clima semi-árido. Além disto, fragmentos de madeira associados a seixos (interpretados como de clima semi-árido) foram datados com carbono-14 fornecendo idades da ordem de 10.000 anos. Outro índicio importante é sugerido pela datação de coquinas na plataforma continental que indicaria, há 15.000 anos, um rebaixamento do nível do mar de até 110 m em relação ao atual.

Por outro lado, pesquisas realizadas no Planalto de Campos do Jordão e nas encostas da Serra da Mantiqueira constataram a presença de solos escuros, com espesso horizonte A húmico, sobrepostos a horizontes de solos vermelhos laterizados. O horizonte superior foi interpretado como correspondente ao período glacial Würm e os solos inferiores como tendo sido desenvolvidos em período anterior, possivelmente em condições climáticas mais quentes relacionadas à interglacial Riss-Würm (IPT,1982).

Determinações de $\delta^{13}C$ efetuadas por Gallo (1977) nas águas subterrâneas de Ribeirão Preto forneceram resultados mais negativos que -17 $^{o}/oo$ para águas recentes e mais positivos que -10 $^{o}/oo$ para águas mais antigas que 10.000 anos. A interpretação provável dada por Gallo, levando em conta a geoquímica do aqüífero e teores de $\delta^{18}O$ da ordem de -9 $^{o}/oo$ para estas águas mais antigas, é de que o clima neste período deveria ser mais frio que o atual. Os elevados valores de $\delta^{13}C$ indicariam presen-

ça pretérita de vegetação cuja fotossíntese ter-se-ia efetuado segundo o ciclo Hatsh-Slack, característico de clima árido. No presente trabalho, infelizmente só em três amostras foi possível a determinação de carbono-13 (Tabela 6). Os resultados obtidos, entretanto, são semelhantes aos de Gallo: duas amostras (poços 80 e 155) com idades mais recentes apresentaram $\delta^{13}C$ de -23,08 $^{o}/oo$ e -18,1 $^{o}/oo$, enquanto a amostra do poço 174, cuja idade é de cerca de 10.000 anos, o valor obtido foi de -6,29 $^{o}/oo$.

Estas considerações aliadas às datações das águas subterrâneas permitem uma melhor compreensão das variações observadas nos teores de $\delta^{18}O$ e $\delta^{2}H$ nestas águas. A composição isotópica determinada teria registrado, provavelmente, a presença de quatro períodos climáticos, nos últimos 30.000 anos, que marcaram o conteúdo isotópico das precipitações:

- clima quente e úmido (próximo ao atual): reinante no período final da interglacial Riss-Würm há mais de 25.000 anos, com precipitações intensas e elevada evaporação, gerando $\delta^{18}O$ ligeiramente superior ao atual (-6,8 $^{o}/oo$). Corresponde às águas mais antigas e profundas do aqüífero no estado (poço 87, Presidente Prudente).

- clima frio e semi-árido: predominante entre 20.000 e 11.000 aproximadamente, no período da glacial Würm, com baixas temperaturas, originando precipitações mais negativas (variando entre -8,1 e -10,1 $^{o}/oo$). Corresponde às águas confinadas dos poços 34,59, 89 e 126.

- clima evoluindo de semi-árido para o atual: este período corresponde, provavelmente, apenas à fase final do anterior, por ocasião do término de degêlo da glacial Würm, entre 11.000 e 7.000 (intervalo provável baseado nos dados aqui obtidos e a partir de Fontes, 1981). É de se supor elevação da temperatura e altos índices pluviométricos que, pelo efeito da quantidade mantém a negatividade dos teores isotópicos entre -8,6 e -8,9 $^{o}/oo$ (poços 10,17,24 e 44).

- clima atual quente e úmido: reinante possivelmente a partir dos últimos 7.000 anos, de características semelhantes ao primeiro tipo descrito, com teores de $\delta^{18}0$ entre -7,1 e -7,7 $^{o}/oo$ (poços 56, 65, 80, 118, 122, 135,146, 148, 177).

Os teores de oxigênio-18 e deutério observados em três amostras (poços 24,50 e 174), quando comparados com suas respectivas idades (Tabela 6), fogem a este comportamento geral observado. As águas dos poços 24 e 50 (Monte Alto e Guariba) apresentam $\delta^{18}0$ muito negativos (-9,6 $^{o}/oo$ e -9,8 $^{o}/oo$) haja visto suas idades inferiores a 3.000 anos. No caso do poço 174(Três Lagoas) ocorre o contrário. O que pode ter ocorrido é um erro nas idades destas águas, que parecem ser mais antigas que os valores obtidos. Este erro é possivelmente devido a algum tipo de problema na coleta e/ou na análise destas amostras.

Fontes (1981) analisa estudos efetuados por vários autores em aqüíferos confinados e adverte para o risco de se obter hipóteses conclusivas, a partir de dados isotópicos,sobre as variações climáticas ocorridas no Quaternário. Ressalta ainda que este perigo é ainda maior para regiões com latitudes menores ou próximas a 25º, já que nestas áreas não são muito conhecidas as conseqüências dos fenômenos de glaciação. No entanto, correndo este risco, a partir das evidências disponíveis,optou-se por levantar a hipótese acima descrita, ainda incipiente e sujeita à confirmação através de estudos mais aprofundados e extensivos a toda bacia do Paraná.

CAPÍTULO V
CONCLUSÕES

As águas do aqüífero Botucatu no estado de São Paulo apresentam, em geral, teores salinos muito baixos como decorrência da própria constituição litológica das Formações Botucatu e Pirambóia. No entanto, durante seu percurso subterrâneo ocorrem modificações das características químicas e isotópicas e aumento dos teores de sais dissolvidos das águas, cujos mecanismos são postos em evidência no presente trabalho.

A evolução hidroquímica das águas na área de estudo é determinada pelas condições de confinamento do aqüífero, pelas direções e sentidos do fluxo subterrâneo e pelo tempo de residência das águas. A conjugação destes fatores, associados ao aumento da temperatura, enseja um ligeiro enriquecimento salino das águas, desde a área de recarga até a região de forte confinamento do aqüífero, acompanhado por fenômenos modificadores da sua composição química.

Em escala regional, foi possível identificar três fácies hidroquímicas transicionais:

- *a leste, na porção livre do aqüífero, predominam águas bicarbonatadas magnesianas e calco-magnesianas*. São águas recentes, ácidas, pouco mineralizadas (resíduo seco inferior a 100 mg/l), com temperaturas entre 22 e 25°C. Este trecho comporta-se como um sistema quimicamente aberto, onde a composição química das águas está diretamente relacionada à das precipitações: predomínio dos cátions cálcio e magnésio e dissolução de CO_2 dos solos com produção do anion bicarbonato.

- *ao longo de uma faixa de cerca de 60Km de largura, a partir do contato dos sedimentos Botucatu/Pirambóia com os basaltos da Formação Serra Geral as águas são bicarbonatadas- cálcicas e calco-magnesianas*. Neste trecho, de início do confinamento do aqüífero, o capeamento basáltico, pouco espesso e intensamente fraturado, com níveis d'água elevados, propicia uma alimentação indireta do aqüífero Botucatu que, por esta razão, apresenta aí também um comportamento quimicamente aberto. O enriquecimen-

to salino é influenciado pela filtração das águas ácidas e carregadas de CO_2 que, em sua passagem através dos basaltos, provocam uma dissolução incongruente de seus silicatos (principalmente plagioclásios e piroxênios). Graças a este comportamento há fornecimento de íons cálcio (principalmente), magnésio, sódio, potássio, ferro, sílica e bicarbonato. As águas do aqüífero Botucatu apresentam aqui idades de até 7.000 anos, aumento gradativo da mineralização (resíduo seco às vezes superiores a 200 mg/l), da temperatura (até 30°C) e do pH, no sentido oés -sudoeste do fluxo subterrâneo. No limite oeste da área, o pH atinge o equilíbrio com a calcita, que então se precipita, provocando queda no teor de cálcio das águas. Fenômeno semelhante ocorre com o magnésio, com provável precipitação de dolomita.

- *na zona francamente confinada do aqüífero, as águas tornam-se bicarbonatadas sódicas evoluindo, no extremo sudoeste do estado, para cloro-sulfatadas sódicas.* O elevado tempo de residência destas águas (com idades aparentes que chegam a ultrapassar 30.000 anos) e suas temperaturas de até 63°C formam um quadro propício ao progressivo enriquecimento salino. Com pH alcalino e praticamente ausência de gases dissolvidos, as águas sofrem aí um processo de salinização constante (atingindo 650 mg/l de resíduo seco), principalmente por concentração dos íons mais solúveis, tais como sódio, bicarbonato, carbonato, sulfato e cloreto. A ocorrência, nesta área, de íons fluoreto com concentrações superiores a 1 mg/l é provavelmente devida ao aumento da força iônica das soluções.

Este comportamento evolutivo é, localizadamente, alternado por influência de outros fatores. É o caso dos poços amostrados nos municípios de Sertãozinho, Araraquara, Serra Azul, Ibitinga, Bariri, Jaú e Londrina(PR) que apresentaram salinização e/ou idades elevadas quando comparadas àquelas das regiões circunvizinhas. Estes pontos anômalos encontram-se condicionados por fatores geológicos (presença de corpos intrusivos e/ou proximidade a alinhamentos estruturais) que, além de se constituírem em fontes de dissolução, determinam um fluxo subterrâneo localmente

mais lento.

A determinação das idades aparentes das águas subterrâneas permitiu o cálculo do coeficiente de permeabilidade aparente do aqüífero, com resultados da ordem de 3×10^{-5} m/s, compatíveis com aqueles obtidos por métodos hidráulicos.

Com base na variação do conteúdo dos isótopos estáveis $\delta^{18}O$, $\delta^{2}H$ e $\delta^{13}C$ das águas subterrâneas e em evidências geológicas, geomorfológicas e de variações eustáticas foi possível formular uma hipótese preliminar sobre as oscilações climáticas ocorridas no Quaternário, nos últimos 30.000 anos. Quatro períodos climáticos são aventados:

- clima quente e úmido (próximo ao atual): no período interglacial Riss-Würm, há mais de 25.000 anos.

- clima seco e semi-árido: no período do glacial Würm, entre 20.000 e 11.000 anos.

- clima intermediário entre o anterior e o atual: correspondente à fase final de degêlo do glacial Würm, entre 11.000 e 7.000 anos.

- clima atual (quente e úmido): reinante nos últimos 7.000 anos.

A metodologia aplicada nesta investigação permitiu traçar as linhas gerais do comportamento hidroquímico e isotópico das águas do aqüífero Botucatu em escala regional, na área de estudo. Algumas hipóteses levantadas carecem de maior aprofundamento e confirmação. Isto será possível quando houver maior densidade e melhor distribuição de dados de poços e possibilidade de extensão de estudos a toda a bacia do Paraná.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.F.M.de - 1967 - Origem e evolução da plataforma brasileira. *Bol.Div.Geol.Min.*, Rio de Janeiro, DNPM, (241):1-36.

_____ - 1981 - Síntese sobre a tectônica da bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3º Curitiba. *Anais*. São Paulo, SBG, 1, p.1-20 (Conferência de Abertura).

BOGOMOLOV, G. - s/d - *Hydrogéologie et notions de géologie d'ingénieur*. Moscou, Paix.

BOTTINGA, Y. & CRAIG, H. - 1969 - Oxygen isotope fractionation between CO_2 and water and the isotopic composition of marine atmosphere. *Earth Planet.Sc.Lett*, 5: 285-95.

COIMBRA, A.M.; BRANDT NETO, M. & PETRI, S. - 1977 - O alinhamento estrutural do Tietê. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 1, São Paulo, 1977. *Atas*... São Paulo, SBG, p.145-152.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB) -1981- Controle de poluição das águas subterrâneas na zona de recarga do aqüífero Botucatu, São Paulo. lv (relatório de andamento).

CRAIG, H. - 1961a - Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, 133: 1702-3.

_____ - 1961b - Standards for reporting concentrations of denteriun and oxygen 18 in natural waters. *Science*, 133 : 4833-4.

_____, GORDON, L. & HORIBE, Y. - 1963 - Isotopic exchange effects in the evaporation of water: Low-temperature experimental results. *I Geophys. Res.*, 68: 5079-87.

_____, & GORDON, L. - 1965 - Deuterium and oxygen-18 variation, in the ocean and the marine atmosphere. In: E.Tongiorgi (Editor), *Stable Isotopes in Oceanographic Studies and*

Paleotemperatures, Spoleto, 1965, p. 9-130.

CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M.R. - 1976 - *Hidrologia subterrânea*. Barcelona, Omega, t.1.

DANSGAARD, W. - 1964 - Stable isotopes in precipitation, Tellus 16(4): 436-68.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE) - 1974 - Estudo de águas subterrâneas, região administrativa 6: Ribeirão Preto. São Paulo, 4v.

_____ - 1976 - Estudo de águas subterrâneas, regiões administrativas 7,8 e 9: Bauru, São José do Rio Preto e Araçatuba. São Paulo, 4v.

_____ - 1979 - Estudo de águas subterrâneas, regiões administrativas 10 e 11:Presidente Prudente e Marília. São Paulo, 3v.

_____ - 1981 - Estudo de águas subterrâneas, região administrativa 5: Campinas,São Paulo, 2v.

_____ - 1983 - Estudo de águas subterrâneas, região administrativa 4: Sorocaba,São Paulo, 2v.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM) - 1978 - Carta Geológica do Brasil ao milionésimo, folhas SF-22 e SF-23; escala 1:1.000.000. Rio de Janeiro.

ERIKSON, E. - 1962 - Applications of isotope techniques in hydrology. In: *Isotope Hidrology*. Viena, IAEA.

EVANS, G.U.; OTLET, R.L.; DOWING, R.A.; MONKHOUSE, R.A. & RAE, G. - 1978 - Same problems of interpretation of isotope measu

rements in United Kingdom Aquifers. In:*Isotope Hydrology*.Viena, IAEA, (Proc.Symp.Neuherberg), p. 679-708.

FERREIRA, F.J.F.; MORAES, R.A.V.; FERRARI, M.P. & VIANA, R.B. - 1981 - Contribuição ao estudo do alinhamento estrutural de Guapiara. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3, Curitiba. *Anais*...São Paulo, SBG, p. 226-40.

FONTES, J.Ch. - 1976 - Isotopes du milieu et cycles des eaux naturelles: quelques aspects. Paris (Thèse de Doctorat D'Etat-Université Pierre et Marie Curie).

_____ - 1980 - Environmental isotopes in groundwater hydrology. In: P.Fritz e J.Ch. Fontes (Editores), *Handbook of environmental isotope geochemistry*. New York, Elsevier,v.1.

_____ - 1981 - Paleowaters. In: J.R.Gat. e R. Gonfiantini (editores científicos), *Stable isotope hydrology-deuterium and oxygen 18 in the water cycle. Techmical Reports séries* nº 210, Viena, IAEA.

_____ & GONFIANTINI, R. - 1967 - Comportement isotopique au cours de l'évaporation de deux bassins saharieus.*Earth Plan.Sci.Lett.*, (3): 258 - 66.

_____ & GARNIER, J.M. - 1979 - Determination of the inicial ^{14}C activity of the total dissolved carbon: a review of the existing models and a new approach, *Water Resourc. Res.* (15): 399.

FREEZE, R.A. & CHERRY, J.A. - 1979 - *Groundwater* . New Jersey , Prentice-Hall.

FÚLFARO, V.J. - 1974 - Tectônica do alinhamento estrutural do Paranapanema. *Bol.Inst.Geoc.* São Paulo, 5: 129-38.

_____; SAAD, A.R.; SANTOS, M.V.dos & VIANNA, R.B.- 1982-

Mapa geológico estrutural da bacia do Paraná. *Rev.Bras.Geoc.* 12 (4): (no prelo).

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), 1981 - Sinopse preliminar do curso demográfico. In: *Recenseamento Geral do Brasil 1980*. Rio de Janeiro, v.1.,t.1,nº 18.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (SEADE) - 1981 - Anuário estatístico do estado de São Paulo. São Paulo.

GALLO, G. - 1977 - Utilization complementaire de l' hydrochimie et de la geochimie isotopique en hydrogeologie: application aux eaux souterraines de la region de Ribeirão Preto, état de São Paulo, Brésil. Lyon. (Thése du Diplome de Docteur de 3ème cycle - Université Claude Bernard).

_____ & SINELLI, O. - 1980 - Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas de Ribeirão Preto (SP). *R. Bras. Geoc.*,São Paulo, 10 (2): 129-140.

GARRELS, R.M. & CHRIST, C.L. - 1965 - *Solutions, minerals and equilibria*.New York, Harper & Row.

GEYH, M.A. - 1972 - Basic studies in hydrology and C-14 and C-13 measurements. In: INT.CONG.GEOL.,24, Montreal, *Proc.*, p.227-34.

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): 165-180.

GONFIANTINI, R. - 1965 - Effeti isotopici nell'eveporazione di acque salate. *Atti della Soc.Tosc.Sc.Nat.* Serie A, v.72, p. 550-569.

HAMZA, V.M. & ESTON, S.M. - 1982 - Assessment of geothermal resources of Brazil.(aceito para publicação no Zeutralblatt

für Geologie).

HEM, J.D. - 1959 - Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. *U.S.Geological Survey Water Supply Paper*, Washington, D.C. nº 1423.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT) - 1981a - Mapa geomorfológico do estado de São Paulo; escala 1:500.000, São Paulo, v.1 (IPT. Monografias 5).

_____ - 1981b - Mapa geológico do estado de São Paulo. São Paulo, v.1. (IPT. Monografias 6).

_____ - 1982 - Gênese, distribuição e estratigrafia dos depósitos cenozóicos no estado de São Paulo.São Paulo. (Relatório IPT, 16 869).

JOHANSSON, B. - 1980 - Groundwater dating by mean of isotopes.*Naturgeografiska*, Uppsala, p. 1-36.

LEINZ, V. & SALLENTIEN, B. - 1962 - Água Subterrânea no Estado de São Paulo e regiões limítrofes. *Bol.Soc.Bras.Geol.*, São Paulo, 11(1): 27-36.

MAACK, R. - 1970 - *Notas Preliminares sobre as águas do sub-solo da Bacia do Paraná-Uruguai*. Curitiba, Comissão Interestadual da bacia do Paraná-Uruguai.

MARIANO, I.B. & BARNER, U. - 1976 - Poço profundo na cidade de Bauru, SP, muda conceito sobre estrutura geológica da região. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29, Ouro Preto, 1976.*Resumo dos Trabalhos*...Ouro Preto, SBG. p.43.

MATSUI, E. - 1980 - A simple method using a disposable syringe to prepare samples for ^{18}O measurements in water samples . *Analytica Chimica Acta*, Amsterdam, 120: 423-5.

MATTHESS, G. - 1982 - *The properties of groundwater* .Trad. por John C.Harvey. New York, John Wiley & Sons.

MERLIVAT, L. & NIEF, G. - 1967 -Fractionnement isotopique lors des changements d'état solide-vapeur et liquide-vapeur de l'eau à des températures ingénieures à 0°C. *Tellus*, 19: 122-127.

MOOK, W.G. - 1976 - The dissolution-exchange model for dating groundwater with ^{14}C. In: *Interpretation of Environmental Isotope and Hydro-chemical Data in Groundwater Hydrology*.IAEA, Viena, pp. 213-225.

MUNNICH, K.O. - 1957 - Messung des ^{14}C - gehaltes von hartem groundwasser. *Naturwissenschaften*, 44: 32-34.

_____ & VOGEL, V.C. - 1959 - Altersbestimung von süsswasser kalkablagerungen. *Naturwissenschaften*, 46: 168-169.

OIKAWA, H. - 1978 - Estudo das características de um sistema para datação de carbono-14.São Paulo. (IEA-DT-095).

O'NEIL, J.R. - 1968 - Hydrogen and oxygen isotope fractionation between ice and water *Journ.Phys.Chem*, 72:3683-3684.

PEARSON JR, F.J. - 1963 - Use of $^{13}C/^{12}C$ ratios to correct radiocarbon-ages of materials initially diluted by limestone. In: INT.CONF.RADIOCARBON AND TRITIUM DATING, 6,Pulman,*Proc*, p.357-66.

_____ & HANSHAW, B.B. - 1970 - Sources of dissoved carbonate species in groundwater and their effects on carbon-14 dating. In:*Isotope hydrology. Proc.Symp*.Vienna,IAEA, p. 271-86.

REBOUÇAS, A.C. - 1976 - Recursos hídricos subterrâneos da bacia do Paraná: análise de pré-viabilidade. São Paulo (Tese

de Livre-Docência - USP).

REBOUÇAS, A.C. - 1978 - Potencialidades hidrogeológicas dos basaltos da bacia sedimentar do Paraná no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30º, Recife, 1978.*Anais*...,Recife, SBG, v.6, p. 2963-76.

ROCHA, G.A.; BERTACHINI, A.C.; CAMPOS, H.C.N.S. & CAIXETA,J.B. - 1982 - Tentativa de zoneamento das características hidráulicas e hidroquímicas do aqüífero Bauru. In. SBG & ABAS. ENCONTRO DE GEOLOGIA & HIDROGEOLOGIA,1º, São Paulo.

RUEGG, N.R. - 1975 - Modelos de variação química na província basáltica do Brasil meridional - características de teor,distribuição geográfica e diferenciação, São Paulo. (Tese de Livre Docência-USP).

SAAD, A.R. - 1977 - Estratigrafia do Subgrupo Itararé no centro e sul do estado de São Paulo.São Paulo (Tese de Mestrado - USP).

SANTIAGO, M.M.F.; TORQUATO, J.R. & RADE, M.S.T. - 1980 - Fortaleza radiocarbon measurements I. *Radiocarbon*, 22(4): 1031-3.

SCHOELLER, H.I. - 1962 - *Les eaux souterraines*.Paris, Masson.

SETZER, J. - 1966 - *Atlas climático e ecológico do estado de São Paulo*.São Paulo, Comissão Interestadual da bacia do Paraná-Uruguai, CESP.

_____ - 1980 - Novas normais pluviométricas; 35 anos (1941-75). In: São Paulo. DAEE. CTH. *Comunicação técnica*, nº 8.

_____ & PORTO, R.L.L. - 1979 - Tentativa de avaliação do escoamento superficial de acordo com o solo e o seu recobrimento vegetal nas condições do estado de São Paulo. *Boletim Técnico DAEE*, São Paulo, 2 (2):

SILVA, R.B.G. da; DIOGO, A.& FRAIHA JR, S. - 1982 - Características hidroquímicas do aqüífero Botucatu no estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2, Salvador , 1982. Anais...

SINELLI, O. - 1979 - Química das águas subterrâneas-Aplicação a águas subterrâneas do Brasil meridional. Ribeirão Preto.(Tese de Livre Docência,USP-FFCLRP).

SOARES, P.C. - 1973 - O mesozóico gondwânico no estado de São Paulo. Rio Claro. (Tese de Doutoramento-UNESP).

SZIKSZAY, M.; TEISSEDRE, J.M.; BARNER, U. & MATSUI, E. - 1981 - Geochemical and isotopic characteristics of springs and groundwater in the state of São Paulo,Brazil. *Journal of Hydrology*, 54: 823-32.

TALTASSE, P. - 1968 - Os fácies hidroquímicos no estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 22º, Belo Horizonte, 1968. *Anais*... Belo Horizonte, SBG, v.263-6.

TAMERS, M.A. - 1967 - Radiocarbon ages of groundwater in arid zone unconfined aquifer. In: *Isotope Techniques in the Hydrology Cycle. Am. Geophys.Union,Geophys.Monogr.*Serie 11: 143-52.

TARDY, Y. - 1969 - Géochimie des altérations; étude des arènes et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d' Afriques.Strasbourg (Thèse. Mém.Serv.Carte géol.Alsace-Lorraine, 31).

TEISSEDRE, J.M. & BARNER, U. - 1981 - Comportamento geotérmico e geoquímico das águas do aqüífero Botucatu na bacia do Paraná. *Revista Águas Subterrâneas*, 4:85-95.

_____; SANCHES, J.L. & LOPES, M.F.C. - 1982 - Geometria e condições de exploração do aqüífero Botucatu no estado de São Paulo.In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS ,

2º, Salvador, 1982. *Anais*...

VOGEL, J.C. - 1970 - Carbon-14 dating of groundwater.In: *Isotope Hydrology*, IAEA. Symp. SM-129/150, p. 225-239.

_____ & EHHALT, D. - 1963 - The use of carbon isotopes in groundwater studies. In: *Radiocarbon in Hydrology.Proc.Symp.* Tokio.

WIGLEY, T.M.L. - 1975 - Carbon-14 dating of groundwater from closed and open systems. *Water Resour.Res.* 11(2): 324-328.

_____ - 1976 - Effect of mineral precipitation on isotopic composition and C-14 dating of groundwater. *Nature*, 263: 219-221.

YURTSEVER, Y. - 1975 - Worldwide survey of stable isotopes in precipitation, IAEA, Viena. (Relat.Interno).

_____ & GAT, J.R. - 1981 - Atmospheric waters. In: J. R. Gat & R.Gonfiantini(editores científicos), *Stable isotope hydrology-deuterium and oxygen-18 in water cycle.Technical Reports series* nº 210, Viena, IAEA.

ANEXOS

ANEXO 1

CADASTRO DE POÇOS TUBULARES PERFURADOS NO AQUÍFERO BOTUCATU

CADASTRO DE POÇOS TUBULARES PERFURADOS NO AQUÍFERO 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) t = total p = parcial	cota nível potenciométrico (m)	Q/s $m^3/h/m$	T m^2/s	condição do aquífero
1	23/s/nº	7769,6	810,9	Miguelópolis	502	262	252	12 p	> 502			confinado
2	24/1	7758,26	200,25	Ituverava	576	120	470	14 p	560	1,28		confinado
3	24/7	7781,00	211,90	Igarapava	640	150	504	14 p	604	0,05		confinado
4	25/1	7782,32	212,80	Igarapava	568	112	508	52 p(t)	530			confinado
5	25/2	7785,15	212,85	Igarapava	568	110	508	50 p	530			confinado
6	26/6	7786,12	241,75	Rifaina	670	127	670	117 p	615	2,3		livre
7	26/s/nº	7771,80	245,20	Pedregulho	660	122	640	102 p	648	0,10		confinado
8	31/36	7757,85	546,50	Jales	433	1323	-572	318 p	423	9,63	$3,9x10^{-3}$	confinado
9	33/45	7758,40	583,15	Fernandópolis	440	1460	-845	175 p	456	8,01		confinado
10	33/49	7757,10	581,20	Fernandópolis	480	1683	-857	308 t	449	5,40	$4,6x10^{-3}$	confinado
11	57/1	7710,32	761,95	Olimpia	499	2567	-365	376 t				confinado
12	58/21	7724,22	756,53	Barretos	496	720	-109	115 p	492			confinado
13	58/s/nº	7711,50	756,1	Colina	559	844	-164	121 p	481	1,74		confinado
14	61/2	7705,18	199,05	Orlandia	632	275	392	35 p	622	0,34		confinado
15	61/8	7705,05	212,95	Nuporanga	771	330	445	4 p	764	1,98		confinado
16	63/9	7705,48	261,65	Patrocinio	912	95	894	77 p				livre
17	74/215	7698,30	669,30	S.J.R.Preto	467	1100	-326	307 p	442	10,4	$8,5x10^{-3}$	confinado
18	74/216	7700,36	662,10	S.J.R.Preto	490	1136	-344	288 p	449	14,9	$8,5x10^{-3}$	confinado
19	80/8	7681,62	213,22	Jardinópolis	683	225	481	23 pt	578			
20	81/1	7688,45	231,13	Batatais	830	500	525	195 p	798	0,69		confinado
21	81/13	7685,25	226,60	Batatais	880	296	594	10 p	865	0,01		confinado

CADASTRO DE POÇOS TUBULARES PERFURADOS NO AQUÍFERO 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) t = total p = parcial	cota nível potenciométrico (m)	Q/s $m^3/h/m$	T m^2/s	condição do aquífero
22	81/16	7690,22	236,05	Batatais	700	266	598	160 p	612	9,05	$2,7x10^{-3}$	confinado
23	96/9	7660,90	711,00	Catanduva	496	860	39	345 p	452	25,49	$1,5x10^{-2}$	confinado
24	98/11	7650,90	761,25	Monte Alto	585	581	121	117 p	521	2,74	$2,4x10^{-3}$	confinado
25	98/13	7648,35	781,35	Jabuticabal	540	266	290	16 p	505	10,8		confinado
26	99/14	7662,55	805,50	Sertãozinho	523	332	230	39 p	522			confinado
27	99/15	7672,00	808,00	Pontal	510	196	408	24 p				confinado
28	100/5	7658,65	209,26	Rib.Preto	510	162	510	162 p	486	5,15		livre
29	100/20	7657,34	207,95	Rib.Preto	517	67	483	33 p				confinado
30	100/47	7656,27	208,37	Rib.Preto	522	96	429	3 p	492	13,5	$1,3x10^{-3}$	confinado
31	100/52	7653,95	209,55	Rib.Preto	520	150	410	40 p			$7,5x10^{-4}$	confinado
32	100/64	7655,80	206,05	Rib.Preto	528	117			502	6,84	$2,7x10^{-3}$	confinado
33	100/108	7648,44	191,18	Dumont	580	204	385	9 p	577	0,84		confinado
34	100/117	7659,35	189,30	Sertãozinho	523	115	431	23 p	478	10,25	$1,2x10^{-3}$	confinado
35	100/119	7659,68	189,90	Sertãozinho	540	114	446	20 p	477		$7,2x10^{-4}$	confinado
36	100/135	7656,23	208,07	Rib.Preto	515	75	483	43 p				confinado
37	100/s/nº	7653,50	213,25	Rib.Preto	570	180	570	180 p	539	3,75	$1,2x10^{-3}$	livre
38	101/1	7652,42	230,40	Serrana	560	170	543	153 p	546			livre
39	101/5	7649,20	233,30	Serrana	645	120	630	105 p	625			livre
40	101/14	7661,45	234,35	Altinópolis	628	172	+603	148 p	537			livre
41	101/15	7655,60	236,95	Altinópolis	520	100	516	96 p	520			livre
42	101/18	7665,40	214,70	Jardinópolis	536	140	414	18 p	486	0,75		confinado

CADASTRO DE POÇOS TUBULARES PERFURADOS NO AQUÍFERO 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) t = total p = parcial	cota nível potenciométrico (m)	Q/s $m^3/h/m$	T m^2/s	condição do aquífero
43	102/1	7673,65	252,95	Altinópolis	894	157	805	69 p	893			confinado
44	115/1	7624,30	683,60	Novo Horiz.	451	600	31	180 p	437	14,96	$6,9x10^{-3}$	confinado
45	118/1	7621,10	767,05	Dobrada	538	220	374	56 p	510	3,04		confinado
46	118/24	7647,20	779,07	Jabuticabal	555	456	245	146 p	551	0,83	$9,8x10^{-4}$	confinado
47	119/1	7623,65	809,00	Guatapará	578	150	529	101 p	565	0,24		confinado
48	119/8	7643,80	800,20	Pradópolis	552	252	339	39 p	493	3,9		confinado
49	119/9	7619,85	806,80	Guatapará	514	130	514	130 p	507			livre
50	119/11	7636,0	788,0	Guatapará	590	600	280	290 p	493	15,89	$1,3x10^{-2}$	confinado
51	121/5	7621,65	235,25	São Simão	660	120	660	120 p				livre
52	121/7	7624,0	234,3	São Simão	613		613		513	7,3		livre
53	121/8	7625,28	231,52	São Simão	629	100	629	100 p	616	7,80		livre
54	121/11	7629,70	234,81	São Simão	663	125	663	100 p	605			livre
55	121/13	7631,08	231,48	São Simão	680	142	680	142 p	631			livre
56	121/14	7641,45	234,23	Serra Azul	600	196	545	141 p	593	0,91		confinado
57	122/4	7622,55	254,06	Sta.R.Viter.	710	94	710	69 p	708	0,05		livre
58	123/11	7645,45	275,05	Cassia dos Coqueiros	875	147	795	62 t	844	0,12		confinado
59	135/5	7600,65	628,75	Lins	417	3459	-189	390 t+	428	22,5		confinado
60	135/28	7603,00	627,40	Lins	480	1042	-161	382 t	441	19,9	$1,5x10^{-2}$	confinado
61	139/10	7609,30	726,15	Itápolis	460	277	184	1 p	457	7,02	$1,8x10^{-3}$	confinado
62	139/11	7594,20	725,00	Ibitinga	460	434	170	140 p	422	2,08	$5,8x10^{-4}$	confinado
63	141/8	7609,94	773,80	Matão	598	332	292	26 p	522	4,5		confinado

CADASTRO DE POÇOS TUBULARES PERFURADOS NO AQUÍFERO 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) t = total p = parcial	cota nível potenciométrico (m)	Q/s $m^3/h/m$	T m^2/s	condição do aquífero
64	141/9	7608,64	771,78	Matão	570	300	323	53 p	524			confinado
65	141/14	7609,32	772,26	Matão	542	300	319	77 p	523	3,39		confinado
66	142/2	7594,60	808,50	Araraquara	535	100	535	100 p	532			livre
67	142/3	7610,57	803,25	Rincão	507	90	507	90 p	505			livre
68	142/11	7612,28	798,11	Rincão	580	154	476	50 p				confinado
69	142/14	7609,22	802,92	Rincão	550	140	550	140 p	531	10,85		livre
70	143/1	7596,05	195,40	Am.Brasil	610	84	610	84 p				livre
71	143/2	7605,89	199,40	Rincão	539	42	539	42 p	533	0,70		livre
72	143/4	7617,37	192,80	Rib.Preto	564	130	564	130 p	530			livre
73	143/5	7614,10	195,45	Rib.Preto	581	140	581	140 p	534			livre
74	143/7	7617,25	190,33	Rib.Preto	558	241	558	241 p				livre
75	144/2	7612,15	216,70	Luiz Antonio	620	150	600	130 p	579	16,67		livre
76	145/1	7617,80	254,60	Sta.Rosa Vit.	780	109	780	109 p	768			livre
77	150/15	7593,60	386,20	Pres.Epit.	262	3953	-1361	232 t	368			confinado
78	165/4	7565,88	769,58	Boa Esp.Sul	480	183	300	3 p	480			confinado
79	165/5	7566,70	763,05	Boa Esp.Sul	550	151	550	151 p				livre
80	166/33	7588,35	790,10	Araraquara	602	300	459	151 p	547	1,30		confinado
81	166/44	7586,65	794,15	Araraquara	610	319	513	222 p	529	2,75	$1,0x10^{-3}$	confinado
82	166/45	7584,70	792,90	Araraquara	625	356	471	202 p	527	1,64	$5,6x10^{-4}$	confinado
83	167/1	7569,20	190,10	Ibaté	828	192	670	35 p	812	0,19		confinado
84	168/3	7582,25	229,34	Descalvado	705	42	705	42 p	694			livre

CADASTRO DE POÇOS TUBULARES PERFURADOS NO AQUÍFERO 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) t = total p = parcial	cota nível potenciométrico (m)	Q/s $m^3/h/m$	T m^2/s	condição do aquífero
85	168/9	7573,70	228,15	Descalvado	672	83	672	83 p				livre
86	168/17	7581,40	240,65	Porto Fer.	540	72	540	72 p	498	1,16		livre
87	177/82	7553,60	457,30	Pres.Prud.	407	1800	-1033	290 t	420	15,46	$2,6x10^{-3}$	confinado
88	187/s/n	7544,30	728,50	Boracéia	480	254	268	42 p	469	5,85	$1,5x10^{-3}$	confinado
89	188/1	7556,65	733,35	Bariri	435	145	304	14 p	> 435	3,25		confinado
90	188/8	7550,30	756,15	Bocaina	560	312	480	229 t	487	1,07	$4,7x10^{-4}$	confinado
91	189/1	7562,90	771,40	Boa Esp.Sul	562	147	562	99 p	505			livre
92	189/8	7564,75	769,55	Boa Esp.Sul	535	98	535	98 p	507	1,60	$5,8x10^{-4}$	livre
93	191/1	7561,55	201,91	São Carlos	835	140	744	54 p	812	0,5		confinado
94	191/2	7562,05	201,85	São Carlos	805	130	715	40 p	765			confinado
95	191/7	7561,36	201,70	São Carlos	824	235	732	143 p	744	7,20		confinado
96	191/25	7558,95	205,10	São Carlos	832	111	827	105 p	797	0,33		livre
97	191/32	7537,30	194,60	Brotas	750	161	750	160 p	730	3,91		livre
98	191/34	7542,15	201,55	São Carlos	715	50	715	50 p				livre
99	191/37	7549,20	210,90	Itirapina	770	100	770	100 p	740	0,4		livre
100	191/39	7537,40	212,75	Itirapina	815	90	815	90 p	785			livre
101	191/41	7537,15	209,65	Itirapina	762	150	750	134 p	746	4,7	$8,1x10^{-4}$	livre
102	192/2	7545,05	217,33	Analândia	835	86	785	36 p	823	3,3		livre
103	192/5	7538,25	217,45	Itirapina	885	118	870	63 p	810	12,0		livre
104	192/6	7538,80	217,55	Itirapina	880	129	880	83 p+	797	4,6		livre
105	206/2	7520,80	540,50	Parag.Pta.	474	3663	-500	276 t	430	6,28		confinado

CADASTRO DE POÇOS TUBULARES PERFURADOS NO AQUÍFERO 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) t = total p = parcial	cota nível potenciométrico (m)	Q/s $m^3/h/m$	T m^2/s	condição do aquífero
106	212/9	7530,85	694,45	Bauru	585	171	533	119 p	553	2,81		confinado
107	212/19	7530,95	699,90	Bauru	524	150	416	42 p	481	6,60		confinado
108	212/147	7531,80	699,70	Bauru	520	354	460	250 t	498	8,09	$3,9x10^{-3}$	confinado
109	212/153	7521,75	693,60	Piratininga	480	140	432	86 t	468	5,83		confinado
110	212/154	7522,15	693,90	Piratininga	480	144	434	94 t	467	7,86		confinado
111	212/155	7530,10	702,35	Bauru	510	295	456	234 t	485	10,45	$3,5x10^{-3}$	confinado
112	212/161	7533,50	697,95	Bauru	540	371	442	270 t	460	5,30	$3,5x10^{-3}$	confinado
113	213/13	7525,10	729,70	Pederneiras	502	162	384	44 p	500	0,34		confinado
114	213/19	7514,02	706,95	Agudos	560	242	464	146 p	524	1,97		confinado
115	213/22	7511,50	715,50	Agudos	560	250	512	196 p+	550	2,17	$4,8x10^{-4}$	confinado
116	213/29	7527,55	729,75	Pederneiras	502	255	271	24 p	475	0,55		confinado
117	213/32	7526,35	729,65	Pederneiras	450	298	403	249 p	445	3,70	$1,5x10^{-3}$	confinado
118	213/33	7516,05	728,85	Perdeneiras	495	176	369	50 p	462	1,91		confinado
119	213/34	7513,00	728,45	Macatuba	532	343	418	229 t	458	2,60	$1,8x10^{-3}$	confinado
120	213/35	7512,90	706,45	Agudos	590	406	449	215 t+	509	2,09		confinado
121	213/ s/nº	7530,80	712,50	Pederneiras	475	120	383	28 p	> 475	1,97		confinado
122	214/1	7509,85	751,60	Barra Bonita	444	114			440	4,10		confinado
123	214/6	7511,00	753,07	Barra Bonita	500	120	387	7 p	431	0,63		confinado
124	214/7	7509,95	752,10	Barra Bonita	480	180	412	112 p	437	3,10		confinado
125	214/19	7533,35	746,00	Jaú	545	180	390	25 p	491	1,10		confinado
126	214/24	7526,95	738,10	Jaú	440	400	225	185 p	> 440			confinado

CADASTRO DE POÇOS TUBULARES PERFURADOS NO AQUÍFERO 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) t = total p = parcial	cota nível potenciométrico (m)	Q/s $m^3/h/m$	T m^2/s	condição do aquífero
127	217/4	7536,20	211,80	Itirapina	775	108	775	108 p	763	5,0		livre
128	217/6	7536,00	210,60	Itirapina	775	130	775	130 p	765	3,8	$1,3x10^{-3}$	livre
129	217/8	7535,90	209,30	Itirapina	765	87	765	87 p	737	1,4		livre
130	218/27	7516,24	219,92	Ipeúna	635	50	635	50 p	630	2,6		livre
131	242/4	7496,45	719,65	Lençóis Pta.	585	186	455	56 p	529	0,35		confinado
132	243/4	7508,30	750,60	Ig.do Tietê	526	190	416	80 p	436	0,20		confinado
133	243/6	7509,15	751,80	Ig.do Tietê	465	140	345	20 p	428	1,64		confinado
134	243/7	7508,15	751,60	Ig.do Tietê	475	120	380	25 p	448	1,57		confinado
135	243/9	7509,20	735,15	Macatuba	500	228	470	164 p+	473	3,30	$2,0x10^{-3}$	confinado
136	243/10	7490,92	752,35	São Manuel	590	193	590	193 p	550	4,20		livre
137	243/12	7490,45	752,45	São Manuel	620	175	620	175 p	568	3,33		confinado
138	243/s/nº	7488,25	740,20	Areiópolis	580	204	428	52 p	489	1,76		confinado
139	243/s/nº	7489,90	740,40	Areiópolis	590	160	468	38 p	504	1,03	$7,5x10^{-4}$	confinado
140	244/s/nº	7489,50	773,20	Botucatu	480	124	480	74 t	460	0,03		livre
141	244/s/nº	7478,85	767,00	Botucatu	540	76	540	74 p	539	0,19		livre
142	245/1	7502,35	789,3	Sta.M.Serra	555	197	555	128 p+	483	0,23		livre
143	245/2	7498,56	796,95	Torrinha	540	150	540	150 p	500	1,2		livre
144	245/4	7500,52	807,95	São Pedro	590	150	590	150 p	540	0,4		livre
145	245/5	7495,94	803,3	São Pedro	510	112	485	65 p	490	0,13		livre
146	267/1	7465,55	541,15	Sta.C.Pardo	440	124	326	10 p	446	5,90	$7,5x10^{-3}$	confinado
147	267/2	7466,55	541,50	Sta.C.Pardo	460	198	264	2 p	457	5,90		confinado

CADASTRO DE POÇOS TUBULARES PERFURADOS NO AQUÍFERO BOTUCATU

nº de ordem	código de origem	coordenadas		município	altitude (m)	prof. (m)	posição do aquífero		características hidráulicas			condição do aquífero
		N-S	E-O				cota topo (m)	espessura (m) t = total p = parcial	cota nível potenciométrico (m)	Q/s $m^3/h/m$	T m^2/s	
148	269/10	7468,60	680,80	Aguas S.Barb.	560	120	552	62 p+	> 560			confinado
149	272/16	7473,02	772,85	Botucatu	630	134	624	128 p	574	1,31		livre
150	272/17	7468,40	772,50	Botucatu	615	140	609	134 p	564	0,57		livre
151	291/1	7432,50	643,15	Timburi	820	206	698	84 p+	785	0,16		confinado
152	291/3	7450,10	641,00	Ipauçu	565	90	500	25 p	550	0,65		confinado
153	291/14	7451,10	634,85	Chavantes	555	220	364	29 p	542	2,38		confinado
154	292/12	7435,00	665,10	Piraju	540	322	282	64 p	518	0,48		confinado
155	292/13	7453,55	655,70	B.de Campo	660	509	333	182 p	566	5,57	$2,9x10^{-3}$	confinado
156	293/s/nº	7440,30	699,10	Arandu	630	85	552	7 p	625	0,31		confinado
157	294/10	7430,95	707,55	Avaré	640	150	605	115 p	588	2,3		confinado
158	294/36	7430,95	706,25	Avaré	580	80	570	70 p	577	0,36		confinado
159	294/42	7444,5	712,25	Avaré	760	420	586	241 t	617	10,4	$4,2x10^{-3}$	confinado
160	312/3	7425,70	655,10	Sarutaiá	750	152	724	119 p	742	1,44		confinado
161	313/5	7422,83	689,75	Itaí	650	100	630	80 p	604	0,62		livre
162	313/11	7423,15	703,60	Avaré	610	100	600	90 p	587	1,6		livre
163	314/5	7425,90	704,90	Avaré	575	120	575	75 p	564	0,25		livre
164	314/13	7423,70	710,00	Avaré	600	101	550	51 p	565	0,29		livre
165	2-TB-1-SP	7530,15	464,30	Taciba	504	4951	-996	200 t				confinado
166	2-AR-1-SP	7663,31	565,90	Araçatuba	371	3605	-557	437 t+				confinado
167	2-AA-1-SP	7533,35	598,69	Am. Amaral	437	2992	-457	216 t				confinado
168	2-LA-1-SP	7605,39	521,40	Lagoa Azul	415	4416	-828	317 t				confinado

CADASTRO DE POÇOS TUBULARES PERFURADOS NO AQUÍFERO 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) t = total p = parcial	cota nível potenciométrico (m)	Q/s $m^3/h/m$	T m^2/s	condição do aquífero
169	2-CB-1-SP	7533,20	392,94	Cuiabá Pta.	396	5155	-1540	148 t				confinado
170	3-CB-2-SP	7530,81	392,89	Cuiabá Pta.	373	4700	-1481	186 t				confinado
171	3-CB-3-SP	7530,80	390,54	Cuiabá Pta.	377	4700	-1367	245 t				confinado
172	3-CB-4-SP	7528,40	390,54	Cuiabá Pta.	386	4700	-1338	202 t				confinado
173	1-TI-1-SP	7527,87	430,68	Tarabai	393	4690	-1339	199 t				confinado
174	TL-1-MT	7688,75	422,23	Três Lagoas	315	4582	- 508	417 t	> 315			confinado
175	AP-1-PR	7402,5	478,0	Apucarana	828	4300	- 376	103 t				confinado
176	LO/PR	7416,25	480,75	Londrina	450	969	- 396	110 t	450			confinado
177	CP/PR	7436,25	536,25	C.Procópio	650	1082	- 210	142 p	440			confinado
178	CP/PR	7436,25	536,25	C.Procópio	586	979	- 220	149 t	424	3,0		confinado
179	2-RI-1-PR	7419,02	351,22	Rio Ivaí	306	5336	- 758	101 t				confinado

ANEXO 2

RESULTADOS DE ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DE AMOSTRAS DE ÁGUAS DE CHUVA E SUBTERRÂNEAS

DETERMINAÇÕES QUÍMICAS DE AMOSTRAS DE ÁGUA DE CHUVA EM RIBEIRÃO PRETO

amostra	data da coleta	T °C	pH	C.E. (µS/cm)	Ca^{++} (mg/l)	Mg^{++} (mg/l)	Na^{+} (mg/l)	K^{+} (mg/l)	Cl^{-} (mg/l)	SiO_2 (mg/l)
3	28/09/81	24,0	5,5	31	2,23	1,42	0,60	1,0	2,5	0,25
4	05/10/81	24,0	5,5	24	1,81	3,08	0,0	0,48	3,0	2,00
5	13/10/81	26,0	5,5	13	2,46	2,97	0,0	0,48	3,0	0,0
6	19/10/81	19,0	6,0	6,2	1,18	2,14	0,0	0,0	2,5	traços
7	26/10/81	27,0	5,5	7,6	1,06	2,07	0,0	0,0		traços
8	03/11/81	23,5	5,0	13	1,29	2,14	0,0	0,0		traços
9	09/11/81	27,0	5,0	28						
10	16/11/81	23,0	5,5	12	1,29	2,07	0,0	0,0		0,0
12	30/11/81	27,0	5,5	9,4	0,71	0,78	0,0	0,0		0,0
13	07/12/81	25,0	5,5	12	0,35	0,93	0,0	0,20		0,0
14	14/12/81	26,0	5,5	7,5	0,24	1,21	0,0	0,0		0,0
15	21/12/81	28,5	5,5	9,8						
16	28/12/81	26,5	5,5	10	0,24	1,0	0,0	0,0		0,0
17	04/01/82	25,5	5,5	5,5	0,47	0,71	0,0	0,0		0,0
18	11/01/82	23,0	5,5	5,1	0,35	0,28	0,0	0,0		0,0
19	25/01/82	22,5	5,0	6,2	0,47	0,43	0,0	0,0		0,0
20	08/02/82	28,0	5,0	8,1	0,35	0,71	0,30	0,0		0,0
21	01/03/82	27,0	5,5	1,5						
22	15/03/82	27,0	5,5	4,8	0,35	0,36	0,0	0,0		0,0
23	22/03/82	25,0	5,0	5,2	0,59	0,29	0,0	0,0		0,0
25	12/04/82	25,0	5,0	19						
26	19/04/82	23,5	5,0	5,3	0,56	0,32	0,0	0,0		0,0
27	03/05/82	21,0	5,5							
28	24/05/82	22,0	5,5							
29	31/05/82	18,5	5,0	6,1	0,49	0,44	0,0	0,0		0,0
30	14/06/82	26,0	5,5	13						
31	21/06/82	18,5	5,5	4,1	0,32	0,36	0,0	0,0		0,0
32	06/07/82	18,0	5,5	9,1						
33	19/07/82	22,0	5,5	9,4	0,75	0,80	0,0	0,0		0,0

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DE AMOSTRAS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

nº de ord.	código de origem	data coleta	Na^+ mg/l	Na^+ meq/l	Na^+ %	K^+ mg/l	K^+ meq/l	K^+ %	Ca^{++} mg/l	Ca^{++} meq/l	Ca^{++} %	Mg^{++} mg/l	Mg^{++} meq/l	Mg^{++} %	r K/Na	r Na/Ca	r Mg/Ca
8	031036	07051981	92.00	4.00	97.2	1.20	0.03	0.7	1.00	0.05	1.2	0.40	0.03	0.8	0.01	80.20	0.66
9	033045	17101978	102.00	4.44	97.5	0.80	0.02	0.4	1.50	0.07	1.6	0.20	0.02	0.4	0.00	59.28	0.22
10	033049	28101981	126.00	5.48	94.9	1.80	0.05	0.8	3.69	0.18	3.2	0.75	0.06	1.1	0.01	29.77	0.34
11	057001	08121981	77.00	3.35	98.3	0.30	0.01	0.2	0.76	0.04	1.1	0.17	0.01	0.4	0.00	88.32	0.37
17	074215	08121981	91.00	3.96	97.4	0.50	0.01	0.3	1.60	0.08	2.0	0.17	0.01	0.3	0.00	49.58	0.18
18	074216	15061979	43.00	1.87	90.1	1.50	0.04	1.8	3.00	0.15	7.2	0.20	0.02	0.8	0.02	12.49	0.11
22	081016	01121976	12.80	0.56	66.8	4.60	0.12	14.1	3.20	0.16	19.1	0.0	0.0	0.0	0.21	3.49	0.0
23	096009	27101981	77.00	3.35	94.7	0.30	0.01	0.2	2.41	0.12	3.4	0.73	0.06	1.7	0.00	27.85	0.50
24	098011	27101981	16.00	0.70	36.3	2.40	0.06	3.2	20.00	1.00	52.0	1.99	0.16	8.5	0.09	0.70	0.16
25	098013	27071982	28.40	1.24	56.5	1.80	0.05	2.1	16.80	0.84	38.4	0.80	0.07	3.0	0.04	1.47	0.08
29	100020	15031982	1.00	0.04	9.8	4.00	0.10	23.2	2.80	0.14	31.6	1.90	0.16	35.4	2.35	0.31	1.12
34	100117	10021982	3.90	0.17	10.5	3.00	0.08	4.7	24.30	1.21	75.1	1.90	0.16	9.7	0.45	0.14	0.13
39	101005	01041982	3.50	0.15	11.2	1.50	0.04	2.8	12.00	0.60	43.9	7.00	0.58	42.2	0.25	0.25	0.96
44	115001	27101981	98.00	4.26	95.0	0.70	0.02	0.4	2.45	0.12	2.7	1.02	0.08	1.9	0.00	34.87	0.69
46	118024	28011977	11.00	0.48	18.8	4.50	0.12	4.5	31.50	1.57	61.8	4.60	0.38	14.9	0.24	0.30	0.24
49	119009	16031982	1.30	0.06	10.9	3.30	0.08	16.3	4.40	0.22	42.5	1.90	0.16	30.2	1.49	0.26	0.71
50	119011	08051982	15.40	0.67	33.6	2.70	0.07	3.5	18.40	0.92	46.0	4.10	0.34	16.9	0.10	0.73	0.37
52	121007	14041982	2.60	0.11	15.2	2.10	0.05	7.2	4.80	0.24	32.2	4.10	0.34	45.4	0.47	0.47	1.41
54	121011	14051982	1.90	0.08	8.5	1.70	0.04	4.5	10.90	0.54	55.8	3.70	0.30	31.2	0.53	0.15	0.56
56	121014	09021982	1.30	0.06	16.7	2.30	0.06	17.4	3.33	0.17	49.1	0.69	0.06	16.8	1.04	0.34	0.34
59	135005	28101981	116.00	5.05	96.5	0.60	0.02	0.3	2.37	0.12	2.3	0.63	0.05	1.0	0.00	42.67	0.44
61	139010	01071976	8.50	0.37	19.6	2.10	0.05	2.8	20.70	1.03	54.8	5.20	0.43	22.7	0.15	0.36	0.41
62	139011	12021982	100.00	4.35	96.2	0.70	0.02	0.4	2.13	0.11	2.4	0.56	0.05	1.0	0.00	40.93	0.43
65	141014	26031981	5.50	0.24	7.1	6.50	0.17	4.9	36.70	1.83	54.4	13.70	1.13	33.5	0.69	0.13	0.62
66	142002	29041982	2.90	0.13	15.5	4.20	0.11	13.2	6.80	0.34	41.8	2.90	0.24	29.4	0.85	0.37	0.70
76	145001	21031980	0.0	0.0	0.0	2.00	0.05	18.9	3.40	0.17	62.8	0.60	0.05	18.3	*******	0.0	0.29
79	165005	16031982	0.20	0.01	13.9	0.50	0.01	20.4	0.0	0.0	0.0	0.50	0.04	65.7	1.47	*******	*******
80	166033	26031981	1.10	0.05	7.2	4.40	0.11	17.0	5.60	0.28	42.2	2.70	0.22	33.6	2.35	0.17	0.79
83	167001	10051982	2.40	0.10	14.8	4.00	0.10	14.5	10.00	0.50	70.7	0.0	0.0	0.0	0.98	0.21	0.0
85	168009	19041982	2.10	0.09	8.6	2.60	0.07	6.2	7.50	0.37	35.1	6.50	0.53	50.1	0.73	0.24	1.43
87	177082	18011982	225.00	9.79	97.0	2.20	0.06	0.6	4.49	0.22	2.2	0.24	0.02	0.2	0.01	43.68	0.09
89	188001	26031981	2.90	0.13	4.9	4.10	0.10	4.1	37.60	1.88	73.1	5.60	0.46	17.9	0.83	0.07	0.25
90	188008	15081980	7.20	0.31	9.5	2.00	0.05	1.6	50.40	2.51	76.2	5.10	0.42	12.7	0.16	0.12	0.17
93	191001	10051982	2.20	0.10	13.2	2.60	0.07	9.2	6.00	0.30	41.3	3.20	0.26	36.3	0.69	0.32	0.88
94	191002	20121972	1.20	0.05	12.2	1.70	0.04	10.2	5.00	0.25	58.4	1.00	0.08	19.2	0.83	0.21	0.33
98	191034	18021982	0.10	0.00	9.2	0.20	0.01	10.8	0.0	0.0	0.0	0.46	0.04	80.0	1.18	*******	*******
104	192006	05021980	0.0	0.0	0.0	0.10	0.00	3.8	0.30	0.01	22.4	0.60	0.05	73.8	*******	0.0	3.30
105	206002	18011982	128.00	5.57	99.1	0.60	0.02	0.3	0.48	0.02	0.4	0.12	0.01	0.2	0.00	232.46	0.41
109	212153	30031979	25.00	1.09	84.8	0.40	0.01	0.8	2.70	0.13	10.5	0.60	0.05	3.9	0.01	8.07	0.37
111	212155	20011982	23.50	1.02	76.1	1.10	0.03	2.1	5.49	0.27	20.4	0.22	0.02	1.3	0.03	3.73	0.07
117	213032	21011982	1.80	0.08	3.5	5.20	0.13	6.0	37.00	1.85	82.8	2.10	0.17	7.7	1.70	0.04	0.09
118	213033	05091980	5.70	0.25	19.7	2.00	0.05	4.1	14.80	0.74	58.6	2.70	0.22	17.6	0.21	0.34	0.30
120	213035	19051981	10.80	0.47	24.8	2.10	0.05	2.8	22.30	1.11	58.8	3.10	0.26	13.5	0.11	0.42	0.23
122	214001	12021982	4.80	0.21	10.8	2.40	0.06	3.2	24.30	1.21	63.0	5.37	0.44	23.0	0.29	0.17	0.36
126	214024	26031981	7.30	0.32	21.3	2.70	0.07	4.6	19.00	0.95	63.6	1.90	0.16	10.5	0.22	0.33	0.16
128	217006	05021980	0.30	0.01	10.7	1.40	0.04	29.4	0.80	0.04	32.8	0.40	0.03	27.0	2.74	0.33	0.82
135	243009	21011982	3.70	0.16	12.4	2.00	0.05	3.9	13.80	0.69	53.2	4.79	0.39	30.4	0.32	0.23	0.57
144	245004	31011980	0.0	0.0	0.0	0.70	0.02	10.8	1.30	0.06	39.3	1.00	0.08	49.8	*******	0.0	1.27
146	267001	20011982	19.00	0.83	74.2	0.50	0.01	1.1	5.05	0.25	22.6	0.27	0.02	2.0	0.02	3.28	0.09
148	269010	20011982	9.30	0.40	26.7	2.40	0.06	4.0	20.80	1.04	68.5	0.15	0.01	0.8	0.15	0.39	0.01
149	272016	24021981	0.80	0.03	17.1	2.90	0.07	36.5	0.90	0.04	22.1	0.60	0.05	24.3	2.13	0.77	1.10
150	272017	24021981	0.30	0.01	12.3	0.80	0.02	19.2	0.80	0.04	37.5	0.40	0.03	30.9	1.57	0.33	0.82
154	292012	24021980	17.00	0.74	38.1	1.80	0.05	2.4	21.00	1.05	54.0	1.30	0.11	5.5	0.06	0.71	0.10
155	292013	23091982	14.50	0.63	28.4	1.60	0.04	1.8	26.60	1.33	59.8	2.70	0.22	10.0	0.06	0.48	0.17
157	294010	03021981	4.40	0.19	13.9	2.20	0.06	4.1	14.50	0.72	52.6	4.90	0.40	29.3	0.29	0.26	0.56
159	294042	19081982	20.00	0.87	34.7	1.20	0.03	1.2	24.50	1.22	48.7	4.70	0.39	15.4	0.04	0.71	0.32
160	312003	08071981	6.10	0.27	29.6	2.90	0.07	8.3	9.50	0.47	52.9	1.00	0.08	9.2	0.28	0.56	0.17
162	313011	26021981	0.30	0.01	5.4	1.90	0.05	20.0	1.00	0.05	20.5	1.60	0.13	54.1	3.72	0.26	2.64
174	999001	28101981	160.00	6.96	96.4	0.80	0.02	0.3	4.49	0.22	3.1	0.15	0.01	0.2	0.00	31.06	0.06
176	999002	20111981	368.00	16.01	96.5	2.08	0.05	0.3	8.21	0.41	2.5	1.45	0.12	0.7	0.00	39.07	0.29
177	999003	19011982	101.00	4.39	98.1	0.60	0.02	0.3	1.24	0.06	1.4	0.12	0.01	0.2	0.00	71.00	0.16

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DE AMOSTRAS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

nº de ord.	código de origem	data coleta	HCO_3^- mg/l	HCO_3^- meq/l em $CaCO_3$	HCO_3^- %	CO_3^{--} mg/l	CO_3^{--} meq/l em $CaCO_3$	CO_3^{--} %	SO_4^{--} mg/l	SO_4^{--} meq/l	SO_4^{--} %	Cl^- mg/l	Cl^- meq/l	Cl^- %	$\frac{SO_4}{Cl}$ r	$\frac{Cl}{HCO_3}$ r
8	031036	07051981	96.00	1.92	48.8	44.00	0.88	22.4	27.00	0.56	14.3	20.40	0.58	14.6	0.98	0.30
9	033045	17101978	92.00	1.84	40.9	30.00	0.60	13.3	36.00	0.75	16.7	46.50	1.31	29.1	0.57	0.71
10	033049	28101981	81.00	1.62	30.6	38.00	0.76	14.4	56.00	1.17	22.1	61.70	1.74	32.9	0.67	1.07
11	057001	08121981	83.00	1.66	47.8	66.00	1.32	38.1	14.00	0.29	8.4	7.00	0.20	5.7	1.48	0.12
17	074215	08121981	96.00	1.92	49.5	66.00	1.32	34.0	13.00	0.27	7.0	13.00	0.37	9.5	0.74	0.19
18	074216	15061979	44.00	0.88	45.6	24.00	0.48	24.9	20.00	0.42	21.6	5.50	0.16	8.0	2.68	0.18
22	081016	01121976	33.00	0.66	75.4	9.00	0.18	20.6	1.00	0.02	2.4	0.50	0.01	1.6	1.48	0.02
23	096009	27101981	86.00	1.72	50.3	78.00	1.56	45.6	5.00	0.10	3.0	1.30	0.04	1.1	2.84	0.02
24	098011	27101981	84.00	1.68	93.1	2.00	0.04	2.2	3.00	0.06	3.5	0.80	0.02	1.3	2.77	0.01
25	098013	27071982	95.00	1.90	85.7	0.0	0.0	0.0	2.00	0.04	1.9	9.80	0.28	12.5	0.15	0.15
29	100020	15031982	19.00	0.38	96.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.50	0.01	3.6	0.0	0.04
34	100117	10021982	74.00	1.48	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*******	0.0
39	101005	01041982	45.00	0.90	87.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.50	0.13	12.4	0.0	0.14
44	115001	27101981	102.00	2.04	50.4	69.00	1.38	34.1	15.00	0.31	7.7	11.20	0.32	7.8	0.99	0.15
46	118024	28011977	86.00	1.72	82.7	0.0	0.0	0.0	3.00	0.06	3.0	10.50	0.30	14.3	0.21	0.17
49	119009	16031982	22.00	0.44	94.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.03	6.0	0.0	0.06
50	119011	08051982	95.00	1.90	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*******	0.0
52	121007	14041982	10.00	0.20	59.9	0.0	0.0	0.0	1.00	0.02	6.2	4.00	0.11	33.8	0.18	0.56
54	121011	14051982	29.00	0.58	83.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.00	0.11	16.3	0.0	0.19
56	121014	09021982	14.00	0.28	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*******	0.0
59	135005	28101981	85.00	1.70	34.0	145.00	2.90	58.0	13.00	0.27	5.4	4.70	0.13	2.7	2.04	0.08
61	139010	01071976	90.00	1.80	98.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.30	0.04	2.0	0.0	0.02
62	139011	12021982	128.00	2.56	57.1	62.00	1.24	27.7	22.00	0.46	10.2	8.00	0.23	5.0	2.03	0.09
65	141014	26031981	130.00	2.60	89.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.00	0.31	10.7	0.0	0.12
66	142002	29041982	34.00	0.68	96.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.03	4.0	0.0	0.04
76	145001	21031980	14.00	0.28	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	*******	0.0
79	165005	16031982	2.00	0.04	73.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.50	0.01	26.1	0.0	0.35
80	166033	26031981	27.00	0.54	95.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.03	5.0	0.0	0.05
83	167001	10051982	15.00	0.30	72.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.00	0.11	27.3	0.0	0.38
85	168009	19041982	33.00	0.66	95.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.03	4.1	0.0	0.04
87	177082	18011982	170.00	3.40	35.8	22.00	0.44	4.6	92.00	1.92	20.1	133.00	3.75	39.5	0.51	1.10
89	188001	26031981	125.00	2.50	98.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.03	1.1	0.0	0.01
90	188008	15081980	158.00	3.16	97.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.50	0.10	3.0	0.0	0.03
93	191001	10051982	13.00	0.26	78.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.50	0.07	21.3	0.0	0.27
94	191002	20121972	21.00	0.42	96.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.50	0.01	3.3	0.0	0.03
98	191034	18021982	1.00	0.02	58.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.50	0.01	41.4	0.0	0.71
104	192006	05021980	2.00	0.04	73.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.50	0.01	26.1	0.0	0.35
105	206002	18011982	97.00	1.94	35.3	144.00	2.88	52.5	10.00	0.21	3.8	16.40	0.46	8.4	0.45	0.24
109	212153	30031979	33.00	0.66	56.9	17.00	0.34	29.3	5.00	0.10	9.0	2.00	0.06	4.9	1.85	0.09
111	212155	20011982	62.00	1.24	90.2	6.00	0.12	8.7	0.0	0.0	0.0	0.50	0.01	1.0	0.0	0.01
117	213032	21011982	104.00	2.08	90.5	0.0	0.0	0.0	10.00	0.21	9.1	0.40	0.01	0.5	18.45	0.01
118	213033	05091980	59.00	1.18	92.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.60	0.10	7.9	0.0	0.09
120	213035	19051981	91.00	1.82	95.4	0.0	0.0	0.0	3.00	0.06	3.3	0.90	0.03	1.3	2.46	0.01
122	214001	12021982	82.00	1.64	95.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.00	0.08	4.9	0.0	0.05
126	214024	26031981	72.00	1.44	98.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.03	1.9	0.0	0.02
128	217006	05021980	5.00	0.10	87.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.50	0.01	12.4	0.0	0.14
135	243009	21011982	54.00	1.08	94.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.30	0.06	5.7	0.0	0.06
144	245004	31011980	6.00	0.12	73.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.50	0.04	26.1	0.0	0.35
146	267001	20011982	47.00	0.94	85.9	7.00	0.14	12.8	0.0	0.0	0.0	0.50	0.01	1.3	0.0	0.02
148	269010	20011982	73.00	1.46	98.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.60	0.02	1.1	0.0	0.01
149	272016	24021981	5.00	0.10	78.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	0.03	22.0	0.0	0.28
150	272017	24021981	3.00	0.06	63.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.20	0.03	36.1	0.0	0.56
154	292012	24021980	92.00	1.84	97.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.50	0.04	2.2	0.0	0.02
155	292013	23091982	102.00	2.04	97.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.20	0.06	3.0	0.0	0.03
157	294010	03021981	70.00	1.40	99.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.50	0.01	1.0	0.0	0.01
159	294042	19081982	113.00	2.26	94.8	0.0	0.0	0.0	3.00	0.06	2.6	2.20	0.06	2.6	1.01	0.03
160	312003	08071981	41.00	0.82	99.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.30	0.01	1.0	0.0	0.01
162	313011	26021981	7.00	0.14	92.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.40	0.01	7.5	0.0	0.08
174	999001	28101981	132.00	2.64	37.7	44.00	0.88	12.6	50.00	1.04	14.9	86.20	2.43	34.8	0.43	0.92
176	999002	20111981	0.0	0.0	0.0	52.00	1.04	5.9	438.00	9.12	51.3	270.00	7.62	42.8	1.20	*******
177	999003	19011982	83.00	1.66	36.2	101.00	2.02	44.0	26.00	0.54	11.8	13.00	0.37	8.0	1.48	0.22

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DE AMOSTRAS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

nº de ord.	código de origem	data coleta	Fe^{++} mg/l	F^- mg/l	NO_3^- mg/l em N	S.T.D. mg/l	SIO_2 mg/l	T °C
8	031036	07051981	0.01	0.62	0.02	282.65	44.00	52.00
9	033045	17101978	0.01	0.58	0.01	309.60	8.70	58.70
10	033049	28101981	0.01	0.78	0.0	369.73	31.00	56.00
11	057001	08121981	0.01	0.33	0.08	248.65	37.00	47.00
17	074215	08121981	0.0	0.62	0.08	281.97	28.00	42.00
18	074216	15061979	0.01	0.46	0.05	141.72	24.00	42.00
22	081016	01121976	2.08	0.20	0.01	66.39	1.20	
23	096009	27101981	0.01	0.50	0.02	251.27	25.00	35.00
24	098011	27101981	0.01	0.19	0.0	130.39	13.00	36.20
25	098013	27071982	0.0	0.19	0.0	154.79	16.10	22.00
29	100020	15031982		0.15	0.09	29.44	3.00	26.00
34	100117	10021982	0.0	0.10	0.06	107.26	18.20	26.00
39	101005	01041982		0.28	1.06	74.84	3.00	26.00
44	115001	27101981	0.01	1.09	0.0	300.47	27.00	34.50
46	118024	28011977	1.61	0.30	9.30	162.31	39.80	
49	119009	16031982		0.19	0.05	34.14	3.00	23.00
50	119011	08051982	0.01	0.18	0.04	135.83	10.70	32.50
52	121007	14041982		0.39	0.29	29.28	2.00	25.00
54	121011	14051982		0.11	0.32	51.63	2.00	25.00
56	121014	09021982	0.01	0.0	0.12	21.75	17.40	24.50
59	135005	28101981	0.01	1.02	0.0	368.33	37.00	41.20
61	139010	01071976	0.61	0.17	0.75	129.33	50.00	23.00
62	139011	12021982	0.0	0.63	0.18	324.20	16.70	31.00
65	141014	26031981	0.02	0.10	3.40	206.92	33.50	24.00
66	142002	29041982		0.18	0.03	52.01	3.00	23.00
76	145001	21031980	0.27	0.0	0.03	20.30	9.80	24.00
79	165005	16031982		0.40	0.06	4.16	1.00	22.00
80	166033	26031981	0.10	0.23	0.0	42.13	35.00	28.20
83	167001	10051982		0.11	2.40	37.91	3.00	23.00
85	168009	19041982		0.11	0.14	52.95	4.00	22.00
87	177082	18011982	0.30	13.30	0.02	662.55	32.00	63.00
89	188001	26031981	0.08	0.10	0.0	176.38	26.00	25.40
90	188008	15081980	0.07	0.20	0.0	226.47	44.00	27.00
93	191001	10051982		0.0	3.25	32.75	3.00	23.00
94	191002	20121972	0.0	0.10	0.04	30.54	32.00	
98	191034	18021982		0.09	0.0	2.35	8.00	24.00
104	192006	05021980	0.01	0.0	0.04	3.55	7.30	23.40
105	206002	18011982	0.16	1.91	0.0	398.67	49.00	48.00
109	212153	30031979	0.01	0.10	0.03	85.84	22.00	
111	212155	20011982	0.02	0.19	0.06	99.08	17.50	25.60
117	213032	21011982	0.01	0.10	0.08	160.69	24.00	25.00
118	213033	05091980	0.03	0.0	0.04	87.87	38.00	25.00
120	213035	19051981	0.0	0.10	0.04	133.34	11.20	27.20
122	214001	12021982	0.0	0.23	0.80	122.90	44.00	24.00
126	214024	26031981	0.0	0.12	0.01	104.03	21.00	28.00
128	217006	05021980	0.02	0.0	0.04	8.46	13.90	24.40
135	243009	21011982	0.01	0.10	1.36	82.06	32.00	23.20
144	245004	31011980	0.02	0.0	0.32	10.84	12.40	22.20
146	267001	20011982	0.01	0.22	0.06	79.61	24.00	25.00
148	269010	20011982	0.02	0.25	0.04	106.56	35.00	27.00
149	272016	24021981	0.01	0.0	0.77	11.98	19.00	23.50
150	272017	24021981	0.02	0.0	0.38	6.90	11.40	24.00
154	292012	24021980	0.01	0.0	0.40	135.01	54.00	26.80
155	292013	23091982	0.04	0.14	0.10	149.88	37.00	
157	294010	03021981	0.01	0.14	0.04	96.69	49.00	22.50
159	294042	19081982	0.02	0.27	0.06	168.95	41.00	27.60
160	312003	08071981	0.03	0.17	0.04	61.04	39.00	22.40
162	313011	26021981	0.15	0.0	0.04	12.39	14.00	22.00
174	999001	28101981	0.01	1.49	0.0	479.14	23.00	45.50
176	999002	20111981		12.00	0.0	1151.74	17.50	48.00
177	999003	19011982	0.03	0.76	0.10	326.85	44.00	45.00

ANÁLISES FISICO-QUÍMICAS DE AMOSTRAS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

nº de ord.	código de origem	data coleta	pH	C E µS/cm	Dureza total	alcalinidade total	residuo 105°C	residuo 180°C	SAR	soma cations meq/l	soma anions meq/l	soma total	itb	erro prático	erro teórico
8	031036	07051981	9.01	365.00	4.10	140.00	231.00	221.00	19.67	4.12	3.94	8.06	-1.39	4.47	8.90
9	033045	17101978	8.80	461.00	4.60	122.00	337.00	334.00	20.77	4.55	4.50	9.05	-1.22	1.10	8.26
10	033049	28101981	9.20	604.00	12.30	119.00	377.00	373.00	15.63	5.77	5.29	11.06	-1.13	8.68	7.72
11	057001	08121981	9.75	347.00	2.60	149.00	231.00	227.00	20.79	3.41	3.47	6.88	-1.69	1.74	9.02
17	074215	08121981	9.70	410.00	4.70	162.00	270.00	261.00	18.28	4.07	3.88	7.95	-2.77	4.78	8.60
18	074216	15061979	9.30	237.00	8.10	68.00	118.00	115.00	6.49	2.08	1.93	4.01	-1.70	7.48	9.75
22	081016	01121976	9.29	84.00	8.00	42.00	61.00	57.00	1.97	0.83	0.87	1.70	-0.34	4.71	25.47
23	096009	27101981	9.50	344.00	9.00	164.00	219.00	218.00	11.16	3.54	3.42	6.96	-1.89	3.45	9.04
24	098011	27101981	8.30	173.00	58.20	86.00	222.00	207.00	0.91	1.92	1.80	3.72	-0.44	6.45	13.60
25	098013	27071982	8.15	215.00	45.30	95.00	133.00	131.00	1.84	2.19	2.22	4.41	-0.64	1.36	9.90
29	100020	15031982	6.43	45.00	14.00	19.00			0.11	0.44	0.39	0.83	-0.33	12.05	30.00
34	100117	10021982	8.25	155.00	68.50	74.00	109.00	104.00	0.21	1.62	1.48	3.10	-0.17	9.03	16.00
39	101005	01041982	6.38	129.00	58.00	45.00			0.20	1.37	1.03	2.40	-0.06	28.33	19.47
44	115001	27101981	9.50	418.00	10.30	171.00	535.00	501.00	13.28	4.49	4.05	8.54	-1.69	10.30	8.55
46	118024	28011977	7.59	260.00	98.00	86.00	228.00	210.00	0.48	2.54	2.08	4.62	-0.09	19.91	9.60
49	119009	16031982	6.58	53.00	18.00	22.00			0.13	0.52	0.47	0.99	-0.25	10.10	29.60
50	119011	08051982	8.20	181.00	62.80	95.00	117.00	116.00	0.85	1.99	1.90	3.89	-0.37	4.63	12.53
52	121007	14041982	6.30	60.00	28.00	10.00			0.21	0.74	0.33	1.07	-2.08	76.64	28.67
54	121011	14051982	6.50	84.00	42.00	29.00			0.13	0.97	0.69	1.66	-0.17	33.73	25.47
56	121014	09021982	6.30	34.00	11.20	14.00	44.00	43.00	0.17	0.34	0.28	0.62	-0.40	19.35	30.00
59	135005	28101981	9.80	512.00	8.51	230.00	327.00	326.00	17.30	5.23	5.00	10.23	-2.70	4.50	7.97
61	139010	01071976	7.66	159.00	73.00	90.00	149.00	143.00	0.43	1.88	1.84	3.72	-0.19	2.15	15.47
62	139011	12021982	9.80	440.00	7.62	190.00	145.00	143.00	15.76	4.52	4.48	9.00	-1.47	0.89	8.40
65	141014	26031981	7.30	334.00	148.00	130.00	240.00	233.00	0.20	3.36	2.91	6.27	-0.03	14.35	9.11
66	142002	29041982	7.85	65.00	28.00	34.00			0.23	0.81	0.71	1.52	-0.31	13.16	28.00
76	145001	21031980	6.60	33.00	11.00	14.00	53.00	49.00	0.0	0.27	0.28	0.55	-1.79	3.64	30.00
79	165005	16031982	6.13	6.00	2.00	2.00			0.06	0.06	0.05	0.11	-0.25	18.18	30.00
80	166033	26031981	6.30	68.00	25.00	27.00	68.00	68.00	0.10	0.66	0.57	1.23	-0.23	14.63	27.60
83	167001	10051982	6.30	75.00	24.95	15.00			0.21	0.71	0.41	1.12	-1.91	53.57	26.67
85	168009	19041982	7.48	65.00	45.00	33.00			0.14	1.07	0.69	1.76	-0.19	43.18	28.00
87	177082	18011982	8.95	1110.00	12.20	192.00	650.00	632.00	28.03	10.09	9.51	19.60	-0.85	5.92	6.37
89	188001	26031981	7.02	425.00	117.00	125.00	156.00	155.00	0.12	2.57	2.53	5.10	-0.08	1.57	8.50
90	188008	15081980	7.70	311.00	147.00	158.00	222.00	211.00	0.26	3.30	3.26	6.56	-0.08	1.22	9.26
93	191001	10051982	5.98	77.00	27.50	13.00			0.18	0.72	0.33	1.05	-0.20	74.29	26.40
94	191002	20121972	6.53	48.00	18.00	21.00	66.00	60.00	0.13	0.43	0.43	0.86	-0.16	0.0	30.00
98	191034	18021982	5.40	10.00	1.90	1.00			0.03	0.05	0.03	0.08	0.0	50.00	30.00
104	192006	05021980	5.45	5.60	3.10	2.00	31.00	21.00	0.0	0.07	0.05	0.12	-0.17	33.33	30.00
105	206002	18011982	0.35	605.00	1.70	241.00	371.00	366.00	42.82	5.62	5.49	11.11	-2.14	2.34	7.72
109	212153	30031979	9.28	173.00	9.10	50.00	137.00	128.00	3.58	1.28	1.16	2.44	-1.55	9.84	13.60
111	212155	20011982	8.75	141.00	14.60	68.00	100.00	96.00	2.68	1.34	1.37	2.71	-0.83	2.21	17.87
117	213032	21011982	7.30	204.00	101.00	104.00	148.00	147.00	0.08	2.23	2.30	4.53	-0.10	3.09	9.97
118	213033	05091980	7.90	139.00	48.10	59.00	98.00	93.00	0.36	1.26	1.28	2.54	-0.16	1.57	18.13
120	213035	19051981	8.10	180.00	68.50	91.00	120.00	115.00	0.57	1.89	1.91	3.80	-0.26	1.05	12.67
122	214001	12021982	7.10	184.00	82.80	82.00	294.00	291.00	0.23	1.92	1.72	3.64	-0.11	10.99	12.13
126	214024	26031981	7.97	143.00	55.00	72.00	94.00	92.00	0.43	1.49	1.47	2.96	-0.10	1.35	17.60
128	217006	05021980	5.85	12.00	3.60	5.00	39.00	18.00	0.07	0.12	0.11	0.23	-0.27	8.70	30.00
135	243009	21011982	6.50	125.00	54.10	54.00	107.00	106.00	0.22	1.29	1.14	2.43	-0.13	12.35	20.00
144	245004	31011980	6.50	14.00	7.30	6.00	30.00	28.00	0.0	0.17	0.16	0.33	-0.06	6.06	30.00
146	267001	20011982	8.80	112.00	13.70	54.00	91.00	89.00	2.23	1.11	1.09	2.20	-0.83	1.82	21.73
148	269010	20011982	8.20	148.00	52.60	73.00	109.00	107.00	0.56	1.52	1.48	3.00	-0.30	2.67	16.93
149	272016	24021981	5.96	23.00	4.70	5.00	46.00	42.00	0.16	0.20	0.13	0.33	-0.50	42.42	30.00
150	272017	24021981	5.94	10.00	3.60	3.00	31.00	27.00	0.07	0.11	0.09	0.20	0.0	20.00	30.00
154	292012	24021980	7.90	195.00	57.80	92.00	158.00	153.00	0.97	1.94	1.88	3.82	-0.39	3.14	10.67
155	292013	23091982	8.25	200.00	77.60	102.00	158.00	155.00	0.72	2.22	2.10	4.32	-0.29	5.56	10.00
157	294010	03021981	7.73	129.00	56.30	70.00	151.00	147.00	0.26	1.37	1.41	2.78	-0.16	2.88	19.47
159	294042	19081982	8.40	210.00	80.50	113.00	164.00	160.00	0.97	2.51	2.38	4.89	-0.36	5.32	9.93
160	312003	08071981	7.20	84.00	27.90	41.00	99.00	97.00	0.50	0.90	0.83	1.73	-0.39	8.09	25.47
162	313011	26021981	5.99	16.00	9.10	7.00	38.00	33.00	0.04	0.24	0.15	0.39	-0.31	46.15	30.00
174	999001	28101981	9.20	778.00	11.80	176.00	471.00	465.00	20.24	7.22	6.99	14.21	-0.90	3.24	7.26
176	999002	20111981	9.10		26.00	52.00	1212.00		31.13	16.59	17.78	34.37	-1.11	6.92	30.00
177	999003	19011982	9.80	480.00	3.59	184.00	229.00	228.00	23.20	4.48	4.59	9.07	-1.99	2.43	8.13

ANEXO 3

RESULTADOS DAS DETERMINAÇÕES ISOTÓPICAS EM AMOSTRAS DE ÁGUAS DE CHUVA E SUBTERRÂNEAS

TEORES DE OXIGÊNIO - 18 E DEUTÉRIO EM AMOSTRAS DE ÁGUA DE CHUVA

Local da Coleta Ribeirão Preto

amostra	data da coleta	período	precipitação acumulada (mm)	$\delta^{18}O$ (‰) x SMOW	$\delta^{2}H$ (‰) x SMOW
	13/07/81	05/07 a 13/07/81	0,0		
	20/07/81	14/07 a 20/07	0,0		
	27/07/81	21/07 a 27/07	0,0		
	03/08/81	28/07 a 03/08	0,0		
	10/08/81	04/08 a 10/08	0,0		
	17/08/81	11/08 a 17/08	0,0		
1 RP	24/08/81	18/08 a 24/08	3,4	0,4	
	31/08/81	25/08 a 31/08	0,0		
2 RP	08/09/81	01/09 a 08/09	1,8	0,9	
	14/09/81	09/09 a 14/09	0,0		
	21/09/81	15/09 a 21/09	0,0		
3 RP	28/09/81	22/09 a 28/09	22,6	-0,2	
4 RP	05/10/81	29/09 a 05/10	54,1	-5,2	
5 RP	13/10/81	06/10 a 13/10	29,3	-8,8	
6 RP	19/10/81	14/10 a 19/10	58,3	-3,9	
7 RP	26/10/81	20/10 a 26/10	120,6	-6,6	
8 RP	03/11/81	27/10 a 03/11	43,6	-5,1	- 29
9 RP	09/11/81	04/11 a 09/11	9,6	-7,0	- 49
10 RP	16/11/81	10/11 a 16/11	26,5	-8,6	- 60
11 RP	23/11/81	17/11 a 23/11	19,0		
12 RP	30/11/81	24/11 a 30/11	10,0	-7,2	- 55
13 RP	07/12/81	01/12 a 07/12	57,2	-7,5	- 52
14 RP	14/12/81	08/12 a 14/12	83,4	-7,0	- 45
15 RP	21/12/81	15/12 a 21/12	29,0	-6,9	- 52
16 RP	28/12/81	22/12 a 28/12	56,1	-5,8	- 41
17 RP	04/01/82	29/12/81 a 4/1/82	63,1	-12,9	- 93
18 RP	11/01/82	05/01 a 11/01	121,0	-12,0	- 85
19 RP	25/01/82	12/01 a 25/01	248,1	-14,7	-103
20 RP	08/02/82	26/01 a 08/02	179,8	- 6,6	- 46
21 RP	01/03/82	09/02 a 01/03	51,0	- 4,5	- 26
22 RP	15/03/82	02/03 a 15/03	167,5	-21,5	-154
23 RP	22/03/82	16/03 a 22/03	75,4	-11,3	- 71
24 RP	29/03/82	23/03 a 29/03	41,0	- 9,1	- 69
25 RP	12/04/82	30/03 a 12/04	3,0	- 4,0	- 25

TEORES DE OXIGÊNIO - 18 E DEUTÉRIO EM AMOSTRAS DE ÁGUA DE CHUVA

Local da Coleta Ribeirão Preto

amostra	data da coleta	período	precipitação acumulada (mm)	$\delta^{18}O$ (‰) x SMOW	$\delta^{2}H$ (‰) x SMOW
26 RP	19/04/82	13/04 a 19/04	58,5	- 12,4	- 93
27 RP	03/05/82	20/04 a 03/05	8,0	- 3,7	- 21
28 RP	24/05/82	04/05 a 24/05	9,1	- 3,0	- 18
29 RP	31/05/82	25/05 a 31/05	31,9	- 7,6	- 50
30 RP	14/06/82	01/06 a 14/06	31,7	- 4,4	
31 RP	21/06/82	15/06 a 21/06	34,4	- 4,9	
32 RP	06/07/82	22/06 a 06/07	29,9	- 3,1	
33 RP	19/07/82	07/07 a 19/07	30,2	- 3,8	

TEORES DE OXIGÊNIO - 18 E DEUTÉRIO EM AMOSTRAS DE ÁGUA DE CHUVA

Local da Coleta São Carlos

amostra	data da coleta	período	precipitação acumulada (mm)	$\delta^{18}O$ (‰) x SMOW	$\delta^{2}H$ (‰) x SMOW
	13/07/81	05/07 a 13/07/81	0,0		
	20/07/81	14/07 a 20/07	0,0		
	27/07/81	21/07 a 27/07	0,0		
	03/08/81	28/07 a 03/08	0,0		
	10/08/81	04/08 a 10/08	0,0		
1 SC	17/08/81	11/08 a 17/08	3,6	-2,7	
2 SC	24/08/81	18/08 a 24/08	2,4	-0,9	
	31/08/81	25/08 a 31/08	0,0		
	07/09/81	01/09 a 07/09	0,0		
	14/09/81	08/09 a 14/09	0,0		
	21/09/81	15/09 a 21/09	0,0		
3 SC	28/09/81	22/09 a 28/09	20,0	-0,2	
4 SC	05/10/81	29/09 a 05/10	40,0	-5,2	
5 SC	13/10/81	06/10 a 13/10	38,5	-4,6	
6 SC	19/10/81	14/10 a 19/10	54,7	-6,2	
7 SC	26/10/81	20/10 a 26/10	89,7	-7,7	
8 SC	30/10/81	27/10 a 30/10	34,2	-4,4	
9 SC	09/11/81	31/10 a 09/11	116,8	-7,7	
10SC	16/11/81	10/11 a 16/11	34,0	-7,5	-55
11SC	23/11/81	17/11 a 23/11	76,4	-7,6	-54
12SC	30/11/81	24/11 a 30/11	36,2	-5,8	-41
13SC	07/12/81	01/12 a 07/12	84,0	-9,4	-64
14SC	14/12/81	08/12 a 14/12	58,4	-8,7	-56
15SC	21/12/81	15/12 a 21/12	28,9	-5,2	-31
16SC	28/12/81	22/12 a 28/12	22,0	-3,4	-19
17SC	04/01/82	29/12/81 a 04/1/82	30,4	-14,5	-104
18SC	11/01/82	05/01 a 11/01	72,4	-14,1	-101
19SC	18/01/82	12/01 a 18/01	19,6	-19,2	-146
20SC	25/01/82	19/01 a 25/01	30,2	-13,1	- 90
21SC	01/02/82	26/01 a 01/02	79,6	- 6,8	- 50
22SC	08/02/82	02/02 a 08/02	139,0	-11,2	- 81
23SC	15/02/82	09/02 a 15/02	1,0	+ 1,5	
24SC	19/02/82	16/02 a 19/02	8,2	- 0,5	+ 10
25SC	01/03/82	20/02 a 01/03	124,4	- 7,4	- 48

TEORES DE OXIGÊNIO - 18 E DEUTÉRIO EM AMOSTRAS DE ÁGUA DE CHUVA

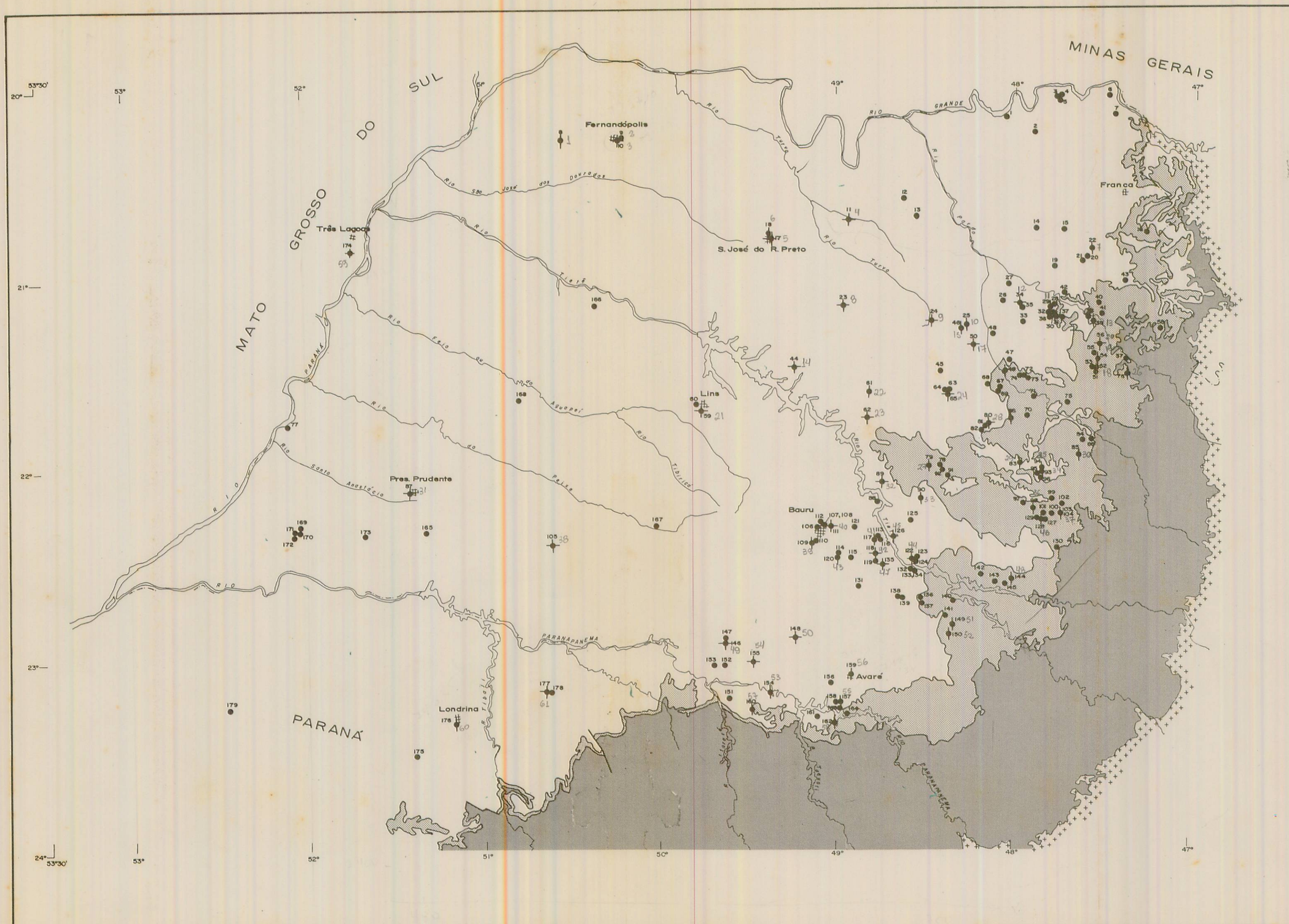
Local da Coleta São Carlos

amostra	data da coleta	período	precipitação acumulada (mm)	$\delta^{18}O$ (‰) x SMOW	$\delta^{2}H$ (‰) x SMOW
26SC	08/03/82	02/03 a 08/03	5,6	-11,7	- 84
27SC	15/03/82	09/03 a 15/03	147,2	-21,1	-162
28SC	22/03/82	16/03 a 22/03	107,0	-10,0	- 68
29SC	29/03/82	23/03 a 29/03	8,6	- 8,8	- 62
30SC	05/04/82	30/03 a 05/04	12,6	- 6,4	- 43
	12/04/82	06/04 a 12/04	0,0		
31SC	19/04/82	13/04 a 19/04	40,6	-11,7	- 83
	26/04/82	20/04 a 26/04	0,0		
	03/05/82	27/04 a 03/05	0,0		
	10/05/82	04/05 a 10/05	0,0		
	17/05/82	11/05 a 17/05	0,0		
32SC	24/05/82	18/05 a 24/05	9,4	- 4,7	- 22
33SC	31/05/82	25/05 a 31/05	55,0	- 8,1	- 59
34SC	07/06/82	01/06 a 07/06	0,6	- 3,0	
35SC	14/06/82	08/06 a 14/06	46,0	- 4,1	
36SC	21/06/82	15/06 a 21/06	12,8	- 4,1	
37SC	28/06/82	22/06 a 28/06	12,0	- 2,8	
38SC	05/07/82	29/06 a 05/07	21,0	- 4,1	
39SC	12/07/82	06/07 a 12/07	0,0		

OXIGÊNIO-18, DEUTÉRIO E CARBONO-14 EM AMOSTRAS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

nº de ordem	código de origem	data da coleta	$\delta^{18}O$ (‰) x SMOW	$\delta^{2}H$ (‰) x SMOW	atividade específica do ^{14}C (dpm/g)
10	33/49	29/10/81	-8,8	-	3,6689 ± 0,1139
10	33/49	13/05/82	-8,3	-59	-
11	55/1	08/12/81	-8,8	-66	-
17	74/215	08/12/81	-8,8	-64	3,8958 ± 0,1083
17	74/215	04/08/82	-8,7	-	-
23	96/9	27/03/81	-8,8	-62	4,8322 ± 0,1817
23	96/9	27/10/81	-8,9	-	-
24	98/11	27/03/81	-9,4	-65	-
24	98/11	27/10/81	-9,8	-70	9,4045 ± 0,3229
34	100/117	09/02/82	-8,8	-66	2,8631 ± 0,2071
44	115/1	27/10/81	-8,6	-	4,7124 ± 0,2078
50	119/11	08/05/82	-9,8	-72	12,2855 ± 0,1860
56	121/14	09/02/82	-7,3	-49	9,0537 ± 0,2782
59	135/5	28/10/81	-9,2	-	2,7772 ± 0,1859
62	139/11	11/02/82	-8,7	-62	-
65	141/14	26/03/81	-7,1	-44	-
80	166/33	26/03/81	-7,7	-53	-
80	166/33	11/02/82	-7,6	-44	6,8151 ± 0,2369
87	177/82	18/01/82	-6,7	-48	0,3292 ± 0,0738
87	177/82	15/05/82	-6,8	-48	-
89	188/1	26/03/82	-8,1	-55	2,6816 ± 0,3258
105	206/2	18/01/82	-8,5	-60	1,2812 ± 0,0938
111	212/155	20/01/82	-8,2	-58	-
118	213/33	21/01/82	-7,4	-52	5,2100 ± 0,2784
122	214/1	12/02/82	-7,1	-47	-
126	214/24	26/03/81	-10,1	-70	2,1231 ± 0,6913
135	243/9	21/01/82	-7,1	-43	-
146	267/1	20/01/82	-6,5	-45	-
148	269/10	20/01/82	-7,1	-49	-
155	292/13	23/09/82	-	-	7,0511 ± 0,2026
174	TL-1-MT	28/10/81	-7,4	-	-
174	TL-1-MT	14/05/82	-7,3	-48	4,1054 ± 0,2764
177	CP/PR	19/01/82	-6,7	-48	-

PRANCHAS



PRANCHA 1

MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DE POÇOS E RESPECTIVOS DADOS UTILIZADOS NO ESTUDO

LEGENDA

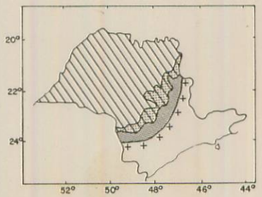
- confinante do aquífero botucatu (Fm. Serra Geral e Grupo Bauru)
- aquífero botucatu aflorante
- substrato do aquífero (Grupos Passa-Dois e Tubarão)
- embasamento cristalino
- 15 poço com informação hidrogeológica e seu nº de ordem
- poço com análise físico-química da água
- poço com análise isotópica da água
- Lins # cidade
- limite interestadual

NOTA EXPLICATIVA: Densidade de dados

nº de pontos com informação geológica	179
nº de pontos com informação hidrogeológica	155
nº de pontos com análise físico-química da água	61
nº de pontos com análise isotópica da água	26
a- oxigênio-18 e deutério	25
b- carbono-14	17
c- carbono-13	3

Base geológica compilada das folhas SF-22 e SF-23 escala 1:1.000.000, DNPM, 1978 (simplificada)

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO



ESCALA

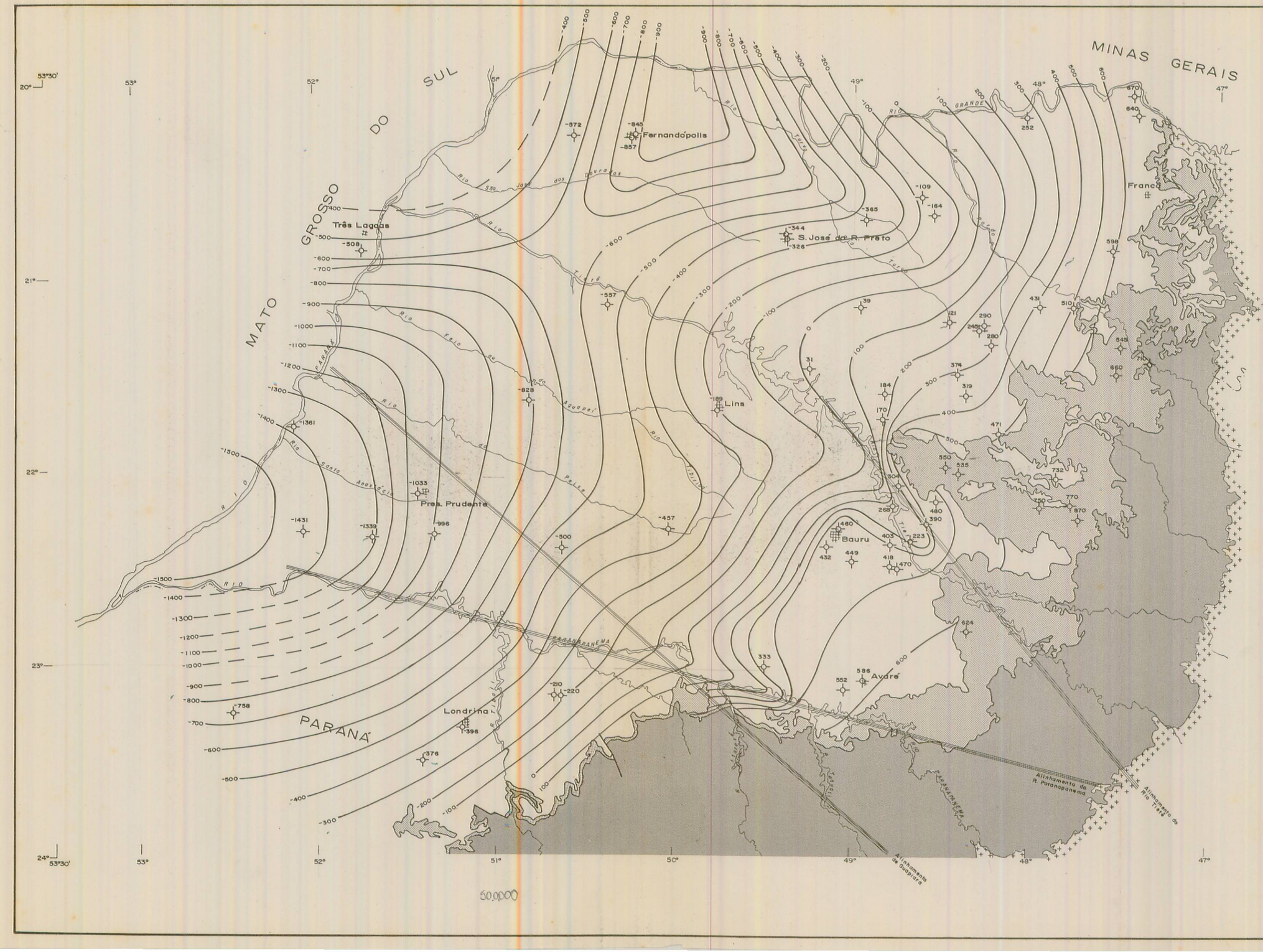
10 km 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 km

ESTUDO HIDROQUÍMICO E ISOTÓPICO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO AQUÍFERO BOTUCATU NO ESTADO DE SÃO PAULO

ROSA BEATRIZ GOUVÊA DA SILVA
1982

PRANCHA 2

MAPA DE CONTORNO ESTRUTURAL DA FORMAÇÃO BOTUCATU



LEGENDA

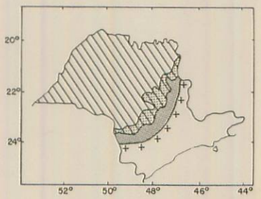
- confinante do aquífero botucatu (Fm. Serra Geral e Grupo Bauru)
- aquífero botucatu aflorante
- substrato do aquífero (Grupos Passa-Dois e Tubarão)
- embasamento cristalino
- -557 poço e cota do topo da Formação Botucatu em metros
- -100 isohipsa do topo da Formação Botucatu, com equidistância de 100 metros, tracejada quando inferida

NOTA EXPLICATIVA

Mapa elaborado com base em dados de poços de água (D.A.E.E-SABESP) e de pesquisa de petróleo (PETROBRÁS-PAULIPETRO), modificado de Teissedre et alii (1982)

Base geológica compilada das folhas SF-22 e SF-23, escala 1:1.000.000, DNPM, 1978 (simplificada)

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO

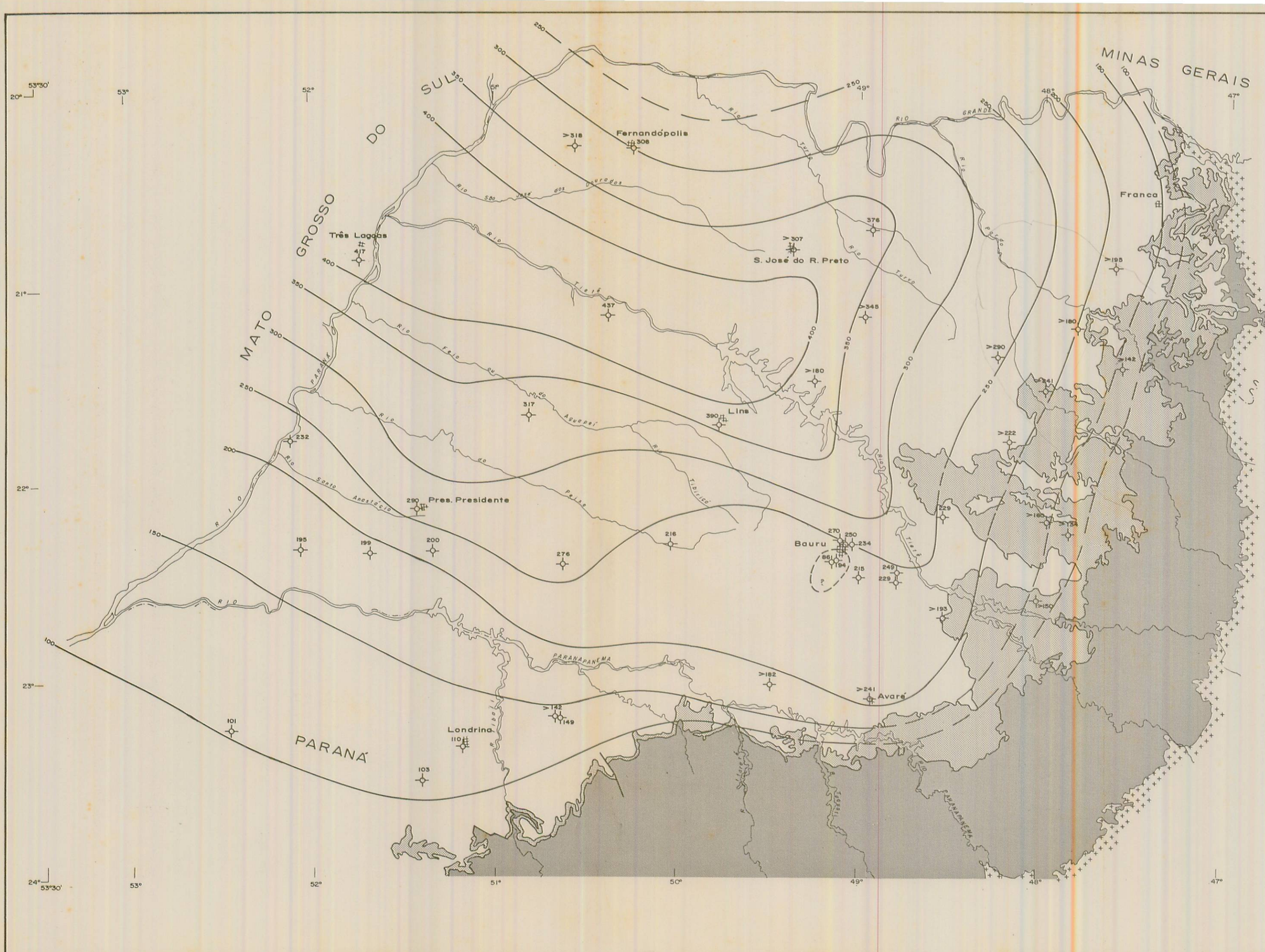


ESCALA

10 km 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 km

ESTUDO HIDROQUÍMICO E ISOTÓPICO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO AQUÍFERO BOTUCATU NO ESTADO DE SÃO PAULO

ROSA BEATRIZ GOUVÊA DA SILVA
1982



PRANCHA 3

MAPA DE ISÓPACAS DAS FORMAÇÕES BOTUCATU-PIRAMBÓIA

LEGENDA

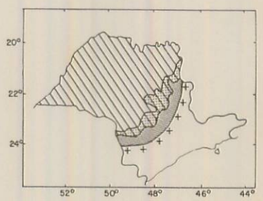
- confinante do aquífero botucatu (Fm. Serra Geral e Grupo Bauru)
- aquífero botucatu aflorante
- substrato do aquífero (Grupos Passa-Dois e Tubarão)
- embasamento cristalino
- 390 poço e valor da espessura das formações Botucatu-Pirambóia em metros
- curva isópaca, com equidistância de 50 metros, tracejada quando inferida
- anomalia estrutural de Bauru-Piratininga

NOTA EXPLICATIVA

Mapa elaborado com base em dados de poços de água (D.A.E.E-SABESP) e de pesquisa de petróleo (PETROBRÁS-PAULIPETRO), modificado de Teissedre et alii (1982).

Base geológica compilada das folhas SF-22 e SF-23, escala 1:1.000.000, DNPM, 1978 (simplificada).

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO

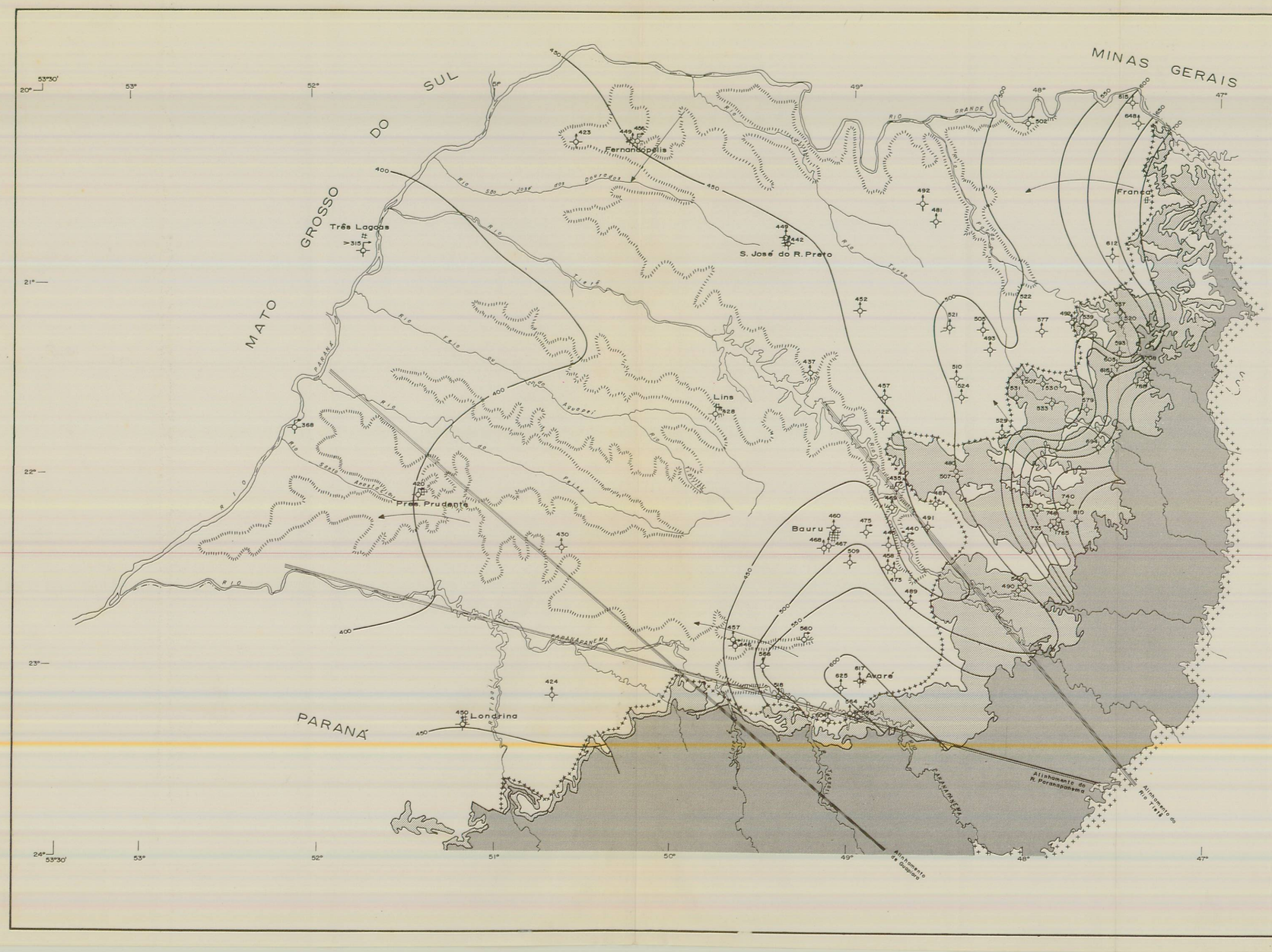


ESCALA

10 km 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 km

ESTUDO HIDROQUÍMICO E ISOTÓPICO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO AQUÍFERO BOTUCATU NO ESTADO DE SÃO PAULO

ROSA BEATRIZ GOUVÊA DA SILVA
1982



PRANCHA 4

MAPA DA SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA DO NÍVEL D'ÁGUA DO AQUÍFERO BOTUCATU

LEGENDA

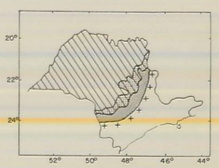
- confinante do aquífero botucatu (Fm. Serra Geral e Grupo Bauru)
- aquífero botucatu aflorante
- substrato do aquífero (Grupos Passa-Dois e Tubarão)
- embasamento cristalino
- 537 poço e cota do nível potenciométrico em metros
- poço artesiano
- poço artesiano surgente
- 450 linha isopotenciométrica, com equidistância de 50 metros
- direção e sentido do fluxo no aquífero
- limite de extensão do aquífero confinado
- limite de extensão da área de artesianismo surgente

NOTA EXPLICATIVA

Mapa elaborado com base em dados de poços de água (D.A.E.E., SABESP) e de pesquisa de petróleo (PETROBRÁS), modificado de Teissedre (1982) inédito.

Base geológica compilada das folhas SF-22 e SF-23 escala 1:1.000.000, DNPM, 1978 (simplificada)

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO

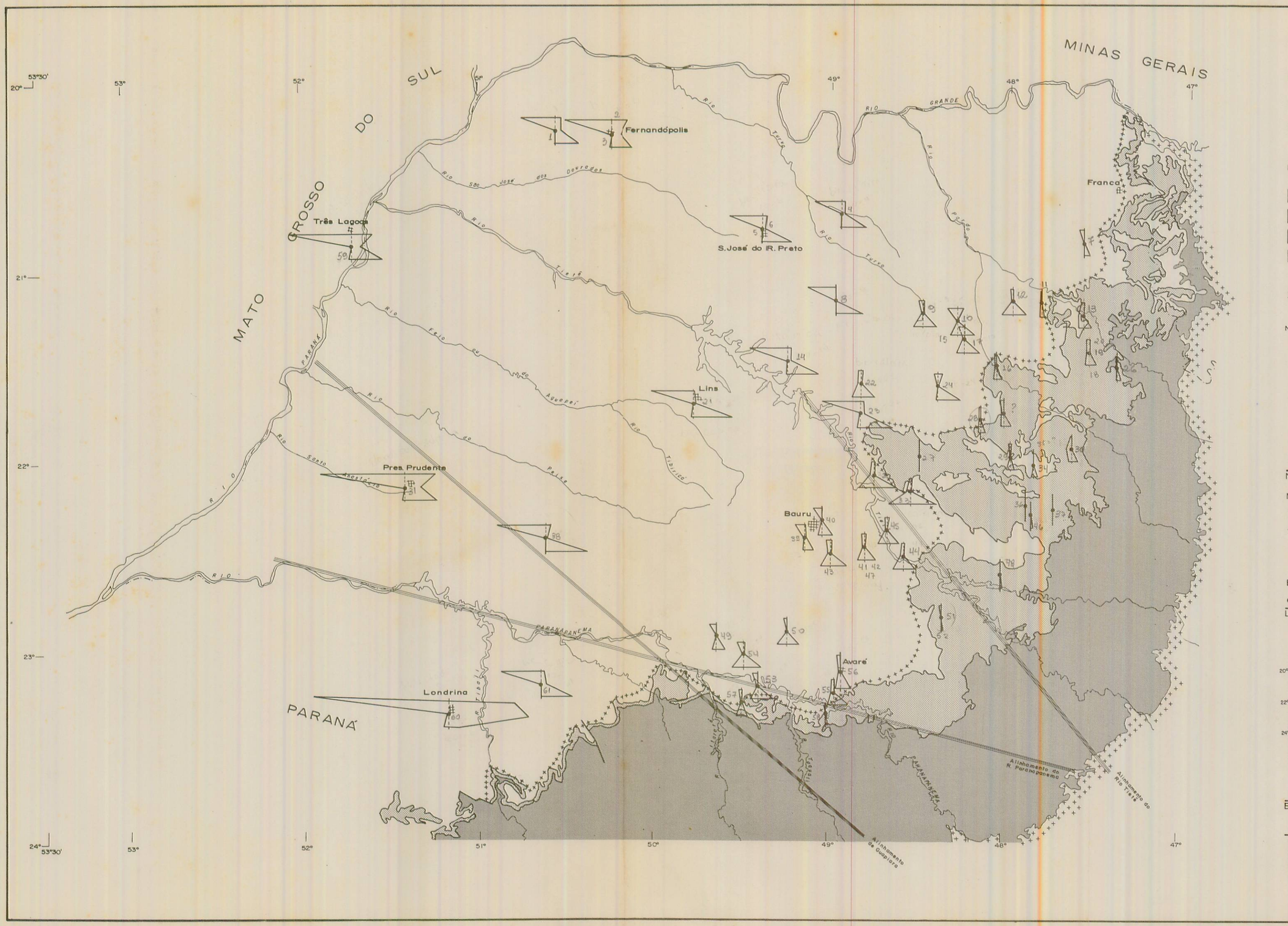


ESCALA

10 km 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 km

ESTUDO HIDROQUÍMICO E ISOTÓPICO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO AQUÍFERO BOTUCATU NO ESTADO DE SÃO PAULO

ROSA BEATRIZ GOUVÊA DA SILVA
1982



PRANCHA 5

MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO AQUÍFERO BOTUCATU

LEGENDA

- confinante do aquífero botucatu (Fm. Serra Geral e Grupo Bauru)
- aquífero botucatu aflorante
- substrato do aquífero (Grupos Passa-Dois e Tubarão)
- embasamento cristalino
- limite de extensão do aquífero confinado

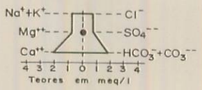


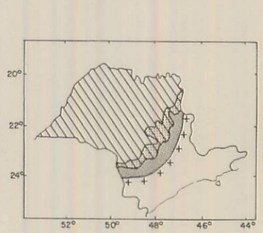
diagrama de stiff de análises de água subterrânea no ponto de amostragem

NOTA EXPLICATIVA

Mapa elaborado a partir de resultados de 52 análises físico-químicas de água efetuadas no laboratório da CETESB, em diferentes épocas.

Base geológica compilada das folhas SF-22 e SF-23 escala 1:1.000.000, DNPM, 1978 (simplificada)

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO

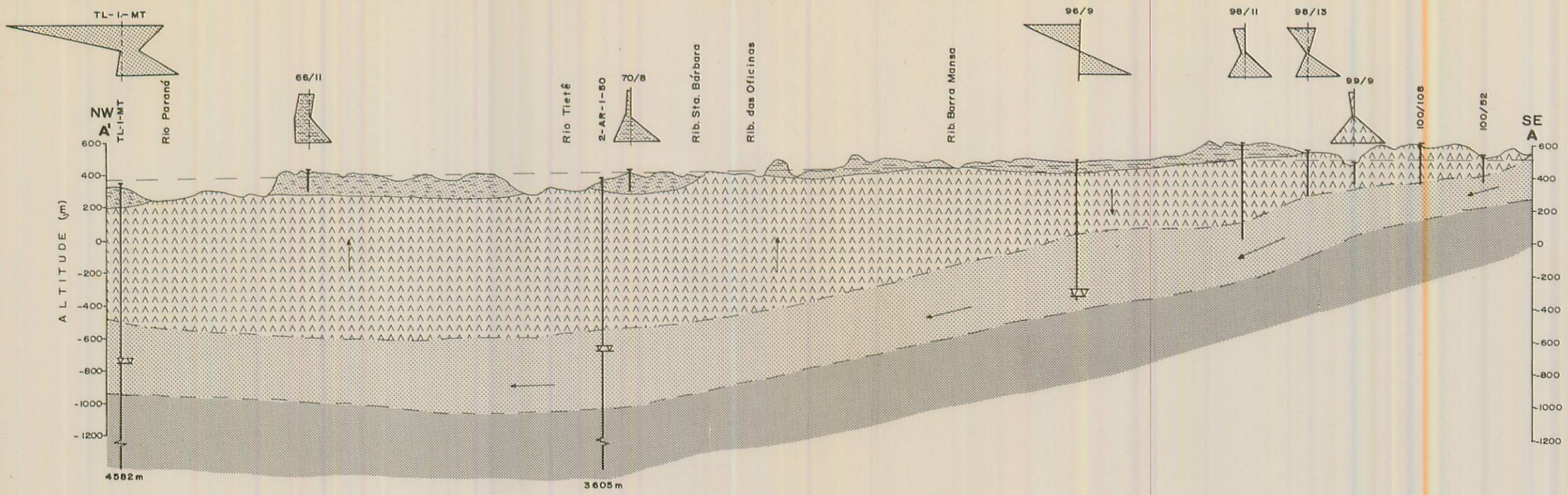


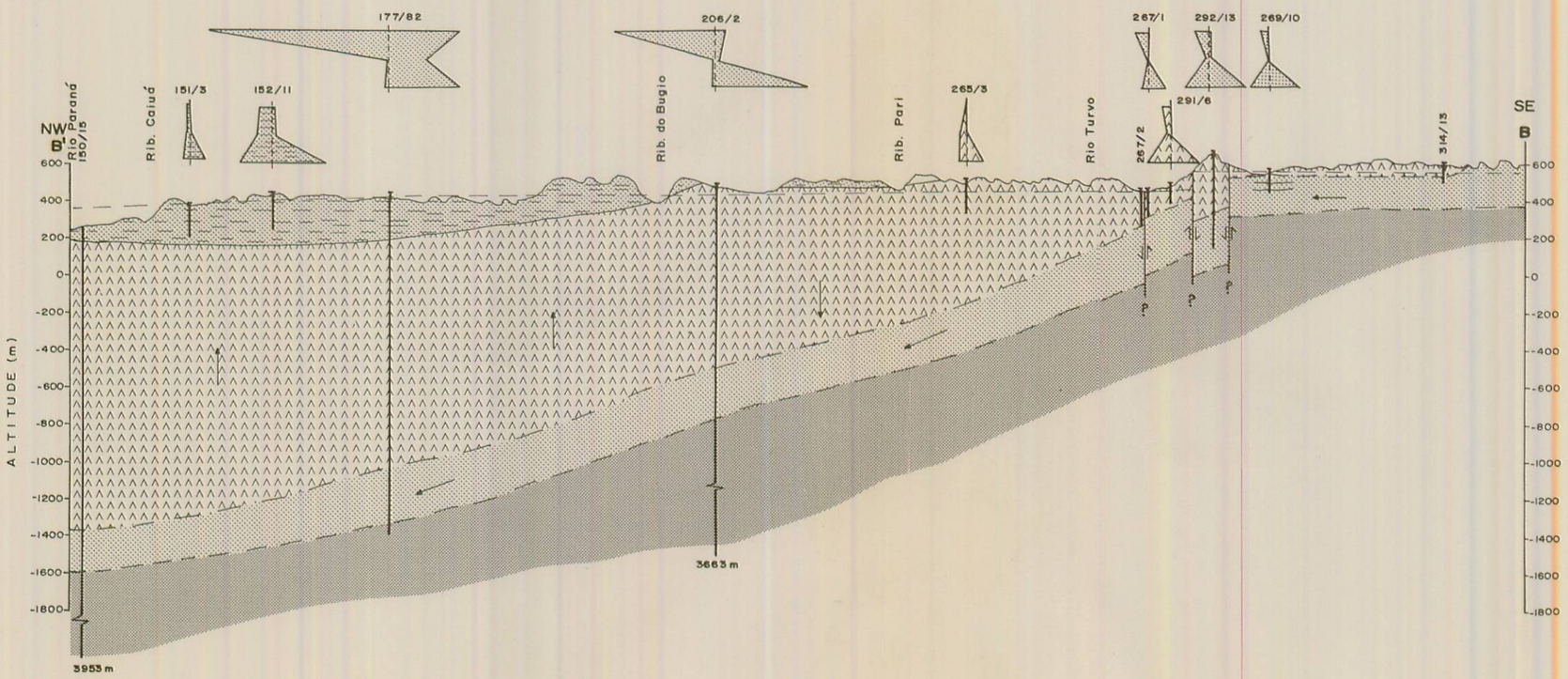
ESCALA

10 km 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 km

ESTUDO HIDROQUÍMICO E ISOTÓPICO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO AQUÍFERO BOTUCATU NO ESTADO DE SÃO PAULO

ROSA BEATRIZ GOUVÊA DA SILVA
1982





PRANCHA 6

PERFIS HIDROQUÍMICOS DO AQUÍFERO BOTUCATU A PARTIR DA ÁREA DE RECARGA

LEGENDA

- aquífero bauru
- aquífero serra geral (basalto)
- aquífero botucatu
- sill de diabásio
- substrato do aquífero (grupos Passa-Dois e Tubarão)
- 98/11 — poço e código de referência
- nível potenciométrico do aquífero botucatu
- direções de fluxo d'água no aquífero botucatu

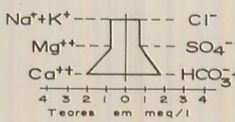
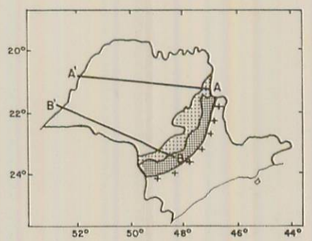


diagrama de stiff - de análises de água subterrânea no ponto de amostragem

NOTA EXPLICATIVA

Perfis elaborados com base em dados de poços de água (D.A.E.E.) e poços de pesquisa de petróleo (PETROBRÁS E PAULIPETRO).

LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS NA ÁREA



ESCALA

HORIZONTAL 0 10 20 30 km

VERTICAL 0 200 400 600m

ESTUDO HIDROQUÍMICO E ISOTÓPICO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO AQUÍFERO BOTUCATU NO ESTADO DE SÃO PAULO

ROSA BEATRIZ GOUVÊA DA SILVA

1.982

PRANCHA 7

MAPA DE ZONEAMENTO DOS TEORES DE RESÍDUO SECO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

LEGENDA

- confinante do aquífero botucatu (Fm. Serra Geral e Grupo Bauru)
- aquífero botucatu aflorante
- substrato do aquífero (Grupos Passa-Dois e Tubarão)
- embasamento cristalino
- 202 poço e valor do resíduo seco a 105°C, em mg/l

Zonas

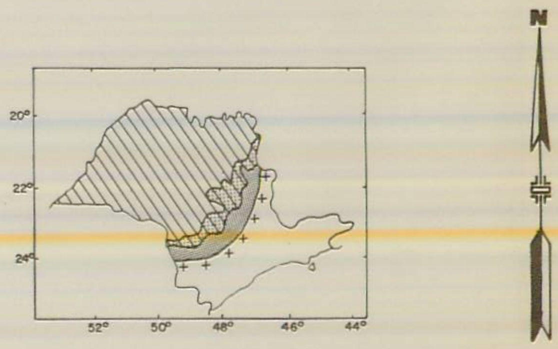
- 0 - 100 mg/l
- 100 - 200 mg/l
- 200 - 300 mg/l
- 300 - 500 mg/l
- > 500 mg/l

NOTA EXPLICATIVA

Mapa elaborado a partir de resultados de 48 análises fisico-químicas de águas efetuadas no laboratório da CETESB, em diferentes épocas.

Base geológica compilada das folhas SF-22 e SF-23, escala 1:1.000.000, DNPM, 1978 (simplificada).

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO



ESCALA

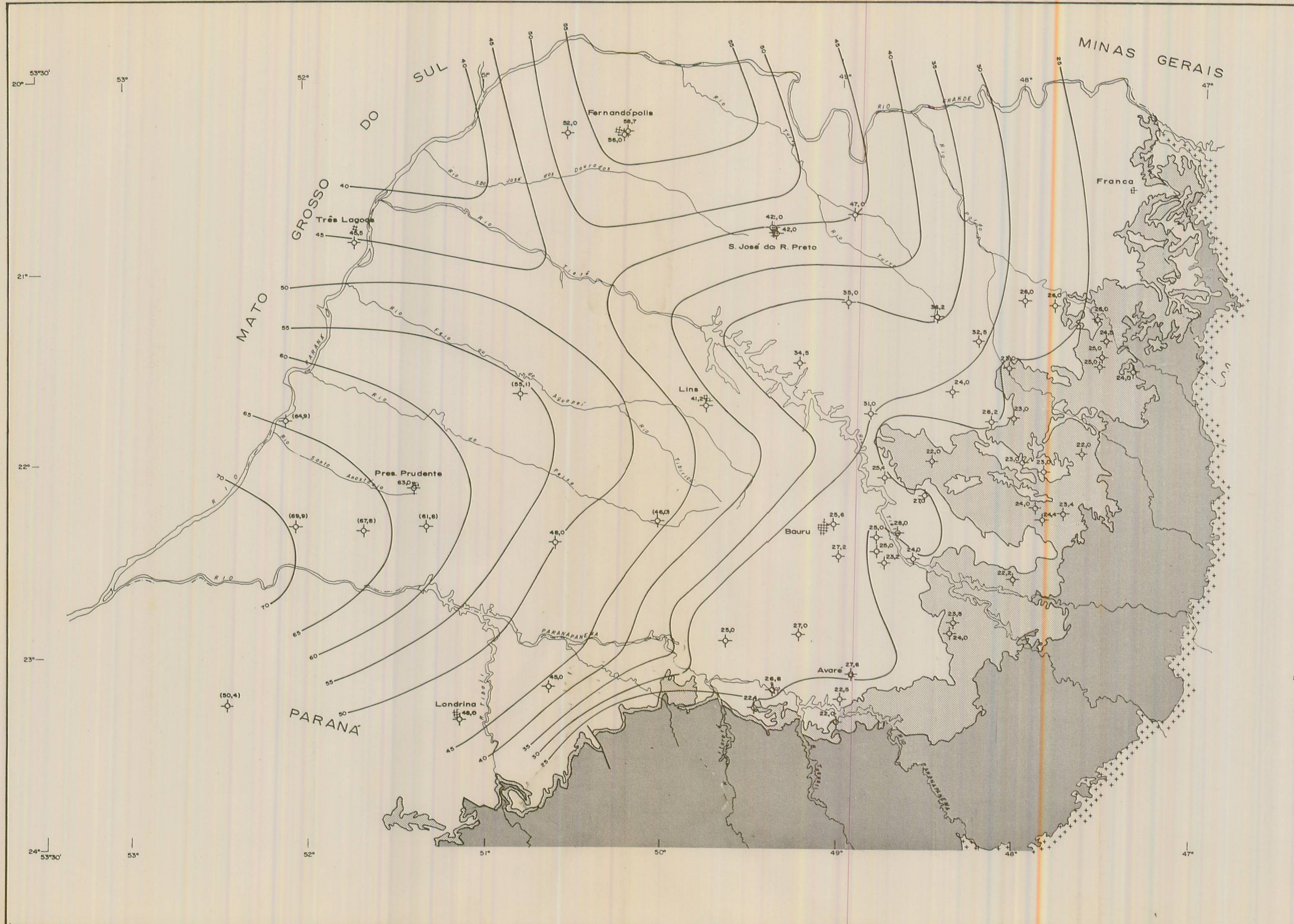
10 km 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 km

ESTUDO HIDROQUÍMICO E ISOTÓPICO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO AQUÍFERO BOTUCATU NO ESTADO DE SÃO PAULO

ROSA BEATRIZ GOUVÊA DA SILVA
1982

PRANCHA 8

MAPA DE ISOTERMAS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS



LEGENDA

- confinante do aquífero botucatu (Fm. Serra Geral e Grupo Bauru)
- aquífero botucatu aflorante
- substrato do aquífero (Grupos Passa-Dois e Tubarão)
- embasamento cristalino
- 42,0 — poço e valor da temperatura medida, em °C
- (61,8) — poço e valor da temperatura calculada, em °C.

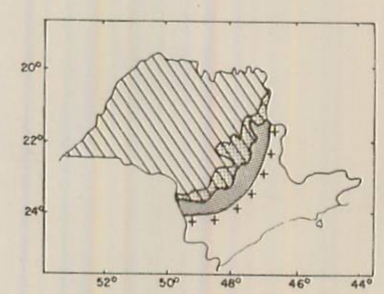
NOTA EXPLICATIVA

Mapa modificado de Teissedre (1982), inédito. Elaborado a partir de valores da temperatura da água medida na boca dos poços D.A.E.E. Os valores calculados basearam-se na equação de correlação da temperatura com a profundidade do topo do aquífero:

$$T(°C) = +22,77 + 0,027\ P(m)$$

Base geológica compilada das folhas SF-22 e SF-23, escala 1:1.000.000, DNPM, 1978 (simplificada).

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO



ESCALA

10 km 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 km

ESTUDO HIDROQUÍMICO E ISOTÓPICO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO AQUÍFERO BOTUCATU NO ESTADO DE SÃO PAULO

ROSA BEATRIZ GOUVÊA DA SILVA
1982

PRANCHA 9

MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DA IDADE MÉDIA APARENTE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

LEGENDA

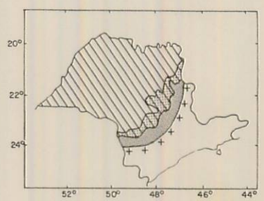
- confinante do aquífero botucatu (Fm. Serra Geral e Grupo Bauru)
- aquífero botucatu aflorante
- substrato do aquífero (Grupos Passa-Dois e Tubarão)
- embasamento cristalino
- ponto de amostragem
  1-valor de oxigênio-18 (‰)
  2-idade média aparente (anos)
- pontos com valores anômalos
- linha isócrona e valor da idade das águas, em anos.

NOTA EXPLICATIVA

Mapa elaborado a partir de valores de idade aparente das águas, calculados com base nos resultados de 17 determinações de carbono-14, efetuadas no laboratório do IPEN.

Base geológica compilada das folhas SF-22 e SF-23 escala 1:1.000.000, DNPM, 1978 (simplificada).

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO



ESCALA

10 km 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 km

ESTUDO HIDROQUÍMICO E ISOTÓPICO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO AQUÍFERO BOTUCATU NO ESTADO DE SÃO PAULO

ROSA BEATRIZ GOUVÊA DA SILVA
1982