

ERRATA

página	parágrafo	linha	onde se lê :	leia-se :
AGRADECIMENTOS	6	4	rondinelli	Rondinelli
ABSTRACT	2	3	differente	different
12	3	3	Heath	Health
14	1	4	Na ²⁺	Na ⁺
17	2	1	principais da	principais do
19	3	7	Exames de água	Exames de Água
27	-	28	Entre o Jurássico...	Entre o Jurássico...(PARÁGRAFO)
36	QUADRO 2	7	50 a 80	50 a 800 (vazão...Botucatu...)
37	1	2	limitadas	limitada
38	-	5	(Andrade et.al.,op.cit.)	(Andrade et.al.,1992)
40	FIGURA 11	-	ROCHA (1982)	ROCHA et.al. (1982)
49	3	7	Informações	informações
54	4	7	Posteriormente,...	Posteriormente,...(PARÁGRAFO)
55	QUADRO 3a	15	SZIKSZAY & TEIDRESSE	SZIKSZAY & TEISSEDE
55	QUADRO 3a	16	SZIKSZAY & TEIDRESSE	SZIKSZAY & TEISSEDE
55	QUADRO 3a	36	SZIKSZAY & TEIDRESSE	SZIKSZAY & TEISSEDE
55	QUADRO 3a	37	SZIKSZAY & TEIDRESSE	SZIKSZAY & TEISSEDE
62	1	4	superior a 2000 micromho/cm	superior a 200 micromho/cm
62	2	4	(predominante	(predominante)
86	-	21	O sistema aquífero Caiuá ...	O sistema aquífero Caiuá ... (PARÁGRAFO)
90	-	1	A maioria ...	A maioria ... (PARÁGRAFO)
121	8	3	estar passing	water passing
149	2	4	superior a 200 micromho/cm	superior a 200 micromho/cm
160	-	3	fienas	filoneanas

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900004682

CARACTERIZAÇÃO E CARTOGRAFIA DAS
PROVÍNCIAS HIDROGEOQUÍMICAS DO
ESTADO DE SÃO PAULO

Heraldo Cavalheiro Navajas Sampaio Campos

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Mária Szikszay

TESE DE DOUTORAMENTO

COMISSÃO JULGADORA

	nome	ass.
Presidente :	<u>Dr^a M. Szikszay</u>	<u>Mária Szikszay</u>
Examinadores:	<u>Dr^a D.C.P. Casarini</u>	<u>D. Casarini</u>
	<u>Dr. V.J. Fulfaro</u>	<u>V. J. Fulfaro</u>
	<u>Dr. O. Sinelli</u>	<u>O. Sinelli</u>
	<u>Dr. S.F. Barcha</u>	<u>S. F. Barcha</u>

SÃO PAULO
1993



À

Marizabel Penteado Nucci

Theo Campos

Gerônimo Albuquerque Rocha

PRÓ-MEMÓRIA

O reconhecimento hidrogeológico básico do território estadual foi executado pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE (autarquia vinculada à Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras do Estado de São Paulo) através do "Projeto de Águas Subterrâneas", iniciado em 1972 e concluído em 1982.

Em dez anos de trabalho sistemático foram recobertas as áreas das então 11 regiões administrativas do Estado; dele participaram, em maior ou menor grau, e cada um a seu tempo, os geólogos do "Serviço de Águas Subterrâneas". A realização deste trabalho deve-se aos dados por eles coletados.

Achilles Rehmedi Mont Serrath, Ademar Tokio Ogawa, Adriano Diogo, Agostinho F. Sobreiro Neto, Antonio Carlos Bertachini, Antonio Maganin Sobrinho, Carlos Alberto Lobão Silva Cunha, Carlos Eduardo Quaglia Giampá, Clóvis Galvão Junqueira de Castro, Edilson de Paula Andrade, Emilio Carlos Prandi, Fausto Delgado Giancursi (+), Flavio de Paula e Silva, Gildo Mistretta, Gerônimo Albuquerque Rocha, Heraldo Cavalheiro Navajas Sampaio Campos, Iara Weissberg do Amaral, Ivanir Borella Mariano, Jacyro Piucci, Jean Marie Teïssedre, José Eduardo Campos, José Laércio Sanches, José Luiz Galvão Mendonça, João Batista Caixeta da Silva, João Roberto Scavazza, Júlio Cesar Arantes Perroni, Luiz Alberto Fernandes, Luiz Guidorzi, Manoel Francisco Conejo Lopes, Marcelo Lacerda Rozelli, Mauro Stávalle (+), Ney Akemaru Ikeda, Nelson Baltrusis (+), Osmar José Gualdi, Otávio Galembeck, Ricardo Cesar Aoki Hirata, Roberto Goiti Hashimoto, Roberto Monforte, Rosa Beatriz Gouveia da Silva(+), Waldemir Poloneis Bernardi, Waldir Ferreira da Silva, Wilson Aparecido Garcia Correa e Waldir de Souza Alencar.

AGRADECIMENTOS

A execução desta tese, pela sua abrangência e quantidade de dados, demandou o apoio de Instituições e a colaboração de profissionais e pesquisadores à elas vinculados. Especialmente aqui agradeço àqueles que, diante dos inúmeros obstáculos, nunca me deixaram desacreditar dos meus objetivos, seja com discussões intermináveis ou com apoio técnico e até mesmo com um simples gesto de amizade ou palavra de confiança:

À Profª Drª Mária Szikszay, pela orientação desta tese.

Ao CNPq - Conselho Nacional de Pesquisa, pela bolsa de estudo.

Ao IGe-USP - Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, por ter proporcionado e apoiado a realização deste trabalho: Alberto Pacheco, Armando Márcio Coimbra, Claudio Riccomini, Franco Levi, Jorge Kazuo Yamamoto e Maristela Prestes Severino.

Ao DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, meu órgão de origem, pelo apoio, infraestrutura, autorização e edição para a publicação dos dados: Ademar Tokio Ogawa, Alice Tiyoko Nichioka, Antonio Baptista Deângelo, Amirís Nerilo Marcon, Armando Narumiya, Carlos Toshio Matsubara, Eliseu Itiro Ayabe, Gerôncio Albuquerque Rocha, João Carlos Polegato, José Carlos Francisco Palos, José Carlos Pissaia, José Damásio de Meneses, José Eduardo Campos, José Luis Galvão Mendonça, Jorge Titoshi Moiti, Juan Sandor Cabezas Castillo, Nelson Garbelotto, Sebastião Silveira Guimarães, Seldo Fraiha Júnior, Sérgio Moura Castro e Rosalvo Rodrigues Aves.

Ao IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, pela infraestrutura, discussão e autorização para publicação de dados: Agostinho Tadashi Ogura, Antonio Manoel dos Santos Oliveira, Duílio rondinelli, Eduardo Soares de Macedo, Fábio Soares Magalhães, Felício Claudio Coelho, Fernando Ximenez de Tavares Salomão, Gildo Mistretta, João Alberto Bottura, Jorge Hashiro, José Augusto Mito, Leandro Eugênio da Silva Cerri,

Luis Alberto Fernandes, Luis Antonio Ribeiro, Marcos Alves de Almeida, Mário Sergio de Melo, Omar Yasbek Bitar, Oswaldo Augusto Filho, Oswaldo Yujiro Iwasa, Paula Dinah Ribeiro Menezes da Silva e Sérgio Gouveia de Azevedo.

À CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, pela coleta e análise de amostras de água: Ângelo Gonçalves Soriano Filho, Benedito Pereira da Silva, Carai Ribeiro de Assim Bastos, Ivan Ronaldo Horcel, José Roberto Schmidt e Lázaro Luzia.

À UNESP - Universidade Estadual Paulista, Campus de Guaratinguetá, por onde fui professor durante três anos, pelo processamento, tratamento e organização dos dados: Carlos Kyan, Edson Luiz França Senne, José Carlos Cesar Amorim, Ilze Helena Carvalho de França Castro, Leila de Campos, Olavo Francisco dos Santos Júnior, Valéria Cristina Martins Ferraz e Wagner Valentini Vieira de Souza.

Ao IG - Instituto Geológico da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, pelo fornecimento de dados e discussão das notas preliminares: Antonio Carlos Moretti Guedes, Antonio Carlos Primo Nalesso Lemos, Geraldo Oda, Hélio Nóbile Diniz, Jair Santoro, Lídia Keiko Tominaga, Luiz Antonio Bongiovani, Paulo Valladares Soares, Ricardo Cesar Aoki Hirata e Sueli Yoshinaga.

Ao IG-UNICAMP - Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas pela discussão cartográfica: Álvaro Penteado Crosta, Carlos Alberto Lobão da Silva Cunha, Gilberto Amaral, Maria Margareth Lopes, Pedro Wagner Gonçalves.

Ao INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, pelo apoio no tratamento dos dados: Júlio César Lima D'Alge e Carlos Alberto Felgueiras.

Í N D I C E

RESUMO.....	1
ABSTRACT.....	2
CAPÍTULO 1	
INTRODUÇÃO.....	3
1.1 Área de Estudo.....	4
1.2 Objetivos.....	6
1.3 Justificativas.....	7
CAPÍTULO 2	
AS FONTES DE INFORMAÇÃO E OS MÉTODOS EMPREGADOS.....	9
2.1 Cadastramento de Poços.....	9
2.2 Obtenção de Dados Hidrogeológicos.....	11
2.3 Obtenção de Dados Hidroquímicos.....	11
2.3.1 Programa de Amostragem.....	11
2.3.2 Determinações Químicas das Águas Subterrâneas.....	12
2.3.3 Registro de Dados.....	15
2.4 Levantamento Bibliográfico-Cartográfico.....	15
2.5 Processamento dos Resultados das Análises.....	16
2.6 Seleção e Integração dos Dados.....	17

CAPÍTULO 3

CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO.....	23
3.1 Esboço Geológico.....	23
3.2 Esboço Geoestrutural.....	25
3.3 Esboço Geomorfológico.....	29
3.4 As Zonas Hidrográficas e as Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos.....	31
3.5 Quadro Hidrogeológico: Distribuição, Características e Condições de Ocorrência dos Sistemas Aqüíferos.....	34
3.5.1 Sistemas Aqüíferos Sedimentares, Permeáveis por Porosidade Granular.....	37
3.5.2 Sistemas Aqüíferos Fraturados, Permeáveis por Fraturamento das Rochas.....	50
3.5.3 Posição Espacial e Funcionamento Hidráulico dos Sistemas Aqüíferos Maiores.....	51

CAPÍTULO 4

HIDROGEOQUÍMICA NO ESTADO DE SÃO PAULO: ESTADO DA ARTE.....	54
4.1 Sistemas Aqüíferos Sedimentares, Permeáveis por Porosidade Granular.....	54
4.2 Sistemas Aqüíferos Fraturados, Permeáveis por Fraturamento das Rochas.....	63

CAPÍTULO 5

CARTOGRAFIA HIDROGEOQUÍMICA.....	67
----------------------------------	----

5.1	Generalidades.....	67
5.2	Revisão da Literatura Cartográfica Disponível.....	68
5.2.1	Mapas Hidrogeológicos Gerais.....	69
5.2.2	Mapas Hidrogeológicos Especiais.....	73
5.3	Análise e Sugestões.....	75
5.4	Proposta de Cartografia Hidrogeoquímica para o Estado de São Paulo.....	79
CAPÍTULO 6		
APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....		
		82
6.1	Composição e Evolução Hidrogeoquímica Regional.....	82
6.1.1	Sistemas Aquíferos Sedimentares, Permeáveis por Porosidade Granular.....	85
6.1.2	Sistemas Aquíferos Fraturados, Permeáveis por Fraturamento das Rochas.....	87
6.2	Distribuição Espacial dos Teores Salinos e Tipos Químicos.....	89
6.2.1	Indicativos de Anomalias e o Contexto Geoestrutural..	90
6.3	Qualidade Química das Águas Subterrâneas.....	93
6.3.1	Padrões e Parâmetros Adotados.....	94
6.3.2	Adequação das Águas para o Consumo Humano/Animal, Irrigação e Uso Industrial.....	96
6.3.3	Potencial de Incrustação ou de Corrosão.....	97
CAPÍTULO 7		
CONCLUSÕES.....		
		101

BIBLIOGRAFIA.....	104
-------------------	-----

QUADROS

QUADRO 1 - Distribuição de Análises Químicas por Sistemas Aqüíferos.....	20
QUADRO 2 - Características e Condições de Ocorrência dos Sistemas Aqüíferos.....	36
QUADROS 3a e 3b - Histórico sobre a Hidrogeoquímica dos Principais Sistemas Aqüíferos.....	55
QUADRO 4 - Trabalhos com Informações da Área e do Número de Análises.....	75
QUADRO 5 - Padrões Físico-Químicos de Potabilidade para as Águas Subterrâneas.....	95
QUADRO 6 - Padrões de Tolerância das Águas Subterrâneas para as Indústrias.....	95

FIGURAS

FIGURA 1 - Síntese da Situação dos Recursos Hídricos por Macro-Regiões.....	5
FIGURA 2 - Fac-Símile de Perfil Geológico de Poço.....	10
FIGURA 3 - Fac-Símile de Boletim de Exames de Água.....	13
FIGURA 4 - Diagrama de Blocos do Sistema "SIQUIM".....	18
FIGURA 5 - Distribuição dos Poços com Análises Químicas de Águas Subterrâneas.....	21
FIGURA 6 - Esboço da Distribuição das Unidades Litoestratigráficas.....	24

FIGURA 7 - Situação do Estado de São Paulo na Bacia do Paraná.....	28
FIGURA 8 - Esboço da Divisão Geomorfológica.....	30
FIGURA 9 - Esboço das Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos.....	33
FIGURA 10 - Distribuição dos Sistemas Aquíferos Maiores.....	35
FIGURA 11 - Distribuição da Permeabilidade Média Aparente dos Aquíferos Bauru e Caiuá.....	40
FIGURA 12 - Mapa de Isóbatas da Formação Serra Geral.....	41
FIGURA 13 - Zoneamento da Espessura Saturada dos Aquíferos Bauru e Caiuá.....	42
FIGURA 14 - Mapa de Contorno Estrutural do Topo da Formação Botucatu.....	45
FIGURA 15 - Mapa de Isópacas das Formações Botucatu e Pirambóia.....	46
FIGURA 16 - Mapa da Superfície Potenciométrica do Sistema Aquífero Botucatu.....	48
FIGURA 17 - Modelo Esquemático de Funcionamento Hidráulico dos Principais Sistemas Aquíferos.....	52
FIGURA 18 - Distribuição das Isotermas do Sistema Aquífero Botucatu.....	88
FIGURA 19 - Distribuição do Potencial de Incrustação ou de Corrosão.....	99

A N E X O S

ANEXO I - Sistematização do Conhecimento sobre a Hidrogeoquímica dos Principais Sistemas Aquíferos do Estado de São Paulo.....	125
--	-----

ANEXO II - Inventário de Dados de Análises Químicas das Águas Subterrâneas.....	168
--	-----

M A P A D E E N C A R T E

- . Mapa Hidrogeoquímico do Estado de São Paulo, 1:1.000.000
- . Mapa Hidrogeoquímico do Sistema Aqüífero Botucatu Confinado,
1:2.000.000
- . Mapa da Qualidade Química das Águas Subterrâneas Para os
Distintos Usos, 1:2.000.000

RESUMO

Os sistemas aquíferos representam uma das principais fontes de suprimento de águas subterrâneas do Estado de São Paulo. Estão representados por sistemas aquíferos sedimentares e sistemas aquíferos fraturados, de litologia variável, recobrendo uma área de 247.898 km².

Em âmbito regional os objetivos deste estudo foram: a caracterização dos tipos hidrogeoquímicos e sua interrelação; o estudo da evolução da composição química das águas subterrâneas com fluxo no meio aquífero; a determinação da origem de anomalias hidrogeoquímicas; a determinação da qualidade das águas para os distintos usos e a determinação do potencial de ataque químico das águas subterrâneas aos equipamentos dos poços.

Foram utilizadas neste trabalho 1.364 análises químicas de águas subterrâneas de poços tubulares. A interpretação dos dados hidrogeoquímicos baseou-se no processamento dos resultados das análises químicas, em mapas de isovalores e em integração cartográfica.

As águas subterrâneas apresentam, em geral, teores salinos muito baixos e pertencem a dois tipos químicos dominantes: águas bicarbonatadas cálcicas e águas bicarbonatadas sódicas. A tendência principal da evolução hidrogeoquímica regional é de nordeste para sudoeste, no sistema aquífero Botucatu. A principal anomalia observada (F⁻) tem sua origem sugerida pelos condicionantes estruturais.

Quanto à adequação das águas subterrâneas para os distintos usos, de um modo geral, atendem aos padrões de potabilidade vigentes; as águas são potencialmente incrustantes ou corrosivas ou potencialmente corrosivas.

ABSTRACT

The aquifer systems stand for one of the main supplies of groundwater in the São Paulo State. It's represented by the aquifer sedimentary systems and the aquifer fractured systems with variable lithology, covering an area of 247.898 km².

The hydrogeochemical studies carried out herewith, were intended to investigate, in a regional basis, the following topics: the characterization of the different hydrogeochemical types and their interrelations; the evolution of the groundwater's chemical composition along the percolation in the aquifer; the hydrogeochemical zoning and the discrimination of chemical types according to the hydrogeochemical anomaly; the determination of the water quality according to the different uses and its chemical attack potential to the well equipment.

In this study 1.364 groundwater chemical analyses were employed. The hydrogeochemical data interpretation was based on: data analyses processing, isovalues maps and cartographic integration.

The groundwater have, generally, a very low salinity content and belong to two dominant chemical types: the calcium bicarbonate type and the sodium bicarbonate type. The principal trend in the regional hydrogeochemical evolution according to ionic increase is from northeast to southwest (Botucatu aquifer system). The hydrogeochemical anomaly (F^-) propose relationship with structural lineaments.

Concerning the groundwater chemical quality for the various uses these waters comply the required quality standards; the groundwater is incrusting or corrosive or corrosive.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

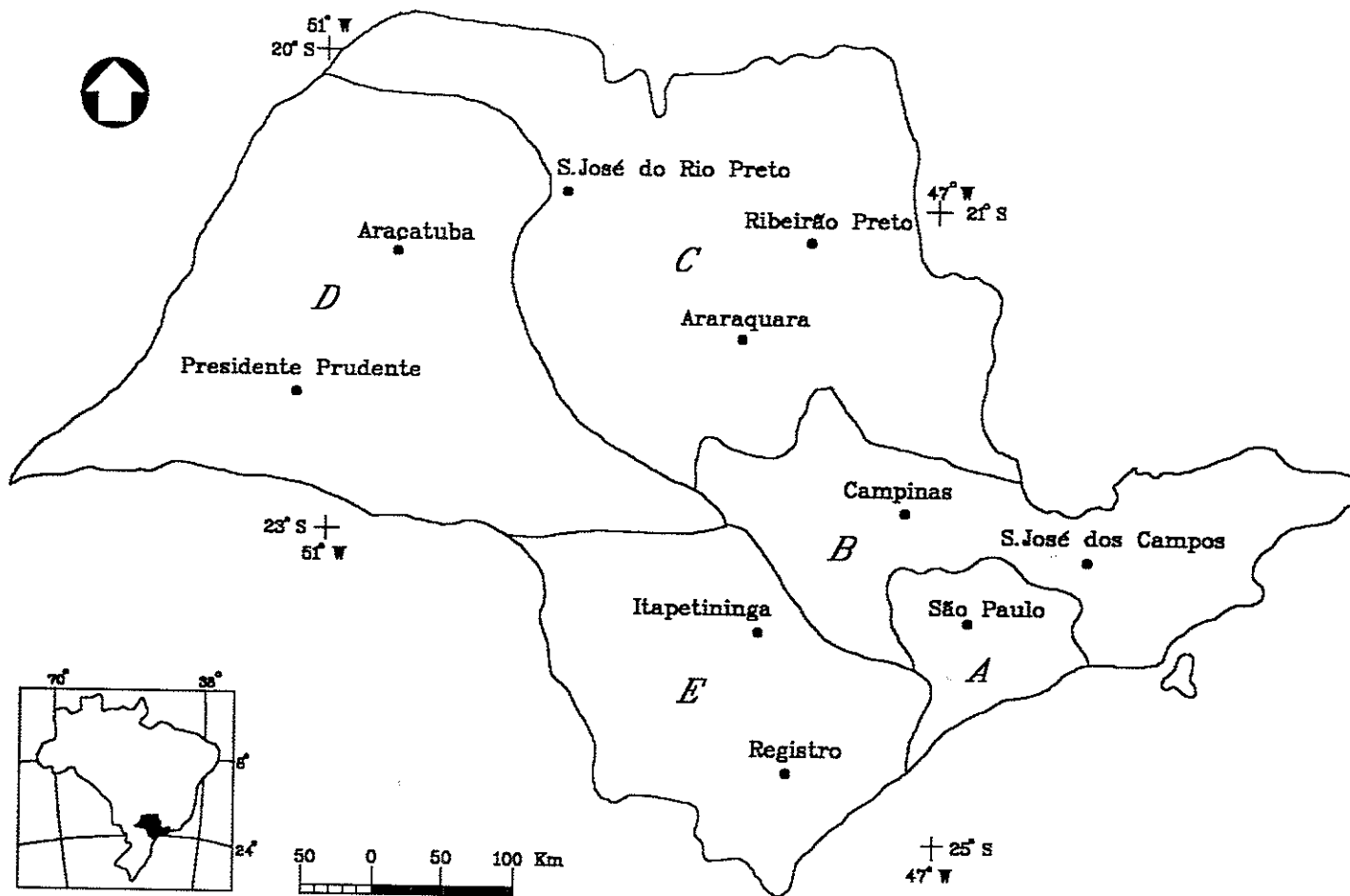
1.1 Área de Estudo

O Estado de São Paulo, com área total de 247.898 Km², situado entre os paralelos de 19°46'30" e 25°16'06" de latitude Sul e os meridianos de 44°09'24" e 53°08'54" de longitude a Oeste de Greenwich, abriga cerca de 33 milhões de habitantes (censo de 1990) distribuídos em 628 municípios. Sendo considerada a região mais desenvolvida do Brasil, possui um setor industrial situado entre os mais avançados da América Latina. Seu setor agrícola, onde são praticadas modernas técnicas de produção, constitui-se no complexo agrário mais importante do País.

A análise dos índices sócio-econômicos, a observação da distribuição espacial da população e a análise das atividades produtivas, permitem identificar áreas que apresentam uma certa homogeneidade. Nestas condições é possível agregar algumas subzonas que apresentam comportamento até certo ponto semelhante, com na distribuição da população, na densidade demográfica, na taxa geométrica anual de crescimento da população, na taxa de mortalidade infantil, no consumo de energia elétrica e na arrecadação do ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços). A Figura 1 mostra a síntese da situação dos recursos hídricos no território estadual por macro-regiões.

A área sudeste do Estado, compreendendo a região Metropolitana de São Paulo e municípios vizinhos caracteriza-se pela urbanização e industrialização intensa. As macro-regiões do Centro-Oeste e Norte são ocupadas, predominantemente, pela agroindústria, destacando-se extensas plantações de cana de açúcar, café e cítricos. O extremo sudeste (Vale do Ribeira) é a região mais subdesenvolvida do Estado, atualmente sujeita a um processo intenso de atividade extrativa mineral.

A degradação dos recursos naturais, em especial dos recursos hídricos, parece ser um processo inexorável. Os impactos da ocupação urbana e da agroindústria sobre os recursos hídricos



LEGENDA

- A**-escassez de recursos hídricos, com reversão de água de bacias vizinhas; principais rios totalmente poluídos; enchentes; superexploração de águas subterrâneas
- B**-escassez de recursos hídricos; qualidade da água parcialmente comprometida
- C**-recursos hídricos superficiais e subterrâneos abundantes; alguns trechos de rios com qualidade da água comprometida
- D**-abundância de recursos hídricos superficiais e subterrâneos
- E**-recursos hídricos superficiais abundantes; enchentes; qualidade da água próxima das condições naturais

Figura 1 - Síntese da Situação dos Recursos Hídricos por Macro-Regiões
 [segundo DAEE (1984 e 1990) e ROCHA (1986), simplificado]

superficiais são visíveis e bem caracterizados, traduzindo-se em escassez de água face as demandas; alto grau de poluição, em razão do lançamento de esgotos domésticos e de resíduos industriais tóxicos não coletados e tratados convenientemente e problemas de inundações nas áreas urbanas. Todavia, os reflexos desta degradação sobre as águas subterrâneas ainda estão por ser avaliados.

Neste trabalho será feita a caracterização das províncias hidrogeoquímicas bem como a sua representação cartográfica no âmbito do território paulista, apresentada em um mapa principal na escala 1:1.000.000, complementado por dois mapas laterais na escala 1:2.000.000.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho consiste na integração e interpretação de dados hidrogeoquímicos, através do programa de estudos proposto, que possibilitará levantar alguns pontos de interesse como:

- . a relação rocha/água;
- . a evolução da composição química das águas subterrâneas com o fluxo no meio aquífero;
- . a divisão em zonas hidrogeoquímicas como ferramenta na caracterização de unidades hidrogeológicas;
- . a determinação de anomalias hidrogeoquímicas e sua provável origem; e
- . obtenção de guia metodológico para a representação cartográfica de províncias hidrogeoquímicas de grande extensão.

Além destes objetivos, este estudo pode contribuir para estabelecer critérios de zoneamento hidrogeoquímico extensivo a toda Bacia do Paraná; esclarecer certas anomalias conhecidas que têm reflexos sentidos na qualidade e uso da água, como ocorrência de teores excessivos de flúor, ferro e sulfatos em determinadas áreas da Bacia ou a ocorrência de água de

concentração salina muito baixa, com carência em relação ao padrão de potabilidade; orientar a escolha de materiais utilizados na construção de poços (tubos, filtros), a fim de evitar ou atenuar os fenômenos de incrustação ou corrosão, que é uma necessidade para o prosseguimento das pesquisas em nível mais avançado.

1.3 Justificativas

O reconhecimento hidrogeológico básico do território estadual foi executado pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE (autarquia estadual vinculada à Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras), através do "Projeto Águas Subterrâneas", iniciado em 1972 e concluído em 1982. Em dez anos de trabalho sistemático foram recobertas as áreas das então 11 regiões administrativas do Estado na seguinte ordem cronológica: Região 6 (Ribeirão Preto); Região 1 (Grande São Paulo); regiões 7,8 e 9 (Bauru, São José do Rio Preto e Araraquara); Região 3 (São José dos Campos); Região 2 (Santos); regiões 10 e 11 (Presidente Prudente e Marília) e regiões 4 e 5 (Sorocaba e Campinas). Estes estudos por região administrativa, publicados sucessivamente (DAEE, 1974, 1975, 1976, 1977, 1979 e 1981a e b), constituem um diagnóstico das unidades aquíferas que ocorrem no Estado, das condições de exploração de águas subterrâneas e de sua utilização para os diversos fins.

O "Projeto Águas Subterrâneas" permitiu a acumulação de um grande acervo de dados e informações geológicas, incluindo dados de mais de 10.000 poços tubulares e de 1.600 análises químicas de água. Este conjunto de informações necessita de um trabalho de atualização, integração e síntese cartográfica, subsídio básico para o desenvolvimento de pesquisas e para o planejamento e gestão dos recursos hídricos.

Este estudo pretende, assim, preencher esta lacuna existente no Estado de São Paulo, dando ênfase à caracterização e cartografia das províncias hidrogeoquímicas.

CAPÍTULO 2

AS FONTES DE INFORMAÇÃO E OS MÉTODOS EMPREGADOS

2 AS FONTES DE INFORMAÇÃO E OS MÉTODOS EMPREGADOS

O autor, vinculado ao Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), participou dos trabalhos de campo e de gabinete levados a efeito pelo referido "Projeto Águas Subterrâneas", principalmente nas então regiões administrativas 10 e 11 (Presidente Prudente e Marília) e 4 e 5 (Sorocaba e Campinas) no período de 1978 a 1981, além de coleta de amostras de água de poços profundos no litoral paulista.

A sistemática de campo adotada nestes projetos seguiu, basicamente, as etapas descritas a seguir.

2.1 Cadastramento de Poços

O levantamento e cadastramento dos poços na área de estudo foi efetuado mediante varredura progressiva nas diversas regiões administrativas.

Numa primeira fase, foram visitadas as companhias perfuradoras de poços tubulares para a obtenção dos "perfis geológicos existentes" ou colunas geológicas.

Normalmente os perfis só indicam a profundidade perfurada, sem descrição ou separação dos tipos litológicos atravessados na perfuração. Mesmo naqueles perfis com descrição litológica, não há um critério homogêneo, o que dificulta a tentativa de correlação (Figura 2).

A obtenção dos dados de cada poço era registrada em uma Ficha de Cadastro de Poço. Esta ficha, preenchida em prancheta de mão, contém uma seqüência lógica de trabalho de campo.

Além da Ficha de Cadastro de Poço, adotou-se, como base para locação de poços, o jogo de folhas topográficas de escala 1:50.000, editadas pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

JOSÉ PASSARELLI & CIA. LTDA.

POÇOS ARTESIANOS E SEMI-ARTESIANOS

RUA BRASIL, 34 — FONE. 3904 — ARAÇATUBA — (SP) — C E P 16.100
C. G. C. 43 759 828/001 INSC. ESTADUAL, 177 007 827

ARAÇATUBA, 27 de dezembro de 1.973.-

CLIENTE: LIQUIFARM DO BRASIL S/A. AGROPECUÁRIA .

LOCAL DA OBRA: Fazenda "Santa Cecilia"

CIDADE: ARAÇATUBA

ESTADO: SÃO PAULO

POÇO N.º -03-

CARACTERÍSTICAS

PROFUNDIDADE:

120,00 - metros

DIÂMETROS:

de 00,00 a 61,00 mts. 14"

de 61,00 a 120,00 mts. 8"

MATERIAIS PERFURADOS:

de 00,00 a 40,00 metros
arenito mole

de 40,00 a 50,00 metros
arenito duro

de 50,00 a 61,00 metros
arenito argiloso

de 61,00 a 120,00 metros
rocha

REVESTIMENTO:

tubos de revestimento Mannesman

norma DIN- 2440, ϕ de 8", com

luvas e roscas - 37,00 metros

tubos filtro Mannesmann norma

DIN-2440, ϕ de 8", com luvas e

roscas - 24,00 metros.

NÍVEL ESTÁTICO:

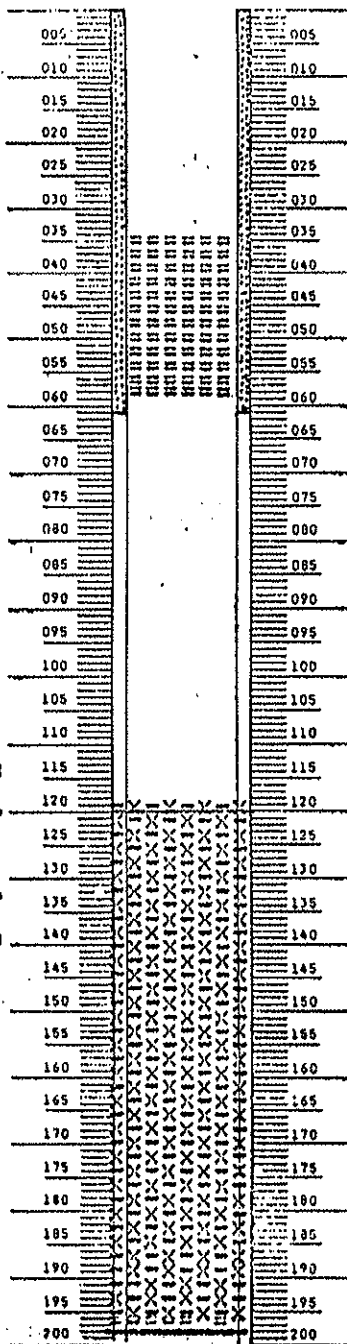
21,00 - metros

NÍVEL DINÂMICO:

42,00 - metros

VAZÃO:

16.000 - litros/hora.



INÍCIO DA OBRA:

13.11.73

TÉRMINO DA OBRA:

26.12.73

JOSÉ PASSARELLI & CIA. LTDA.

Jose Passarelli
DIRETOR PRESIDENTE

Figura 2 - Fac-Símile de Perfil Geológico de Poço

2.2 Obtenção de Dados Hidrogeológicos

A fim de pesquisar as características hidráulicas dos terrenos, individualizar unidades aquíferas e estabelecer um modelo aproximado do seu funcionamento hidráulico, foi dada ênfase especial, durante o cadastramento dos poços, à realização de ensaios de bombeamento e de medição de nível d'água (estático).

A seleção de poços e execução dos ensaios eram programados de modo progressivo, no campo, após avaliação dos dados levantados pelo cadastramento.

Os critérios que nortearam a escolha de poços foram:

- . a maior penetração do poço no aquífero e existência de perfil geológico confiável;
- . a possibilidade de medida de nível d'água e vazão e
- . distribuição espacial em área, de modo homogêneo, evitando adensamento ou vazios.

Os parâmetros hidráulicos possíveis de serem deduzidos com base em observações diretas em poços, mediante a execução de ensaios de bombeamento são: capacidade específica (Q/s), coeficiente de transmissividade (T), permeabilidade (K) e coeficiente de armazenamento(S).

2.3 Obtenção de Dados Hidroquímicos

Com vistas a determinação química das águas subterrâneas dos distintos aquíferos foi necessário obter uma base de dados primários, uma vez que não havia dados químicos antecedentes na área de estudo.

2.3.1 Programa de Amostragem

Com base nos dados preliminares e nas características dos poços, foi elaborado um programa de medidas de campo e de amostragem, orientado pelos seguintes critérios:

- . existência de poços com "perfil geológico confiável";
- . preferência de amostragem para os poços com contribuição de águas de apenas uma formação ou horizonte aquífero; e
- . distribuição dos poços em área, de maneira homogênea.

2.3.2 Determinações Químicas das Águas Subterrâneas

As amostras de águas subterrâneas foram coletadas diretamente da boca dos poços. No campo, no instante da coleta, foram feitas as seguintes medidas: pH, temperatura da água, temperatura ambiente, condutividade elétrica e alcalinidade.

As amostras, destinadas aos laboratórios da Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB para análises físico-químicas, foram coletadas em frascos de polietileno, novos e descartáveis, refrigerados a 4°C, com gelo, em caixa de isopor, sendo 3 litros sem preservativos para a análise de alcalinidade, cloreto, fluoreto, sulfato, sílica, condutividade elétrica, resíduos a 105°C e 180°C e carbonato; 1,5 litros preservado com 2,5 ml de HNO₃ para determinação de dureza, ferro total, cálcio, magnésio, boro, sódio, potássio e um frasco de 250 ml com 2,5 ml de H₂SO₄ concentrado para exame de nitrato. Estas recomendações encontram-se reunidas no "Guia Técnico de Coleta de Amostras da CETESB", segundo SOUZA & DERÍSIO (1977). Os resultados das análises eram registrados no "Boletim de Exames de Água", como o exemplo da Figura 3.

Os métodos de análises químicas aplicados no laboratório da CETESB (baseados no "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - American Public Health Association - U.S.A.") para a determinação dos parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas a 25° C, foram: pH (potenciométrico); condutividade elétrica (condutivímetro de eletrodo), resíduo a 105°C e 180° C (gravimétrico); Ca²⁺, Mg²⁺ e dureza total (titulométrico EDTA); Na⁺ e K⁺ (absorção atômica); HCO₃⁻ e CO₃²⁻ (titulação potenciométrica); Cl⁻ (titulométrico nitrato-mercúrio); SO₄²⁻ (turbimétrico cloreto de bário); NO₃⁻ ("auto-analyser" com sulfalinamida), Fe²⁺ ("auto-analyser" com



BOLETIM DE EXAMES DE ÁGUAS BRUTAS/RESIDUÁRIAS

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

Nº DA OS
702148Nº DA AMOSTRA
36487

CLIENTE/PROGRAMA: DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA
 ENDEREÇO: Rua Riachuelo, 115 - 5º andar
 MUNICÍPIO: São Paulo - SP
 COLETOR/CARGO: Interessado
 LOCAL DA COLETA: Poço tubular profundo - Alvares Machado-SP SF224B III-1-81
 MANANCIAL/ORIGEM: - TRATAMENTO: -
 CHUVAS NAS ÚLTIMAS 24 h SIM NÃO TEMPERATURA DA AMOSTRA 24 °C - AR 16 °C
 ASPECTO: - ODOR: -
 DATA E HORA DA COLETA: 06-06-81 - 14:30 DATA ENTRADA NO LAB: 07-06-81

PARÂMETRO	UNIDADE (mg/l)	RESULTADO	PARÂMETRO	UNIDADE (mg/l)	RESULTADO
Alcalinidade Bicarbonato	CaCO ₃	103	Nitrogênio Amoniacal	N	-
Alcalinidade Carbonato	CaCO ₃	0	Nitrogênio Nitrate	N	1,23
Alcalinidade Hidróxido	CaCO ₃	0	Nitrogênio Nitrito	N	-
Alumínio	Al	-	Nitrogênio Kjeldahl Total	N	-
Ársênio	As	-	Óleos e Graxas	-	-
Bário	Ba	-	Oxigênio Consumido	O ₂	-
Boro	B	< 0,021	Oxigênio Dissolvido	O ₂	-
Cádmio	Cd	-	pH (campo)	-	8,5
Cálcio	Ca	27,2	Potássio	K	4,3
Chumbo	Pb	-	Prata	Ag	-
Cianeto	CN	-	Resíduo Total	-	-
Cloreto	Cl	10,8	Resíduo Fixo	-	-
Cobre	Cu	-	Resíduo Volátil	-	-
Condut. Específica a 25°C	µS/cm	243	Resíduo Filtrável	-	-
Cor	mg Pt/l	-	Resíduo não Filtrável	-	-
Cromo Hexavalente	Cr	-	Resíduo Sedimentável	ml/l	-
Cromo Total	Cr	-	Selênio	Se	-
DBO (5 d, 20°C)	O ₂	-	Sódio	Na	15,8
DQO	O ₂	-	Sulfato	SO ₄	5
Dureza Total	CaCO ₃	95,1	Sulfeto	S	-
Estanho	Sn	-	Surfactantes (MBAS)	LAS	-
Fenóis	C ₆ H ₅ OH	-	Turbidez	UNT	-
Ferro Solúvel	Fe	0,02	Zinco	Zn	-
Fluoreto	F	0,27	Carbonato	CO ₃ ⁼⁼	0,0
Fosfato (orto)	P	-	Silica	SiO ₂	50
Fosfato Total	P	-	Resíduo Filtrável a 105°C		193
Magnésio	Mg	6,6	Resíduo Filtrável a 180°C		85
Manganês	Mn	-	pH		7,05
Mercurio	Hg	-			
Níquel	Ni	-			

OBSERVAÇÕES

Nota: Métodos de análise baseados na 14ª edição do "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" APHA - AWWA - WPCF

IVAN RONALDO HORTEL
Divisão de Química Inorgânica

RENATO AMARAL
Gerência de Análises Químicas

São Paulo, 17 de junho de 1981

Figura 3 - Fac-Símile de Boletim de Exames de Água (CETESB)

orto-fenantrolina); F^- (colorimétrico SPADNS), e SiO_2 (colorimétrico com molibdato de amônia).

Os limites de detecção (L.D.) para cada um dos parâmetros analisados, em mg/l são: resíduo seco a 105° e $180^\circ C$ (L.D. = 1,0 mg/l); Ca^{2+} (L.D. = 0,05 mg/l); Mg^{2+} (L.D. = 2,0 mg/l); dureza total (L.D.= 2,0 mg/l); Na^{2+} (L.D.= 0,1 mg/l); K^+ (L.D. = 0,1 mg/l); alcalinidade (L.D. = 1,0 mg/l); Cl^- (L.D.= 0,5 mg/l); SO_4^{2-} (L.D.= 2,0 mg/l); NO_3^- (L.D.= 0,02 mg/l); Fe^{2+} (L.D.= 0,005 mg/l); F^- (L.D.= 0,1 mg/l); SiO_2 (L.D.= 0,6 mg/l); a condutividade elétrica em micromho/cm tem o limite de detecção igual a 0,1.

Obtidos os dados químicos deve-se seguir uma série de procedimentos para o cálculo de erro das análises. O balanço iônico em porcentagem é a forma mais comumente utilizada, sendo a equação mais convencional que calcula o erro prático (EP):

$$(EP) = \frac{S_c - S_a}{S_c + S_a} \times 100$$

onde S_c é a soma dos cátions e S_a é a soma dos ânions em miliequivalentes.

SCHOELLER (1962) e LOUVRIER (1976) admitem simplesmente que o erro do balanço não pode ser superior a 5% para que a análise seja aceita.

CUSTÓDIO & LLAMAS (1976) propõem uma modificação na fórmula de balanço (divisão do denominador por 2) e relacionam os intervalos de erros permitidos com intervalos de condutividade elétrica.

A escolha da equação para determinação dos denominados erros teóricos das análises químicas das águas deve ser feita em função de uma análise de regressão dos dados ou através de equação obtida na literatura.

No caso deste estudo utilizou-se a comparação entre a magnitude do erro permissível e a soma de ânions ou cátions, em miliequivalentes, conforme recomenda LOGAN (1965):

Soma de ânions ou cátions (meq/l)	<1	1	2	6	10	30	>30
Erro Permissível (%)	15	10	6	4	3	2	1

SILVA (1983) observando os casos de erros elevados nas análises em estudo hidrogeoquímico regional do aquífero Botucatu, constatou que neles a soma de ânions é menor que a soma de cátions. Os erros mais elevados coincidiam com águas provenientes da zona de afloramento do aquífero, cuja baixa salinização propiciava erros analíticos na determinação de sulfato e cloreto, visto que os teores destes ânions estão próximos dos limites de detecção dos métodos utilizados. Nos casos restantes os erros estavam pouco acima dos permitidos e os laudos do laboratório (CETESB) levantavam a hipótese de ânions não analisados.

Desse modo, como o que se almeja neste estudo é o conhecimento da evolução relativa da química das águas ao nível regional, optou-se pela utilização de todo o elenco de análises, adotando-se o mesmo procedimento de SILVA (op. cit.).

2.3.3 Registro de Dados

As medidas químicas obtidas eram registradas em ficha apropriada, a Ficha de Hidroquímica, que reúne tanto os dados de campo quanto os de laboratório.

2.4 Levantamento Bibliográfico - Cartográfico

Esta etapa compreendeu o levantamento e a análise da documentação cartográfica e bibliográfica disponível sobre o assunto do trabalho.

Durante a coleta de dados reuniu-se as principais informações sobre as características geológicas, hidráulicas e hidroquímicas dos aquíferos, levando-se em consideração somente a área de ocorrência dos mesmos no Estado de São Paulo. Numa fase seguinte, recorreu-se ao Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIDAS) e ao então Centro de Informações Técnicas (CIT) ambos pertencentes ao Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), onde levantou-se os poços cadastrados e as respectivas análises químicas distribuídas sobre os domínios dos diferentes aquíferos.

As possibilidades de saída do SIDAS são comentadas por OGAWA & CAMPOS (1984). Este sistema, não contemplou a implantação dos dados das análises químicas obtidas durante o "Projeto Águas Subterrâneas" (DAEE, 1974, 1975, 1976, 1977, 1979, 1981a e b). As informações referentes à qualidade química das águas subterrâneas restringem-se aos dados de campo de pH, temperaturas do ar e da água, condutividade elétrica e ao apontamento da existência ou não de análises.

2.5 Processamento dos Resultados das Análises

A partir dos resultados das análises físico-químicas das águas, foi realizado o processamento automático dos dados em microcomputador, com vistas a fornecer um quadro da caracterização química das águas subterrâneas, bem como para sua apresentação cartográfica.

As etapas desenvolvidas, cronologicamente, nesta fase do projeto foram as seguintes:

- . (1988) transcrição manual das 1.600 fichas de hidrogeoquímica para planilhas de dados, para posterior digitação;
- . (1989) desenvolvimento junto ao DAEE do "Sistema de Informações Químicas de Águas Subterrâneas - SIQUIM"), visando o armazenamento das análises químicas em microcomputador;
- . (1990) implantação do Programa de Hidroquímica - "HIDQU1" (originário do Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT) junto ao DAEE, que permite reduzir o tempo dispendido em cálculos e comprovações a partir de resultados de análises físico-químicas das águas;
- . (1990/91) adaptação junto ao Pólo Computacional da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - UNESP (instituição à qual o autor manteve vínculo entre 1989 e 1992) dos programas "SIQUIM" e "HIDQU1" (este último modificado e denominado "HIDROQ"); de programa de conversão de coordenadas geográficas (originário do Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE); e desenvolvimento dos programas "SQFILT" (seleciona os dados), "SQSOMA" (realiza a soma de arquivos selecionados), "SQEXCLUI"

(realiza a subtração de arquivos de dados), "SQTIPO" (fornece os percentuais dos tipos químicos de águas) e "PLOTAPTO" - 1ª versão (realiza a plotagem dos dados selecionados via impressora);

- . (1992) testes finais do programa "PLOTALISO", que realiza o traçado de isolinhas via "plotter", com base nos métodos desenvolvidos por YAMAMOTO (1988); implantação de programas para traçados de diagramas de classificação química das águas via "plotter" segundo PIPER (1944) e STIFF (1951) apud HEM (1959); implantação de arquivos de dados com análises químicas (anos de 1988 e 1989) do sistema aquífero Tubarão provenientes do Instituto Geológico (IG) da Folha do IBGE - Salto de Pirapora.

As alternativas de tratamento de dados do denominado "SISTEMA SIQUIM" (SOUZA & CAMPOS, 1993) são apresentados no diagrama de blocos da Figura 4.

Os módulos principais da "SISTEMA SIQUIM" são os programas "HIDROQ", "PLOTAPTO" e "PLOTALISO".

O programa "HIDROQ" processa cálculos sobre os dados coletados e gera estatísticas sobre as análises, com saída em impressora.

O programa "PLOTAPTO" plota dados de análise química utilizando a simbologia específica para poços tubulares. Pode-se selecionar o aquífero desejado, a escala de plotagem e incluir junto ao símbolo do poço quatro parâmetros, inclusive o diagrama de STIFF.

Para o traçado de isolinhas o programa "PLOTALISO" solicita o aquífero e o parâmetro selecionado e seus limites inferior e superior, com intervalos entre as curvas.

2.6 Seleção e Integração dos Dados

Devido ao âmbito regional da investigação dos sistemas aquíferos no território estadual, objeto deste estudo, e antes de qualquer análise de consistência da massa de dados então reunida, plotou-se os poços que possuíam análises químicas

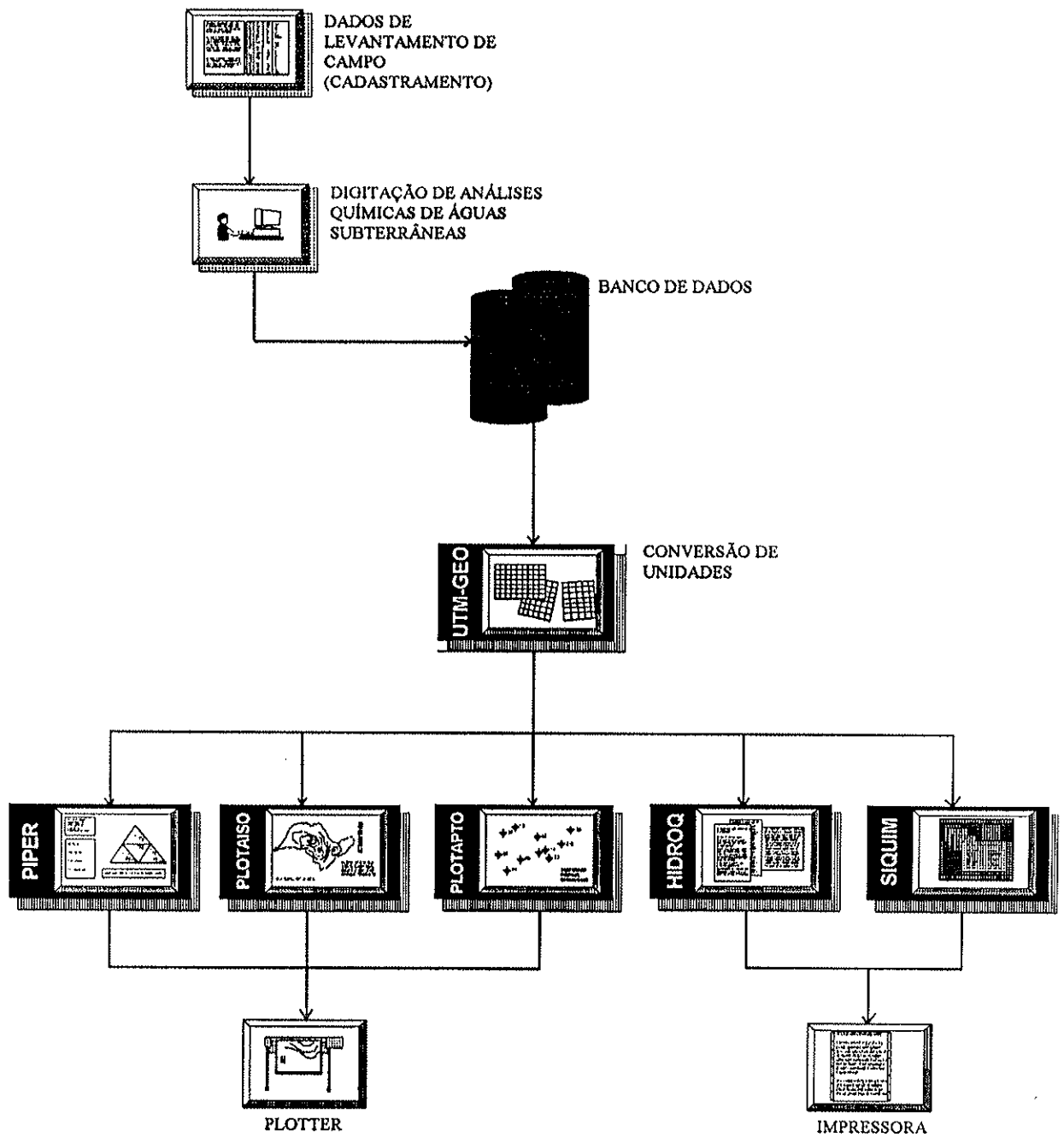


Figura 4 – Diagrama de Blocos do Sistema "SIQUIM"
 [SOUZA & CAMPOS, (1993)]

sobre um mapa geológico na escala 1:500.000 (IPT, 1981a), tendo como base as cartas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, escala 1:50.000.

O objetivo desta medida foi o de se obter uma primeira visualização de distribuição e de densidade de dados por unidade geológica.

Os poços com análises químicas, em número de 1.600, que mostraram boa distribuição em área e que inicialmente foram alimentando o "SIQUIM", apresentavam ausência de alguns parâmetros essenciais à sua completa caracterização. A partir disto, efetuou-se uma triagem sobre o inventário geral dos parâmetros geológicos, hidráulicos e hidroquímicos disponíveis.

Desta maneira, foram considerados inicialmente para o presente trabalho dados referentes a 1.364 poços, tendo sido eliminados 236 poços. Esta medida adotada justificou-se principalmente pelos seguintes fatores:

- . falta de identificação dos números das folhas DAEE/poço que deveriam constar tanto nas Fichas de Cadastro de Poço quanto nos Boletins de Exames de água (CETESB), provocando a "perda" da análise em relação ao poço amostrado;
- . falta de coordenadas geográficas; e
- . profundidades indefinidas.

A densidade de distribuição de análises físico-químicas selecionadas por área é mostrada no Quadro 1 e visualizada na Figura 5. Foram acrescentadas 31 análises químicas dos trabalhos do IPT (1986, 1987a e b).

A etapa seguinte consistiu na aquisição de novos dados, integração dos dados selecionados, confecção de cartas temáticas, elaboração do mapa hidrogeoquímico e no texto da tese de doutorado.

QUADRO 1 - Distribuição de Análises Químicas por Sistemas Aquíferos.

SISTEMAS AQUÍFEROS	ÁREA DE AFLORAMENTO (em Km ²)	Nº DE ANÁLISES	DENSIDADE (1 análise/Km ²)
Vales Interiores (VI)	3.600	4	1/900
Litorâneo (LI)	4.600		
Taubaté (TA)	2.200	59	1/37
São Paulo (SP)	1.000		
BAuru (BA)	100.000	326	1/307
CAiuá (CA)	3.500		
Serra Geral (SG)	31.900	137	parte em subsuperfície
DiaBásio (DB)	3.300	10	1/330
BOtucatu (BO)	16.000	82	parte em subsuperfície
Passa Dois (PD)	6.900	5	1/380
TUbarão (TU)	20.700	74	parte em subsuperfície
FURNas (FU)	500	1	1/500
CRistalino (CR)	53.000	104	1/510
SISTEMAS AQUÍFEROS "MISTOS"			
Vales Interiores +Cristalino (VICR)		2	
Litorâneo + CRistalino (LICR)		1	
BAuru + CAiuá (BACA)		63	
BAuru + Serra Geral (BASG)		70	
Serra Geral + BOtucatu (SGBO)		106	
DiaBásio + BOtucatu (DBBO)		7	
DiaBásio + Passa Dois (DBPD)		1	
DiaBásio + TUbarão (DBTU)		7	
DiaBásio + CRistalino (DBCR)		4	
DiaBásio + Passa Dois + TUbarão (DBPD TU)		4	
Passa Dois + TUbarão (PD TU)		3	
TUbarão + CRistalino (TUCR)		8	
NÃO DEFINIDOS		200	
OUTRAS CLASSIFICAÇÕES (OUTROS)		86	
TOTAL		1.364	
NOTA EXPLICATIVA			
<p>Classificação de sistemas aquíferos baseada nas informações existentes no SIDAS (Sistema de Informação de Águas Subterrâneas) do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e adaptada com novas siglas para este estudo. A ausência de classificação original para os sistemas aquíferos Litorâneo, São Paulo e Caiuá, foi suprida pelas análises químicas dos sistemas aquíferos "NÃO DEFINIDOS" e "OUTROS". Foram consideradas pela posição espacial, profundidade dos poços e proximidade com outros poços vizinhos de classificação conhecida, como pertencentes principalmente ao sistema aquífero aflorante.</p>			

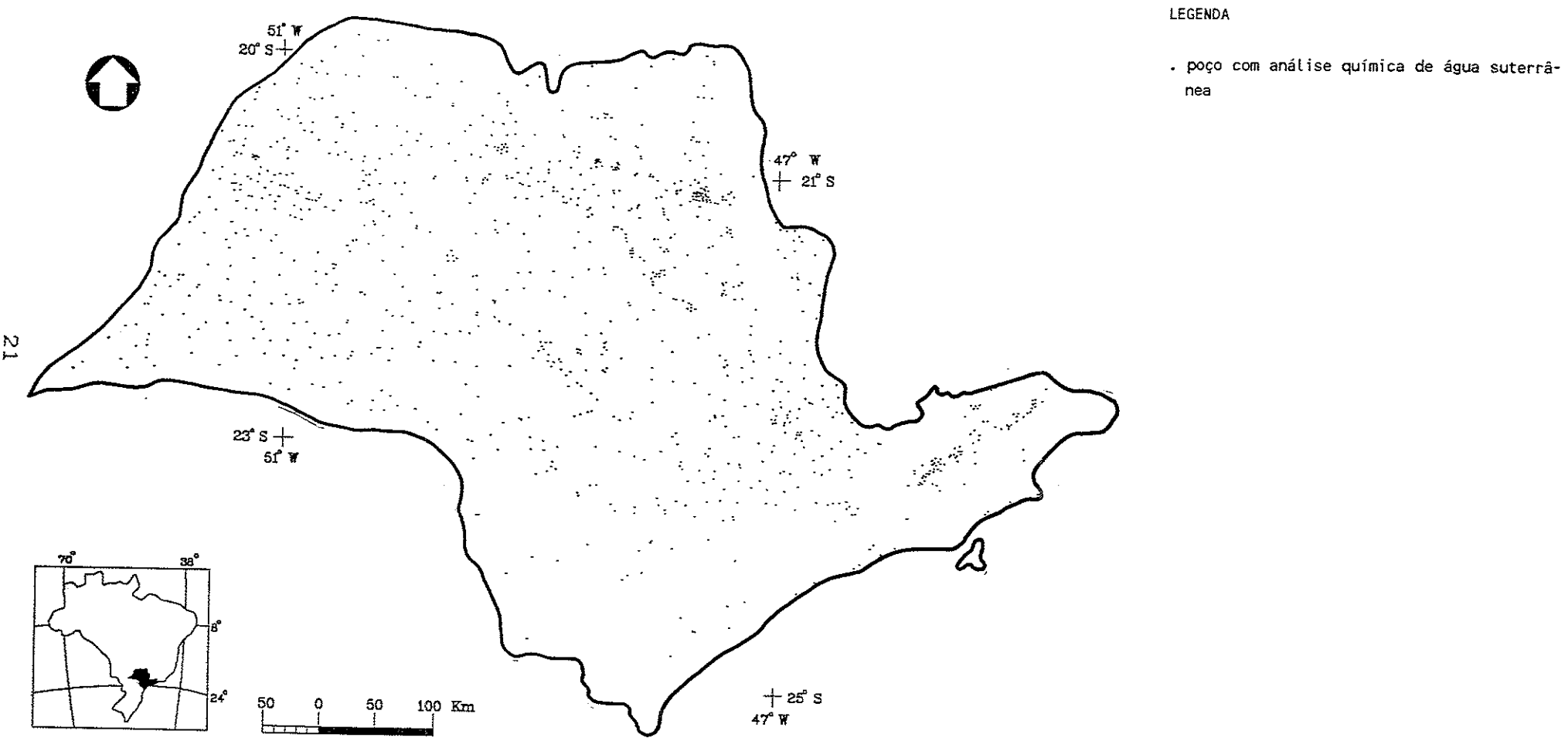


Figura 5 - Distribuição dos Poços com Análises Químicas de Águas Subterrâneas

CAPÍTULO 3

CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

3 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Esboço Geológico

O Estado de São Paulo faz parte da Plataforma Sul-americana e o seu registro geológico é bastante extenso, cobrindo o intervalo do Arqueano ao Holoceno. Na configuração da superfície do Estado, visualizada no "Esboço da Distribuição das Unidades Litoestratigráficas no Estado de São Paulo" (IPT, 1981a) da Figura 6, distinguem-se:

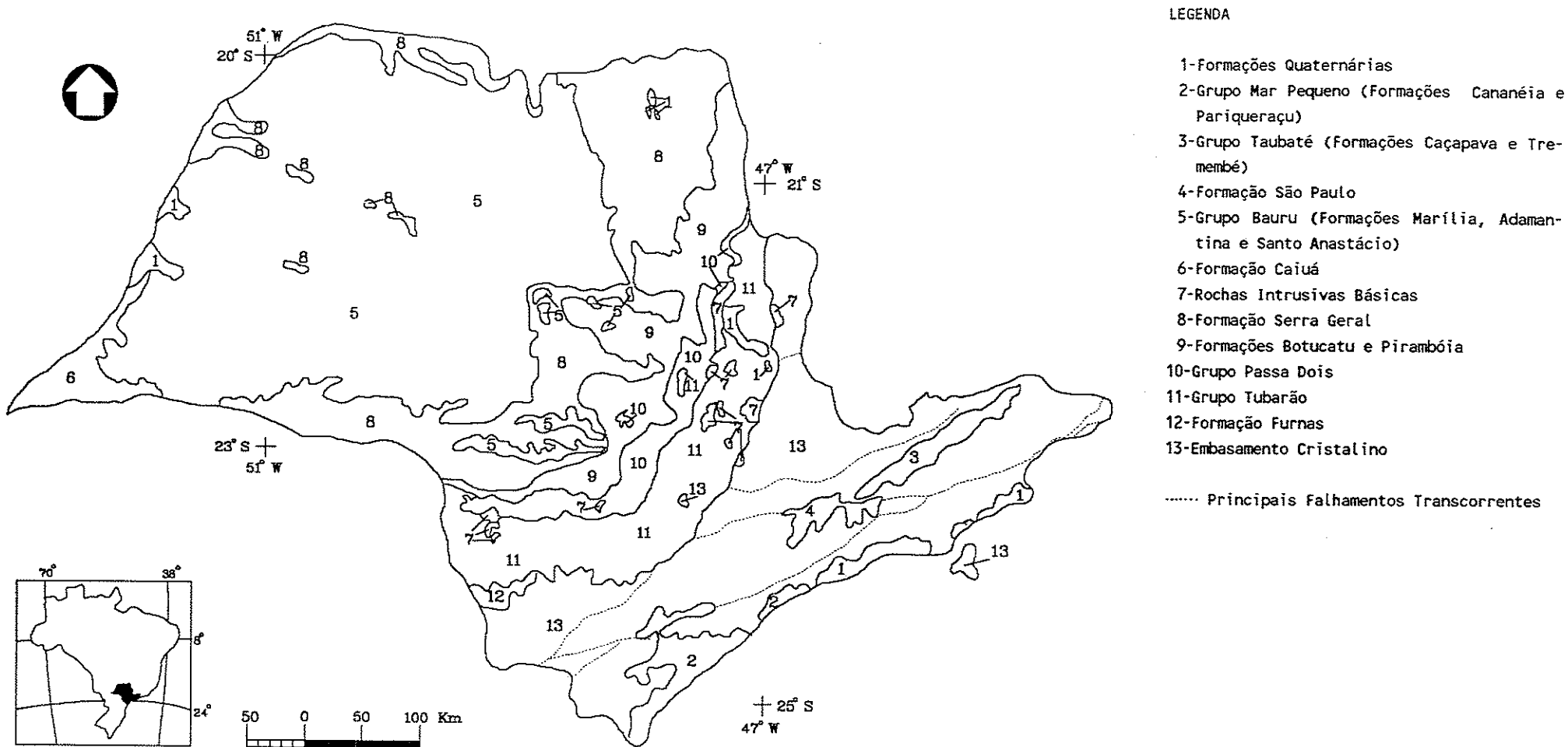
- . uma porção do Escudo Atlântico, com restritas coberturas sedimentares e pequenas intrusões jurássico - paleocênicas;
- . uma porção da cobertura da plataforma, representada pela seqüência sedimentar e vulcânica da Bacia do Paraná, com importantes intrusões jurássico-cretáceas.

Até o início do Paleozóico na metade oriental do Brasil constituíram-se rochas diversas, por processos distintos, compondo o denominado "Complexo Cristalino" (por ser formado essencialmente de rochas magmáticas e metamórficas), ou basal (por se posicionar estratigraficamente sob mantos sedimentares) e que representa o embasamento da plataforma. Este embasamento se expõe em vastas regiões brasileiras, importando aqui a faixa costeira, onde configura o Oceano Atlântico.

Sobre o embasamento acumularam-se, no Devoniano ou mesmo já do Siluriano ao Jurássico, extensos pacotes sedimentares preenchendo grandes bacias, como a Bacia do Paraná.

A partir do Jurássico Superior adviriam novos processos tectônicos, tanto no domínio do escudo como da bacia. A Bacia do Paraná acolheu sedimentos e vulcânicas basálticas, completando o pacote que compõe a cobertura da plataforma. No Escudo Atlântico também se formaram depósitos sedimentares, em área mais restritas. Diversas intrusões alojaram-se nos dois domínios.

A persistente subsidência dessa bacia, embora com caráter oscilatório, permitiu a acumulação de grande espessura



LEGENDA

- 1-Formações Quaternárias
- 2-Grupo Mar Pequeno (Formações Cananéia e Pariqueraçu)
- 3-Grupo Taubaté (Formações Caçapava e Tremembé)
- 4-Formação São Paulo
- 5-Grupo Bauru (Formações Marília, Adamantina e Santo Anastácio)
- 6-Formação Caiuá
- 7-Rochas Intrusivas Básicas
- 8-Formação Serra Geral
- 9-Formações Botucatu e Pirambóia
- 10-Grupo Passa Dois
- 11-Grupo Tubarão
- 12-Formação Furnas
- 13-Embasamento Cristalino

- Principais Falhamentos Transcorrentes

Figura 6 - Esboço da Distribuição das Unidades Litoestratigráficas

[segundo Mapa Geológico do IPT (1981 a), adaptado e simplificado]

de sedimentos, lavas basálticas e "sills" de diabásio. Na região mais profunda da Bacia, que se estende ao extremo oeste do Estado (região do Pontal do Paranapanema), a espessura total desses sedimentos pode ultrapassar 5.000 metros.

3.2 Esboço Geoestrutural

O embasamento da Plataforma Sul-americana, como exposto no Escudo Atlântico em território paulista, engloba diversas unidades lito-estratigráficas.

As unidades mais antigas não só mostram, em geral, transformações metamórficas de alta grau, como complexas deformações. A superimposição de efeitos termo-tectônicos posteriores levou a intrincadas relações dos materiais constitutivos das rochas. Em algumas áreas, as transfigurações sofridas, acrescida de processos de migmatização e infiltrações graníticas, levaram a produtos finais pelos quais é difícil até reconhecer os materiais de origem. Por seu turno as unidades mais novas mostram feições menos intrincadas e podem ser tratadas com menor grau de dificuldade (HASUI et al., 1981).

As mais destacadas feições estruturais são as falhas transcorrentes, distribuídas por todas as partes do Pré-Cambriano paulista. Algumas delas foram investigadas em detalhe por diversos autores, como a de Taxaquara, Caucaia, Jacutinga, Cubatão, Freires, Buquira e outras do extremo leste paulista. Essas falhas têm faixas cataclásticas mais ou menos espessas, citando-se cifras de 1.500 metros e até maiores.

Em termos regionais, considera-se que as falhas formam feixes de idade tardi-brasilianas, pois muitas de suas componentes seccionam corpos rochosos do Proterozóico Superior. Contudo, a idade tardi-brasiliana refere-se apenas aos deslocamentos transcorrentes. Cabe enfatizar, que muitas das falhas foram sítios de movimentos normais no Meso-Cenozóico.

A Reativação Wealdeniana (ALMEIDA et al., 1981), foi o mais importante processo tectônico-magmático ocorrido no País após o Cambro-Ordoviciano. Como aconteceu em grande extensão no Brasil, também no Estado de São Paulo observa-se que antigas

estruturas foram reativadas e outras se originaram. Processos magmáticos produziram os grandes derrames basálticos e intrusões de formas diversas e de variada natureza petrográfica.

A Reativação iniciou-se em fins do Jurássico. Os processos diastróficos culminaram no Cretáceo Inferior. Movimentação vertical, com soerguimentos epirogênicos e abatimento de blocos de falhas, contudo, ocorreram no Planalto Atlântico em São Paulo e regiões próximas, ainda no Cenozóico, dando origem a depressões tafrogênicas como o Vale do Paraíba e a Bacia de São Paulo, assim como os elevados relevos das serras do Mar e da Mantiqueira.

A Reativação Wealdeniana tem sido correlacionada aos processos que levaram à separação dos continentes e à abertura do Oceano Atlântico.

A Bacia do Paraná é uma entidade geotectônica estabelecida no inferior da Plataforma Sul-Americana no Paleozóico Superior, após a elaboração final das estruturas originadas no decorrer do Ciclo Brasileiro, seguida pelo arrasamento erosivo (ALMEIDA & MELO, 1981).

A Bacia do Paraná, em sentido lato, compreendendo o ramo argentino (Bacia Chaco-Paraná), é uma área de sedimentação fanerozóica com cerca de 1.750.000 Km², dos quais 1.150.000 Km² pertencem ao território brasileiro. A maior parte do Estado de São Paulo acha-se incluída na Bacia do Paraná.

É uma bacia tipicamente intracratônica que em sua zona mais deprimida acumulou cerca de 5.000 m de espessura de sedimentos, lavas e "sills".

A partir do final do Jurássico, processos tectônicos e magmáticos de apreciáveis magnitudes, que consistiram em falhamentos e fraturamentos de distensão, deram vazão a grande volume de magma basáltico, formadores de espessos e numerosos diques e "sills". Deformações locais como dobras, flexuras e outras estruturas, também se originaram.

A Bacia do Paraná, no decorrer de sua longa história, teve configuração condicionada por arqueamentos, flexuras e alinhamentos estruturais do embasamento, que se comportaram como grandes estruturas de atuação mais ou menos prolongada e

intensa, confirmadas ou não. Dispõem-se marginalmente à bacia, participando de sua delimitação, ou ainda são transversais às suas bordas, influenciando em sua compartimentação e processos estruturais e sedimentares que acompanharam sua evolução.

O desenvolvimento estrutural da Bacia no Brasil foi grandemente influenciado, durante o decorrer de maior parte da sua história, por duas direções predominantes: NNE-NE e NW. Na Figura 7 acham-se indicadas as estruturas de maior ordem da Bacia e os alinhamentos estruturais mais claramente reconhecíveis.

Na Figura 7 acha-se também assinalada a posição que ocupa a área do território estadual paulista no nordeste da Bacia, disposto entre duas estruturas de tendência ascensional (Flexura de Goiânia e o Arco de Ponto Grossa) a distribuição das rochas ígneas alcalinas mesozóicas e pontos de intensa silicificação.

O magmatismo alcalino na região meridional da Plataforma Sul-Americana (ALMEIDA, 1983) resultou do importante processo diastrófico nela manifestado no Jurássico, e a partir da Reativação Wealdeniana.

Esse fenômeno realizou-se após demorado tempo de calma tectônica que se apresentou na plataforma a partir do Carbonífero Superior. Ele foi particularmente intenso e diversificados seus efeitos, em sua região sul. Caracterizou-se sobretudo pela reativação de antigos falhamentos e surgimentos de blocos de falha, soerguimento de arcos, abatimentos de bacias costeiras e acentuada subsidência da Bacia do Paraná.

Entre o Jurássico Superior e o Cretáceo Inferior pré-Aptiano, manifestou-se o extenso vulcanismo basáltico toleítico com suas derivadas ácidas que preencheram a Bacia do Paraná, bem como os enxames de diabásio expostos às suas bordas. Esses derrames estenderam-se à área que viria a ser ocupada pela Bacia de Santos. Às bordas dessas bacias desenvolveram-se, ou foram reativados, arcos, flexuras e zonas de falhas. Foi nesse ambiente tectônico que se processou uma primeira fase do vulcanismo alcalino, contemporâneo aos basaltos, às bordas da Bacia do Paraná. No Cretáceo Superior, com derradeira pulsação

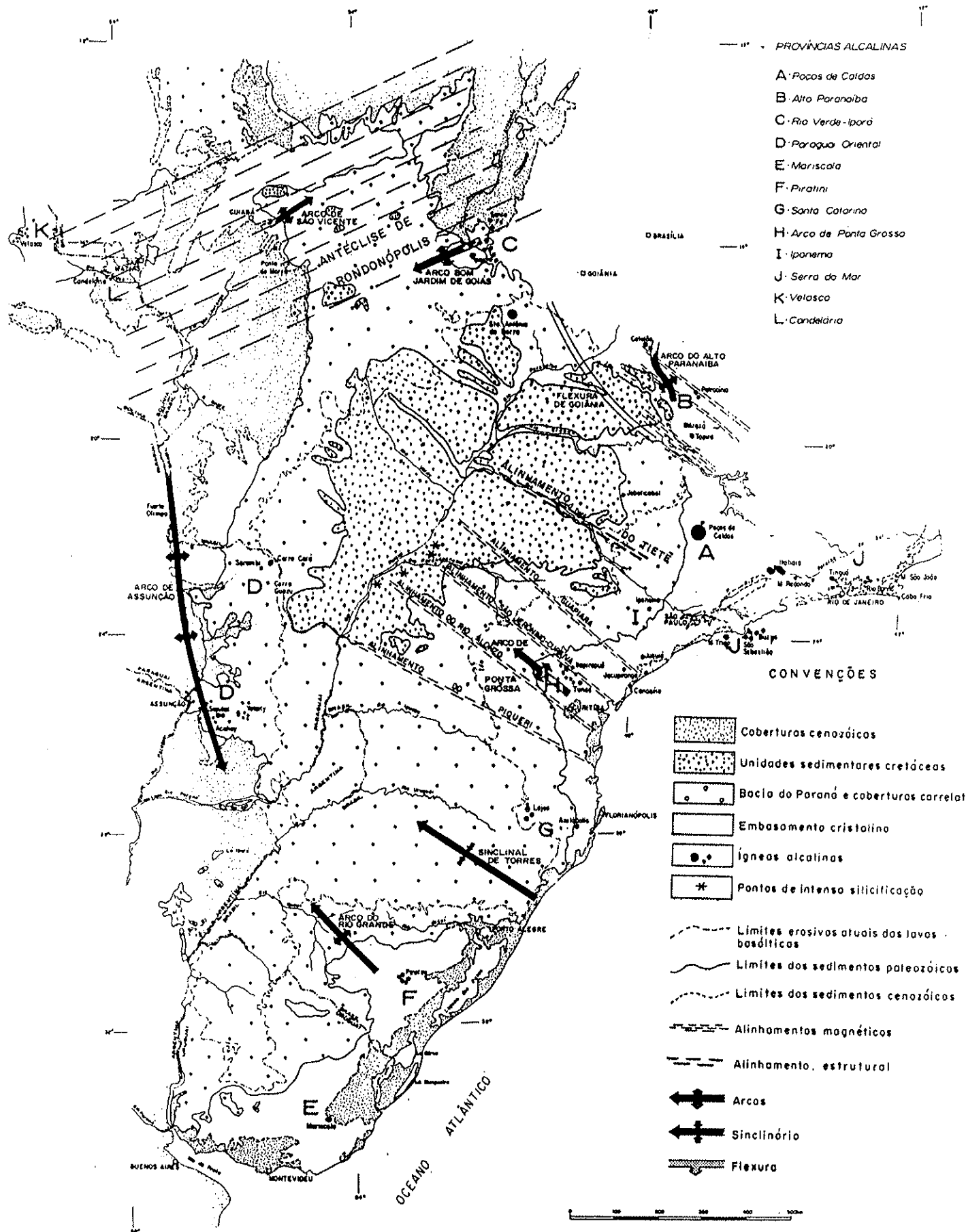


Figura 7 - Situação do Estado de São Paulo na Bacia do Paraná [segundo FERNANDES (1992), modificado de ALMEIDA (1983)]

no Eoceno, manifestou-se uma segunda fase desse vulcanismo (ALMEIDA, op. cit.).

Com a descoberta de numerosas ocorrências dessas rochas alcalinas no Brasil e países vizinhos, verificou-se que esse relacionamento com longas zonas de fraturas na crosta terrestre é fato comum.

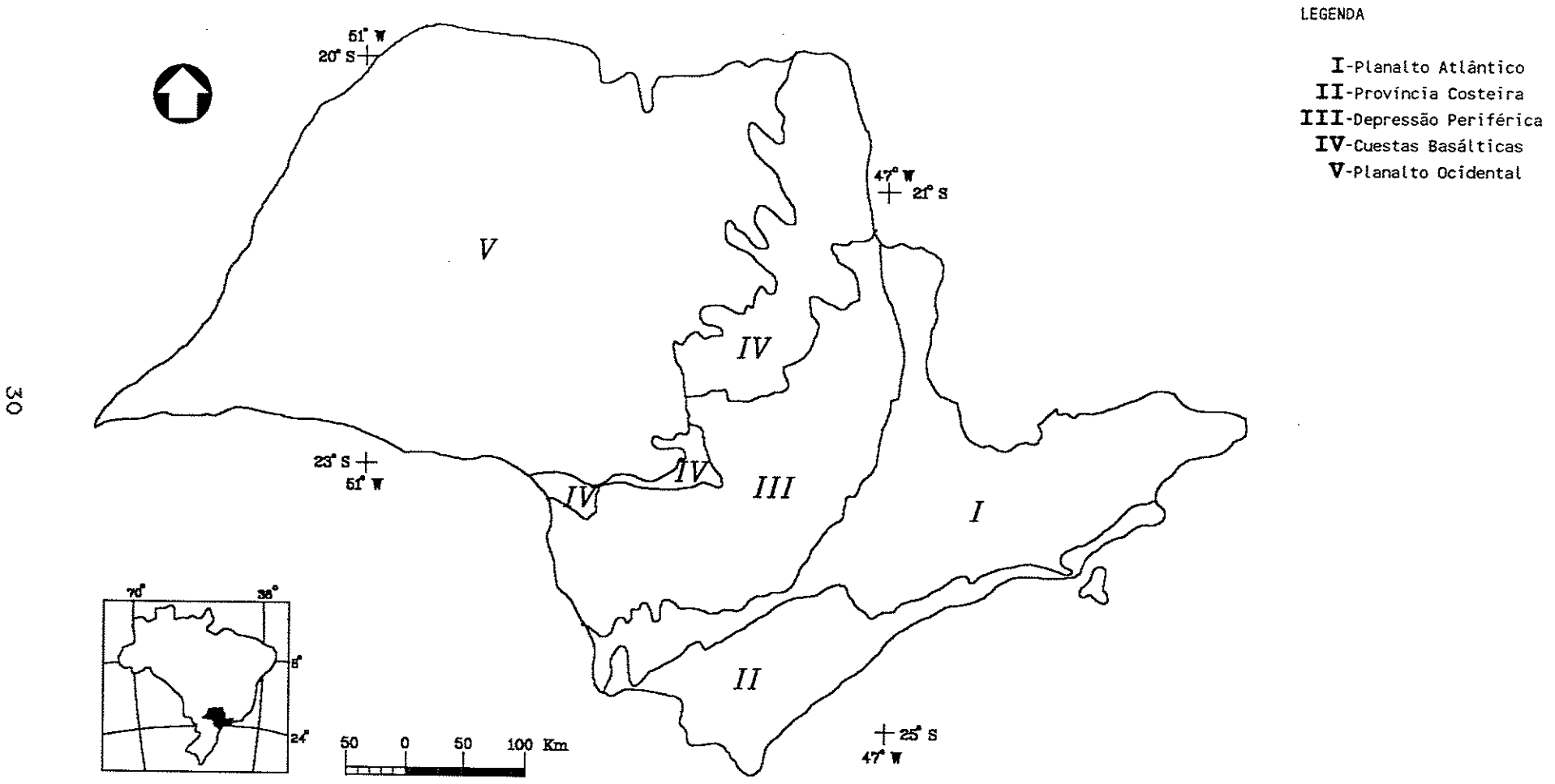
A participação das referidas estruturas de maior ordem no arcabouço tectônico da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo, manifesta-se de modo apreciável, a ponto de imprimir à estratigrafia paulista muitos aspectos peculiares.

3.3 Esboço Geomorfológico

No Estado de São Paulo, segundo a "Divisão Geomorfológica" do IPT (1981b) ilustrada na Figura 8, do litoral para o interior passa-se de uma costa recortada a nordeste de Santos e retificada a Sul dessa cidade, a uma região serrana. Esta ora se apresenta na forma de escarpas abruptas e quase lineares, em que se nota mais claramente a disposição alongada dos paredões condicionado por linhas de falhas, ora se desfaz em uma morraria marcada por longos espigões, também alinhados segundo recortes feitos sob imposição estrutural. São as Serras do Mar e de Paranapiacaba, respectivamente.

Por essas feições galga-se um extenso planalto maturamente dissecado e desnivelado em setores, no qual se podem distinguir vários níveis de cimeira controlados pelo caimento regional da drenagem, reunidos sob a denominação de Planalto Atlântico.

O Planalto Atlântico acha-se cortado pela alongada depressão SW-NE do "graben do Paraíba", limitada por falhamentos, preenchida pelos sedimentos da Bacia de Taubaté. Este acidente tectônico fez surgir um corredor montanhoso em suas bordas, originando a Serra da Mantiqueira a noroeste e a sudeste um conjunto de espigões mais suavizados que sobem em direção aos planaltos da Bocaina e Paraitinga, através da Serra da Quebra Cangalha. Na continuação sudeste do "graben do Paraíba" coloca-se outro conjunto de falhas reativadas que



- LEGENDA
- I-Planalto Atlântico
 - II-Província Costeira
 - III-Depressão Periférica
 - IV-Cuestas Basálticas
 - V-Planalto Ocidental

Figura 8 - Esboço da Divisão Geomorfológica
 [segundo Mapa Geomortológico do IPT (1981 b), simplificado]

levaram à deposição dos sedimentos da Bacia de São Paulo. Nessas seqüências de terrenos sedimentares embutidos no cristalino, o relevo é caracteristicamente de colinas suaves, tabuliforme e de amplas várzeas margeando os rios.

Apoiando-se sobre o embasamento cristalino e estendendo-se por todo o oeste paulista, colocam-se as seqüências sedimentares paleozóicas e mesozóicas da Bacia do Paraná. Esse pacote vulcânico-sedimentar apresenta a disposição das camadas com caimento suave para noroeste e a presença de marcado horizonte de basaltos, separando as rochas paleozóicas e mesozóicas inferiores dos arenitos cretáceos pós-basálticos.

O caimento das camadas condiciona uma tendência à formação de relevos estruturais, cuja maior manifestação, sem excluir afeiçoamentos por pedimentação, é o Planalto Ocidental.

As rochas basálticas, mais resistentes que as que lhe são sotopostas, permitiram o desenvolvimento de erosão diferencial, originando a ampla escavação que constitui a Depressão Periférica, bem como as escarpas da linha de "cuesta".

A escavação diferencial propiciada por rochas mais ou menos resistentes, manifesta-se também no pacote infra-basáltico, originando, porém, tão somente relevos de pequena monta.

3.4 As Zonas Hidrográficas e as Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos

É reconhecido o princípio fundamental da adoção da bacia hidrográfica como unidade físico-territorial básica para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos.

Entretanto, há dificuldade para a adoção irrestrita desse princípio pois não há coincidência das divisas político-administrativas com os divisores de água.

Observa-se ainda que as interrelações políticas, sociais e econômicas entre as regiões e comunidades não respeitam nem as divisas nem os divisores.

O acelerado desenvolvimento industrial e populacional que vem ocorrendo no Estado de São Paulo tem concorrido para uma

crescente utilização dos seus recursos hídricos, resultando daí a necessidade de se organizar o espaço hídrico de forma a aperfeiçoar a política de uso e preservação dos mananciais superficiais e subterrâneos.

A organização em zonas hidrográficas e sua divisão em subzonas oferece facilidades para o planejamento dos recursos hídricos, já que permite a caracterização de regiões que exibem diferenças acentuadas de densidade demográfica e atividades sócio-econômicas.

Historicamente, o Estado de São Paulo vem sendo subdividido em 8 "Zonas Hidrográficas" (DAEE, 1984 e 1990). A primeira divisão remonta ao Decreto nº 4.388, de 14 de março de 1928, que regulamentou a lei nº 2.261, de 31 de dezembro de 1927, quando da reorganização do Serviço Meteorológico tendo em vista a sistematização das observações hidrometeorológicas.

O citado Decreto previa que essa divisão fosse revisada à medida que os serviços hidrometeorológicos se desenvolvessem.

A partir de 1972, tendo em vista a sistematização das atividades de cadastramento e outorga de direito de uso dos recursos hídricos, o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) subdividiu as zonas hidrográficas em 18 subzonas.

Com a criação do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (Decreto nº 27.576 de 11 de novembro de 1987), estabeleceu-se como um dos seus objetivos a "proposição de formas de gestão descentralizada dos recursos hídricos, em nível regional e municipal, adotando-se as bacias hidrográficas como unidades de gestão, de forma compatibilizada com as divisões político-administrativas" (Artigo 4º, inciso V).

A revisão da divisão hidrográfica do Estado tomou como ponto de partida as dezoito subzonas hidrográficas adotadas pelo DAEE. Assim, as vinte e duas unidades de gerenciamento de recursos hídricos (Figura 9) em que o Estado de São Paulo passou a ser atualmente subdividido, incluem os limites das unidades hidrográficas, as divisas municipais e os limites das regiões de planejamento.

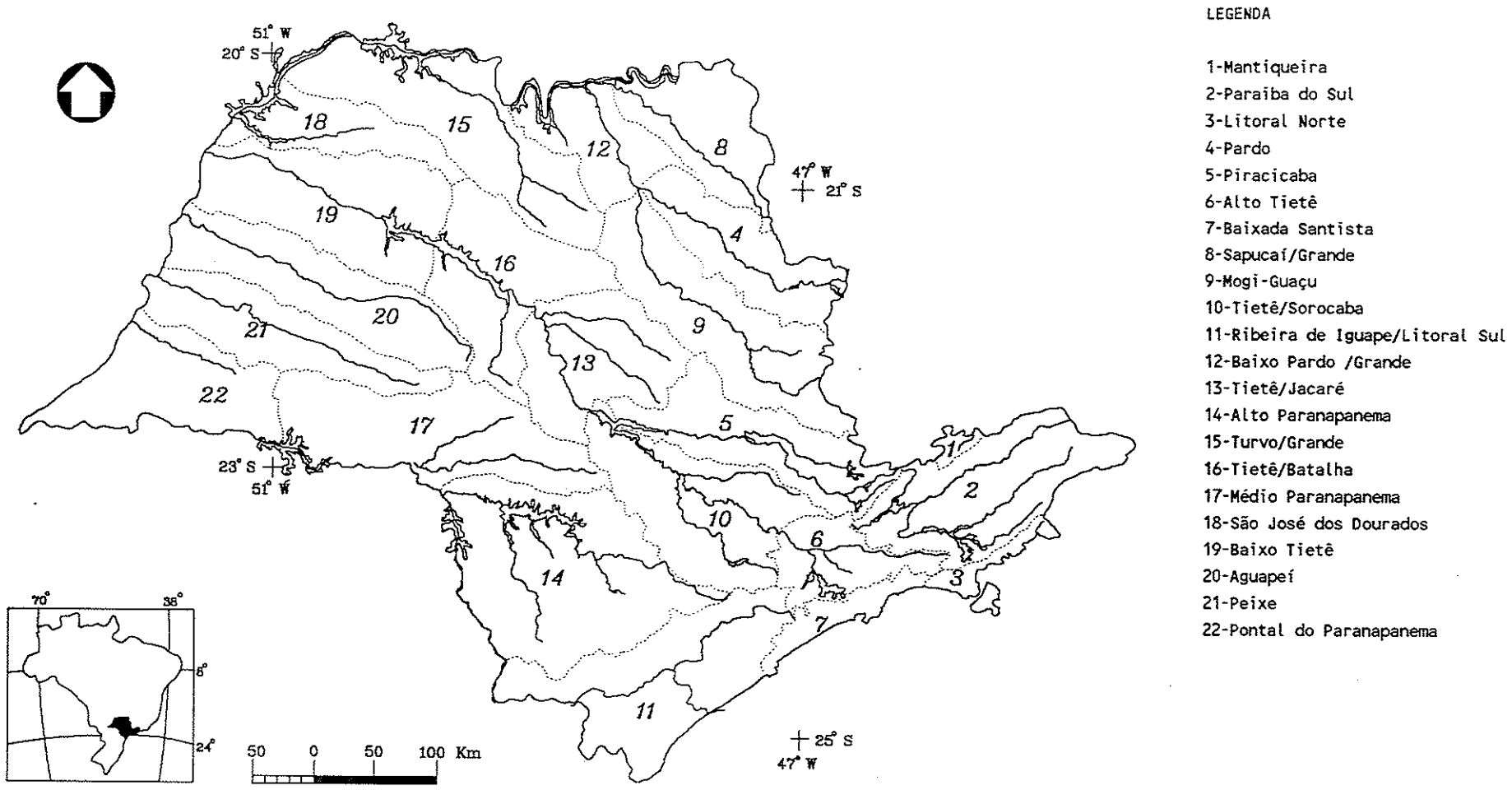


Figura 9 - Esboço das Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos
 [segundo DAEE (1990), atualizado e simplificado]

À medida que o Plano Estadual de Recursos Hídricos for sendo implantado essa divisão adotada pode ser alterada à luz de novos dados.

3.5 Quadro Hidrogeológico: Distribuição, Características e Condições de Ocorrência dos Sistemas Aquíferos

Os reservatórios de água subterrânea que ocorrem no território estadual, são caracterizados em função dos seus limites em superfície e subsuperfície, condições de armazenamento e circulação de água, como unidades práticas para investigação e exploração em escala regional. Dentro deste enfoque os fatores determinantes, nesta escala, são a geologia regional e as propriedades hidráulicas e hidrogeoquímicas do meio aquífero.

Utilizando-se do conceito de "província hidrogeológica" como meio de classificação regional do modo de ocorrência da água subterrânea (TOLMAN, 1937 apud MENTE & MONT'ALVERNE, 1976), ou denominando os reservatórios de águas subterrâneas de "sistemas aquíferos ou simplesmente aquíferos", consegue-se distinguir no território estadual treze províncias hidrogeológicas principais, com base na distribuição regional das unidades geológicas dominantes e nas respectivas características hidrogeológicas.

Estas províncias hidrogeológicas ou sistemas aquíferos são representadas no "Mapa Hidrogeológico do Brasil" (BRASIL, 1983), pelas províncias hidrogeológicas do Escudo Oriental e da Bacia do Paraná e divididas por "unidades hidroestratigráficas" (DAEE 1984, 1988 e 1990) podendo ser classificados em duas categorias, segundo a natureza dos terrenos e suas propriedades hidráulicas: sistemas aquíferos sedimentares, permeáveis por porosidade granular e sistemas aquíferos fraturados, permeáveis por fraturamento das rochas.

A Figura 10 e o Quadro 2 mostram a distribuição, características e condições de ocorrência dos sistemas aquíferos no território estadual.

3.5.1 Sistemas Aquíferos Sedimentares, Permeáveis por Porosidade Granular

. Vales Interiores

São sistemas aquíferos constituídos de areias e argilas inconsolidadas, de extensão limitadas, com espessura de até 30 m e vazões dos poços variando no intervalo de 1 a 30 m³/h, recobrando uma área de cerca de 3.600 km².

. Litorâneo

O sistema aquífero litorâneo repousa sobre o embasamento cristalino e é explorado por cerca de 60 poços, com vazões que variam de 3 a 20 m³/h. É formado de sedimentos finos e areias inconsolidadas limonitizadas, dispostos em terraços com espessura média de 30 metros.

. Taubaté

A Bacia de Taubaté é uma fossa tectônica na qual se assentam argilitos, folhelhos e arenitos argilosos com intercalações de areias. No centro da Bacia a espessura máxima do pacote sedimentar é de 500 metros, mas o aquífero é captado a profundidades de 100 a 250 metros, onde ocorrem as zonas mais permeáveis; as permeabilidades aparentes para os sedimentos da Bacia de Taubaté variam de 0,01 a 1 m/d. Atualmente o sistema aquífero é explotado por quase 700 poços - com vazões variáveis de 30 a 250 m³/h, que abastecem principalmente cidades e indústrias.

O aproveitamento atual das águas subterrâneas no município de Jacareí, localizado na porção sudoeste da Bacia de Taubaté, é de certa forma desordenado e já começa a apresentar indícios de abatimento do nível d'água, em alguns setores de maior adensamento de poços que explotam o recurso hídrico subterrâneo. Como exemplo pode ser citado o setor da variante Getúlio Vargas, cujos poços ali assentados possuem vazões da

ordem de até 100 m³/h. Nas décadas de 60 e 70, medições dos níveis d'água nesta área apontavam profundidades que se encontravam no intervalo de 10 a 20 metros da superfície. Atualmente, as profundidades destes níveis situam-se próximas dos 40 metros (ANDRADE et al., op. cit.).

. São Paulo

O sistema aquífero da Bacia de São Paulo, ocupado inteiramente pela metrópole paulistana na sua área de domínio, é composto de arenitos argilosos, argilas e lentes de areias, com espessura média de 100 metros e permeabilidades aparentes entre 0,82 e 1,0 m/d, sendo explotado por mais de 5.000 poços tubulares com produtividade média de 10 a 20 m³/h, que abastecem indústrias, hospitais, escolas e residências, de forma suplementar.

CAMPOS (1988b), em estudo de quatro superfícies piezométricas cronologicamente esboçadas (anos: 1968-1970; 1974-1975; 1978-1980; 1984-1986) sugere que determinadas áreas compreendidas entre os bairros do Belenzinho, Moóca e Cerqueira César (Avenida Paulista) de aproximadamente 100 km², apresentam um processo de abatimento contínuo do nível d'água subterrânea na bacia sedimentar de São Paulo, devido a exploração desordenada por poços. Este rebaixamento estaria sendo provocado por cerca de 1.000 poços que explotam o aquífero na área, resultando com isso numa redução da espessura saturada da ordem de 50% da espessura total dos sedimentos. O mesmo autor presume ainda que o processo seja atenuado pela infiltração de águas da rede pública.

. Bauru

É constituído de arenitos finos e mal selecionados na base e de arenitos argilosos e calcíferos no topo, caracterizando-se como uma unidade hidrogeológica de extensão regional, contínua, livre a semi-confinada, com espessura média de 100 metros, mas que pode chegar aos 250 metros. É explotado

por cerca de 4.500 poços tubulares, utilizados basicamente para o abastecimento público. Há um zoneamento do potencial explorável por poços: a faixa de vazão explorável entre 5 e 20 m³/h é predominante em área; faixas de 20 a 30 m³/h e de 30 a 50 m³/h ocorrem em áreas menores nas porções onde a parte inferior do pacote sedimentar tem espessura da ordem de 100 metros. As permeabilidades aparentes variam de 0,05 a 1,0 m/d.

ROCHA et al. (1982) estudando o comportamento hidráulico do sistema aquífero Bauru a partir de análise de tendência, verificaram que os valores de permeabilidade média aparente (Figura 11) variam de 0,1 a 1,0 m/dia. O intervalo de 0,1 a 0,3 m/dia é predominante em área, abrangendo o domínio da Formação Adamantina. Valores entre 0,3 e 1,0 m/dia estão distribuídos nas formações Santo Anastácio, Caiuá e parte inferior da Formação Adamantina a sudeste.

CAMPOS (1987) integrando dados do DAEE (1974, 1976, 1979 e 1986), observou que o pacote de sedimentos cretácicos que constituem o sistema aquífero Bauru comporta-se como um aquífero livre por toda a sua extensão e está assentado sobre um substrato formado pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral, que é bastante irregular, resultante tanto de falhamentos como de ciclo erosivo pré-deposição Bauru. A Figura 12 mostra a configuração espacial do topo deste substrato basáltico. A tendência geral do caimento deste substrato é de leste para oeste, ou seja, da borda para o centro da bacia. De um modo geral, a configuração espacial do substrato basáltico exibida neste trabalho é semelhante à apresentada por SANTORO & MASSOLI (1985).

Ainda segundo CAMPOS (op. cit.) a espessura saturada dos arenitos do Grupo Bauru varia, na maior parte de sua área de ocorrência, de 100 a 150 metros. A variação da espessura saturada (Figura 13) revela que existe um duplo controle: em primeiro lugar, a morfologia de superfície, que impõe controle dominante e, em segundo lugar, a morfologia do substrato basáltico. O controle da topografia na posança do sistema aquífero, ao nível regional, dá-se da seguinte forma: transversalmente aos rios principais, na direção NE-SW, as

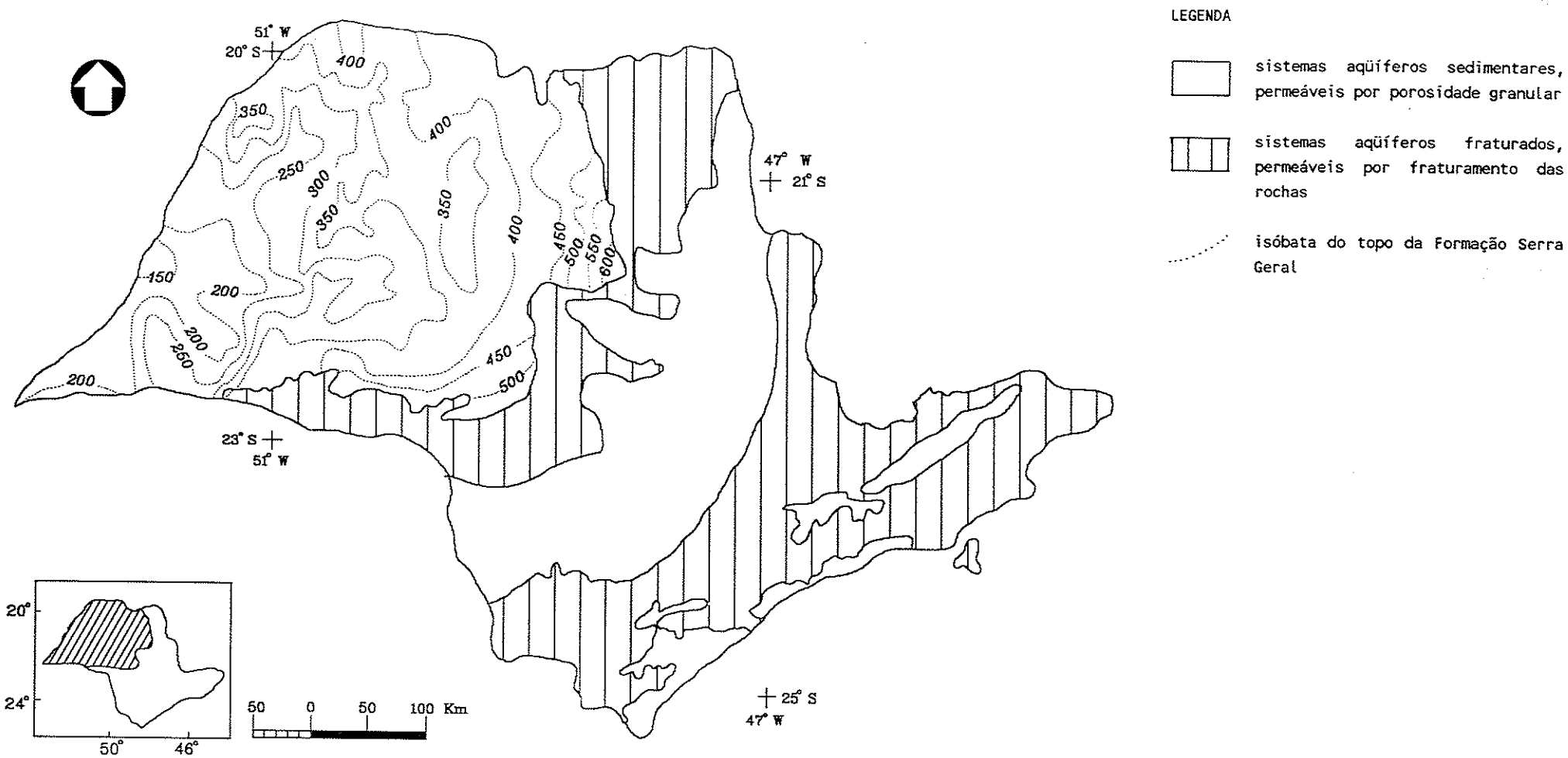


Figura 12 – Mapa de Isóbatas da Formação Serra Geral
[segundo CAMPOS (1987), adaptado]

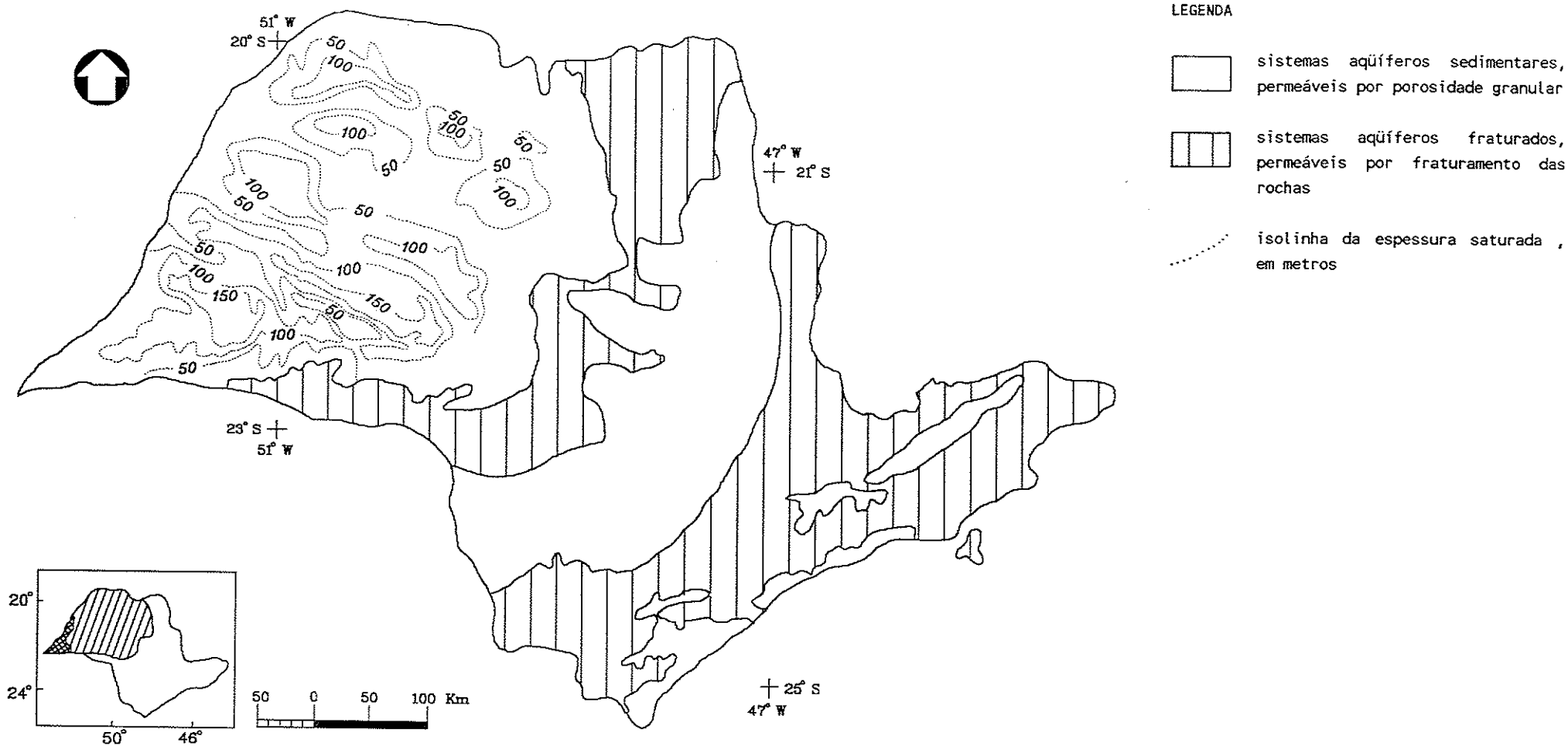


Figura 13 - Zoneamento da Espessura Saturada dos Aquíferos Bauru e Caiuá
[segundo CAMPOS (1987), adaptado e simplificado]

espessuras variam em "ondulações", adelgaçando-se nos vales, com valores de 50 metros e atingindo, nos espigões ou divisores de água, valores da ordem de 200 metros. Na direção WSW-ENE existe uma concordância geral de caimento da topografia e do substrato basáltico, condicionando a variação de espessura saturada: maiores valores, da ordem de 200 metros, são encontrados na área de Marília-Pompéia, decrescendo para intervalos de 100 - 150 metros em direção à calha do rio Paraná. O controle imposto pela forma do substrato revela-se em variações anômalas da espessura saturada do sistema aquífero. Assim, em zonas onde o substrato sofreu "embaciamento", como na área entre Presidente Bernardes e Pirapozinho, os valores de espessura são da ordem de 200 metros, isto é, equivalem-se aos valores dos espigões, sendo que os desníveis altimétricos entre uma e outra área ultrapassam os 100 metros. Inversamente, existem zonas onde o substrato se apresenta sob a forma de alto estrutural, influenciando no adelgaçamento da espessura: é o caso da área que se estende desde o norte de Rancharia até a Usina Quatiara.

. Caiuá

O sistema aquífero Caiuá é formado de arenitos limpos, bem selecionados, possuindo elevado potencial hídrico, com vazões de poços variando de 100 a 200 m³/h, dependendo da espessura saturada, que é, em média, 80 metros. As permeabilidades aparentes variam de 0,1 a 2,0 m/d.

. Botucatu

O sistema aquífero Botucatu é o principal reservatório de água subterrânea do Estado. Em toda a sua área aflorante e na região onde ocorre confinado pelos derrames de basaltos da Formação Serra Geral, este aquífero é constituído de arenitos eólicos e fluviais bem selecionados, com espessura média de 300 metros; mergulha para noroeste sob os basaltos e atinge profundidades de até 1.500 metros. O confinamento do sistema aquífero Botucatu caracteriza condição de artesianismo

em 90% da área. Atualmente é explotado por cerca de 1.000 poços tubulares, a maioria localizada na área aflorante e na porção adjacente, onde as espessuras dos basaltos confinantes são menores. Existem dezenas de poços com profundidades superiores a 1.000 metros, cujas vazões variam de 300 a 600 m³/h; as permeabilidades aparentes são da ordem de 0,2 a 4,0 (porção livre) e de 0,5 a 4,6 m/d (porção confinada).

SILVA (1983), estudando o sistema aquífero Botucatu no Estado de São Paulo, apresenta estas características de sua geometria e do seu comportamento hidráulico:

. a Figura 14 mostra a configuração do contorno estrutural do topo do sistema aquífero (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 -1.500 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-Piratiníngua, junto à borda leste da bacia, observam-se gradientes de até 30m/Km;

. o mapa de isópacas das formações Botucatu e Pirambóia (Figura 15) apresentam a variação espacial da espessura do sistema aquífero 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 sistema aquífero 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 do Mato Grosso do Sul. Este comportamento geral é perturbado por uma anomalia estrutural positiva na região de Bauru-Piratiníngua, onde o adelgaçamento das camadas provoca, localmente, o seu desaparecimento. Na porção confinada, a

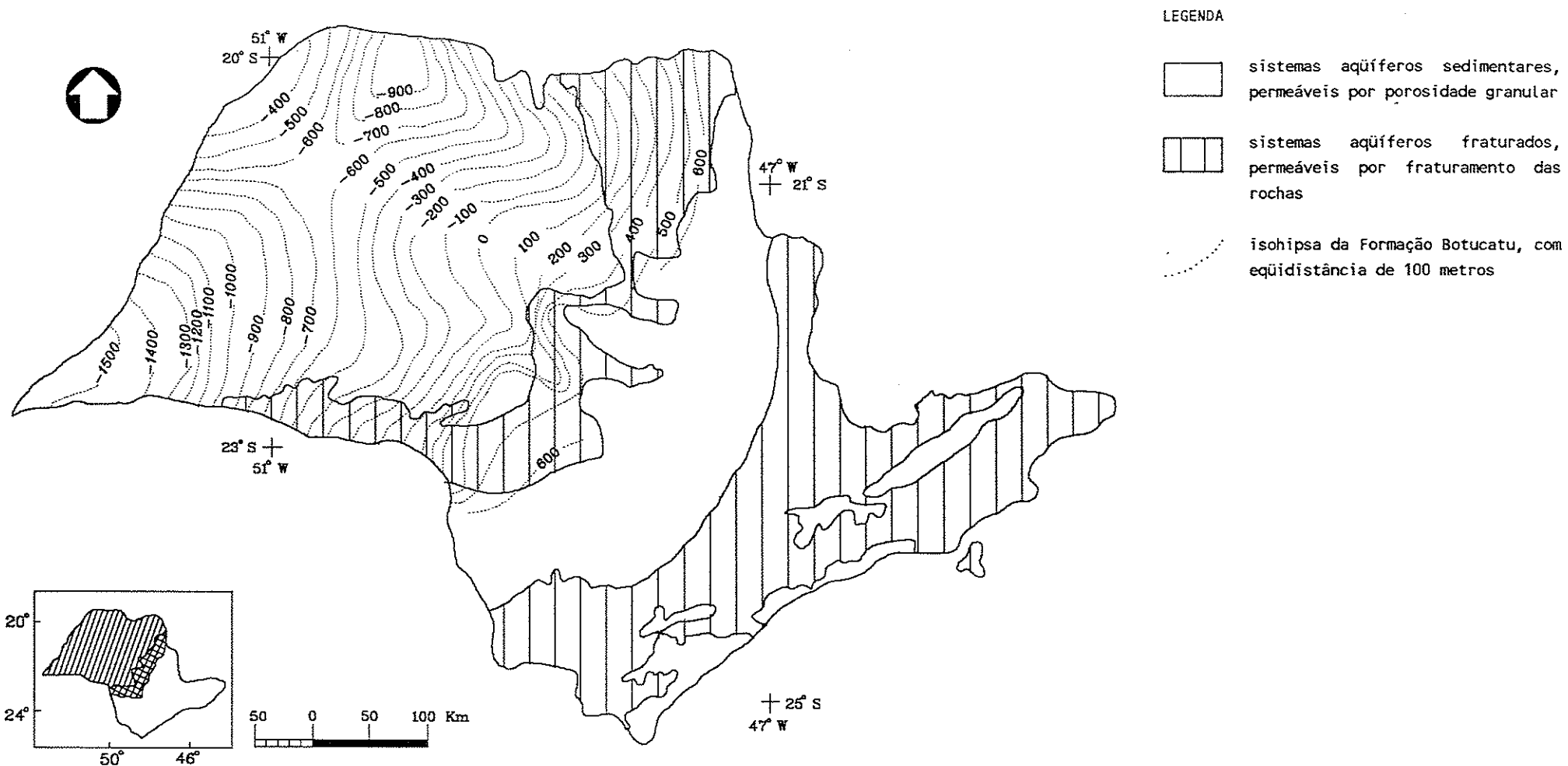


Figura 14 – Mapa de Contorno Estrutural do Topo da Formação Botucatu
[segundo SILVA (1983), adaptado e simplificado]

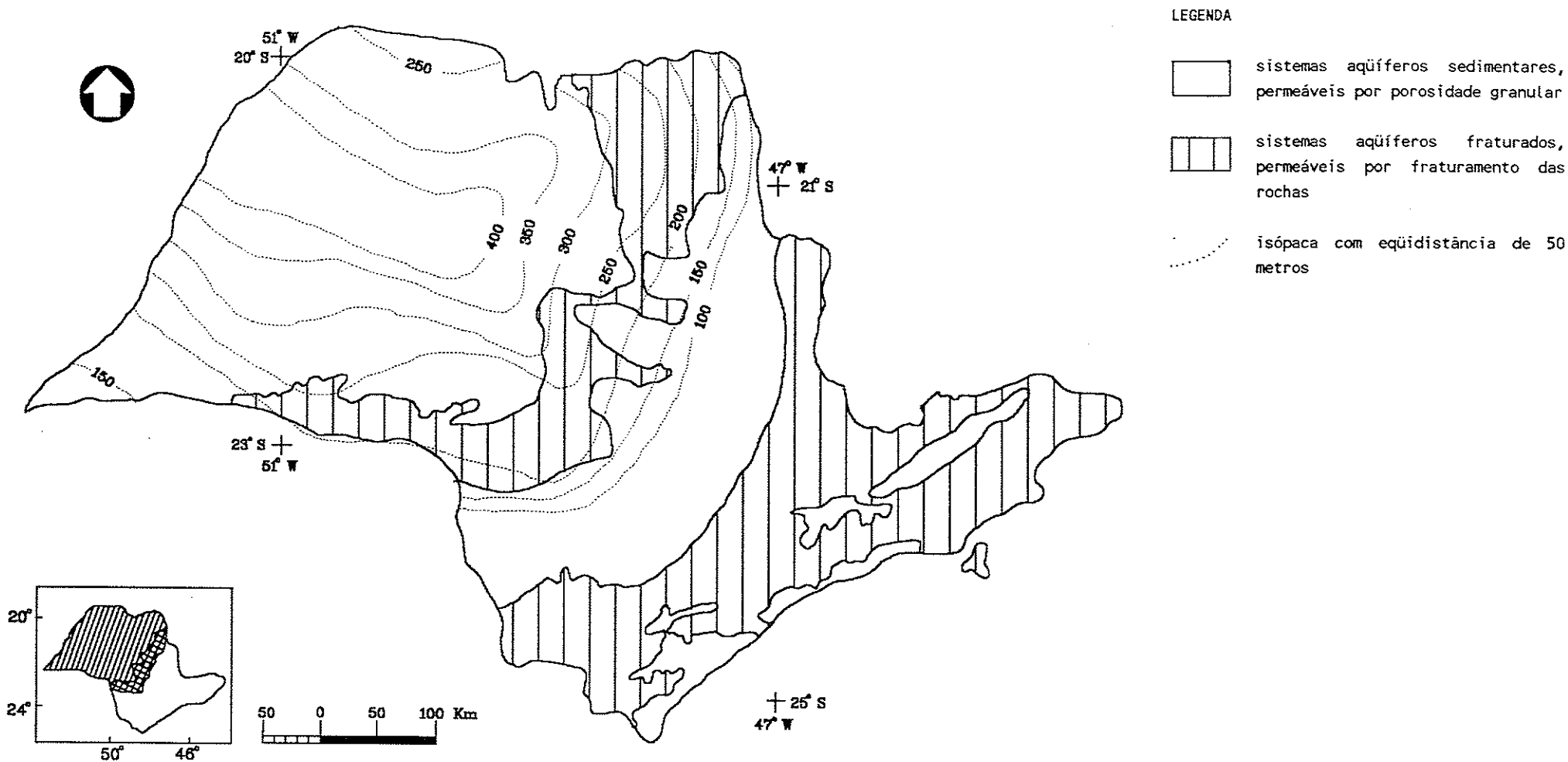


Figura 15 – Mapa de Isópacas das Formações Botucatu e Pirambóia
[segundo SILVA (1983), adaptado]

espessura saturada do sistema aquífero 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 sistema aquífero;

. a superfície potenciométrica do nível d'água do sistema aquífero Botucatu, mostrada na Figura 16, 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 sistema aquífero, observadas na Figura 16, são leste-oeste, a partir da porção livre 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;

. o confinamento do sistema aquífero Botucatu 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, as cotas dos níveis d'água estão em altitudes superiores a do terreno, constituindo um domínio de surgência. No restante da área de confinamento o artesianismo não é surgente (Figura 16);

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

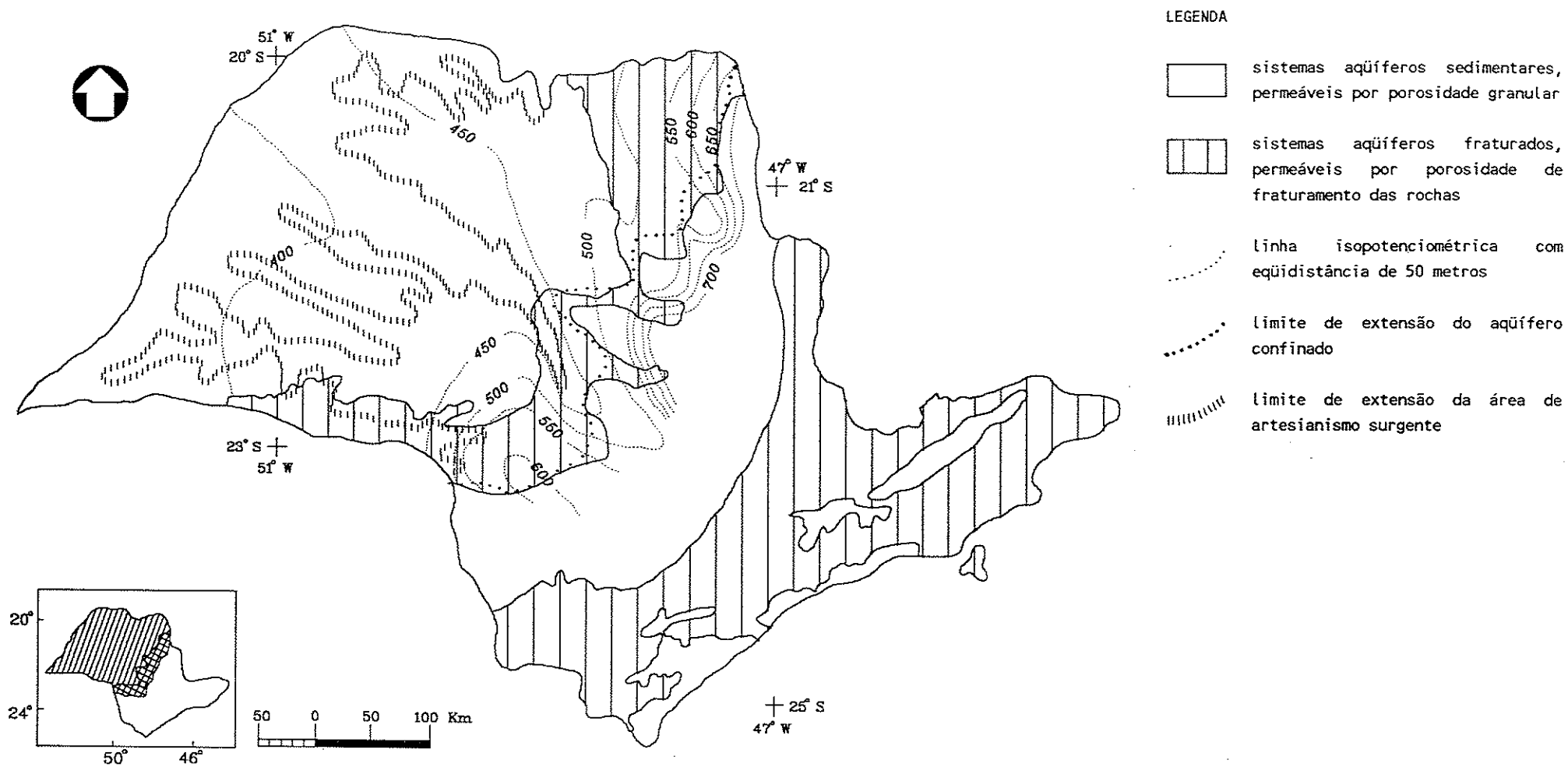


Figura 16 – Mapa da Superfície Potenciométrica do Sistema do Aquífero Botucatu
[segundo SILVA (1983), adaptado e simplificado]

. Aquitardo Passa-Dois

O aquitardo Passa-Dois, constituído de bancos de lamitos, folhelhos e calcários, interposto entre os sistemas aquíferos Botucatu e Tubarão, exerce regionalmente um papel passivo quanto à circulação das águas subterrâneas. Possui extensão limitada, descontínuo e com vazões nos poços que podem variar de 3 a 20 m³/h.

. Tubarão

Este sistema aquífero de extensão regional é descontínuo, com corpos mais arenosos intercalados com camadas de lamitos, ritmitos e siltitos. Embora possua uma espessura total da ordem de 1.000 metros, é explotado por poços na faixa de 200 a 300 metros de profundidade, com vazões moderadas de 10 a 20 m³/h, e permeabilidades aparentes de 0,002 a 0,7 m/d. Ocorre numa região do Estado de importantes núcleos urbanos e industriais e que apresenta escassez de recursos hídricos (Bacia do Rio Piracicaba).

DIOGO et al (1981b) em uma caracterização preliminar do comportamento hidrogeológico do "Grupo Tubarão", em sua área de afloramento no Estado de São Paulo, a partir das tendências evidenciadas em histograma de frequência de 49 dados de transmissividade disponíveis de ensaios de bombeamento de poços e admitindo-se um mínimo de 10 m²/dia, nas áreas de maior densidade de informações - bacia do rio Tietê e sul da bacia do Rio Pardo - delinearão um zoneamento individualizando duas áreas com transmissividade acima deste valor. Estas áreas correspondem aos domínios das unidades Superior e Inferior do Sub-Grupo Itararé, e da Formação Aquidauana, sugerindo serem estas as que reúnem os níveis mais permeáveis.

. Furnas

É o sistema aquífero que apresenta a menor área de afloramento no Estado (cerca de 500 Km²), sendo constituído essencialmente de arenitos, com granulação média a muito grosseira, com matriz lamítica. Com extensão limitada, livre a confinado, este sistema aquífero possui vazões variáveis entre 10 e 50 m³/h.

3.5.2 Sistemas Aquíferos Fraturados, Permeáveis por Fraturamento das Rochas

. Serra Geral

O sistema aquífero Serra Geral apresenta-se em derrames sucessivos de lavas, superpostos, onde os sistemas de fraturamento (zonas aquíferas) estão relacionados tanto a esforços tectônicos, gerando fraturas subverticais, como a processos de resfriamento que originam descontinuidade sub-horizontais. É explotado, atualmente, por cerca de 1.300 poços tubulares, a maioria com profundidade de 100 a 150 metros, com vazões variáveis, sendo que os poços situados junto a lineamentos estruturais ou fraturas, apresentam vazões de 10 a 100 m³/h.

. Diabásio

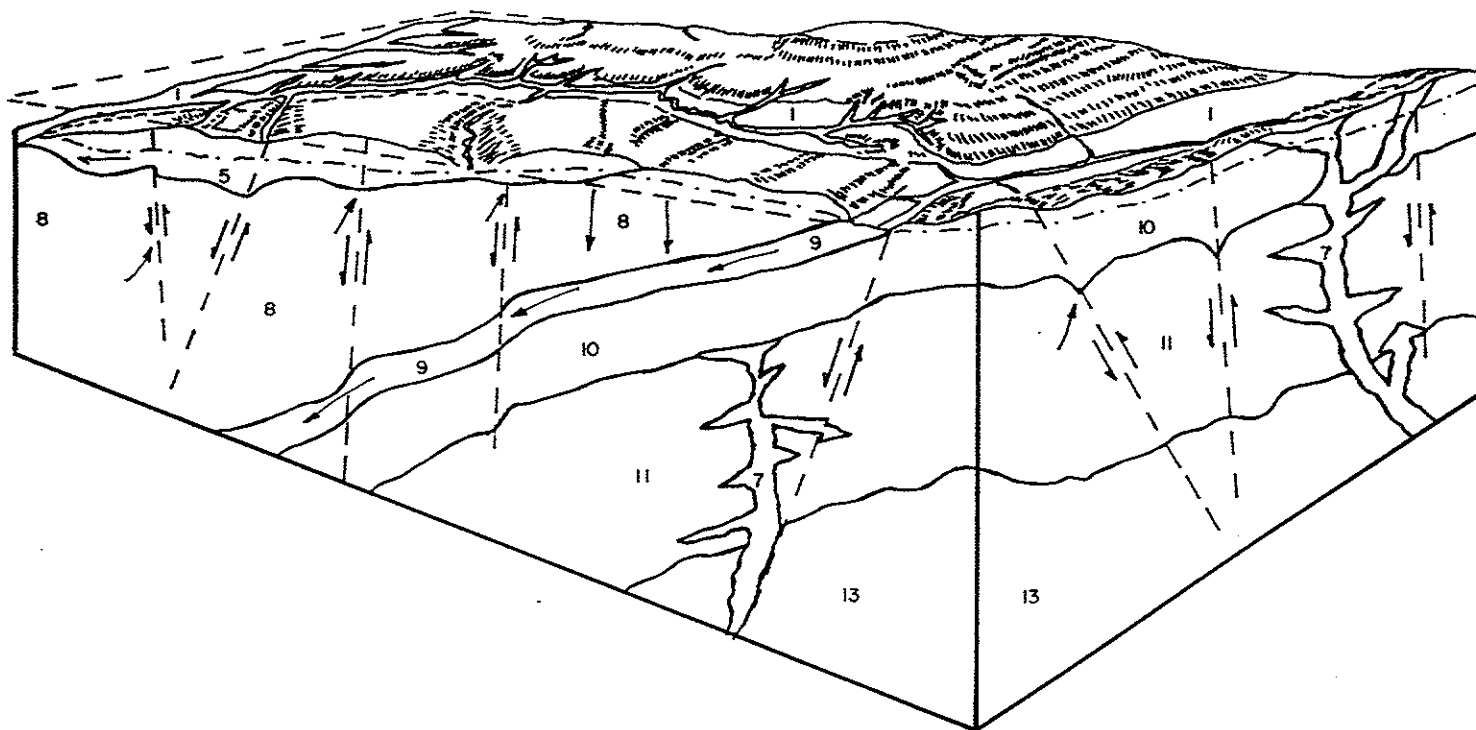
Este sistema aquífero, constituído de rochas intrusivas básicas (diabásios), tem extensão limitada, fissurado, descontínuo, com área de afloramento com cerca de 3.300 Km², pode apresentar vazões da ordem de 5 a 30m³/h, para poços com até 150 m de profundidade.

. Cristalino

No sistema aquífero cristalino, as zonas aquíferas estão associadas a fraturas e lineamentos. Formado por rochas do embasamento pré-cambriano (granitos, gnaisses, migmatitos, filitos e xistos) é explotado por cerca de 6.000 poços tubulares com profundidades variáveis de 80 a 100 metros e vazões que atingem de 5 a 30 m³/h.

3.5.3 Posição Espacial e Funcionamento Hidráulico dos Sistemas Aquíferos Maiores

O bloco-diagrama da Figura 17 mostra esquematicamente, a posição espacial e o funcionamento hidráulico dos sistemas aquíferos maiores. Note-se, em particular, a posição do sistema aquífero Botucatu, confinado em subsuperfície; as diferenças de carga hidráulica e a superfície piezométrica proporcionam fluxos de água ascendentes: nestas condições, os poços que penetram o sistema aquífero Botucatu são geralmente artesianos e, em alguns casos, jorrantes.



LEGENDA

sistemas aquíferos sedimentares, permeáveis por porosidade granular

- 1-sistema aquífero Vale Interior
- 5-sistema aquífero Bauru
- 9-sistema aquífero Botucatu
- 12-aquitardo Passa Dois
- 11-sistema aquífero Tubarão

sistemas aquíferos fraturados, permeáveis por fraturamento das rochas

- 8-sistema aquífero Serra Geral
- 13-sistema aquífero Cristalino

↔ falhamentos

→ fluxos de água

--- Linha potenciométrica dos aquíferos livres

--- Linha potenciométrica do aquífero confinado

52

Figura 17 - Modelo Esquemático de Funcionamento Hidráulico dos Principais

Sistemas Aquíferos

[segundo DAEE (1979,1988 e 1990). adaptado]

CAPÍTULO 4

HIDROGEOQUÍMICA NO ESTADO DE SÃO PAULO: ESTADO DA ARTE

4 HIDROGEOQUÍMICA NO ESTADO DE SÃO PAULO: ESTADO DA ARTE

A fim de avaliar a evolução do conhecimento sobre a hidrogeoquímica no Estado de São Paulo foi inicialmente elaborado um quadro cronológico dos trabalhos disponíveis (Quadro 3, a e b).

A seguir foi feita uma síntese destes estudos organizada segundo os sistemas aquíferos (sedimentares e fraturados) que é apresentada no Anexo I.

Neste capítulo foram selecionados dentre os setenta e seis trabalhos pesquisados, aqueles que por sua abrangência, densidade de informações e indicações relevantes, são considerados representativos do estágio de conhecimento de cada sistema aquífero. Os conteúdos, termos, conceitos, unidades e notações apesar de sintetizados, são fiéis aos textos originais.

4.1 Sistemas Aquíferos Sedimentares, Permeáveis por Porosidade Granular

. Litorâneo

O DAEE (1977 e 1979a), desenvolveu estudo de águas subterrâneas ao nível regional na faixa litorânea paulista verificando que nos sedimentos quaternários as águas têm temperatura variando de 23 a 27°C, pH de 4,2 a 7,9, resíduo seco de 72 a 334 mg/l; quanto aos tipos químicos as águas são bicarbonatadas sódicas e secundariamente cloretadas cálcicas. Posteriormente, o DAEE (1984, 1988) e ROCHA (1986) ressaltam que estas águas apresentam pH ácido, resíduo seco inferior a 250 mg/l, sendo que os poços situados mais próximos da costa estão sujeitos à salinização. Em 67% das amostras analisadas, o teor de ferro apresentou-se elevado.

QUADRO 3a- HISTÓRICO DO CONHECIMENTO SOBRE A HIDROGEOQUÍMICA DOS PRINCIPAIS SISTEMAS AQUÍFEROS

Autor(es)	Ano	Região/Local	Área(Km ²)	Sistemas Aquíferos Investigados	Nº Análises	Densidade de Informação (1 análise/Km ²)
LEINZ & CARVALHO	1957	Bacia de São Paulo	--	São Paulo, Cristalino	7	--
TALTASSE	1968	Estado de São Paulo	--	Bauru, Botucatu, Passa Dois (Irati), Tubarão, Cristalino	não consta	--
ARID et al.	1969	Município de São José do Rio Preto ---	--	Bauru, Serra Geral	--	--
SINELLI & GARLA	1969	Município de Ribeirão Preto	--	Serra Geral, Botucatu	--	--
ARID et al.	1970	Município de São José do Rio Preto ---	--	Bauru	10	1/20
MAACK	1970	Municípios de Martinópolis e São Carlos	2.000	Botucatu	2	--
SILVA & BASANO	1972	Município de São Paulo	15.000	Vales Interiores, São Paulo, Cristalino	não consta	--
DAEE	1974	Ribeirão Preto	35.000	Bauru, Serra Geral, Botucatu	350	1/100
MEZZALIRA	1974	Paraguçu Paulista	--	Serra Geral, Botucatu, Tubarão	1	--
DAEE	1975	Grande São Paulo	8.050	São Paulo, Cristalino	100	1/80
DAEE	1976	Bauru, S.José do Rio Preto, Araçatuba	61.912	Bauru, Serra Geral, Botucatu	450	1/138
REBOUÇAS	1976	Bacia do Paraná	1.600.000	Bauru, Caiuá, Serra Geral, Botucatu	não consta	--
SZIKSZAY et al.	1976	Bertioga	80	Litorâneo	30	1/3
DAEE	1977	São José dos Campos e Faixa Litorânea	15.000	Litorâneo, Taubaté, Cristalino	100	1/150
SZIKSZAY & TEIDRESSE	1977a	Grande São Paulo	7.800	Cristalino	--	--
SZIKSZAY & TEIDRESSE	1977b	Águas da Prata	--	Diabásio, Botucatu, Cristalino	--	--
CETESB	1978	Ribeirão Preto, Bauru, S.José do Rio Preto, Araçatuba, Grande São Paulo, São José dos Campos	118.462	Taubaté, São Paulo, Bauru, Serra Geral, Botucatu, Cristalino	1.500	1/79
REBOUÇAS	1978	Basaltos da Bacia do Paraná-BR	720.000	Serra Geral	não consta	--
TEIDRESSE & MARIANO	1978	Bacia de Taubaté	2.400	Taubaté	100	1/24
DAEE	1979a	Faixa litorânea Paulista	16.000	Litorâneo, Cristalino	27	1/593
DAEE	1979b	Presidente Prudente e Marília	42.645	Bauru, Caiuá, Serra Geral, Botucatu	159	1/268
GALLO & SINELLI	1979	Ribeirão Preto	1.500	Serra Geral, Botucatu	16	1/94
MEZZALIRA et al.	1979	Bacia do Rio S.José dos Dourados	--	Bauru	91	--
ROCHA et al.	1979	Presidente Prudente e Marília	43.000	Bauru, Caiuá, Basalto, Botucatu	163	1/264
SINELLI	1979	Região do Brasil Meridional	--	Sistemas aquíferos da Bacia do Paraná e rochas cristalinas	58	--
SOBREIRO NETO & CAMPOS	1980	Presidente Prudente e Marília	43.000	Bauru	66	1/652
SZIKSZAY	1980	Vale do Paraíba	13.500	Vales Interiores, Taubaté	não consta	--
CAMPOS	1981	Ribeirão Preto	35.000	Bauru, Botucatu	não consta	--
DAEE	1981a	Municípios de S.J.Rio Preto,P.Prudente e Londrina (PR)	--	Serra Geral, Botucatu	4	--
DAEE	1981b	Campinas	27.000	Diabásio, Botucatu, Passa Dois, Tubarão, Cristalino	125	1/216
DAEE & IGC/USP	1981	Sorocaba	40.000	Serra Geral,Diabásio,Botucatu,Passa Dois,Tubarão, Cristalino	91	1/440
DIOGO et al.	1981a	Alto Turvo (Grupo Bauru)	2.068	Bauru	22	1/94
DIOGO et al.	1981b	Grupo Tubarão no Estado de São Paulo	22.000	Tubarão	53	1/415
GIAMPA et al.	1981	Rio Piracicaba	12.000	Diabásio, Botucatu,Passa Dois, Tubarão, Cristalino	63	1/190
SZIKSZAY	1981	Formações Bauru e S.Geral no Estado de São Paulo	--	Serra Geral	6	--
SZIKSZAY & TEIDRESSE	1981a	Águas da Prata	--	Diabásio, Botucatu, Cristalino	--	--
SZIKSZAY & TEIDRESSE	1981b	Estado de São Paulo	250.000	Taubaté, Serra Geral, Cristalino	53	1/4.716
SZIKSZAY et al.	1981	Bacia do Paraná-SP	--	Bauru, Serra Geral, Passa Dois, Tubarão	9	--
TEISSEDE & BARNER	1981	Estado de São Paulo	250.000	Taubaté, S.Paulo, Serra Geral, Botucatu, Cristalino	53	1/4.716
TEISSEDE et al.	1981	Formação Botucatu no Estado de São Paulo	--	Botucatu	9	--
		Litoral Paulista	16.000	Litorâneo, Cristalino	não consta	--

QUADRO 3b - HISTÓRICO DO CONHECIMENTO SOBRE A HIDROGEOQUÍMICA DOS PRINCIPAIS SISTEMAS AQUIFEROS

Autor(es)	Ano	Região/Local	Área(Km ²)	Sistemas Aquíferos Investigados	Nº Análises	Densidade de Informação (1 análise/Km ²)
GIAMPA	1982	Município de Sta. Albertina	--	Serra Geral	4	--
OGAMA & CAMPOS	1982	Grupo Bauru no Estado	104.000	Bauru, Caiuá	427	1/244
PARISOT & REBOUÇAS	1982	Centro-Oeste do Município de São Paulo	--	São Paulo, Cristalino	47	--
ROCHA et al.	1982	Grupo Bauru no Estado	104.000	Bauru, Caiuá	325	1/320
SILVA et al.	1982	Formações Botucatu/Pirambóia-SP, PR, MS	150.000	Botucatu	43	1/3.488
SINELLI & SOUZA	1982	Rio Pardo	--	Botucatu, Diabásio	20	--
PARISOT	1983	Município de São Paulo	150	São Paulo, Cristalino	47	1/3
SILVA	1983	Formações Botucatu e Pirambóia em SP	150.000	Botucatu	61	1/2.459
DAEE	1984	Estado de São Paulo	250.000	Litorâneo, Taubaté, São Paulo, Bauru, Caiuá, Serra Geral		
			--	Botucatu, Passa Dois, Tubarão, Cristalino	1.600	1/156
PACHECO	1984	Município de São Paulo	100	São Paulo, Cristalino	89	1/1
ROCHA	1984	Formações Serra Geral, Botucatu e Pirambóia	--	Serra Geral, Botucatu, Passa Dois, Tubarão	39	--
PERRONI et al.	1985	Grupos Tubarão, Passa Dois; Formações Botucatu, Serra Geral no Estado de São Paulo	188.600	Serra Geral, Botucatu, Passa Dois, Tubarão	347	1/544
			--	Cristalino	--	--
SILVA et al.	1985	Região Norte da Bacia do Paraná (SP, MT, GO)	818.000	Botucatu	20	1/40.900
IPT	1986	Bacia do Paraná no Estado de São Paulo	194.498	Serra Geral, Botucatu, Passa Dois, Tubarão	347	1/560
KIMMELMANN et al.	1986	Formações Botucatu e Pirambóia na Bacia do Paraná	818.000	Botucatu	30	1/27.267
NOREIRA NORDEMAN & REBOUÇAS	1986	São José dos Campos	--	Taubaté	25 (1 poço)	--
ROCHA	1986	Estado de São Paulo	250.000	Litorâneo, Taubaté, São Paulo, Bauru, Caiuá, Serra Geral	--	1/156
BERTACKINI	1987	Jundiaí	720	Cristalino	22	1/3
CAMPOS	1987	Grupo Bauru no Estado de São Paulo	104.000	Bauru, Caiuá	336	1/310
IPT	1987a,b	Estado de São Paulo	250.000	Taubaté, São Paulo, Bauru, Serra Geral, Botucatu, Passa		
			--	Dois, Tubarão, Cristalino	18	1/13.888
CAMPOS	1988	Grupo Bauru no Estado de São Paulo	104.000	Bauru, Caiuá	336	1/310
DAEE	1988	Estado de São Paulo	247.000	Litorâneo, Taubaté, São Paulo, Bauru, Caiuá, Serra Geral		
			--	Botucatu, Tubarão, Cristalino	1.600	1/154
YOSHINAGA & SILVA	1988	Municípios de Águas de Lindóia e Lindóia	--	Cristalino	monitoração	--
CAVALCANTE	1990	Município de Atibaia	590	Cristalino	19	1/31
DINIZ	1990	Município de Tietê	250	Tubarão	17	1/15
FRAGA & LISBOA	1990	Formações Serra Geral, Botucatu e Pirambóia (Est. do Paraná)	104.000	Serra Geral, Botucatu	230	1/609
KIMMELMANN et al.	1990	Formações Botucatu e Pirambóia da Bacia do Paraná	--	Botucatu	--	--
YOSHINAGA et al.	1990a	Município de Sorocaba	456	Tubarão, Cristalino	58	1/8
YOSHINAGA et al.	1990b	Municípios de Águas de Lindóia e Lindóia	--	Cristalino	monitoração	--
ODA et al.	1990	Médio Vale do Rio Tietê	682	Tubarão, Cristalino	40	1/17
SZIKSZAY	1990	Município de São Paulo	--	São Paulo	monitoração	--
SZIKSZAY et al.	1990	Município de São Paulo	--	São Paulo	336 (estação)	--
BARÇA	1992	Mun. S. J. Rio Preto, Catanduva e Mirassol	--	Bauru	amostragem mensal	--
CASTRO et al.	1992	Município de São José do Rio Preto	--	Bauru	amostragens sazonais	--
FRAGA	1992	Formações Serra Geral, Botucatu e Pirambóia (Est. do Paraná)	104.000	Serra Geral, Botucatu	230	1/609
RIBEIRO	1992	Médio Tietê (Região de Piracicaba)	--	Diabásio, Passa Dois, Tubarão	monitoração mensal (272)	--

. Taubaté

TEISSEDRE & MARIANO (1978) analisam as águas subterrâneas dos sedimentos da Bacia de Taubaté e verificam que o resíduo seco varia de 20 a 683 mg/l (média de 120 mg/l, não ultrapassando 300 mg/l, salvo na sub-Bacia de Tremembé onde predominam os folhelhos do fácies lacustre), pH geralmente ácido, inferior a 6,5 (na sub-Bacia de Tremembé, o pH varia de neutro a fracamente básico), alcalinidade variando de 1 a 782 mg/l CaCO_3 e dureza total de 0 a 273 mg/l CaCO_3 . Foram encontrados teores relativamente altos de sílica (4 a 75 mg/l), cálcio (0 a 58 mg/l), magnésio (0 a 31 mg/l) com a razão Mg/Ca sempre inferior a 0,6 e sódio (0 a 280 mg/l), sendo que os valores mais altos do sódio foram encontrados em poços que captam águas mais profundas no centro da bacia. O bicarbonato é o ânion predominante enquanto que os teores de cloreto e sulfatos são geralmente muito baixos. As águas podem ser classificadas de bicarbonatadas sódicas, às vezes bicarbonatadas cálcicas, secundariamente sódicas. Os teores de ferro variam de 0,01 a 4,8 mg/l, com valor médio de 0,44; concentrações acima de 0,03 mg/l foram notadas em algumas áreas restritas, próximas dos afloramentos das rochas cristalinas. As temperaturas estão no intervalo de 22° C a 24° C, sendo que para as águas de um poço de 500 metros (sub-Bacia de Tremembé), a temperatura atingiu 49° C.

. São Paulo

O DAEE (1975), estudando o "aquífero da Bacia de São Paulo" na região metropolitana, constatou que cerca de 85% das águas analisadas possuem resíduo seco inferior a 250 mg/l, pH na faixa de 5,5 a 6,5 e dureza $< \text{ou} = 65$ mg/l CaCO_3 . Os demais parâmetros analisados apresentam os seguintes teores: cloreto $< \text{ou} = 25$ mg/l (85% das amostras); sulfato $< \text{ou} = 80$ mg/l (99% das amostras); nitrato mais nitrito > 10 mg/l N em nove poços; fluoreto acima de 2 mg/l em 31% das amostras; boro com teor

máximo de 0,03 mg/l; ferro > 0,3 mg/l Fe e manganês > 0,0 mg/l Mn (em 38% das amostras).

. Bauru

SZIKSZAY et al. (1981) estudando as fontes existentes no Grupo Bauru classificaram suas águas como sendo bicarbonatadas cálcicas e bicarbonatadas sódicas. Os mapas elaborados mostraram ainda que existem zonas com relativa alta concentração de sais nas águas dos aquíferos Bauru e Basalto, coincidindo com anomalias geoquímicas de outros elementos (STD > 250 mg/l) como HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- e Na^+ . Também altas concentrações de F^- e Boro foram encontradas nestas zonas; a temperatura é maior que o normal regional bem como o pH que varia de neutro a levemente básico. Estas anomalias estão alinhadas ao longo de dois eixos principais orientados na direção N-S e E-W. O eixo E-W coincide com a linha do Rio Grande com cerca de 150 Km de extensão. O eixo N-S inicia-se ao norte, na curva do Rio Grande, estendendo-se sobre uma distância de 300 Km até encontrar uma inflexão do Rio Tietê ao Sul. Pela composição das águas encontradas nestes aquíferos rasos (Bauru + Basalto), que se assemelha com as águas profundas do Botucatu, é possível que grandes fraturas existam no aquífero Basalto com uma extensão vertical de 400 e 500m, permitindo uma circulação ascendente.

CAMPOS (1987), em uma tentativa de sistematização do conhecimento sobre o comportamento hidrogeoquímico das águas subterrâneas do Grupo Bauru no Estado de São Paulo, chegou a estas principais conclusões:

. em âmbito regional, as águas subterrâneas do Grupo Bauru têm baixa salinidade, com valores de resíduo seco inferiores a 240 mg/l. A faixa de 100 a 200 mg/l é predominante em área. Os valores acima de 200 mg/l são característicos dos espigões e planaltos. Nas áreas de interflúvios e na região do Pontal do Paranapanema as águas apresentam teores de resíduo seco abaixo de 100 mg/l;

- . as águas subterrâneas apresentam dois tipos químicos dominantes: águas bicarbonatadas cálcicas e águas bicarbonatadas cálcico-magnesianas. Os estudos estatísticos revelaram que os íons HCO_3^- , Ca^{2+} e Mg^{2+} são os principais responsáveis pelo processo de enriquecimento salino das águas. O domínio das águas bicarbonatadas cálcicas abrange cerca de 70% da área de estudo. Além destes grupos químicos predominantes, foram individualizadas duas áreas principais de águas bicarbonatadas sódicas nas regiões de Araçatuba e Presidente Prudente;
- . a composição mineralógica dos sedimentos das distintas formações do Grupo Bauru (à exceção da Formação Caiuá) parece contribuir significativamente para a predominância destes íons maiores: o carbonato de cálcio (calcrete) e os argilo-minerais, constituintes do cimento das litofacies, devem ser as principais fontes de enriquecimento iônico do meio aquífero;
- . a evolução hidrogeoquímica regional das águas subterrâneas apresenta uma tendência predominante de modificação química no sentido nordeste-sudoeste, acompanhando a resultante dos fluxos da água subterrânea para a confluência dos rios Paraná e Paranapanema. Águas fortemente bicarbonatadas cálcicas passam gradativamente para águas bicarbonatadas cálcico-magnesianas, até atingir uma zona de águas fracamente bicarbonatadas e cloretadas sódicas. Estas três zonas hidrogeoquímicas foram delimitadas na área;
- . pelas características hidrogeoquímicas analisadas, o sistema aquífero Bauru comporta pelo menos uma divisão em duas unidades aquíferas: o "aquífero Caiuá" e o "aquífero Bauru" (constituído pelas formações Marília, Adamantina e Santo Anastácio), isto porque as águas da formação Caiuá apresentam características inteiramente distintas das demais formações.

. Caiuá

O DAEE (1979) nas regiões de Presidente Prudente e Marília, identificou águas pouco mineralizadas a

"desmineralizadas" correspondente ao domínio do "aquífero Bauru Inferior/Caiuá". Neste domínio as águas são fracamente bicarbonatadas e fracamente cálcico-magnesianas, com teores de bicarbonato variando de 0,1 a 0,3 meq/l, pH ácido, entre 5,5 a 6,5 e valores de condutividade elétrica variando de 20 a 80 micromho/cm. Segundo este estudo a faixa de águas magnesianas parece ser uma zona de transição na evolução hidroquímica regional, no sentido Ca->Mg->Na.

. Botucatu

SILVA (1983) em trabalho hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do "aquífero Botucatu" em território paulista conclui principalmente que:

- . as águas predominantes são bicarbonatadas cálcicas e cálcico-magnesianas, com resíduo seco inferior a 294 mg/l e com pH inferior a 7,5; as águas bicarbonatadas sódicas apresentam resíduo seco entre 61 e 650 mg/l e pH alcalino entre 8,15 e 10,35;
- . os sólidos totais dissolvidos, a temperatura e o pH mostram comportamento interdependente: a elevação de cada um é associada a elevação dos outros dois, evidenciando um aumento progressivo da carga de sais dissolvidos na água e sua tendência de alcalinização no fluxo subterrâneo;
- . a presença dos íons maiores nas águas do aquífero podem ter as seguintes origens - Na^+ e K^+ - feldspatos e solos; Ca^{2+} - águas das chuvas e/ou dissolução dos plagioclásios e calcitas dos basaltos; Mg^{2+} - águas das chuvas e piroxênios dos basaltos; HCO_3^- - reação do gás carbônico do solo com a água; Cl^- - precipitação meteórica e/ou dissolução das micas (sericita e biotita) presentes em pequenas quantidades nas formações Botucatu e Pirambóia e cloritas como minerais secundárias dos basaltos; SO_4^{2-} - águas meteóricas e por dissolução de sulfetos encontrados em pequenas quantidades nos basaltos;

em termos regionais, as águas do aquífero Botucatu obedecem uma evolução hidroquímica, observada em três fácies transicionais - a leste, na porção livre do aquífero, predominam águas bicarbonatadas magnesianas e cálcico-magnesianas, ácidas, com resíduo seco inferior a 100 mg/l, temperatura entre 22°C e 25°C; ao longo de uma faixa de 60 km de largura, a partir do contato dos sedimentos das formações Botucatu e Pirambóia com os basaltos da Formação Serra Geral, as águas são bicarbonatadas cálcicas e cálcico-magnesianas (capeamento basáltico pouco espesso e bastante fraturado; início do confinamento), com resíduo seco às vezes superior a 200 mg/l, com temperaturas de até 30°C e com aumento do pH; na zona francamente confinada do aquífero, as águas tornam-se bicarbonatadas sódicas, evoluindo no extremo sudoeste do Estado, para cloro-sulfatadas sódicas, com temperaturas de até 63°C, pH alcalino e resíduos seco atingindo 650 mg/l, com aumento do íon fluoreto.

FRAGA (1992) no estudo da origem de fluoreto em águas subterrâneas dos sistemas aquíferos Botucatu e Serra Geral da Bacia do Paraná (Estado do Paraná) chega às seguintes conclusões principais:

- as concentrações de F^- (3,6 a 12 mg/l - máximo observado) estão relacionadas às águas alcalinas do sistema aquífero Botucatu sob condições de grande confinamento. São águas do tipo $SO_4^{2-}Cl^-Na^+$, com temperatura variando de 28 a 52°C (máximo constatado no Paraná). Neste caso, os teores de sólidos totais dissolvidos superiores a 1.000 mg/l são representativos de áreas de estagnação de fluxo, decorrentes da compartimentação que a Bacia do Paraná sofreu com o soerguimento de estruturas marginais e da área central, bem como devido a ocorrência de múltiplas fases de injeção magmática a elas associadas;
- as áreas potencialmente críticas à ocorrência do F^- nas águas estão diretamente relacionadas aos grandes traços da geometria da bacia deposicional do Pirambóia. As áreas com eixos de maior subsidência, onde há maior superposição e ocorrência de

ciclos fluviais melhor individualizados é que constituem os sítios preferenciais para a ocorrência mais acentuada dos precipitados químicos e, conseqüentemente, das concentrações mais elevadas de F^- na água.

. Aquitardo Passa-Dois

O DAEE (1981a), em estudo das águas subterrâneas da região de Campinas, verificou a predominância de águas bicarbonatadas sódicas, com a maior parte apresentando condutividade elétrica superior a 2000 micromho/cm, podendo atingir valores de até 2.000 micromho/cm. Nestas águas podem existir quantidades razoáveis de sulfatos e cloretos; a tendência do pH é ser básico em grande freqüência de valores acima de 8,0.

O DAEE (1981b), para a região de Sorocaba, aponta as seguintes características químicas para as águas subterrâneas do aquitardo Passa Dois: águas bicarbonatadas sódicas (predominante, bicarbonatadas cálcicas, cloretada cálcica ou magnésiana e cloretada sódica; a condutividade elétrica é superior a 590 micromho/cm e pH básico de 7,6 a 8,7.

. Tubarão

DIOGO et al. (1981b) em estudo preliminar do comportamento hidrogeológico do Grupo Tubarão, na sua área de ocorrência no Estado de São Paulo, tecem estas considerações:

- . as águas do aquífero Tubarão são, de um modo geral, fracamente salinas, refletindo provavelmente a alta taxa pluviométrica e a densa rede de drenagem característica da região;
- . os teores de resíduo seco variam de 21 a 421 mg/l, com 64% das amostras apresentando valores entre 100 e 200 mg/l. Observa-se que todas as amostras com teores superiores a 200 mg/l são oriundas do Sub-Grupo Itararé. A distribuição espacial destes valores parece indicar uma tendência geral de enriquecimento em sais no sentido da drenagem superficial, de leste para

oeste, o que pode ser observado em especial na bacia do Rio Tietê;

- . além dos baixos teores salinos, as águas apresentam pH variando desde ácido até básico com valores entre 4,8 e 9,0. As concentrações de bicarbonato são sempre mais elevadas que as de cloreto e sulfatos, podendo atingir 285 mg/l, enquanto os valores de cálcio variam de 0,0 a 46,4 mg/l e os de sódio de 0,1 a 170 mg/l. Apenas duas amostras ultrapassam 500 micromho/cm de condutividade, sendo que a maioria dos valores são inferiores a 300 micromho/cm.

4.2 Sistemas Aquíferos Fraturados, Permeáveis por Fraturamento das Rochas

- . Serra Geral

O DAEE (1974) em estudo de águas subterrâneas na região de Ribeirão Preto apresenta as seguintes características para as águas dos basaltos: o conteúdo dos sólidos totais dissolvidos (STD) varia de 44 a 280 mg/l (aumento das concentrações concordam com os divisores de águas superficiais - SSE-NNW e NNE-SSW); pH de 4,8 a 7,0, aumentando de leste para oeste; a relação rMg/rCa varia de 0,0 a 1,66 (com valores mais altos na direção dos vales dos rios Sapucaí-Mirim, Moji-Guaçu, Tietê e cidade de São Carlos; na porção norte da área aumenta de acordo com o STD e diminui em relação ao STD, na porção sul); temperaturas variam de 22^o a 29^oC, aumentando para oeste (as temperaturas em torno de 29^oC nos poços das cidades de Viradouro e Itápolis podem ter contribuição das águas do aquífero Botucatu). Quanto à classificação química das águas, o estudo apontou três grupos hidrogeoquímicos, que podem ter evoluído, geoquimicamente, de um para outro: (1) rCa > rMg; rMg > rNa; rNa >> rCl; (2) rCa > rMg; rMg < ou = rNa; rNa > rCl; (3) rCa < rMg; rMg < rNa; rNa > rCl.

O DAEE (1976) analisando as características hidrogeoquímicas das águas do aquífero basalto nas regiões de Bauru, São José do Rio Preto e Araçatuba observa que o resíduo

seco varia de 35 a 807 mg/l, onde as anomalias "alinham-se" a 3 eixos principais, que passam pelas seguintes cidades: Iacanga-Ibirá-Icém-Paulo de Faria; Icém-Riolândia-Água Vermelha; Araçatuba-Santa Fé do Sul. Estes alinhamentos de anomalias - com teores de resíduo seco acima de 200 mg/l - podem ser explicados através de fraturas ou conjunto de falhas preenchidas por mineralização hidrotermal secundária ou uma origem mais profunda, dos aquíferos subjacentes. A temperatura varia de 22^o a 31,4^oC; o pH varia de 4,8 a 9,7 e os valores acima de 7,0 também acompanham estes alinhamentos citados, além dos teores de sulfatos superiores a 50 mg/l. No que diz respeito à classificação química das águas, elas podem ser classificadas de bicarbonatadas cálcicas, secundariamente magnesianas ou sódicas e bicarbonatadas sódicas.

O DAEE (1979b) classifica as águas dos basaltos para a região centro-oeste do território paulista como sendo fortemente bicarbonatadas, cálcicas e cálcico-magnesianas. As águas dos poços situados próximo aos sistemas de fraturamento, apresentam concentrações de sais mais elevadas do que os poços não associados a fraturas, com valores de pH entre 6,5 a 7,5, condutividade elétrica variando de 80 a 160 micromho/cm e bicarbonato entre 1,0 e 2,0 meq/l; nas águas dos poços não associados a fraturas, com menor concentração de sais, os teores de bicarbonato variam de 0,5 a 1,0 meq/l, pH entre 6,0 e 7,0 e condutividade elétrica entre 50 e 80 micromho/cm. As temperaturas variam de 23 a 24^oC.

PERRONI et al. (1985) estudando os teores anômalos de fluoretos encontrados nos aquíferos Passa Dois, Tubarão, Botucatu e Serra Geral da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo, constataram as seguintes características hidrogeoquímicas para as águas dos basaltos:

- . os maiores teores encontrados para o cálcio, magnésio, ferro e nitrato, são do aquífero Basalto;
- . os teores de fluoreto são correlacionáveis com águas mais salinas além do pH, carbonato e sulfato; altos teores de fluoreto e sulfato estão também associados a altos teores de

sódio, que é uma composição química rara para águas deste aquífero (normalmente existe predomínio de bicarbonato, cálcio e magnésio);

- . a ocorrência de águas fluoretadas (com valor máximo de 9,2 mg/l), distribuem-se com maior frequência em uma faixa ao longo do rio Tietê, sendo comum nestes locais, teores mais elevados de sódio e sulfato;
- . do ponto de vista mineralógico as rochas da Formação Serra Geral dificilmente poderiam dar origem às elevadas concentrações de fluoreto encontradas;
- . a distribuição espacial de alguns teores excessivos encontrados no aquífero Basalto, em áreas próximas a estruturas geológicas profundas já reconhecidas (alinhamentos estruturais de Guapiara - FERREIRA et al., 1981 e Tietê - COIMBRA et al. 1977, apud PERRONI et al., op. cit.), sugerem possível condicionamento estrutural deste fenômeno; diversos autores têm apontado uma estreita relação entre os magmatismos alcalinos mesozóico e terciário à grande estrutura da Bacia do Paraná; as manifestações hidrotermais, associadas a este tipo de magmatismo apresentam soluções ricas em fluoretos e também podem promover remobilização dos fluoretos eventualmente contido nas rochas encaixantes (ALLMANN & KORITING, 1974, apud PERRONI et al., op. cit.).

. Cristalino

O DAEE (1984 e 1988) e ROCHA (1986), sintetizam deste modo as características químicas das águas do aquífero cristalino no Estado de São Paulo: os tipos químicos predominantes são águas bicarbonatadas cálcicas na maior parte da área (com pH ácido a neutro, fracamente mineralizadas com resíduo seco inferior a 250 mg/l) e águas cloretadas sódicas na faixa litorânea (apresentando valores elevados de resíduo seco de até 10.000 mg/l e de ferro).

CAPÍTULO 5

CARTOGRAFIA HIDROGEOQUÍMICA

5 CARTOGRAFIA HIDROGEOQUÍMICA

5.1 Generalidades

A finalidade de uma carta hidrogeológica é estabelecer distinções entre os diferentes terrenos e regiões segundo suas características hidrológicas, em associações com a geologia. Além disso, deve conter informações que permitem uma melhor compreensão sobre a ocorrência, o movimento, a quantidade e a qualidade das águas subterrâneas.

A composição química e a qualidade das águas subterrâneas são representadas, via de regra, em mapas hidrogeoquímicos e em três formas de representação cartográfica: inseridas em uma base hidrogeológica, destacadas em mapas laterais e em mapas específicos.

A elaboração destes mapas consiste em se colocar sobre uma região hidrogeológica, valores, símbolos ou figuras que representem a composição química da água em cada poço ou fonte do qual se tenham dados disponíveis.

Os valores utilizados podem ser a concentração de um ou mais íons, o resíduo seco, a condutividade elétrica, alguma relação iônica ou alguma designação da classificação geoquímica da água. Outras vezes pode-se associar a cada ponto analisado um diagrama colunar, radial, triangular, entre outros.

Em qualquer estudo baseado na análise de mapas hidrogeoquímicos é necessária uma atenção especial para extrair as informações neles contidas. Às vezes é possível deduzir a existência de um ou vários níveis aquíferos, certas condições geológicas, as zonas de recarga, etc. Assim, se são apresentados pontos de água de um mesmo aquífero e se o número de pontos for suficiente, certas isolinhas podem fornecer uma idéia mais clara das condições hidrogeoquímicas do aquífero em questão. Dentro deste contexto, são muito indicativas as curvas de igual valor da condutividade elétrica, como também a representação de curvas de igual valor de determinados íons. As curvas de igual conteúdo de nitratos, por exemplo, podem delatar zonas de poluição por meio de defensivos agrícolas ou por efluentes domésticos.

Nos mapas hidrogeológicos regionais, onde está representada a complexidade das múltiplas características dos aquíferos, os aspectos químicos das águas são representados em mapas laterais - para não ser dificultada uma visualização mais global - ou encontram-se embutidos no próprio mapa principal (hidrogeológico). O estudo mais detalhado de determinada região tem levado, invariavelmente, a uma elaboração cartográfica específica para representar as características químicas das águas bem como das relações mais apropriadas.

5.2 Revisão da Literatura Cartográfica Disponível

O objetivo e a escala são elementos essenciais para a concepção científica, conteúdo e representação de um mapa. Critérios externos, tais como custo, tempo, pessoal ou disponibilidade de dados são fatores preponderantes em projetos de mapas (MENTE et al., 1988).

Ainda segundo este autor, distinguem-se três grupos de mapas hidrogeológicos de acordo com o seu conteúdo e objetivo:

- . mapas hidrogeológicos de compreensão geral;
- . mapas hidrogeológicos especiais; e
- . mapas e planos operacionais.

Os mapas hidrogeológicos gerais visam a apresentação coerente de dados hidrogeológicos e sua interpretação. Indicam, numa base topográfica adequada, vários tipos de informações (de caráter pontual, linear ou areal), relacionadas à água, podendo ser obtidos por compilação de dados de arquivos ou de bibliografia, através de investigações de campo, ou, como é mais comum, mediante a combinação dos dois métodos. Muitos dos mapas hidrogeológicos gerais são elaborados ao nível regional, nacional ou internacional utilizando-se escalas médias ou pequenas (1:200.000 a menores de 1:2.000.000).

Os mapas hidrogeológicos especiais e os mapas e planos operacionais são documentos básicos propícios a serem

utilizados para o planejamento e a condução das interferências do homem sob o regime da água. São voltados, via de regra, para buscar soluções em problemas específicos, como por exemplo: prospecção mineral e de recursos energéticos, engenharia hidrotécnica ou recuperação de terras, etc.

Os mapas hidrogeológicos especiais podem ser de caráter semi-quantitativo ou qualitativo, utilizando-se escalas grandes e médias (1:10.000 a 1:500.000). Os mapas e planos operacionais utilizam sempre escalas grandes (maiores de 1:20.000). Não existe um limite exato entre os dois tipos de mapas, encontrando-se as maiores diferenças principalmente nos seus objetivos.

A bibliografia aqui arrolada é fruto de um levantamento onde agrupou-se, segundo a classificação de MENTE et al. (op. cit.) e por grandeza de escalas, um a um, os mapas ou cartas, sob a forma de fichas de leitura.

5.2.1 Mapas Hidrogeológicos Gerais

.Escala 1:5.000.000

A Austrália (AUSTRÁLIA, 1987) apresenta a síntese hidrogeológica do seu território em um mapa principal, contendo isolinhas de sólidos dissolvidos e, pontualmente, a temperatura das águas; lateralmente, um mapa de salinidade é apresentado na escala 1:15.000.000.

Em trabalho realizado no nordeste brasileiro, a SUDENE (BRASIL, 1974) mostra, em mapas específicos e com nota explicativa no verso, a distribuição dos tipos químicos e a salinidade das águas subterrâneas.

O "Mapa Hidrogeológico do Brasil" (BRASIL, 1983) apresenta em distribuição pontual inserida no próprio mapa, os valores de resíduo seco, em mg/l.

. Escalas de 1:2.500.000 a 1:2.000.000

O "Mapa Hidrogeológico das Regiões Administrativas 10 e 11 - Presidente Prudente e Marília" (DAEE, 1979), mostra o resultado do reconhecimento hidrogeológico na porção centro-oeste do Estado de São Paulo e em um mapa lateral os tipos químicos das águas subterrâneas.

Na "Carta Hidrogeológica da República Oriental del Uruguay" (URUGUAY, 1986) as informações pontuais de resíduo seco em mg/l encontram-se distribuídas no mapa principal; lateralmente é mostrado uma carta com isolinhas de resíduo seco em mg/l.

MENTE et al. (1976) propõe para o "Projeto Mapa Hidrogeológico do Brasil", que os dados hidrogeológicos apareçam nas denominadas "indicações particulares"; o resíduo seco, pontualmente e os limites de extensão entre águas subterrâneas salgadas rasas e profundas.

. Escalas de 1:1.500.000 a 1:1.000.000

A França (FRANCE, 1975), em seu "Project de Nouvelle Légende de Carte Hydrogéologique", apresenta uma vasta legenda para ser aplicada numa cartografia hidrogeológica, mas com relação à representação gráfica de dados hidrogeoquímicos não há qualquer referência.

O CETEC (1981) elaborou mapas hidroquímicos para o "Levantamento Integrado de Recursos Naturais da Região Nordeste de Minas Gerais". Os três mapas, de distribuição de cloretos e sulfatos; dureza e razão Mg/Ca; condutividade elétrica mais classificação das águas para irrigação, ocupam uma mesma área gráfica da carta e apresentam em comum algumas "cores hidroquímicas".

A "Carte de la Qualité Chimique des Eaux Souterraines de la France" (FRANCE, 1977), em um mapa específico, mostra a cartografia da qualidade química das águas subterrâneas e sua adequação para os distintos usos.

No "Mapa Hidrogeológico Nacional de la República del Ecuador" (ECUADOR, 1983) a única informação hidrogeoquímica é o resíduo seco, que aparece de forma pontual.

A "Carte des Eaux Minérales et Thermales de la France" (FRANCE, 1973) apresenta a classificação química pontual das águas termais e minerais. A legenda do mapa específico utiliza uma combinação de figuras (círculos, triângulos e quadrados) com diferentes cores para os ânions e cátions.

SILVA (1983) mostra nos "Perfis Hidroquímicos do Aquífero Botucatu a Partir da Área de Recarga", no Estado de São Paulo, a evolução hidroquímica e os mecanismos de circulação das águas deste aquífero, através de diagramas de STIFF, pontualmente para cada poço amostrado.

. Escalas 1:625.000 a 1:500.000

Na síntese hidrogeológica do nordeste brasileiro apresentada no "Mapa Hidrogeológico do Nordeste" (BRASIL, 1968), as informações hidroquímicas encontram-se inseridas no próprio mapa e são basicamente os teores de salinidade das águas subterrâneas sob a forma de curvas de igual valor de resíduo seco, em mg/l.

Na proposta de legenda para o mapa hidrogeológico da Venezuela (VENEZUELA, 1976), existe uma para o mapa de qualidade de água descrevendo minuciosamente os símbolos (círculos, quadrados, etc.) e cores a serem empregados.

ROCHA (1982) propõe na "Carta de Recursos Hídricos Subterrâneos - Programa e Normas Técnicas (preliminar)" que o mapa hidroquímico da "Carta de Recursos Hídricos Subterrâneos do Estado de São Paulo - escala 1:500.000", seja localizado em área lateral do próprio mapa principal, na escala 1:1.000.000. O mapa de composição química deverá ter a delimitação espacial dos tipos químicos das águas e, com simbologia adequada, os pontos hidroquímicos anômalos e a ocorrência de águas minerais; a representação da qualidade das águas em relação aos usos, deve ser completada com sua caracterização no que diz respeito ao potencial de incrustação ou corrosão.

O "Hydrogeological Map of England and Wales" (ENGLAND, 1980) apresenta as informações hidrogeoquímicas inseridas nas notas hidrogeológicas na parte marginal do mapa hidrogeológico e são de caráter qualitativo, como por exemplo, "águas de boa qualidade mas de dureza variável", "águas brandas mas comumente ferruginosas", etc. Os símbolos usados no mapa principal são indicativos de fontes ou poços com conteúdo de sólidos totais dissolvidos acima de 1.000 mg/l (círculo aberto; pontual); águas termais de fontes ou poços - mais que 10°C acima da temperatura média anual do ar (círculo cheio; pontual); fontes ou poços com águas termominerais (círculo vazio com círculo cheio no centro; pontual); áreas em que as concentrações de cloretos excedem a 1.000 mg/l (zoneamento).

O "Atlas des Eaux Souterraines de la France (FRANCE, 1970) apresenta um mapa com indicações pontuais de águas termominerais para cada uma das 22 regiões francesas.

. Escala 1:250.000

O "Hydrogeological Map - Rocky Mountain House - Alberta/Canadá" (CANADÁ, 1972) apresenta a localização das informações hidrogeoquímicas no mapa principal, nos mapas laterais, na nota explicativa e no guia da legenda. Estão distribuídas pela sua área gráfica da seguinte forma:

. três mapas na escala de 1:1.000.000. Mapa com o conteúdo de fluoretos com isolinhas (em azul) de 1 e 5 ppm e mais três faixas (em "degradée" azul) para os intervalos de 0,5 a 1; 1 a 2 e acima de 2 ppm. Mapa com o conteúdo de ferro com isolinhas de 1 e 0,5 ppm (em vermelho) e três faixas (em "degradée" vermelho) para os intervalos de entre 0,5 e 1; entre 1 e 2,0 e acima de 2 ppm. Mapa hidrogeoquímico dos aquíferos pouco profundos com os dados de: sólidos totais dissolvidos em ppm (isolinhas - em preto - definidas e aproximadas de 500 em 500), bicarbonato mais carbonato constituindo mais de 60% (em miliequivalentes) do total de ânions, em cor azul; sulfato constituindo mais de 60% (em miliequivalentes) do total de

ânions, em cor marrom; isograma em vermelho onde o cálcio mais o magnésio constituem 60% do total de cátions (em miliequivalentes indicando a linha denteada, o menor conteúdo de cálcio mais magnésio); isograma em roxo - semelhante ao anterior - para o sódio mais o potássio;

- . quatro perfis hidrogeológicos/hidrogeoquímicos que bordejam o mapa central apresentando as análises pontuais da qualidade química das águas subterrâneas através de diagramas circulares com porcentagens de cálcio (vermelho) ou de cálcio mais magnésio (quando este é inferior a 5%); magnésio (amarelo); sódio mais potássio (roxo); bicarbonato mais carbonato (azul); sulfato (marrom); cloreto (verde) e nitrato (incolor). A representação espacial das "estratificações hidrogeoquímicas" são semelhantes as descritas para o mapa hidrogeoquímico de aquíferos pouco profundos, acrescida de mais estes isogramas: bicarbonatos mais carbonatos (azul); sulfato (marrom); cloreto (cinza). Estes isogramas podem ser definidos (linhas contínuas) ou aproximados - inferidos (linhas tracejadas).

5.2.2 Mapas Hidrogeológicos Especiais

- . Escalas 1:250.000 a 1:200.000

Em um mapa específico, o COUNCIL of EUROPE (1975) mostra a indicação de zonas aquíferas poluídas por cloretos, sulfatos e nitratos, representadas por zoneamentos com superposições de cores/hachuras muito bem definidas graficamente.

NEGRÃO (1987), estudando o carste da região de Irecê (Estado da Bahia), apresenta uma única informação hidrogeoquímica: indicação pontual, no mapa de vulnerabilidade, dos poços tubulares que apresentam análises com teores de nitratos acima de 10 mg/l.

No mapa principal da síntese hidrogeológica de Porto Rico (PUERTO RICO, 1965) a qualidade química das águas subterrâneas são informações exclusivamente qualitativas, como por exemplo: águas usualmente duras, águas salgadas, etc.

. Escalas 1:100.000 a 1:50.000

A hidrogeologia da região da Hampshire e da Ilha de Wight, na Inglaterra, é mostrada pelo "Hydrogeological Map of Hampshire and the Isle of Wight" (ENGLAND, 1979). Referências suscintas sobre a qualidade química das águas desta região são representadas por diagramas colunares em mapa lateral.

Os "Mapas de Vulnerabilidade à Poluição dos Lençóis Aquíferos do Município de Campinas (Estado de São Paulo)" de TALTASSE (1972) foram elaborados com a finalidade de servirem de base sobre problemas de penetração e propagação de poluidores nos terrenos da região do município de Campinas.

No "Mapa Hidrogeológico del Valle Central de Costa Rica" (COSTA RICA, 1985) as análises químicas mais significativas são representadas por letras no mapa hidrogeológico e listadas em uma tabela lateral.

ALBINET & MARGAT (1970) fazem uma proposta de legenda para a cartografia e classificação dos aquíferos franceses no tocante a vulnerabilidade, em três escalas. O trabalho faz uma abordagem metodológica para as três escalas, mostrando em riqueza de detalhes na escala 1:50.000, para as indicações gráficas das fontes poluidoras dos aquíferos (esgotos, cemitérios, usinas siderúrgicas, etc.).

No mapa hidrogeológico "Istres - Eyguières - Plaine de la Crau - Carte Hydrogéologique de la France" (FRANCE, 1969) encontram-se isolinhas com intervalos variáveis, do conteúdo de cloretos em mg/l; zonas hachuradas em roxo onde há interface de águas doces/salgadas.

O "Hydrogeological Map of Yu-Gawa and Agatsuma-Gawa Basins, Nagano and Gumma Prefectures" (JAPAN, 1974), apresenta no mapa hidrogeológico indicações pontuais de poços e fontes com águas minerais quentes.

Para facilitar a elaboração de mapas hidrogeológicos, de forma normalizada e internacional, a UNESCO (1970) editou a "International Legend for Hydrogeological Maps". No texto do documento técnico produzido, a hidroquímica é contemplada com

uma seção que descreve com detalhes os símbolos gráficos e cores que devem ser ou já foram reproduzidos em mapas hidrogeológicos em alguns países.

5.3 Análise e sugestões

A análise dos mapas hidrogeológicos e dos mapas de qualidade química das águas subterrâneas feita neste capítulo, permitiu verificar que:

- vários trabalhos não apresentaram a área física do território objeto do estudo e muitas vezes nem o número de análises químicas utilizadas na interpretação e na integração dos dados hidrogeoquímicos, não possibilitando, assim, uma melhor avaliação da densidade de dados empregados, relacionando 1 análise/área. Estas informações não foram localizadas nem nas notas (texto) explicativas que acompanhavam alguns trabalhos, sendo que os que favoreceram este tipo de cálculo encontram-se no Quadro 4:

QUADRO 4 - Trabalhos com Informações da Área e do Número de Análises.

Escala	Densidade (1 análise/km ²)	Autor
1:5.000.000	1/1.367	SUDENE (1974)
1:2.000.000 (esc. de representação)	1/264	DAEE (1979)
1:1.500.000 (esc. de representação)	1/2.459	SILVA (1983)
1:1:000.000	1/333	CETEC (1981)
1:250.000	1/92	NEGRÃO (1987)

CAPÍTULO 6

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados a composição e a evolução hidrogeoquímica regional, a distribuição espacial dos teores salinos e tipos químicos das águas subterrâneas e sua qualidade química para os distintos usos (consumo humano/animal, irrigação e uso industrial).

Tanto a apresentação com a discussão de cada tópico estão referenciados no mapa de encarte, cuja leitura facilitará a compreensão do texto.

6.1 Composição e Evolução Hidrogeoquímica Regional

As características químicas das águas subterrâneas dependem, inicialmente, da composição das águas de recarga e, em seguida, da interação química entre estas águas e as litologias de cada sistema aquífero.

Para a investigação dos processos que conduzem a evolução química das águas subterrâneas é necessário conhecer as características das águas de recarga e de infiltração recente e as principais modificações que ocorrem com o percurso subterrâneo. Conhecendo-se o balanço entre as entradas (zonas de recarga) e as saídas (zona de descarga), pode-se determinar as principais modificações químicas que ocorrem, ou seja, as adições e subtrações de sais nos aquíferos.

Este estudo, porém, não contemplou os dados físico-químicos de águas de chuva e de águas superficiais, pelo fato das amostragens das águas dos poços terem sido efetuadas em diferentes épocas (1974 a 1989) e pelo fato de as alterações passíveis de ocorrerem não comprometerem, a grosso modo, as conclusões gerais do estudo regional proposto.

Todavia, uma etapa de tratamento dos dados físico-químicos das águas de poços disponíveis, corresponde à confecção de mapas ou cartas hidrogeoquímicas que são fundamentais para a observação da evolução química regional dos "aquíferos individualizados".

Como tentativa de delineamento das tendências de enriquecimento salino em associação com as características litológicas das formações e seus condicionantes hidrogeológicos, costuma-se confeccionar mapas de isovalores para os elementos que interessam mais ao estudo em andamento, como por exemplo zonas de igual teor salino ou de igual relação iônica.

Em geral, as águas de circulação regional, tendem a ir aumentando sua mineralização até ir saturando os diferentes íons.

Num trabalho clássico baseado em mais de 10.000 análises químicas de poços amostrados na Austrália, CHEBOTAREV (1955, apud FREEZE & CHERRY, 1979), conclui que a água subterrânea tende a evoluir quimicamente para a composição da água do mar. O autor observou que esta evolução é normalmente acompanhada de mudanças regionais no domínio das espécies dos ânions, a saber:

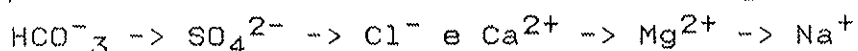


Para grandes bacias sedimentares a "seqüência de CHEBOTAREV" pode ser descrita em termos de 3 zonas, correlacionando o percurso geral com a profundidade (DOMENICO, 1972 apud FREEZE & CHERRY, 1979): i) zona superior - caracterizada pela atividade do fluxo d'água através de rochas relativamente bem lixiviadas; a água nesta zona tem o HCO_3^- como ânion predominante e é baixo o total de sólidos dissolvidos; ii) zona intermediária - com menor atividade de circulação de água subterrânea e uma maior quantidade de total de sólidos dissolvidos; o sulfato é normalmente o ânion predominante nesta zona; iii) zona inferior - com um fluxo d'água muito lento; alto teor de minerais solúveis são comuns nesta zona porque o fluxo da água subterrânea é muito lento; alta concentração de Cl^- e um alto teor de sólidos dissolvidos são característicos desta zona.

Do ponto de vista hidrogeoquímico a evolução da seqüência dos ânions descritas acima pode ser explicada principalmente em termos de duas variáveis: disponibilidade e solubilidade mineral.

Segundo CUSTÓDIO & LLAMAS (1976), entre os ânions primeiro satura o HCO_3^- , incluído desde a infiltração e mais

tarde o íon SO_4^{2-} ; o íon Cl^- não chega a saturar normalmente. Entre os cátions, primeiro satura o Ca^{2+} , mais dificilmente o Mg^{2+} ; o íon Na^+ não chega a saturar normalmente. Por causa destes processos, a água pode ter composição muito diferente da rocha pela qual circula à medida que se afasta do lugar da infiltração. Rochas com conteúdos muito baixos em Cl^- e ricas em outros sais solúveis, podem dar origem a águas predominantemente cloretadas, se houve tempo transcorrido o suficiente, para ir enriquecendo dessas pequenas quantidades, durante o seu fluxo. Assim, a evolução normal de uma água de circulação regional é aquela em que sucessivamente vão dominando os seguintes íons:



Ainda segundo CUSTÓDIO & LLAMAS (op. cit.) esta lei, porém, pode ter exceções. Por exemplo, se numa água infiltrada dominarem os íons HCO_3^- e Ca^{2+} e o meio aquífero for fortemente redutor, poderá ocorrer o surgimento do íon SO_4^{2-} muito embora não aconteça a sua dissolução.

FREEZE & CHERRY (op. cit.) advertem que os processos de evolução geoquímica da água subterrânea em rochas carbonáticas e em rochas cristalinas (as rochas cristalinas de origem ígnea ou metamórfica geralmente possuem uma característica em comum: contém quantidades apreciáveis de quartzo e aluminossilicatos tal como de feldspatos e micas) podem ser melhor compreendidos, o mesmo não ocorrendo nos sistemas sedimentares complexos que possuem minerais originados de várias fontes. Os autores ressaltam que um dos mais importantes fatores na evolução química da água subterrânea é a denominada "ordem de encontro" ("order of encounter"). Esta "ordem de encontro" se refere à ordem com que vários minerais ou grupo de minerais são "encontrados" pela água que se movimenta pelo sistema aquífero.

As relações entre os íons dissolvidos em uma água podem guardar certa relação com o terreno ou meio aquífero do qual procede a água ou indicar a ação de fenômenos modificadores, ou ainda indicar uma característica específica da água considerada.

Podem-se estabelecer muitos tipos de relações iônicas ou índices hidrogeoquímicos em miliequivalentes, em função do problema a ser investigado.

Neste trabalho foram escolhidos os índices rNa^+/rCa^{2+} e $rCl^-/rHCO_3^-$ e o teor salino das águas (resíduo seco a 180°C) para tentativa de delineamento, através de curvas de isovalores, das tendências regionais de enriquecimento salino dos aquíferos.

A relação rNa^+/rCa^{2+} tem interesse para se comparar as interações da água com as rochas do meio aquífero ou para acompanhar as possíveis trocas de base; deve-se no entanto levar em consideração que a precipitação ou dissolução de Ca^{2+} altera as relações sem que no entanto se produzam qualquer trocas de base (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1976).

A relação $rCl^-/rHCO_3^-$, onde o conteúdo de HCO_3^- é um valor relativamente constante nas águas subterrâneas, é uma relação de interesse para seguir o processo de concentração em sais no sentido do fluxo subterrâneo; embora esta concentração faça aumentar ligeiramente o denominador, um aumento na relação indica um avanço no processo de concentração (CUSTÓDIO & LLAMAS, op. cit.).

6.1.1 Sistemas Aquíferos Sedimentares, Permeáveis por Porosidade Granular

O sistema aquífero Litorâneo têm as águas subterrâneas com temperatura variando de 23,50 a 27,00°C e pH de 6,90 a 8,14. Cerca de 70% das amostras apresentam teores salinos na faixa de 150 a 200 mg/l e são predominantemente bicarbonatadas sódico-cálcicas.

No sistema aquífero Taubaté as águas subterrâneas possuem temperaturas que variam de 17,00 a 27,00°C, pH de 5,07 a 8,39 e 78% das amostras com teores salinos abaixo de 150 mg/l. Predominam águas bicarbonatadas sódicas (42%) seguidas das águas bicarbonatadas cálcicas (20%). Através da distribuição do teor salino e das relações $Cl^-/rHCO_3^-$ e rNa^+/rCa^{2+} é sugestiva uma evolução salina e iônica no sentido das bordas para o centro da Bacia de Taubaté, onde predominam os sedimentos da "Formação

Tremembé". Este enriquecimento salino e iônico, porém, pode não estar acusando um fluxo subterrâneo em direção ao centro da Bacia mas sim refletindo a composição mineralógica dos meios aquíferos atravessados (formações Caçapava e Tremembé).

Os sistemas aquíferos Bauru e Caiuá apresentam pH de ácido a básico (4,59 a 9,64) e teores salinos inferiores a 200 mg/l para 62% das amostras. Predominam as águas bicarbonatadas cálcicas (58%) seguidas das bicarbonatadas cálcica-magnesianas (11%). Nestes sistemas aquíferos, a grosso modo, o enriquecimento do teor salino das águas subterrâneas não é acompanhado pelo aumento dos teores de cloreto e de sódio, a não ser localmente. Neste caso, observa-se que os teores salinos parecem estar sujeitos à influência das litologias mais carbonáticas do "Grupo Bauru" e de sua expressão geomorfológica sustentada pelos planaltos e espigões. Os teores mais elevados de sódio e cloreto por sua vez sugerem possíveis alinhamentos estruturais ou em áreas próximas ao substrato basáltico com espessura adelgada do pacote do arenito sobreposto. Não é nítido, regionalmente, o enriquecimento salino clássico acompanhado da evolução iônica conforme propõem alguns autores. O sistema aquífero Caiuá apesar de apresentar suas águas mais nitidamente desmineralizadas do que o sistema aquífero Bauru mostra apesar do reduzido número de amostras nesta análise, situação semelhante: a evolução do íon sódio em sentido à confluência das calhas dos rios Paraná e Paranapanema não é acompanhada pelo aumento do teor salino das águas subterrâneas. Por sua vez, o inverso parece acontecer com o íon cloreto que a grosso modo diminui no mesmo sentido. Provavelmente este efeito deve ser o reflexo das condições de recarga pelas águas de chuvas recentes que praticamente abastecem diretamente este aquífero na região de exposição dos "arenitos Caiuá", favorecendo a manutenção em maior quantidade do íon bicarbonato nas águas subterrâneas.

O sistema aquífero Botucatu, (ver mapa lateral do sistema aquífero Botucatu confinado) na sua parte livre apresenta temperaturas que variam de 22,00 a 27,00°C, pH de 5,40 a 9,27 e 66% das amostras com teores salinos inferiores a

50 mg/l. Predominam as águas bicarbonatadas cálcicas (44%) seguidas das bicarbonatadas magnesianas. Na sua parte confinada o sistema aquífero Botucatu apresenta temperaturas que variam de 22,00 até 58,70°C (Figura 18), pH de 6,30 a 9,80 e 96% das águas com teores salinos na faixa de 50 a 500 mg/l. As águas bicarbonatadas cálcicas (44%) e bicarbonatadas sódicas (36%) perfazem 80% dos tipos químicos encontrados. Em termos regionais as águas do aquífero Botucatu obedecem uma evolução hidrogeoquímica clássica dos íons cloreto e sódio acompanhados de um enriquecimento de teor salino no sentido do oeste do Estado de São Paulo.

No sistema aquífero Tubarão as águas subterrâneas possuem temperaturas no intervalo entre 21,00 e 28,50°C, pH desde 4,23 até 9,68 e teores salinos abaixo de 500 mg/l para 90% das amostras analisadas. As águas são predominantemente bicarbonatadas sódicas (40%), seguida das bicarbonatadas cálcicas (21%) e das bicarbonatadas sódico-cálcicas (11%). O teor salino e o íon sódio parecem obedecer uma tendência regional de evolução hidrogeoquímica no sentido leste-oeste o que já não acontece com o íon cloreto, o que pode sugerir a existência de zonas distintas de circulação de água subterrânea neste sistema aquífero.

6.1.2 Sistemas Aquíferos Fraturados, Permeáveis por Fraturamento das Rochas

O sistema aquífero Serra Geral apresenta temperaturas que variam de 18,20 a 27,50°C, pH de 5,38 a 9,89 e teores salinos inferiores a 250 mg/l para 96% das amostras. As águas são predominantemente bicarbonatadas cálcicas (63%) e secundariamente bicarbonatadas cálcica-magnesianas (10%) e bicarbonatadas sódicas (9%). O aumento do teor salino pode vir acompanhado do incremento dos íons sódio e cloreto em duas grandes regiões basicamente. Estas áreas, onde inclusive ocorrem "janelas" de basalto, estão compreendidas entre os rios Tietê e Peixe e entre os rios São José dos Dourados e Grande.

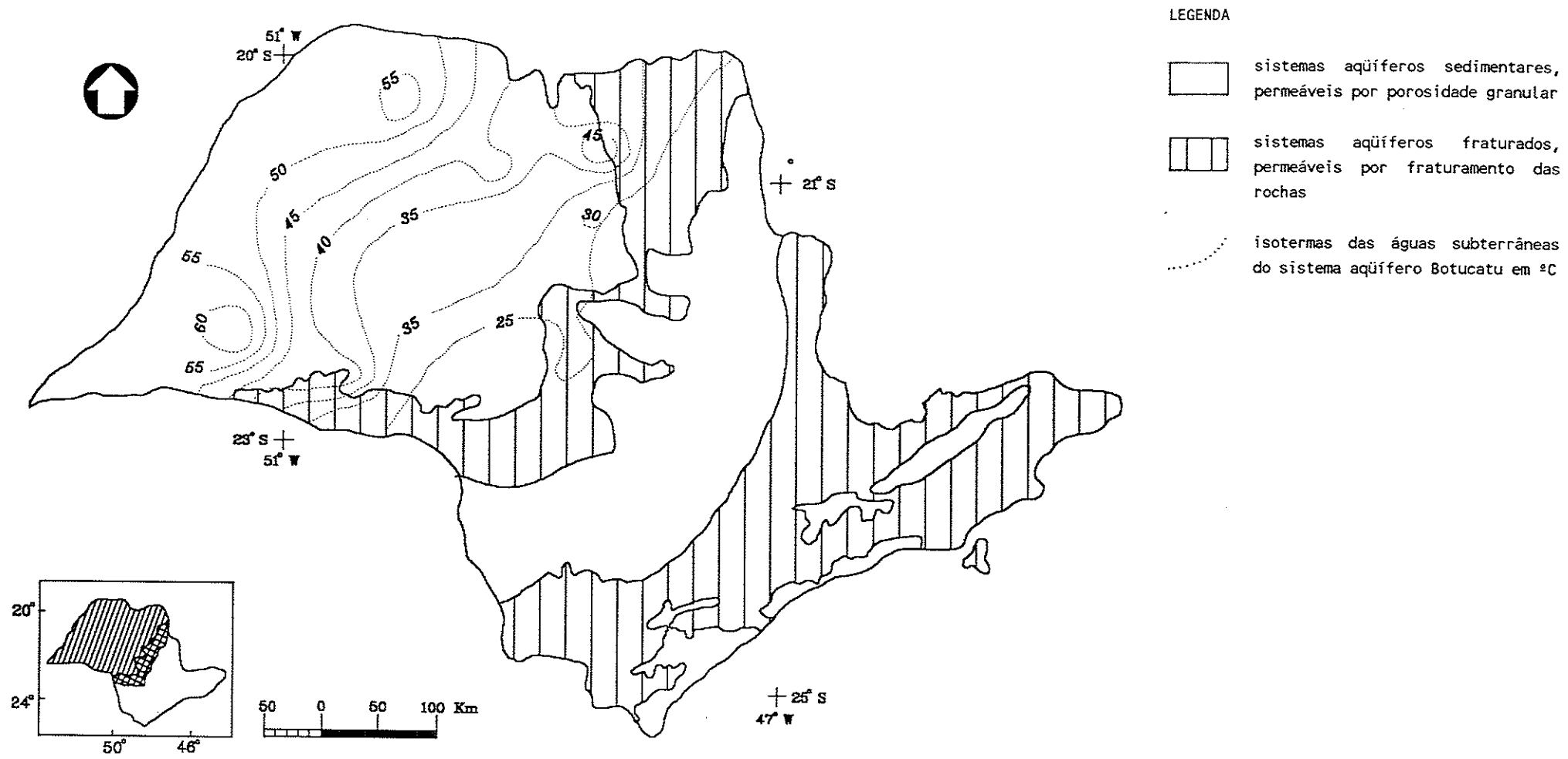


Figura 18 - Distribuição das Isothermas do Sistema Aquífero Botucatu

No sistema aquífero cristalino as águas subterrâneas têm temperaturas que variam de 16,00 a 21,30°C, pH de 5,61 a 8,96 e teores salinos inferiores a 250 mg/l para 79% das amostras analisadas. As águas bicarbonatadas cálcicas perfazem um total de 33%, seguidas das bicarbonatadas cálcicas-sódicas (24%) e das bicarbonatadas sódicas (11%). A grosso modo existe uma certa tendência de aumento do teor salino acompanhado do incremento do conteúdo dos íons sódio e cloreto no sentido do "Planalto Atlântico" para a "Província Costeira". Tal fato pode ser explicado devido aos poços da faixa litorânea estarem assentados sobre zona de fraturas profundas que recebem influência de cunha salina.

6.2 Distribuição Espacial dos Teores Salinos e Tipos Químicos

A variação do teor salino, expresso pelo resíduo seco em mg/l a 180°C, é apresentada em curvas de igual valor (isolinhas), com intervalos de 50 mg/l até o teor de 300 mg/l.

Para o zoneamento dos tipos químicos foram escolhidas as classificações de águas preominantes: a família das águas bicarbonatadas cálcicas e a família das águas bicarbonatadas sódicas.

A classificação dos tipos químicos (SCHOELLER, 1962; CUSTÓDIO, 1967, apud CUSTÓDIO & LLAMAS, 1976) baseou-se no ânion ou cátion que estiver acima de 50% (em meq/l) de suas respectivas somas; caso não haja esta condição a água se classificará pelos dois íons (ânion ou cátion) mais abundantes.

As águas subterrâneas do Estado de São Paulo, apresentam de modo geral baixa salinidade, sendo que cerca de 90% destas águas apresentam teores salinos abaixo de 250 mg/l.

Águas com teores salinos acima de 250 mg/l são características de parte dos domínios dos sistemas aquíferos Litorâneo (sujeito à influência de cunhas salinas nas áreas próximas da costa); São Paulo, Taubaté (porção central da Bacia); Bauru (domínios geomorfológicos dos planaltos e espigões); Botucatu (porção confinada); Passa Dois e Tubarão.

A maioria dos sistemas aquíferos, apresenta águas do tipo bicarbonatadas (88%), sendo que dentre esta família, 47% são de águas bicarbonatadas cálcicas. Os 41% restantes da família das águas bicarbonatadas são, em ordem decrescente com relação ao seu conteúdo catiônico: sódicas (certas áreas dos sistemas aquíferos Taubaté; Bauru; Botucatu; Passa Dois; Tubarão e Cristalino); cálcicas-magnesianas (certas áreas do sistema aquífero Serra Geral); cálcicas-sódicas e magnesianas (sistema aquífero Caiuá); sódicas-cálcicas, magnesianas-cálcicas, sódicas-magnesianas ou magnesianas-sódicas (todas estas praticamente com distribuição pontual por todos os aquíferos).

A ocorrência de águas sulfatadas e cloretadas que perfazem um total de 7,5%, se restringem a algumas áreas dos sistemas aquíferos: Litorâneo, Taubaté, São Paulo, Bauru, Botucatu, Passa Dois, Tubarão e Cristalino.

6.2.1 Indicativos de Anomalias e o Contexto Geoestrutural

Os indícios pontuais de anomalias baseados nos teores de resíduo seco, fluoreto, sulfato e cloreto que excedem os padrões de potabilidade tomados como "background", estão distribuídos a grosso modo, por todos os sistemas aquíferos investigados neste estudo.

A hipótese de condicionamento estrutural para o surgimento destas anomalias pode ser explicada pelo contexto descrito a seguir por alguns autores.

COIMBRA et al. (1977) discute as evidências de um alinhamento estrutural de direção NW-SE, "estendendo-se pelo baixo curso do Rio Tietê até as proximidades de Ibitinga e daí, passando pelas regiões de Rio Claro, São Carlos e Piracicaba até a Ilha de São Sebastião". O alinhamento foi deduzido com base em uma série de evidências de ordem estratigráfica, sedimentológica, estrutural e geomorfológica e sua existência dataria do Pré-Cambriano com reativações sucessivas e diferenças de comportamento tectônico durante o Fanerozóico desde o Paleozóico ao Cenozóico.

COIMBRA et al. (1981) estudando a silicificação dos arenitos da "Formação Bauru" no Estado de São Paulo, relata que a silicificação da Serra de Itaqueri e nos arredores de São Carlos estaria ligada a atividade hidrotermal.

Esta área é recoberta por falhas de direções principais: NW; localmente, a "Formação Bauru" sobrepõe-se aos arenitos da Formação Botucatu, estando ausentes os basaltos da Formação Serra Geral. Segundo ainda COIMBRA (op. cit.), a área situa-se na zona de intersecção de dois grandes lineamentos: um de direção N20°W, correspondente ao médio e baixo curso do Rio Moji-Guaçu e outro de direção N60°W, correspondente ao baixo e médio curso do Rio Tietê e continuando para leste ao longo de seu afluente Rio Jacaré-Pepira. Ao longo do alinhamento do Rio Moji-Guaçu, encontra-se a intrusão de Jaboticabal, possivelmente associada a processo hidrotermalizante.

COUTINHO et al. (1982) relataram a ocorrência de lavas alcalinas analcímicas associadas ao Grupo Bauru, delimitada em área pelas cidades de Jaboticabal, Aparecida do Monte Alto, Taiúva e Pirangi, na região centro norte do Estado de São Paulo.

Para FERREIRA et al. (1981) o alinhamento estrutural de Guapiara é uma estrutura profunda constituindo-se numa das principais fontes de magmas básicos da Bacia do Paraná, alojando diques de diabásio e condicionando rochas alcalinas, com mais de 600 km de extensão, direção NW-SE, que se estende, provavelmente, desde a margem continental até, pelo menos, o rio Paraná, na bacia sedimentar homônima.

Segundo HASUI et al. (1982) em estudo da geologia, tectônica, geomorfologia e sismologia regionais de interesse às usinas nucleares da Praia de Itaorna (RJ) as condições tectônicas atuais parecem ser residuais, com discreta acomodação dos blocos intensamente movimentados no Terciário. Essa acomodação, a se julgar pelos dados geomorfológicos e sísmicos, não é generalizada mas se concentra em área de maior incidência, caracterizando várias zonas sismogênicas. Essas zonas de insabilidade tectônica e sismogênica têm sido consideradas como províncias sismo-tectônicas.

A zona sismogênica de Pinhal coincide com a área do "soerguimento Moji-Guaçu". Essa área foi sítio de deslocamentos ascensionais acentuados no Terciário. A zona sismogênica de Cunha é que apresenta maior número de epicentros. É também a que, por seu relevo, denota ter sofrido maior movimentação tectônica durante o Terciário (HASUI et al., op. cit.).

FRANGIPANI & HAMZA (1987), com base em 96 medidas de fluxo geotérmico, elaboraram o primeiro mapa geotermal do Estado de São Paulo. As curvas de isovalores de fluxo geotérmico, apesar do caráter preliminar, revelaram algumas características fundamentais do regime geotérmico da crosta sob o Estado de São Paulo. Foram identificadas anomalias geotérmicas nas seguintes regiões: Moji-Guaçu, Presidente Prudente, Jaboticabal, Campinas, Bauru, oeste de Sorocaba e Vale do Paraíba.

Fenômenos de hidrotermalismo foram observados na porção central da Bacia de São Paulo e na porção sul da Bacia de Taubaté, pouco a leste de Caçapava Velha (RICOMINI, 1989), afetando os sedimentos terciários.

Para MIOTO (1990) na tentativa de zoneamento sísmico do sudeste brasileiro as energias liberadas pelos sismos desta região ocorrem, preferencialmente, em determinadas áreas cuja coincidência com as suturas e lineamentos antigos é notável.

Segundo HASUI (1990) as zonas sismogênicas do Brasil tem sido delimitadas e relacionadas por onde passam os cinturões de cisalhamento e as suturas associadas de direção NE-SE na Bacia do Paraná e na Bacia de Taubaté.

ZALÁN (1991) além dos alinhamentos estruturais já citados por outros autores, cita o alinhamento do Rio Santo Anastácio.

Alguns autores como DAEE (1974, 1976 e 1979b), SZIKSZAY et al. (1981), PERRONI et al. (1985), IPT (1986) e, mais recentemente em caráter preliminar, CAMPOS (1992) apontam que algumas áreas mais expressivas com indicativos de anomalias hidrogeoquímicas na Bacia do Paraná, podem estar associadas aos entornos de alinhamentos estruturais.

Segundo FERNANDES (1992) e FERNANDES & COIMBRA (1992) as ocorrências de rochas silicificadas em rochas dos Grupos

Bauru e Caiuá apresentam discreta concentração ao norte do eixo do Arco de Ponta Grossa, sendo que as de maior expressão são responsáveis pela sustentação de elevações com até 200 m acima do nível regional. Alinham-se segundo a direção nordeste (a mesma de importantes lineamentos regionais, onde se encaixam longos trechos do Rio Paraná). Coincidem, ainda, com seu cruzamento estruturas noroeste associadas ao Arco de Ponta Grossa. Dispõem-se, de nordeste para sudoeste: morros da Fazenda Santa Ida, do Diabo, das Três Irmãs e da Fazenda Porto Rico, formando quatro elevações alinhadas segundo NE.

Neste estudo as anomalias observadas, principalmente de fluoretos nas águas subterrâneas, podem ter sua distribuição associada às águas bicarbonatadas sódicas em dois grandes domínios ou "zonas hidrogeoquímicas": um na região compreendida pelas cidades de São João da Boa Vista, Piracicaba, Sorocaba e Campinas em terrenos de rochas cristalinas e de rochas meso-paleozóicas (Tubarão, Passa Dois e Botucatu) e no encontro de alinhamentos estruturais e outra na região das cidades de Ibitinga, Lins e Araçatuba, em área de menores espessura saturada do sistema aquífero Bauru.

Áreas anômalas mais restritas são também observadas em: Jaboticabal; ao norte de Ribeirão Preto; entre Presidente Prudente e Paraguaçu Paulista e nas porções NE e SE da Bacia de Taubaté.

6.3 Qualidade Química das Águas Subterrâneas

A adequação das águas subterrâneas (ver mapa lateral de qualidade química das águas subterrâneas para os distintos usos) para o consumo humano/animal, irrigação e uso industrial, foi representada conjuntamente, pois a integração dos dados obtidos, neste caso, foi possível. Está subdividida em seis classes de águas.

A distribuição de poços com indicativos de poluição é representada pelos parâmetros cujos teores excedem os padrões adotados de nitrato e de ferro.

O potencial de incrustação ou de corrosão das águas foi determinado para cada amostra através do índice de estabilidade de RYSNAR ($I_e = 2pH_s - pH$; onde I_e é o índice de estabilidade; pH_s é o pH de saturação e pH é o pH medido). A Figura 19 apresenta a distribuição de zonas onde o índice de estabilidade encontra-se em duas faixas principais: águas potencialmente incrustantes ou corrosivas (I_e entre 7 e 9) e águas potencialmente corrosivas (I_e maior que 9).

6.3.1 Padrões e Parâmetros Adotados

Os padrões e parâmetros que servem de base para estabelecer a potabilidade da água e adequação das águas para a irrigação e para fins industriais, variam de um país para outro, parecendo, muitas vezes, serem eles mais influenciados pelas características químicas da água disponível, do que por seu possível efeito sobre o sistema orgânico do homem ou pelo tipo de cultivo ou indústria de determinada região.

A abundância ou escassez da água é o primeiro fator que condiciona a sua utilização, de modo que uma água de qualidade medíocre, mas abundante, pode tornar-se mais desejada que uma água boa, porém em quantidade insuficiente.

Os limites de concentração química fixados ou sugeridos pelos órgãos governamentais, geralmente, representam um ajuste entre a qualidade da água desejada e a qualidade de água disponível, em quantidades suficientes para fazer face à demanda.

Os padrões da adequação das águas para os diversos fins geralmente adotados, encerram certa flexibilidade, visto que nem todos os componentes da água tem a mesma importância e, por outro lado, torna-se às vezes impossível conseguir, em uma determinada região, águas que atendam plenamente as recomendações das normas vigentes.

No Quadro 5 apresentam-se os parâmetros mais indicativos de potabilidade das águas de acordo com os padrões estabelecidos pelo Decreto 12.486 de 20.10.78, NTA-60, do Governo do Estado de São Paulo (LEX, 1978).

A adequação das águas subterrâneas para a irrigação foi examinada com base no diagrama e nos padrões de salinidade do Laboratório de Salinidade de Riverside, do Departamento de Águas dos Estados Unidos e o exame de qualidade das águas para fins industriais, foi efetuado de acordo com os padrões de referência (Quadro 6) segundo LOGAN (1965).

QUADRO 5 - Padrões Físico-Químicos de Potabilidade para as Águas Subterrâneas. (De acordo com os padrões estabelecidos pelo Decreto 12.486 de 20.10.78, NTA-60, do Governo do Estado de São Paulo.

ELEMENTO OU PROPRIEDADE	UNIDADE	PADRÃO ADOPTADO
pH	-	5 - 10
dureza	mg/l CaCO ₃	200
alcalinidade de bicarbonatos	mg/l CaCO ₃	250
resíduo seco a 180°C	mg/l	500
cloro	mg/l Cl	250
fluoreto	mg/l F	1,0 - 1,2
nitrato	mg/l N	2 - 6
ferro total	mg/l Fe	0,3
sulfato	mg/l SO ₄	250

QUADRO 6 - Padrões de Tolerância das Águas Subterrâneas para as Indústrias. (Segundo LOGAN, 1965).

INDÚSTRIA	Dureza mg/l CaCO ₃	Alcalinidade mg/l CaCO ₃	pH	Resíduo Seco a 180°C	Cálcio mg/l Ca	Ferro mg/l Fe	Flúor mg/l F
Frigorífico	-	-	-	-	-	0,5	-
Alimentos	-	-	-	-	-	0,2	-
Curtume	50 - 135	135	8,0	-	-	0,2	-
Têxtil	20	-	-	-	-	0,25	-
Enlatamento de Vegetais	25 - 75	-	-	-	-	0,2	1,0
Cervejaria	-	75	6,5 - 7,0	500	100 - 200	0,1	1,0

6.3.2 Adequação das Águas Para o Consumo Humano/Animal, Irrigação e Uso Industrial

As águas subterrâneas do Estado de São Paulo são, em geral, de boa qualidade, não apresentando restrições para o consumo humano/animal, irrigação e uso industrial.

A variação dos teores de nitratos nas águas subterrâneas é grande e parece não ter relação direta com as litologias que compõem o meio aquífero. Os teores excessivos de nitrato são encontrados, geralmente, de forma pontual distribuídos por todos os sistemas aquíferos.

Estes teores de nitratos podem ser considerados como indicativos de poluição e são uma advertência de que a água deva ser analisada mais detalhadamente para se verificar a presença de possíveis organismos patogênicos.

As águas dos poços onde os teores de nitrato excedem o limite recomendado são, via de regra, de poços poluídos pela atividade antrópica, relacionados à proximidade de fossas negras ou mesmo estábulos na zona rural, além da possibilidade de existir poluição por meio de fertilizantes agrícolas. Estes indícios podem indicar a precariedade construtiva dos poços como: ausência de tubo de boca com cimentação e tampa protetora; falta de laje de proteção e de perímetro de proteção sanitária.

Praticamente todas as águas subterrâneas contêm um pouco de ferro e sua química no meio aquífero é complexa.

Duas espécies de cátions ferro ocorrem comumente nas águas: o ferroso (Fe^{2+}) e o férrico (Fe^{3+}). O ferro no estado ferroso é instável em presença do ar, mudando para o estado férrico quando a água é exposta ao ar, oxidando os íons ferrosos.

Por sua vez, a água pode adquirir ferro pelo contato com o revestimento do poço, conjunto moto-bomba e tubulações. Quanto mais corrosiva é a água, mais dissolve o ferro das superfícies com as quais estabelece contato.

As águas subterrâneas captadas de poços tubulares contendo ferro em quantidades apreciáveis, pode ser completamente límpida e incolor logo após o bombeamento. Algum

tempo depois e em contato com o ar, a água pode se turvar e mais tarde produzir um depósito ferruginoso. Esse teor de ferro é de considerável interesse porque pequenas quantidades afetam a utilização da água para algumas finalidades domésticas e industriais.

Para a irrigação, as principais restrições são as águas com média e alta salinidade e quantidade de sódio muito elevada; restringem-se à certas áreas dos sistemas aquíferos Litorâneo (próximo da costa), Taubaté, São Paulo, Bauru e Tubarão, devendo ser analisado o grau de tolerância de determinadas culturas a estas águas.

Os requisitos de qualidade das águas utilizadas em diferentes processos industriais são muito variados. Há uma variedade de especificações exigidas e critérios estabelecidos por tipo de indústrias e, muitas vezes, pequena faixa de tolerância. As águas mais críticas e com pelo menos alguma restrição de parâmetro para as indústrias frigorífica, cervejaria, curtume, têxtil, enlatamento de vegetais e alimentos, estão localizadas principalmente nas bordas da Bacia de Taubaté, na Bacia de São Paulo e nas proximidades da cidade de Bauru (sistema aquífero Serra Geral) e de Araçatuba (sistema aquífero Bauru).

6.3.3 Potencial de Incrustação ou de Corrosão

As propriedades das águas de serem potencialmente corrosivas ou incrustantes afetam muitas instalações industriais e as tubulações e equipamentos de bombeamento dos poços. De modo geral, as águas satisfatórias devem manter o "equilíbrio do carbonato", de modo que não venha provocar corrosão em tubulações e equipamentos industriais, nem venha a depositar "escamas" espessas e diminuir o diâmetro e, conseqüentemente, a eficácia do equipamento. As propriedades corrosivas ou incrustantes dependem do pH, da alcalinidade e do teor de cálcio, principalmente.

Cerca de 64% das amostras de águas subterrâneas do Estado de São Paulo são águas potencialmente corrosivas; 34%

potencialmente incrustantes ou corrosivas e apenas 2% com características de águas potencialmente incrustantes (Figura 19).

Segundo ROCHA & JORBA (1982) uma das causas de obstrução mecânica são os subprodutos da corrosão que se depositam nas seções filtrantes e no fundo do poço; se o índice de agressividade da água for elevado (indicando possibilidade de corrosão) a água bombeada poderá apresentar turbidez ou a presença de resíduos, o que confirmará a causa; em processos avançados, a produção anormal de areia em poços é forte indício de corrosão. Os subprodutos do metabolismo bacteriano podem, também, produzir obstruções; às vezes, quando se trata de bactérias de ferro, esta causa pode ser indicada por mudança de coloração da água. A incrustação química consiste na precipitação e deposição de material nas seções filtrantes, no pré-filtro, no próprio aquífero, no conjunto moto-bomba e até nas tubulações de água; o material incrustante é constituído principalmente por carbonato de cálcio acompanhado de silicato de alumínio, sulfato de ferro e outros minerais contidos no meio aquífero.

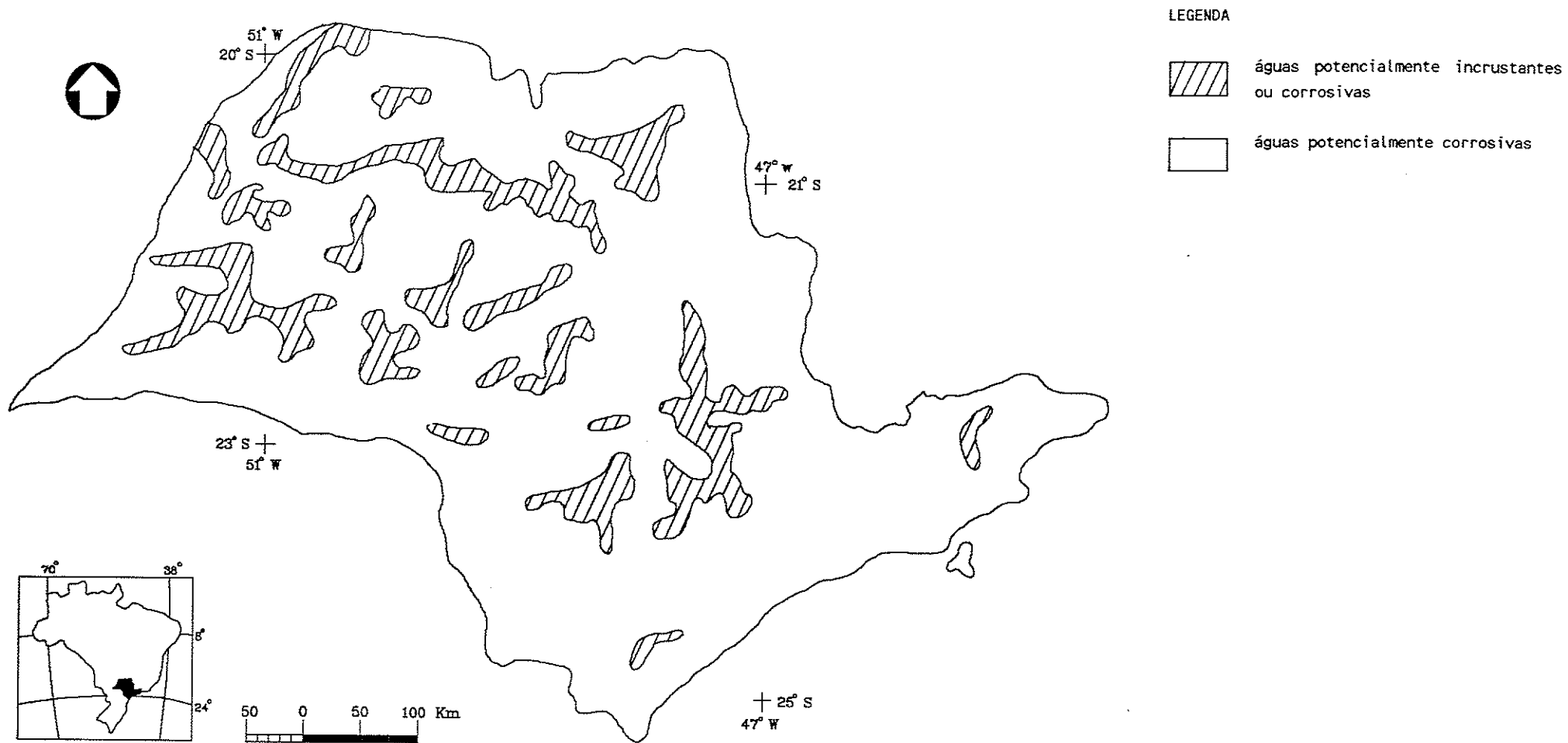


Figura 19 - Distribuição do Potencial de Incrustação ou de Corrosão
[baseado na plotagem de dados do programa "PLOTAPTO"]

f1803

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
Biblioteca

7 CONCLUSÕES

A análise dos dados existentes até aqui pesquisados, permitiu delinear, regionalmente, o comportamento hidrogeoquímico das águas subterrâneas no território estadual.

As águas subterrâneas têm baixa salinidade, com valores de resíduo seco a 180°C inferiores a 250 mg/l. Águas com teores salinos acima de 250 mg/l são características de certos domínios dos sistemas aquíferos Taubaté, Bauru, Botucatu (parte confinada), Passa Dois, Tubarão e Cristalino (na faixa litorânea). As águas subterrâneas são predominantemente bicarbonatadas; secundariamente, ocorrem as águas sulfatadas e cloretadas; quanto ao conteúdo catiônico as águas são, essencialmente, cálcicas seguidas das sódicas e das cálcicas-magnesianas, principalmente.

Foram delimitadas, a grosso modo, algumas áreas com indicativos de anomalias de acordo com os padrões de potabilidade adotados como "background": estas anomalias aparecem distribuídas pontualmente por todos os aquíferos, mas algumas áreas mais expressivas parecem estar associadas às proximidades dos alinhamentos estruturais na Bacia do Paraná, a zonas sismogênicas, a anomalias geotermiais da crosta e ao "trend" estrutural NE do embasamento cristalino.

No que se refere à utilização das águas, o estudo mostra que sua qualidade natural atende, a grosso modo, aos requisitos de potabilidade e irrigação; quanto ao uso industrial, para alguns tipos de indústrias as águas necessitam de correção.

O zoneamento das águas subterrâneas quanto ao seu potencial de ataque químico, revela que 64% das amostras são de águas corrosivas e 34% potencialmente incrustantes ou corrosivas; estas ocorrem predominantemente nos domínios dos sistemas aquíferos Bauru e Caiuá. Portanto, os projetos de equipamentos industriais e de captação profunda das águas subterrâneas devem levar em conta a adequada seleção de materiais, a fim de minimizar os processos de corrosão ou incrustação.

Em termos de evolução hidrogeoquímica clássica, em âmbito regional, somente o sistema aquífero Botucatu, pelas suas características hidrogeológicas, apresenta um enriquecimento salino acompanhado de um incremento iônico de sódio e de cloreto. Não é nítido este comportamento no sistema aquífero Tubarão, embora este sistema apresente uma tendência geral de enriquecimento do teor salino associado ao íon sódio, no sentido leste-oeste. Para os demais aquíferos da Bacia do Paraná e principalmente para o sistema aquífero Bauru a evolução hidrogeoquímica clássica não é evidente, prevalecendo a existência de zonas distintas de circulação de água subterrânea. Na Bacia de Taubaté é sugestiva uma tendência de enriquecimento salino e iônico apontando para o centro da Bacia.

Foram observadas na área de estudo duas zonas hidrogeoquímicas de maior expressão, com a distribuição principalmente de fluoretos associada à águas bicarbonatadas sódicas: uma na região compreendida pelas cidades de São João da Boa Vista, Piracicaba, Sorocaba e Campinas e outra na região das cidades de Araçatuba, Lins e Ibitinga. Acredita-se que o tipo químico destas águas seja regido pelos condicionantes estruturais do meio aquífero.

Determinadas regiões que possuem condicionantes estruturais - como a de Araçatuba, Lins e Ibitinga - principalmente pela presença de águas bicarbonatadas sódicas, de baixo teor salino e temperaturas relativamente mais elevadas, sugerem a existência de uma conexão hidráulica entre os sistemas aquíferos Botucatu, Serra Geral e Bauru. As anomalias citadas por alguns autores, em outras oportunidades, como sendo provenientes de águas do sistema aquífero Bauru/Serra Geral, podem estar associadas às águas ascendentes do sistema aquífero Botucatu.

Futuros trabalhos de investigação hidrogeológica e hidrogeoquímica deverão privilegiar áreas ou sub-bacias, representativas de aquíferos individualizados, e contar com perfurações e amostragens especiais que permitam a coleta de água em cada zona aquífera, de modo a propiciar o acompanhamento

e evolução das modificações químicas das águas tanto na lateral como na vertical.

O presente estudo representa um esforço de sistematização do conhecimento hidrogeoquímico do território estadual, até então disperso, sintetizado no mapa de encarte. É uma modesta contribuição do autor para os planos e programas governamentais de proteção das águas subterrâneas e uma referência para estudos e pesquisas em áreas de maior complexidade hidrogeológica.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- ALBINET, M. & MARGAT, J. 1970. Cartographie de la vulnérabilité à pollution des nappes d'eau souterraines. Paris, Bul. BRGM, sect. III, (4):13-22.
- ALMEIDA, F.F.M. de. 1983. Relações tectônicas das rochas alcalinas Mesozóicas da região meridional da plataforma Sul-Americana. Rev. Bras. Geoc., SBG, 13(3): 139-158.
- ALMEIDA, F.F.M. de; HASSUI, Y.; DANTAS, A.S.L.; MELO, M.S. de. 1981. História geológica. Mapa Geológico do Estado de São Paulo, esc. 1:500.000, IPT, SP, I: 97-102.
- ALMEIDA, F.F.M. de & MELO, M.S. de 1981. A Bacia do Paraná e o vulcanismo Mesozóico. Mapa geológico do Estado de São Paulo, esc. 1:500.000, IPT, SP, I:12-45.
- ANDRADE, E.P.; CAMPOS, J.E.; CAMPOS, H.C.N.S. 1992. Exploração de águas subterrâneas: o cenário do município de Jacareí-SP. In: XII Seminário de Ciências Exatas e Engenharias, UNESP/ADUNESP, Guaratinguetá, SP. Anais...ADUNESP/Guaratinguetá.:10.
- × ARID, F.M.; CASTRO, P.R.M.; BARCHA, S.F. 1969. Estudos hidrogeológicos no Município de São José do Rio Preto, SP. Ciência e Cultura, 21(2):211.
- × ARID, F.M.; CASTRO, P.R.M.; BARCHA, S.F. 1970. Estudos hidrogeológicos no Município de São José do Rio Preto, SP. Bol. Soc. Bras. Geol., 19(1):43-69.
- AUSTRALIA, 1987. Hidrogeology of Australia, scale 1:5.000.000. Department of Resources and Energy - Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics. Australia government Publishing Service. Canberra. Bulletin 227, 1 map and 1 text explicative.

⊗ BARCHA, S.F. 1992. Nitratos em água subterrânea no meio urbano. In: 37º CONGR. BRAS. GEOL., São Paulo, SP. Boletim de Resumos Expandidos, SBG, 2:200-201.

BERTACHINI, A.C. 1987. Estudo das características hidrogeológicas dos terrenos cristalinos sob clima úmido, na Região de Jundiaí, em São Paulo. São Paulo, SP. 119p. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências - USP).

BRASIL. 1968. Mapa hidrogeológico do Nordeste, escala 1:5.000.000. Ministério do Interior. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). Departamento de Recursos Naturais. Divisão de Hidrogeologia. Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul S.A.

BRASIL. 1974. Atlas dos Recursos Naturais do Nordeste. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). Departamento de Recursos Naturais. Recife, PE. 8 cartogramas.

BRASIL. 1983. Mapa hidrogeológico do Brasil, escala 1:5.000.000. Ministério das Minas e Energia - Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM).

CAMPOS, H.C.N.S. 1981. Casos de teores anômalos de flúor em águas dos sistemas aquíferos Serra Geral-Botucatu. São Paulo. 12p. (Seminário apresentado no Curso de Pós-Graduação GGE-765: MODERNAS TÉCNICAS DE ANÁLISE DE POLUIÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA, Instituto de Geociências, USP).

⊗ CAMPOS, H.C.N.S. 1987. Contribuição ao estudo hidrogeoquímico do Grupo Bauru no Estado de São Paulo. São Paulo, SP. 58p., 2 pranchas. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências - USP).

✓ CAMPOS, H.C.N.S. 1988a. Contribuição ao estudo hidrogeoquímico do Grupo Bauru no Estado de São Paulo. In: 5º CONGR. BRAS. de ÁGUAS SUBT., São Paulo, SP. Anais... ABAS, São Paulo 1:122- 132.

CAMPOS, J.E. 1988b. Índícios de abatimento dos níveis de água subterrânea da bacia sedimentar de São Paulo. In: 5º CONGR. BRAS. AG. SUBT., São Paulo, SP. Anais... ABAS, São Paulo:75-83.

✓CAMPOS, H.C.N.S. 1992. Caracterização e cartografia das províncias hidrogeoquímicas do Estado de São Paulo. In: 37º CONGR. BRAS. GEOL., São Paulo, SP. Boletim de Resumos Expandidos, SBG, 2:195- 196.

CANADA. 1972. Hidrogeology of the rocky Mountain House Area, Alberta, scale 1:2.500.000. Research Council of Alberta. Edmonton, Alberta.

⊕ CASTRO, S.C.S.; ARID, F.M.; SANTOS, C.C.M. dos; SILVA, R.A.; CUNHA, I.P. da. 1992. Contaminação por água subterrânea em São José do Rio Preto (SP) - Contaminação por nitratos. In: VII CONGR. BRAS. AG. SUBT, Belo Horizonte, Mg. Anais... ABAS, Belo Horizonte: 103-106.

CETEC (Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais). 1981. Mapas Hidroquímicos. 2º Plano de Desenvolvimento Integrado do Noroeste Mineiro. Belo Horizonte, MG.

✓ CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). 1978. Poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo, estudo preliminar. São Paulo, SP. 88p., ilust., mapas.

- COIMBRA, A.M.; BRANDT NETO, M.; COUTINHO, J.M.V. 1980. Silicificação dos arenitos da Formação Bauru no Estado de São Paulo. In: Mesa Redonda: A Formação Bauru no Estado de São Paulo e Regiões Adjacentes/Publicação Especial - Coletânea de Trabalhos e Debates - SBG/SP - 7:103-115.
- COSTA RICA. 1985. Mapa Hidrogeológico del Valle Central de Costa Rica, escala 1:50.000. Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento. British Geological Survey. E.S.R. Limited, West Bufleet Survey, England.
- COUNCIL OF EUROPE. 1975. Groundwater quality - map of salinity (Chloride-sulfate-nitrate) scale 1:2.000.000. Comittes on Science and Technology. EUROPARAT.
- COUTINHO, J.M.V.; COIMBRA, A.M.; BRANDT NETO, M.; ROCHA, G.A. 1982. Lavas alcalinas analcimíticas associadas ao Grupo Bauru (Kb) no Estado de São Paulo. In: 5º CONGR. LAT. AMER. GEOL. ARGENTINA. Argentina. Actas III: 185-195.
- CUSTODIO, E.G. & LLAMAS, M.R. 1976. Hidrologia subterrânea. Barcelona, Espanha. Omega, 2v.
- DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica). 1974. Estudo de Águas Subterráneas, Região Administrativa 6, Ribeirão Preto, SP. São Paulo, SP. GEOPESQUISADORA/TAHAL, 2v.
- DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica). 1975. Estudo de Águas Subterráneas, Região Administrativa 1, São Paulo (Grande São Paulo), SP. São Paulo, SP. ENCIBRA/TAHAL, 3v.
- DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica). 1976. Estudo de Águas Subterráneas, Regiões Administrativas 7, 8 e 9 (Bauru, São José do Rio Preto, Araçatuba), SP. São Paulo, SP. ENCO, 4v.

- DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica). 1977. Estudo de Águas Subterrâneas, Região Administrativa 3 (São José dos Campos e Faixa Litorânea), SP. São Paulo, SP. ENCO. 5v.
- DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica). 1979a. Estudo de Águas Subterrâneas, Região Administrativa 2 (Santos), SP. São Paulo, SP. ENCO. 3v.
- DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica). 1979b. Estudo de Águas Subterrâneas, Regiões Administrativas 10 e 11 (Presidente Prudente e Marília), SP. São Paulo, SP. DAEE, 3v.
- DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica). 1981a. Estudo de Águas Subterrâneas, Região Administrativa 5 (Campinas), SP. São Paulo, SP. DAEE, 2v.
- DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica). 1981b. Estudo de Águas Subterrâneas, Região Administrativa 4 (Sorocaba), SP. São Paulo, SP. DAEE, 2v.
- DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica). 1984. Caracterização dos recursos hídricos no Estado de São Paulo. São Paulo, SP. DAEE, 175p.
- DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica). 1988. Água subterrânea: reserva estratégica. Revista Águas e Energia Elétrica, ano 5,13:14-24.
- DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica). 1990. Plano estadual de recursos hídricos: primeiro plano do Estado de São Paulo. São Paulo, SP. 140il., 28 x 43 cm.

DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica) & IGc-USP (Instituto de Geociências da USP). 1981. **Bacia representativa do Alto Turvo: reconhecimento hidrogeológico - relatório da 1ª etapa do programa 1** (DAEE nº 4108/3) São Paulo, SP. 19p., 8 mapas e anexos.

DIOGO, A.; BERTACHINI, A.C.; CAMPOS, H.C.N.S.; LOPES, M.F.C. 1981a. Condições de ocorrência de água subterrânea na Bacia do Rio Piracicaba no Estado de São Paulo. In: 4ª SIMP. BRAS. de HIDROL. e REC. HIDR., Fortaleza, CE. **Atas... ABRH, Fortaleza, 4:621-635.**

DIOGO, A.; BERTACHINI, A.C.; CAMPOS, H.C.N.S.; ROSA, R.B.G.S. 1981b. Estudo preliminar das características hidráulicas e hidroquímicas do Grupo Tubarão no Estado de São Paulo. In: 3ª SIMP. REG. GEOL., Curitiba, PR. **Atas... SBG, Curitiba, 1:359-368.**

DINIZ, H.N. 1990. **Estudo hidrogeológico do subgrupo Itararé no Médio Rio Tietê, Município de Tietê, SP.** São Paulo, SP. 83p. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências - USP).

ECUADOR. 1983. **Mapa hidrogeológico de la República del Ecuador, escala 1:1.000.000.** Ministério de Recursos Naturales y Energético, Quito. Instituto Nacional de Meteorología y Hidrología (INAMHI). Dirección General de Geología y Minas (DGGM).

ENGLAND. 1979. **Hidrogeological map of Hampshire and the Isle of Wight, scale 1:100.000.** Institute of Geological Sciences and Southern Water Authority. London, England.

ENGLAND. 1980. **Hidrogeological map of England and Wales, scale 1:625.000.** Institute of Geological Sciences and Southern Water Authority. London, England.

- FERNANDES, L.A. A cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os Grupos Bauru e Caiuá. 129p. (Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências - USP).
- FERNANDES, L.A. & COIMBRA, A.M. 1992. A cobertura cretácea suprabasáltica no Estado do Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os Grupos Bauru e Caiuá. In: 37º CONGR. BRAS. GEOL., São Paulo, SP. Boletim dos Resumos Expandidos/SBG, 2:506-507.
- FERREIRA, F.J.F.; MORAES, R.A.V.; FERRARI, M.P.; VIANNA, R.B. 1981. Contribuição ao estudo do alinhamento estrutural de Guapiara. In: 3º SIMP. REG. GEOL., Curitiba. Anais... SBG, Curitiba, 1:226-240.
- FRAGA, C.G. 1992. Origem do fluoreto em águas subterrâneas dos sistemas aquíferos Botucatu e Serra Geral da Bacia do Paraná, PR. São Paulo, SP. 178p. (Tese de Doutoramento - Instituto de Geociências - USP).
- FRAGA, C.G. & LISBOA, A.A. 1990. As origens do flúor nas águas subterrâneas da Bacia do Paraná - análise introdutória. In: 6º CONGR. BRAS. AG. SUBT., Porto Alegre, RS. Anais... ABAS, Porto Alegre, 1:98-106.
- FRANCE. 1969. Istres - Eyguières - Plaine de La grau - Carte hydrogéologique de la France (échelle de las feuilles 1:50.000). Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM). Service Géologique Regional Picardie - Normandie.
- FRANCE. 1970. Atlas des eaux souterraines de la France (1:1.200.000; 1:1.000.000; 1:600.000) Bureau de Recherches Géologiques et Minières. 22 cartes.

- FRANCE. 1973. **Carte des eaux minérales et thérmales de la France (1:1.000.000)**. Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM). 1 carte.
- FRANCE. 1975. **Project de nouvelle légend de carte hidrogeologique**. Ministere de l'Industrie et de la Recherche. Service Géologique National. Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) 75, SGN 259 AME.
- FRANGIPANI, A. & HAMZA, V.M. 1987. Mapas de fluxo geotermal do Estado de São Paulo. In: II Encontro Regional de Geofísica, Salvador, BA. **Boletim de Resumos, SBGf, Salvador**. p. 66-67.
- FREEZE, R.A. & CHERRY, J.A. 1979. **Groundwater**. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey 07632., 604p.
- FÚLFARO, V.J.; SAAD, A.R.; SANTOS, M.V.; VIANNA, R.B. 1982. Compartimentação e evolução tectônica da Bacia do Paraná. **Rev. Bras. Geoc., SBG, 12(4):590-611**.
- GALLO, G. & SINELLI, O. 1980. Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas na Região de Ribeirão Preto, SP. **Rev. Bras. de Geoc., SBG, 10(2):129-140**.
- GIAMPÁ, C.E.Q. 1982. Modo de ocorrência dos fluoretos nas águas subterrâneas da Formação Serra Geral. Constatação em Santa Albertina, SP. In: 20 CONGR. BRAS. AG. SUBT., Salvador, BA. **Anais... ABAS, Salvador:299-304**.
- X GIAMPÁ, C.E.Q.; BRUNO, C.R. de M.; SOUZA, J.C. 1981. Água subterrânea das Formações Bauru e Serra Geral no Estado de São Paulo: constatações práticas. **Rev. Ag. Subt. ABAS,(4):17-24**.

- HASUI, Y. 1990. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. In: 1º WORKSHOP SOBRE NEOTECTÔNICA E SEDIMENTAÇÃO CENOZÓICA CONTINENTAL NO SUDESTE BRASILEIRO. Belo Horizonte, MG. **Boletim SBG/Núcleo Minas Gerais**, 11: 1-31.
- HASUI, Y.; ALMEIDA, F.F.M. de; MIOTO, J.A.; MELO, M.S. de. 1982. Geologia, tectônica, geomorfologia e sismologia regionais de interesse às usinas nucleares da Praia de Itaorna. **Monografia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT/Publicação IPT nº 1.225**. São Paulo, SP. 149p., 4 anexos.
- HASUI, Y.; DANTAS, A.S.L.; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI, C.A. 1981. O embasamento Pré-Cambriano e o Eopaleozóico em São Paulo. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo, esc. 1:500.000**. IPT, SP. I:12- 45.
- HEIM, J.D. 1959. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. **U.S. Geological Survey Water - Supply paper 1473**. U.S. Government Printing Office, Washington, U.S. 271p.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 1971. **411 Folhas planialtimétricas, escala 1:50.000**.
- IGC (Instituto Geográfico e Cartográfico). 1985. **Mapa da rede hidrográfica do Estado de São Paulo, escala 1:1.000.000**, São Paulo, SP.
- IGG (Instituto Geográfico e Geológico) 1974. **Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1:1.000.000**, São Paulo, SP.
- IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo). 1981a. **Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000**. Secretaria da Indústria, Ciência e Tecnologia. São Paulo, SP. 2v.

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo). 1981b. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo, escala 1:1.000.000.** Secretaria da Indústria, Ciência e Tecnologia. São Paulo, SP. 2v.

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo). 1986. Estudo de teores anômalos de fluoretos em águas dos aquíferos Botucatu e Serra Geral no Estado de São Paulo. Primeira Etapa de trabalho: análise dos dados disponíveis. **Relatório IPT nº 24.123.** São Paulo, SP. 2v.

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo). 1987a. Águas minerais do Estado de São Paulo: diagnóstico básico. **Relatório IPT nº 25.207/87.** São Paulo, SP. 2v.

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo). 1987b. Levantamento e análise da legislação específica e correlata sobre águas minerais. **Relatório IPT nº 25.753/87.** São Paulo, SP. 1v., 48p.

JAPAN. 1974. **Hidrogeological map of Yu-Gawa and Agatsuma-Gawa Basins, Nagano and Gumma Prefectures, scale 1:50.000.** Geological Survey of Japan. Hydrogeological maps of Japan 23, Printed by Ken-Ichi Tanaka.

KIMMELMANN, A.A.; REBOUÇAS, A.C.; SOUZA, J.C.S.; REBOUÇAS, A.M.; BASTOS FILHO, F.W.; HEINÉ, C.A. 1990. Considerações sobre as anomalias de fluoretos no sistema aquífero Botucatu-Pirambóia, na Bacia do Paraná. In: 6º CONGR. BRAS. AG. SUBT., Porto Alegre, RS. **Anais... ABAS, Porto Alegre:107-111.**

KIMMELMANN, A.A.; SILVA, R.B.G. da.; REBOUÇAS, A.C.; SANTIAGO, M.M.F. 1986. Hidrologia isotópica e química do Aquífero Botucatu, Bacia do Paraná, Brasil. In: 4º CONGR. BRAS. AG. SUBT., Brasília, DF. **Anais... ABAS, Brasília :1-25.**

LEINZ, V. & CARVALHO, A.M.V. de. 1957. Contribuição à geologia da Bacia de São Paulo. *Fac. Fil. Ciênc. Letr. - USP, Bol. nº 205, Geol. 15*, São Paulo, SP.

LEX (Coletânea de Legislação e Jurisprudência). 1978. Volume XLII, julho-dezembro, LEX Editora Ltda. p.1071-1073.

LOGAN, J. 1965. *Interpretação de análises químicas de água*. Recife, PE. U.S. Agency for International Development. 75p.

LOUVRIER, M. 1976. *Aquisition et traitements des données hidrogeochimiques* - Thèse du Diplome de Docteur de 3^e Cycle - Université Pierre et Marie Curie, Paris.

MAACK, R. 1970. *Notas preliminares sobre as águas do sub-solo do Paraná-Uruguai*. Comissão Interestadual da Bacia do Paraná-Uruguai. Curitiba, PR. 162p.

MENTE, A.; PESSOA, M.D.; MONT'ALVERNE, A.F. 1976. Projeto mapa hidrogeológico do Brasil, escala 1:2.500.000. In: 30^a CONGR. BRAS. GEOL., Recife, PE. *Anais... SBG, Recife. 6:2959-2962*.

MENTE, A.; MONT'ALVERNE, A.A.F.; GODOY, E.V. 1988. Mapa hidrogeológico da América do Sul, escala 1:5.000.000 - metodologia de trabalho. In: 5^a CONGR. BRAS. DE ÁGUAS SUBT.; São Paulo, SP. *Anais... ABAS, São Paulo 1:1-11*.

MEZZALIRA, S. 1974. *Apreciação sobre a possibilidade do aproveitamento dos poços perfurados pela PETROBRÁS, no abastecimento de água*. *Rev. Bras. Ag. Subt., Ed. Água Subterrânea Ltda. 1(4):75-80*.

⊗ MEZZALIRA, S.; SALATI, E.; MATSUI, E.; BOTELHO, P.F.; VIEIRA, P.C. 1979. Contribuição geoquímica ao estudo das águas da Formação Bauru na Bacia do Rio São José dos Dourados, SP. *An. Acad. Bras. Ciênc. 51(4):677-694*.

- MIOTO, J.A. 1990. Tentativa de zoneamento sísmico do sudeste brasileiro. In: 1º WORKSHOP SOBRE NEOTECTÔNICA E SEDIMENTAÇÃO CENOZÓICA CONTINENTAL NO SUDESTE BRASILEIRO. Belo Horizonte, MG. Boletim SBG/Núcleo Minas Gerais, 11:33-45.
- MOREIRA-NORDEMANN, L.M. & REBOUÇAS, A.C. 1986. Comportamento geoquímico de íons em águas de chuva e subterrânea. In: 4º CONGR. BRAS. Ag. SUBT., Brasília, DF. Anais... ABAS, Brasília :221- 236.
- NEGRÃO, F.I. 1987. Caracterização hidrogeoquímica e vulnerabilidade do sistema hidrogeológico cárstico da Região de Irecê-Bahia. 86p. 2 mapas. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências - USP).
- ODA, G.H.; YOSHINAGA, S.; IRITANI, M.A.; HASSUDA, S.; CASTRO, S.A.P. de.; HIRATA, R.C.A. 1990. Hidrogeologia da Folha de Salto de Pirapora (SP). In: 6º CONGR. BRAS. AG. SUBT., Porto Alegre, RS. Anais... ABAS, Porto Alegre:164-173.
- * OGAWA, A.T. & CAMPOS, H.C.N.S. 1982. Aplicação de análise fatorial para dados hidroquímicos do Grupo Bauru no Estado de São Paulo. In: 2º CONGR. BRAS. AG. SUBT., Salvador, BA. Anais... ABAS, Salvador:335-344.
- OGAWA, A.T. & CAMPOS, H.C.N.S. 1984. Algumas observações sobre o SIDAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas do DAEE. In: 3º CONGR. BRAS. AG. SUBT., Fortaleza, CE. Anais... ABAS, Fortaleza.:295-304.
- PACHECO, A. 1984. Análise das características técnicas e da legislação para uso e proteção das águas subterrâneas em meio urbano (Município de São Paulo). 174p., 13 anexos. (Tese de Doutorado - Instituto de Geociências - USP).

PARISOT, E.H. 1983. As águas subterrâneas no centro-oeste do Município de São Paulo - características hidrológicas e químicas. 93p. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências- USP).

PARISOT, E.H. & REBOUÇAS, A.C. 1982. Qualidade das águas subterrâneas da região centro-oeste do Município de São Paulo. In: 29 CONGR. BRAS. AG. SUBT., Salvador, BA. Anais... ABAS, Salvador, :379-388.

X PERRONI, J.C.A.; SILVA, R.B.G.; HIRATA, R.C.A.; DOZZI, L.F.S. 1985. Ocorrências de fluoreto nos aquíferos da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo. In: 59 SIMP. REG. GEOL. SBG/SP, São Paulo, SP. Atas... SBG, São Paulo, 2:503-514.

PUERTO RICO. 1965. Hidrogeologic map of Puerto Rico and Adjacent Islands, scale 1:240.000. Department of the Interior. U.S. Geological Survey. Hydrologic Investigation Atlas. Published by the U.S. Geological Survey.

PUERTO RICO. 1985. Hidrogeologic map of Puerto Rico and Adjacent Islands, scale 1:240.000. Department of the Interior. USGS. Published by USGS, 1965, reprinted 1985. Map-HA-197.

X REBOUÇAS, A.C. 1976. Recursos hídricos da Bacia do Paraná. 143p., 2 mapas. (Tese de Livre docência - Instituto de Geociências - USP).

X REBOUÇAS, A.C. 1978. Potencialidades hidrogeológicas dos basaltos da Bacia Sedimentar do Paraná, no Brasil. In: 309 CONGR. BRAS. GEOL., Recife, PE. Anais... SBG, 6:2963-2976.

- RIBEIRO, R.A. 1992. Contribuição ao estudo do fluoreto nas águas subterrâneas da Bacia do Médio Tietê (Região de Piracicaba) - caracterização e metodologias propostas para sua extração. 151p. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências - USP).
- RICCOMINI, C. 1989. O rift continental do sudeste do Brasil. São Paulo, SP. 256p. e anexos. (Tese de Doutorado - Instituto de Geociências- USP).
- ROCHA, G.A. 1982. Carta de recursos hídricos subterrâneos: programa e normas técnicas (preliminar). Departamento de Águas e Energia Elétrica, DAEE, São Paulo, SP. 15p. (circulação restrita).
- ROCHA, G.A. 1984. Uma linha de pesquisa para o conhecimento da origem dos teores anômalos de fluoreto nos aquíferos da Bacia do Paraná - São Paulo. 15p. (Seminário apresentado no Curso de Pós- Graduação GGG-734: GEOQUÍMICA DAS ÁGUAS, Instituto de Geociências, USP).
- * ROCHA, G.A. 1986. Riscos de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo. In: 2ª REUNIÃO DO COMITÊ DO PROGRAMA DE PREVENÇÃO E CONTROLE DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Centro Panamericano de Engenharia Sanitária e Ciências do Meio Ambiente - CEPIS, Cidade do México, informe mimeografado. 30p.
- ROCHA, G.A. & JORBA, A.F. 1982. Manual de operação e manutenção de poços. Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE, SP. 2ª edição, 90p.
- X ROCHA, G.A.; BERTACHINI, A.C.; CAMPOS, H.C.N.S.; CAIXETA, J.B. 1982. Tentativa de zoneamento das características hidráulicas e hidroquímicas do Aquífero Bauru. In: SBG & ABAS - ENCONTRO DE GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA, São Paulo, SP. Publicação nº 9, SBG/SP - ABAS, :37-56.

- ROCHA, G.A.; GIANCURSI, F.D.; PERRONI, J.C.A.; SOBREIRO NETO, A.F.; BERTACHINI, A.C.; CORREA, W.A.G.; CAMPOS, H.C.N.S.; DIOGO, A.; ROSA, R.B.G.S.; CASTRO, C.Q.J. 1979. Hidrogeologia das Bacias dos Rios Aguapeí, Peixe e Paranapanema no Estado de São Paulo. In: 2ª SIMP. REG. GEOL. SBG/SP, Rio Claro, SP. Atas... SBG, Rio Claro 2:85-100.
- SANTORO, J. & MASSOLI, M. 1985. Mapa de contôrno estrutural do topo do basalto subjacente ao Grupo Bauru no Estado de São Paulo. Rev. Inst. Geol., São Paulo, SP.6(1/2):39-44
- SCHOELLER, H. 1962. *Les eaux souterraines*. Paris, Masson. 429p.
- SILVA, L.M. & BASANO, FQ, H. 1972. Levantamento hidrogeológico da formação central da Bacia de São Paulo. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS, São Carlos, SP. Rev. Ag. Subt., Ed. Água Subterrânea Ltda, 1(2).
- SILVA, R.B.G.S. da. 1983. *Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do aquífero Botucatu no Estado de São Paulo*. 133p. 9 pranchas. (Tese de Doutorado - Instituto de Geociências - USP).
- SILVA, R.G.B.S. da.; DIOGO, A.; FRAIHA Jr., S. 1982. Características hidrológicas do aquífero Botucatu no Estado de São paulo. In: 2ª CONGR. BRAS. Ag. SUBT., Salvador, BA. Anais...ABAS, :411-420.
- SILVA, R.G.B.S. da.; KIMMELMANN, A.A.; REBOUÇAS, A.C. 1985. Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do aquífero Botucatu - resultados parciais para a região norte da bacia do Paraná. In: 5ª SIMP. REG. GEOL., SBG, São Paulo, SP. Atas... SBG, São Paulo. 2:489-502.

- SINELLI, O. & GARLA, L.C. 1969. Estudo geoquímico do ferro na água subterrânea do município de Ribeirão Preto, SP. *Ciência e Cultura*, São paulo, SP, 21(2):18.
- SINELLI, O. 1979. *Química das águas subterrâneas: aplicação às águas subterrâneas do Brasil Meridional*. 130p. (Tese de Livre Docência - Fac. Fil. Ciênc. Letr. Ribeirão Preto - USP) (circulação restrita).
- SINELLI, O. & SOUZA, A. de. 1982. Estudo hidroquímico do ciclo hidrológico. In: 29 CONGR. BRAS. AG. SUBT., Salvador, BA. *Anais... ABAS, Salvador.*:317-333.
- SOBREIRO NETO, A.F. & CAMPOS, H.C.N.S. 1980. Análise de agrupamento - um método auxiliar na caracterização de aquíferos. In: 319 CONGR. BRAS. GEOL., Balneário de Camboriú, SC. *Atas... SBG, Camboriú*. 2:1041-1055.
- SOUZA, W.V.V. de. & CAMPOS, H.C.N.S. 1993. *Sistema para análise de informações químicas de águas subterrâneas (SIQUIM)*. In: 18 JORNADA USP/SUCESU - Escola Politécnica - USP. (Aguardando publicação - *Anais... cód. 120*).
- SOUZA, H.B. de. & DERÍSIO, J.C. 1977. *Guia técnico de coleta de amostras*. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. São Paulo, SP.
- SZIKSZAY, M. 1980. Avaliação da qualidade das águas subterrâneas: uma metodologia aplicada nas regiões do Vale do Paraíba e Ribeirão Preto - Estado de São Paulo. *Rev. Ag. Subt.* - ABAS, 2(1):26-32.
- SZIKSZAY, M. 1981. *Hidrogeoquímica das fontes de Águas da Prata, Estado de São Paulo. Origem, classificação e caracterização*. v.1,193p. v.2,89p. (Tese de Livre Docência - Instituto de Geociências - USP) (circulação restrita).

- SZIKSZAY, M. 1990. Estação experimental de hidrogeoquímica (Cidade Universitária, USP). In: Jornadas Científicas. Boletim Especial, Inst. Geoc. USP. :139-142.
- SZIKSZAY, M.; REBOUÇAS, A.C.; ELLERT, N. 1976. Aspectos geoquímicos das águas subterrâneas da Região de Bertioga, Estado de São Paulo, Brasil. Rev. Bras. Geoc., SBG, 6(3):137- 145.
- SZIKSZAY, M. & TEISSEDE, J.M. 1977a. Análise hidrogeoquímica preliminar das fontes dos arredores da Bacia de São Paulo. Rev. Bras. Geoc. - SBG, 1(7):32-44.
- SZIKSZAY, M. & TEISSEDE, J.M. 1977b. Fontes da Estância de Águas da Prata, Estado de São Paulo. Bol. IGUSP, 8:83-96.
- SZIKSZAY, M. & TEISSEDE, J.M. 1981a. "Águas Minerais" no Estado de São Paulo: características físico-químicas e classificação. Bol. IGUSP., 12:11-22.
- SZIKSZAY, M. & TEISSEDE, J.M. 1981b. Fontes da Bacia Sedimentar do Paraná, Estado de São Paulo. Rev. Ag. Subt. - ABAS. 3:85-102.
- SZIKSZAY, M. & TEISSEDE, J.M.; BARNER, V.; MATSUI, E. 1981., Geochemical and isotopic characteristics of springs and groundwater in the State of São Paulo, Brazil. Journal of Hydrology, 54:23-32.
- SZIKSZAY, M.; KIMMELMANN, A.A.; HYPOLITO, R.; FIGUEIRA, R.M.; SAMESHIMA, R.H. 1990. Evolution of the chemical composition of water passing through the unsaturated zone to groundwater at an experimental site at the University of São Paulo, Brazil. Journal of Hydrology, 190:118-175.

- TALTASSE, P.R. 1968. Os facies hidroquímicos no Estado de São Paulo. In: 22º CONGR. BRAS. GEOL., Belo Horizonte, MG. Anais...SBG, Belo Horizonte. 1:263-266.
- TALTASSE, P.R. 1972. Mapas de vulnerabilidade à poluição dos lençóis aquíferos do município de Campinas (Estado de São Paulo). IGUSP. Publ. avulsa nº 1, 12p.; 4 mapas.
- TEISSEDRE, J.M. & MARIANO, J.B. 1978. Possibilidades hidrogeológicas da Bacia de Taubaté, São Paulo. In: 30º CONGR. BRAS. GEOL. SBG, Recife, PE. Anais... SBG, Recife. 6:3003-3011.
- TEISSEDRE, J .M. & BARNER, U. 1981. Comportamento geotérmico e geoquímico das águas do aquífero Botucatu na Bacia do Paraná. Rev. Ag. Subt., ABAS, 4:85-95.
- TEISSEDRE, J.M.; LOPES, M.F.C.; SANCHES, J.L.; SILVA, W.F. da. 1981. Contribuição da hidrogeologia ao conhecimento estrutural do litoral paulista. In: 3º SIMP. REG. GEOL., SBG, Curitiba, PR. Atas... SBG, Curitiba. 1:369-380.
- UNESCO. 1970. International Legend for hydrogeological maps. UNESCO/IASH/IAH/Institute of Geological Sciences. England. 101p.
- URUGUAY. 1986. Elementos del ciclo hidrológico - carta hidrogeológica escala 1:2.000.000. Ministério de Indústria y Energia. Direccion Nacional de Minería y Geología. Division de Águas Subterráneas. 1 texto explicativo y 1 mapa.
- VENEZUELA. 1976. Leyenda del mapa hidrogeológico de Venezuela, escala 1:500.000. Ministério de Minas e Hidrocarburos. Direccion de Geología. Division de Hidrogeología.

- YAMAMOTO, J.K. 1988. Representações gráficas espaciais em geociências auxiliadas por computador. Rev. Bras. Geoc., SBG, 18(1):3-26.
- YOSHINAGA, S. & SILVA, A.A.K. 1988. Estudo hidroquímico e isotópico das águas termominerais de Águas de Lindóia e Lindóia, SP. Resultados preliminares. In: 5º CONGR, BRAS. AG. SUBT., São Paulo, SP. Anais... ABAS, São Paulo. :154-164.
- YOSHINAGA, S.; ODA, G.H.; HIRATA, R.C.A.; CASTRO, S.A.P. de.; HASSUDA, S.; IRITANI, M.A.; OTSUBO, D.M.; GUZZI, R.J. de.; ESTEVES, T.C. 1990a. Contribuições ao conhecimento da hidrologia subterrânea do município de Sorocaba, SP. In: 6º CONGR. BRAS. AG. SUBT., Porto Alegre, RS. Anais... ABAS, Porto Alegre.:154-163.
- YOSHINAGA, S.; SILVA, A.A.K.; MATSUI, E. 1990b. O uso de isótopos estáveis em estudos hidrogeológicos de águas minerais e termais (Região de Lindóia, SP). In: 6º CONGR. BRAS. AG. SUBT., Porto Alegre, RS. Anais...ABAS, Porto Alegre :329-337.
- ZALÁN, P.V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.;ASTOLFI, A.M.; VIEIRA, I.S.APPI, V.T.; ZANOTTO, O.A.; MARQUES, A. 1991. Tectonics and sedimentations of t he Paraná Basin. In: GONDWANA SEVEN ROCEEDINGS. paper presented at the Seventh International Gondwana Symposium. Edited by H. ULBRICH & A.C. ROCHA CAMPOS. Inst. Geoc. - USP - São Paulo, SP.

A N E X O I

SISTEMATIZAÇÃO DO CONHECIMENTO SOBRE A HIDROGEOQUÍMICA DOS
PRINCIPAIS SISTEMAS AQÜÍFEROS DO ESTADO DE SÃO PAULO

Os dados arrolados para a elaboração deste Anexo estavam dispersos em vasta documentação técnica e, em função da necessidade de se tratar tão grande volume de informações, foram adotados alguns critérios de abordagem explanados a seguir.

Foram considerados os dados principais divulgados nos trabalhos referidos no texto e que se acham listados no item Bibliografia.

Procurou-se não apresentar uma análise sobre opiniões conflitantes associadas aos elementos dos estudos hidrogeoquímicos, pois o conteúdo dos trabalhos pode ser fruto de diferentes escalas de investigação, diferentes épocas de amostragem e diferentes laboratórios onde foram feitas análises químicas das águas subterrâneas. A apresentação dos trabalhos, portanto, é descritiva.

As interpretações de diversos autores basearam-se na qualidade química das águas subterrâneas de poços que se destinavam ao abastecimento público, onde as amostras e análises efetuadas visavam quase que exclusivamente verificar a adequação das águas para o consumo humano, isto é, que atendessem aos padrões físico-químicos de potabilidade vigentes na época. A maioria destes trabalhos se dedicavam essencialmente aos estudos da hidráulica dos aquíferos e em menor grau à hidrogeoquímica.

Conseqüentemente, os aquíferos mais "produtores de água" podem receber uma caracterização hidroquímica "mascarada" pela análise química, uma vez que a existência de mais de um aquífero captado ("aquíferos mistos"), torna mais difícil a definição de possíveis "estratificações hidroquímicas". Além disso, soma-se a esta observação o fato de que as amostras são coletadas na boca do poço, não possibilitando nem mesmo para um único aquífero captado, uma correlação precisa com o intervalo ou intervalos produtores (como por exemplo em "aquíferos sedimentares multicamada") e a respectiva composição química das águas.

A interpretação de diversos autores foi mantida mesmo quando utilizaram a mesma fonte de dados (análises químicas de

águas subterrâneas). Os conteúdos, termos, conceitos, unidades e notações, apesar de sintetizados, são fiéis aos trabalhos originais.

Procurou-se, ainda, coadunar os trabalhos pesquisados com uma pré-classificação dos sistemas aquíferos já adotada no item 3.4 como medida simplificadora, ou seja, sistemas aquíferos sedimentares e sistemas aquíferos fraturados. Esta tentativa, porém, nem sempre mostrou-se eficaz pois algumas considerações são feitas sobre um ou mais tipos de aquíferos simultaneamente. Nestes casos, optou-se por uma ou outra idéia mais predominante sobre o assunto tratado.

Sistemas Aquíferos Sedimentares, Permeáveis por Porosidade Granular

. Vales Interiores

SILVA & BASANO (1972), estudando a porção central da Bacia de São Paulo, observaram que nos aluviões quaternários, no que se refere aos cátions analisados, há predominância de cálcio, magnésio e alcalinos; quanto aos ânions, há maior concentração de carbonatos sobre o cloreto e o sulfato.

SZIKSZAY (1980), em estudo realizado no Vale do Paraíba, onde os aluviões quaternários faziam parte dos aquíferos pesquisados, observou o predomínio das águas bicarbonatadas sódicas e/ou cálcicas sobre as águas cloro-sulfatadas sódico-cálcicas.

. Litorâneo

SZIKSZAY et al. (1976), a partir do estudo geoquímico das águas subterrâneas dos sedimentos fluviomarinhas quaternários da região de Bertioga, constatou que: o pH varia de 5,0 a 6,8; o conteúdo de sólidos totais dissolvidos tem uma relação indireta com a espessura dos sedimentos; dois tipos hidroquímicos das águas (cloro-sulfatadas cálcico-magnesianas; cloretadas e/ou bicarbonatadas sódicas) estão direta ou

indiretamente relacionadas com a ação do mar; as águas bicarbonatadas cálcicas são predominantes em aquíferos superficiais e que as origens do ferro, amônia, nitrito, nitrato e gás carbônico é devido a vegetação abundante.

O DAEE (1977 e 1979a), desenvolveu estudo de águas subterrâneas a nível regional na faixa litorânea paulista verificando que nos sedimentos quaternários as águas têm temperatura variando de 23 a 27°C, pH de 4,2 a 7,9, resíduo seco de 72 a 334 mg/l; quanto aos tipos químicos as águas são bicarbonatadas sódicas e secundariamente cloretadas cálcicas. Posteriormente, o DAEE (1984, 1988) e ROCHA (1986) ressaltam que estas águas apresentam pH ácido, resíduo seco inferior a 250 mg/l, sendo que os poços situados mais próximos da costa estão sujeitos à salinização. Em 67% das amostras analisadas, o teor de ferro apresentou-se elevado.

. Taubaté

O DAEE (1977) estuda regionalmente as águas subterrâneas dos "sedimentos terciários da Formação Taubaté" e verifica que o pH varia de 4,5 a 6,5 e que o resíduo seco destas águas varia de 20 a 683 mg/l, com média de 120 mg/l, geralmente não ultrapassando a 300 mg/l de teor salino. Os íons cálcio e sódio predominam sobre o magnésio, entre os cátions; o ânion predominante é o bicarbonato, sendo o conteúdo de cloreto e sulfato muito baixo nas águas.

A CETESB (1978) no seu trabalho "Poluição das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo - Estudo Preliminar", aponta os seguintes valores físico-químicos encontrados nas águas da "Bacia de Taubaté": temperatura 21,0 a 25,0°C; pH 4,0 a 9,0; sólidos totais dissolvidos (média) 132 mg/l; nitrato (média) 0,35 mg/l N; ferro (média) 1,22 mg/l e teores de sulfato inferiores a 250 mg/l.

TEISSEDE & MARIANO (1978) analisam as águas subterrâneas dos sedimentos da Bacia de Taubaté e verificam que o resíduo seco varia de 20 a 683 mg/l (média de 120 mg/l, não ultrapassando 300 mg/l, salvo na sub-Bacia de Tremembé onde

predominam os folhelhos do fácies lacustre), pH geralmente ácido, inferior a 6,5 (na sub-Bacia de Tremembé, o pH varia de neutro a fracamente básico), alcalinidade variando de 1 a 782 mg/l CaCO_3 e dureza total de 0 a 273 mg/l CaCO_3 . Foram encontrados teores relativamente altos de sílica (4 a 75 mg/l), cálcio (0 a 58 mg/l); magnésio (0 a 31 mg/l) com a razão Mg/Ca sempre inferior a 0,6 e sódio (0 a 280 mg/l), sendo que os valores mais altos do sódio foram encontrados em poços que captam águas mais profundas no centro da bacia. O bicarbonato é o ânion predominante enquanto que os teores de cloreto e sulfatos são geralmente muito baixos. As águas podem ser classificadas de bicarbonatadas sódicas, às vezes bicarbonatadas cálcicas, secundariamente sódicas. Os teores de ferro variam de 0,01 a 4,8 mg/l, com valor médio de 0,44; concentrações acima de 0,03 mg/l foram notadas em algumas áreas restritas, próximas dos afloramentos das rochas cristalinas. As temperaturas estão no intervalo de 22^o C a 24^o C, sendo que para as águas de um poço de 500 metros (sub-Bacia de Tremembé), a temperatura atingiu 49^oC.

SZIKSZAY (1980) em estudo metodológico aplicado na avaliação da qualidade das águas subterrâneas do Vale do Paraíba, aponta dois tipos hidroquímicos para os sedimentos da Formação Taubaté: bicarbonatadas sódicas e/ou cálcicas (predominante) e cloro-sulfatadas sódico-cálcicas.

MOREIRA-NORDEMANN & REBOUÇAS (1986), efetuando um estudo sistemático da composição química das águas de chuva e de um poço (Formação Caçapava) na Bacia de Taubaté, observaram que os valores iônicos das águas subterrâneas decrescem na seguinte ordem $\text{K} > \text{Cl} = \text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$; o enriquecimento iônico em K^+ , possivelmente está relacionado com a composição mineralógica dos sedimentos da Formação Caçapava, rica em feldspatos potássicos; a presença do Na^+ parece ser devida à contribuição tanto da água de chuva quanto dos sedimentos; no caso do Cl^- , a chuva parece dar maior contribuição, pois as concentrações deste elemento diminuem à medida em que a estiagem se prolonga; o Ca^{2+} , embora apresentando altos teores nas águas de chuva, aparece empobrecido nas águas do poço pesquisado, levando a crer que

este elemento está sendo retido pelo solo e/ou reciclado pela biomassa; o íon Mg^{2+} é o menos abundante nos três meios considerados (chuva, águas subterrâneas e sedimentos); o pH é superior nas águas subterrâneas (devido a incorporação de íons nas águas, em consequência da percolação) e se situam entre 4,5 e 6,5.

. São Paulo

SILVA & BASANO (1972), a partir das análises químicas das águas subterrâneas dos sedimentos terciários da Bacia de São Paulo, verificaram maiores concentrações de cálcio, magnésio e alcalinos sobre os demais cátions e a predominância do carbonato, cloreto e sulfato entre os ânions.

O DAEE (1975), estudando o aquífero da Bacia de São Paulo na região metropolitana, constatou que cerca de 85% das águas analisadas possuem resíduo seco inferior a 250 mg/l, pH na faixa de 5,5 a 6,5 e dureza $< \text{ou} = 65 \text{ mg/l CaCO}_3$. Os demais parâmetros analisados apresentam os seguintes teores: cloreto $< \text{ou} = 25 \text{ mg/l}$ (85% das amostras); sulfato $< \text{ou} = 80 \text{ mg/l}$ (99% das amostras); nitrato mais nitrito $> 10 \text{ mg/l N}$ em nove poços; fluoreto acima de 2 mg/l em 31% das amostras; boro com teor máximo de 0,03 mg/l; ferro $> 0,3 \text{ mg/l Fe}$ e manganês $> 0,0 \text{ mg/l Mn}$ (em 38% das amostras).

A CETESB (1978) apresenta os seguintes dados para as águas subterrâneas da Bacia: pH em torno de 5,8; sólidos totais dissolvidos para 85% das amostras é inferior a 250 mg/l, sendo que os pontos com maior concentração parecem alinhar-se ao longo dos rios Tietê, Pinheiros e Tamanduateí, mostrando uma possível influência externa (contaminação). Quanto aos demais parâmetros as observações foram estas: nitrato - os poços que ultrapassam a 10 mg/l N encontram-se próximos aos rios já citados; ferro - 27% das amostras apresentam concentrações acima de 1,0 mg/l e 29% acima de 0,3 mg/l; 25% dos teores de fluoreto encontram-se acima de 0,8 mg/l; sulfato com concentrações inferiores a 80 mg/l.

PARISOT & REBOUÇAS (1982) concluem que as águas subterrâneas dos sedimentos terciários da região centro-oeste do

município de São Paulo possuem quantidades muito baixas de sólidos totais dissolvidos de algumas dezenas de mg/l e que são de baixa dureza, com valores mais freqüentes de 1 a 15 mg/l de CaCO_3 .

PARISOT (1983) para a parte ocidental da Bacia de São Paulo, mostra a seguinte classificação química das águas $r\text{Na} \approx r\text{Ca} \approx r\text{K} > r\text{Mg}$; $r\text{Cl} \approx r\text{SO}_4 \approx r\text{HCO}_3 > r\text{NO}_3$ (águas predominantemente bicarbonatadas sódicas e potássicas).

PACHECO (1984) verificou que a água com condutividade acima de 100 micromho/cm, são geralmente de poços localizados em áreas baixas, de possível retenção, de escoamento difícil, o que dá lugar a um maior contato da água com o solo e conseqüentemente, enriquecimento em minerais dissolvidos.

O DAEE (1984 e 1988) e ROCHA (1986), estudando a Bacia de São Paulo, constatam que as águas são, predominantemente, do tipo bicarbonatadas cálcicas, com pH ácido a ligeiramente alcalino, resíduo seco inferior a 250 mg/l, apresentando vários indícios de poluição em poços, ao longo do rio Tietê e afluentes, com resíduo seco acima deste valor e teores excessivos de ferro, nitrato e amônia.

SZIKSZAY (1990) e SZIKSZAY et al (1990), acompanhando a monitoração de um período de 14 meses, em estudo sobre a investigação da dinâmica e evolução na composição química da água infiltrada e sua percolação na zona não saturada - em sitio experimental no Campus da USP, assentado sobre os sedimentos da Bacia de São Paulo, verificaram que a composição química da água na zona não saturada tem importância local, sendo que as maiores concentrações de compostos solúveis na parte próxima à superfície são regidas pela posição da linha de evaporação (0,5-1,5 m). Na parte superior, os fatores que influem na variação da composição química são predominantemente climáticos e influenciados pela presença de vegetação, enquanto que na profundidade são litológicos. A mineralogia do perfil é principalmente composta de quartzo, caolinita, esmectita, goethita e em quantidades menores, muscovita e raramente microclínio. Os resultados mostraram que existe um processo lento da caolinitização sobre a muscovita e o microclínio,

liberando o K⁺. As águas classificam-se como cloretadas sódicas e cloretadas mistas na parte superior da zona não saturada, passando para bicarbonatadas mistas, bicarbonatadas mistas-sódicas até cloretadas sódicas em profundidade, refletindo a influência do clima na parte superior e da litologia na parte inferior do perfil.

. Bauru

TALTASSE (1968) identifica dois facies hidroquímicos para as águas subterrâneas captadas da "Formação Bauru": bicarbonatadas cálcicas e bicarbonatadas magnesianas.

ARID et al. (1969), no estudo hidrogeológico do município de São José do Rio Preto, relatam que embora as águas da "Formação Bauru" sejam ligeiramente aciduladas e com teores razoáveis de bicarbonatos, não chegam a apresentar problemas de corrosão ou de dureza permanente. Em alguns locais, o teor de ferro chega a caracterizar a água como ligeiramente ferruginosa.

O DAEE (1974) para a área nordeste do Estado de São Paulo, distingue dois grupos hidrogeoquímicos em terrenos do Grupo Bauru: águas bicarbonatadas cálcico magnesianas ($rMg > rCa; rMg > rNa \gg rCl$), de baixo teor salino, para as regiões das cidades de Colina e Barretos e águas bicarbonatadas cálcicas: $rCa > rMg; rMg > rNa; rNa \gg rCl$), de alto teor salino, para as regiões das cidades de Monte Azul Paulista, Pirangi, Jaboticabal e norte de Barretos. Este trabalho destaca ainda que o resíduo seco varia de 18 a 200 mg/l, aumentando no sentido do fluxo subterrâneo (de SSE para NNW) dirigido para os principais rios que atravessam a área; a relação Mg/Ca (varia de 0,14 a 1,66) diminui de montante para jusante, inversamente ao aumento dos sólidos totais dissolvidos. O pH destas águas está na faixa de 4,5 a 6,0 e a temperatura (que aumenta para oeste) no intervalo de 22 a 26°C.

O DAEE (1976) para as regiões de Bauru, São José do Rio Preto e Araçatuba (na porção noroeste do Estado de São Paulo) identifica dois grupos hidrogeoquímicos principais para o aquífero Bauru:

$rCa > rMg > rNa$ e $rHCO_3 \gg rCl$ e $rNa > rCa > rMg$ e $rHCO_3 \gg rCl$. Segundo este estudo o primeiro grupo encontra-se principalmente em águas pertencentes ao "Bauru Superior". O segundo grupo reflete o enriquecimento em sódio, proveniente de aquíferos mais profundos. As águas são classificadas como bicarbonatadas cálcicas, secundariamente magnesianas ou sódicas (primeiro grupo) e bicarbonatadas sódicas, secundariamente cálcicas (segundo grupo).

REBOUÇAS (1976) cita que as águas do "sistema aquífero Bauru-Caiuá" apresentam uma mineralização total que não ultrapassa 200 mg/l e que o pH varia de 4,3 a 7,5. Excepcionalmente, dada a influência do cimento calcífero, as águas podem apresentar uma dureza excessiva.

A CETESB (1978) faz o seguinte relato sobre os parâmetros hidroquímicos do "sistema aquífero Bauru" e seus respectivos intervalos de variação: temperatura (22,0 a 26,8°C); pH (4,8 a 9,5); sólidos totais dissolvidos (16 a 358 mg/l), com os teores acima de 250 mg/l "alinhados" na direção aproximada SW nas cidades de Catanduva-Ibirá-Valparaíso-Andradina-Auriflamma-Pereira Barreto; sílica (10 a 37 mg/l); nitrato (média de 3,38 mg/l N); ferro (média de 0,08 mg/l); fluoreto (0,07 a 0,96 mg/l); cálcio (0,0 a 94,0 mg/l); magnésio (0,0 a 27,0 mg/l); sódio (0,2 a 83,0 mg/l).

O DAEE (1979b), para as regiões de Presidente Prudente e Marília, identificou três domínios químicos das águas que circulam no Grupo Bauru, assim distribuídos:

- . as águas dos arenitos cretácicos que apresentam teores salinos mais elevados seguem aproximadamente os domínios geomorfológicos do Planalto de Garça, Espigão Pompéia-Adamantina-Dracena, Espigão Lutécia-Rancharia e Alto de Presidente Prudente. Nestes domínios, predominam águas fortemente bicarbonatadas cálcicas correspondendo, grosseiramente, ao "Bauru Médio e Superior";
- . a partir dos espigões, na direção dos vales dos rios Aguapeí, Peixe e do médio-baixo Paranapanema, as concentrações salinas

diminuem dentro da mesma formação. As águas são mediamente cálcicas e cálcico-magnesianas;

. as águas de concentração salina muito baixa (praticamente desmineralizadas) são características dos baixos cursos dos rios Aguapeí, Peixe, Santo Anastácio e Paranapanema numa faixa de 50 quilômetros, paralela ao rio Paraná. Neste domínio, as águas são fracamente bicarbonatadas e fracamente cálcico-magnesianas, correspondendo ao domínio de ocorrência do "Bauru Inferior". Esta faixa de águas magnesianas parece ser uma zona de transição na evolução hidrogeoquímica regional, no sentido Ca -> Mg -> Na.

MEZZALIRA et al. (1979) estudam a bacia do rio São José dos Dourados e observam que, com relação aos teores excessivos de NO_3 encontrados, possivelmente as idades situadas nas bordas da bacia seriam responsáveis pelo fornecimento do nitrato; as curvas de isoteor maiores encontram-se junto às cidades, principalmente as situadas no espigão norte da Bacia.

ROCHA et al. (1979) observaram para a região das bacias dos rios Aguapeí, Peixe e Paranapanema - através do zoneamento espacial dos tipos hidroquímicos encontrados para o "aquífero Bauru/Caiuá" - dois grupos predominantes: águas fortemente bicarbonatadas, cálcicas e cálcico-magnesianas e águas fracamente bicarbonatadas cálcico-magnesianas.

SOBREIRO NETO & CAMPOS (1980) através da análise de agrupamentos ("Cluster Analysis") aplicada em 65 análises químicas realizadas na porção sudoeste do Estado de São Paulo, utilizando como parâmetros os íons maiores, o pH e a condutividade elétrica das águas, detectaram que as águas bicarbonatadas cálcicas e bicarbonatadas sódicas situam-se no domínio dos espigões. Águas bicarbonatadas mistas ou cálcico-magnesianas estão associadas aos baixos cursos dos rios.

SZIKSZAY (1980) para a região de Ribeirão Preto, classifica as águas do aquífero Bauru como sendo predominantemente bicarbonatadas cálcicas ou cálcico magnesianas.

O DAEE & IGc (1981), visando desenvolver pesquisas de interesse mútuo no campo da hidrogeologia na bacia representativa do Grupo Bauru no Alto Rio Turvo, identificaram nas águas subterrâneas a predominância da família das águas bicarbonatadas cálcicas e semelhanças quanto à concentração total de sais. De montante para jusante nota-se uma evolução no processo de substituição de cátions: aumenta um pouco o teor relativo de sódio, aparecendo um sub-grupo de águas bicarbonatadas sódicas. Ainda neste trabalho foram realizadas determinações da composição isotópica das águas em quatro poços distribuídos ao longo da bacia. As amostras coletadas e analisadas mostram que os valores obtidos situam-se bem próximos da reta padrão de águas meteóricas mundiais, sugerindo que as águas do aquífero provêm de precipitação direta em toda a área.

SZIKSZAY & TEISSEDE (1981b) estudando as fontes da Bacia do Paraná verificaram para a Fonte Quilombo, na cidade do mesmo nome, cuja água captada provém do arenito Bauru, que o pH está entre 8,6 e 8,9; a temperatura oscila entre 27,0°C e 27,2°C; a condutividade elétrica varia de 170 a 640 micromho/cm; os teores de sulfato são bastante elevados (8 a 69,1 mg/l) - estas águas de origem menos profunda, situam-se num alinhamento NW-SE de Icém até Bauru, que forma uma anomalia regional; esta faixa corresponderia a uma zona de fraturas dentro do basalto subjacente e o sulfato seria oriundo de mineralização secundária preenchendo fissuras; outra hipótese seria que estas águas surgentes sejam provenientes de camadas mais profundas com circulação ascendente nessas fraturas, também podendo haver simultaneidade nos dois mecanismos (as Termas de Ibira, que captam águas dos aquíferos Bauru e Basalto encontram-se neste mesmo contexto apresentado para a Fonte Quilombo).

SZIKSZAY et al. (1981) estudando as fontes existentes no Grupo Bauru classificaram suas águas como sendo bicarbonatadas cálcicas e bicarbonatadas sódicas. Os mapas elaborados mostraram ainda que existem zonas com relativa alta concentração de sais nas águas dos aquíferos Bauru e Basalto, coincidindo com anomalias geoquímicas de outros elementos (STD > 250 mg/l) como HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- e Na^+ . Também altas

concentrações de F^- e Boro foram encontradas nestas zonas; a temperatura é maior que o normal regional bem como o pH que varia de neutro a levemente básico. Estas anomalias estão alinhadas ao longo de dois eixos principais orientados na direção N-S e E-W. O eixo E-W coincide com a linha do Rio Grande com cerca de 150 Km de extensão. O eixo N-S inicia-se ao norte, na curva do Rio Grande, estendendo-se sobre uma distância de 300 Km até encontrar uma inflexão do Rio Tietê ao Sul. Pela composição das águas encontradas nestes aquíferos rasos (Bauru + Basalto), que se assemelha com as águas profundas do Botucatu, é possível que grandes fraturas existam no aquífero Basalto com uma extensão vertical de 400 e 500m, permitindo uma circulação ascendente.

OGAWA & CAMPOS (1982) aplicaram a análise fatorial para 427 análises químicas distribuídas por todo o Grupo Bauru, utilizando como parâmetros os íons maiores encontrados nas águas subterrâneas e observaram que existem correlações relativamente altas entre as variáveis HCO_3^- , Ca^{2+} e Mg^{2+} , sugerindo que estes íons seriam responsáveis pela maior parte do conteúdo salino destas águas.

ROCHA et al. (1982) numa tentativa de zoneamento das características hidrogeoquímicas do Grupo Bauru, descrevem em âmbito regional, que as águas pertencem a dois tipos químicos dominantes: o das águas bicarbonatadas cálcicas e o das águas bicarbonatadas cálcico-magnesianas. Zonas de águas bicarbonatadas sódicas ocorrem no extremo oeste da área e nas regiões de Pirapozinho e de Bastos-Rancharia, sendo que estas últimas parecem estar associadas a áreas estruturalmente anômalas. Tanto o zoneamento dos tipos hidrogeoquímicos como a variação dos teores salinos, parecem estar sujeitos à influência das diferentes litologias e de sua expressão geomorfológica. Assim, as águas com teores salinos mais elevados, fortemente bicarbonatadas cálcicas, acompanham aproximadamente os domínios geomorfológicos dos planaltos e espigões que são, via de regra, áreas de ocorrências dos arenitos da parte superior da Formação Adamantina e da Formação Marília. A partir dos espigões, em direção aos vales, as concentrações salinas diminuem, às vezes

dentro da mesma formação, e as águas tornam-se bicarbonatadas cálcico-magnesianas. Nessa progressão, a ocorrência de águas bicarbonatadas sódicas no extremo sudoeste sugere uma evolução hidrogeoquímica no sentido Ca -> Mg -> Na, de montante para jusante dos principais rios interiores que percorrem o Grupo Bauru.

O DAEE (1984), classifica as águas do aquífero Bauru como bicarbonatadas cálcicas e bicarbonatadas cálcico-magnesianas, de resíduo seco menor ou igual a 300 mg/l e pH ácido a ligeiramente alcalino, sendo que nos vales dos rios onde há maior vulnerabilidade à poluição, 10% dos poços apresentam teores maiores que 10 mg/l N de nitratos.

Segundo ROCHA (1986) "em 1984, técnicos do IPT (PERRONI, inf. verbal) efetuaram o cadastramento de pontos d'água numa área rural de 290 Km² (Lagoa São Paulo), situada no extremo oeste do Estado, tendo inventariado 339 poços escavados (cacimbas), 11 poços tubulares e quatro fontes. Do total de pontos d'água foram selecionados 34 para análise físico-química. Os resultados mostravam que apenas oito pontos apresentavam teores aceitáveis de nitrato e nitrito; a maioria das amostras revelava teores de nitrato acima de 18 mg/l, chegando a atingir até 285 mg/l".

ROCHA (1986) e DAEE (1988), citam que de um modo geral, as águas que circulam no aquífero Bauru são bicarbonatadas cálcicas, de baixa concentração salina, com resíduo seco entre 100 e 200 mg/l na maior parte de sua área.

CAMPOS (1987), em uma tentativa de sistematização do conhecimento sobre o comportamento hidrogeoquímico das águas subterrâneas do Grupo Bauru no Estado de São Paulo, chegou a estas principais conclusões:

. em âmbito regional, as águas subterrâneas do Grupo Bauru têm baixa salinidade, com valores de resíduo seco inferiores a 240 mg/l. A faixa de 100 a 200 mg/l é predominante em área. Os valores acima de 200 mg/l são característicos dos espigões e planaltos. Nas áreas de interflúvios e na região do Pontal do

Paranapanema as águas apresentam teores de resíduo seco abaixo de 100 mg/l;

- . as águas subterrâneas apresentam dois tipos químicos dominantes: águas bicarbonatadas cálcicas e águas bicarbonatadas cálcico-magnesianas. Os estudos estatísticos revelaram que os íons HCO_3^- , Ca^{2+} e Mg^{2+} são os principais responsáveis pelo processo de enriquecimento salino das águas. O domínio das águas bicarbonatadas cálcicas abrange cerca de 70% da área de estudo. Além destes grupos químicos predominantes, foram individualizadas duas áreas principais de águas bicarbonatadas sódicas nas regiões de Araçatuba e Presidente Prudente;
- . a composição mineralógica dos sedimentos das distintas formações do Grupo Bauru (à exceção da Formação Caiuá) parece contribuir significativamente para a predominância destes íons maiores: o carbonato de cálcio (calcrete) e os argilo-miñerais, constituintes do cimento das litofácies, devem ser as principais fontes de enriquecimento iônico do meio aquífero;
- . a evolução hidrogeoquímica regional das águas subterrâneas apresenta uma tendência predominante de modificação química no sentido nordeste-sudoeste, acompanhando a resultante dos fluxos da água subterrânea para a confluência dos rios Paraná e Paranapanema. Águas fortemente bicarbonatadas cálcicas passam gradativamente para águas bicarbonatadas cálcico-magnesianas, até atingir uma zona de águas fracamente bicarbonatadas e cloretadas sódicas. Estas três zonas hidrogeoquímicas foram delimitadas na área;
- . pelas características hidrogeoquímicas analisadas, o sistema aquífero Bauru comporta pelo menos uma divisão em duas unidades aquíferas: o "aquífero Caiuá" e o "aquífero Bauru" (constituído pelas formações Marília, Adamantina e Santo Anastácio), isto porque as águas da formação Caiuá apresentam características inteiramente distintas das demais formações.

O IPT (1987a e b) classifica as águas minerais da "Província Mesozóica" do Estado de São Paulo como predominantemente bicarbonatadas cálcicas.

CAMPOS (1988) ressalta que embora o modelo da evolução hidrogeoquímica, apresentado anteriormente pelo mesmo autor em CAMPOS (1987), não mostre um enriquecimento salino, ao nível regional, das águas subterrâneas do sistema aquífero Bauru (talvez associado às diferentes quantidades de carbonato de cálcio-calcrete - ou de argilo-minerais, constituintes do cimento das litofácies das distintas formações do Grupo Bauru) pode-se notar o sucessivo domínio dos íons Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , de nordeste para sudoeste, acompanhando, a grosso modo, a resultante dos fluxos da água subterrânea para a confluência dos rios Paraná e Paranapanema.

BARCHA (1992) estudando os teores de nitrato no meio urbano das cidades de São José do Rio Preto, Catanduva e Mirassol, situadas na região noroeste do Estado de São Paulo, constatou que, em muitos casos, a água subterrânea proveniente do aquífero Bauru utilizada para o abastecimento público, já registra a presença de teores de nitratos acima dos limites máximos da faixa recomendada pela Organização Mundial de Saúde para águas potáveis (até 11,3 mg/l). Os maiores valores encontrados, apontados pelo mesmo autor, ocorrem nas zonas centrais do perímetro urbano das três cidades, em regiões topograficamente mais altas (zonas de recarga). O fluxo subterrâneo poderia estar controlando a maior concentração de nitratos nos poços das zonas de recarga em relação aos poços nos vales dos rios (zona de descarga).

CASTRO et al. (1992) realizando análises sistemáticas de águas de 82 poços tubulares no aquífero Bauru da cidade de São José do Rio Preto, observaram que:

- . a dureza é o marcador mais afetado das águas subterrâneas; os estudos mostram que embora os teores se mostrem dentro dos padrões tolerados (até 200 ppm), têm apresentado inúmeros inconvenientes à população consumidora (desperdício de sabão e

dificuldades de sua remoção; incrustação e corrosão de caldeiras, tubulações, etc.);

. das amostras analisadas, 19% apresentava teores altos de nitratos, constituindo o indicador restritivo da potabilidade das amostras analisadas; os dados revelam que a contaminação por nitratos vem ocorrendo de forma progressivo nas águas subterrâneas nos últimos dez anos; no caso de poços profundos na zona urbana, há sugestivos elementos que reforçam a interpretação de águas contaminadas por teores elevados de nitratos provenientes de despejos de esgotos próximos; o quadro todavia, não é alarmante, podendo a contaminação ser considerada ainda pontual, circunscrita a cada poço tubular, permanecendo o aquífero, como um todo, ainda preservado.

. Caiuá

O DAEE (1979) nas regiões de Presidente Prudente e Marília, identificou águas pouco mineralizadas a desmineralizadas correspondente ao domínio do "aquífero Bauru Inferior/Caiuá". Neste domínio as águas são fracamente bicarbonatadas e fracamente cálcico-magnesianas, com teores de bicarbonato variando de 0,1 a 0,3 meq/l, pH ácido, entre 5,5 a 6,5 e valores de condutividade elétrica variando de 20 a 80 micromho/cm. Segundo este estudo a faixa de águas magnesianas parece ser uma zona de transição na evolução hidroquímica regional, no sentido Ca->Mg->Na.

Para o DAEE (1984) e ROCHA (1986) as águas do "aquífero Caiuá" são bicarbonatadas sódicas, com salinidade inferior a 100 mg/l e pH ácido a ligeiramente alcalino.

CAMPOS (1987 e 1988) em estudo do "sistema aquífero Bauru" no Estado de São Paulo, com base nas características hidrogeoquímicas analisadas, propõe pelo menos uma divisão em duas unidades aquíferas: "aquífero Caiuá" e "aquífero Bauru" (constituindo pelas formações Marília, Adamantina e Santo Anastácio), isto porque as águas da Formação Caiuá apresentam características inteiramente distintas das demais formações: são águas ácidas, de concentração salina muito baixa, com teores de

resíduo seco em torno de 50 mg/l, fracamente bicarbonatadas cálcico-magnesianas, evoluindo para sódicas.

. Botucatu

TALTASSE (1968) analisando a composição química dos terrenos sedimentares do Estado atribui o "facie hidroquímico" de águas bicarbonatadas cálcicas para a "Formação Botucatu".

SINELLI & GARLA (1969) observam a existência de teores de ferro entre 0,4 e 0,8 ppm em cinco poços que captam águas do aquífero Botucatu no município de Ribeirão Preto.

MAACK (1970) relata que as águas do aquífero Botucatu são bicarbonatadas cálcicas e o elevado teor de sulfato encontrado é provavelmente explicado através da presença de gipsita.

O DAEE (1974) pesquisando a hidrogeologia da região de Ribeirão Preto identificou que: o conteúdo de sólidos totais dissolvidos (varia de 22,0 a 150,0 mg/l) e o pH (varia de 4,3 a 8,0), aumentando de leste para oeste; a relação rMg/rCa (varia de 0,0 a 1,66) diminui em direção ao mergulho da camada aquífera, inversamente ao fluxo do escoamento e a concentração de sais; existem três grupos hidrogeoquímicos principais:

(1) $rCa > rMg$; $rMg > rNa$; $rNa > rCl$;

(2) $rCa < rMg$; $rMg > rNa$; $rNa > rCl$;

(3) $rCa > rMg$; $rMg < rNa$; $rNa > rCl$.

MEZZALIRA (1974) na apreciação de análise de poço PETROBRÁS na cidade de Paraguaçu Paulista, verifica que a maior contribuição das águas é do "aquífero Botucatu" (podendo haver também contribuição dos basaltos e dos sedimentos do Grupo Tubarão) com as seguintes características hidrogeoquímicas principais: pH = 9,70; condutividade elétrica = 500 micromho/cm, cloreto = 8 mg/l; fluoreto = 1,5 mg/l; sulfato = 13,0 mg/l.

O DAEE (1976) em estudo das águas subterrâneas das regiões de Bauru, São José do Rio Preto e Araçatuba, verificou que o teor de resíduo seco para as águas do aquífero Botucatu variava de 60,0 a 449,0 mg/l; os teores em sílica de 14,5 a 64,0 mg/l; em sódio de 1,2 a 122,0 mg/l; a alcalinidade variando

de 27,0 a 233,0 mg/l. A classificação química das águas deste aquífero permitiu a separação em dois grupos principais:

Ca > Na > Mg e HCO_3 >> Cl; Na >> Ca e HCO_3 >> Cl.

REBOUÇAS (1976) em análise da potencialidade hídricas da Bacia do Paraná aponta que a mineralização total das águas do sistema aquífero Botucatu é na maioria dos casos inferior a 200 mg/l e em casos muito raros assinala-se a presença de ferro e manganês, o mesmo já não acontecendo com o sódio que pode ser abundante.

A CETESB (1978) em estudo preliminar sobre a poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo, para as regiões de Ribeirão Preto, São José do Rio Preto, Bauru e Araçatuba, constata os seguintes valores para os parâmetros físico-químicos das águas deste aquífero: temperatura (no "aquífero aflorante") de 22,0 a 27,0°C e de 32 a 58,7°C (no "aquífero confinado"), aumentando de SE para NW; pH de 4,3 a 8,0; sólidos totais dissolvidos na parte aflorante varia de 22 a 190 mg/l, na parte confinada varia de 214 a 449 mg/l; sílica de 3 a 64 mg/l (os arenitos são pouco solúveis); nitrato 0,24 mg/l N (média); ferro 0,12 mg/l (média); fluoreto 0,23 mg/l (média); sulfato 68,0 mg/l (em poço em Fernandópolis) e 77,0 mg/l (em poço em Três Lagoas) - possivelmente sobre influência geoquímica das formações confinantes; cálcio de 3 a 44 mg/l; magnésio de 0 a 10 mg/l.

O DAEE (1979b) analisa dois poços profundos no aquífero Botucatu nas cidades de Paraguaçu Paulista e Presidente Prudente que apresentam estas características químicas principais, respectivamente: temperaturas de 49°C e 63°C, sendo que em ambos os poços as concentrações de sais é elevada, notadamente pela presença dos íons bicarbonato, sulfato, cloreto e sódio.

ROCHA et al. (1979) em estudo da hidrogeologia das bacias dos rio Aguapeí, Peixe e Paranapanema relatam que o aquífero Botucatu, em condições de forte confinamento e com área de recarga a grande distância, tem águas bicarbonatadas sódicas, passando a cloro-sulfatadas sódicas.

SINELLI (1979) em estudo químico das águas subterrâneas no Brasil Meridional, verificou um aumento no valor do pH no sentido do movimento das águas no aquífero Botucatu.

GALLO & SINELLI (1980) em estudo hidroquímico das águas subterrâneas na região de Ribeirão Preto, pesquisando os aquíferos Basalto mais Botucatu (trabalho já citado com detalhes, no tocante à hidrogeoquímica no item aquífero Basalto), ressaltam que a Formação Botucatu, constituída predominantemente de grãos de quartzo, praticamente não intervém na composição química dos aquíferos.

SZIKSZAY (1980) descreve que as águas do aquífero Botucatu na região de Ribeirão Preto são predominantemente bicarbonatadas cálcico-magnesianas e secundariamente bicarbonatadas sódicas.

O DAEE (1981a) pesquisando as águas subterrâneas da região de Campinas, teceu estas considerações para as águas do aquífero Botucatu: predomínio de águas bicarbonatadas magnesianas (na parte aflorante), com condutividade elétrica entre 10 a 35 micromho/cm, bicarbonato entre 0,04 e 0,34 meq/l e pH ácido de 4,1 a 6,0.

O DAEE (1981b) estudando a hidrogeologia da região de Sorocaba, aponta que as águas amostradas neste aquífero são todas bicarbonatadas, a maioria cálcicas ou magnesianas, secundariamente sódicas, com condutividade elétrica variando de 11 a 130 micromho/cm; bicarbonato entre 0,04 e 1,3 meq/l; pH ácido de 5,5 a 6,4.

SZIKSZAY et al (1981) verificaram, em estudo de fontes que captam águas do "aquífero Botucatu" que nas partes mais confinadas deste aquífero ocorrem altas concentrações de STD, acompanhado de teores mais elevados de sódio, cloreto e sulfato. O pH é levemente ácido nas áreas de recarga do aquífero e geralmente básico nas partes mais profundas. A temperatura é proporcional ao gradiente geotérmico e atinge valores de até 63°C na profundidade de 1.450 m. As águas são tipicamente bicarbonatadas cálcicas; nas partes mais confinadas as águas mudam para bicarbonatadas sódicas.

DIOGO et al. (1981a) descreveram que as águas do aquífero Botucatu, em uma porção da Bacia do Rio Piracicaba, são predominante bicarbonatadas cálcicas.

TEISSEDE & BARNER (1981) estudando a temperatura e os dados geoquímicos das águas do aquífero Botucatu na Bacia do Paraná observaram que:

- . a temperatura varia de 24,2 a 63°C (com a seguinte equação de temperatura versus profundidade: $T^{\circ}\text{C} = 0,0282 p(m) + 22$, com coeficiente de correlação de 0,99; gradiente geotérmico de 1°C/35m);
- . a concentração é baixa de sais dissolvidos, não ultrapassando 500 mg/l (de sólidos totais dissolvidos ou resíduo seco);
- . os íons predominantes são o bicarbonato e o sódio e existem dois tipos de águas - na área de afloramento e proximidades são bicarbonatadas com a seguinte relação $\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg}$ e $\text{HCO}_3 > \text{Cl}$; - em zonas mais profundas, as águas são bicarbonatadas sódicas ou carbonatadas sódicas, dependendo de altos valores de pH, apresentando as seguintes relações $\text{Na} \gg \text{Ca}$ e $\text{HCO}_3 > \text{Cl}$ ou $\text{Na} \gg \text{Ca}$ e $\text{CO}_3 > \text{Cl}$; observa-se ainda um aumento progressivo do cloreto e do sulfato em função da profundidade do topo do Botucatu e um aumento da dissolução de sílica com a profundidade (SiO_2 (mg/l) = $0,152.p(m) + 16$, com coeficiente de correlação igual a 0.86).

SILVA et al. (1982) estudando as características hidrogequímicas do aquífero Botucatu no Estado de São Paulo, chegaram a estas principais conclusões:

- . existem duas famílias de águas, uma predominantemente bicarbonatadas cálcica, com menor concentração de sais, com resíduo seco variando entre 27 a 291 mg/l; águas bicarbonatadas sódicas com teores salinos mais elevados, onde a maioria apresentam resíduo seco acima de 200 mg/l; pontualmente existem águas bicarbonatadas magnesianas, cloretadas sódicas e sulfatadas sódicas;

- . o pH varia de 5,45 a 9,80, com predomínio nas alcalinas; a temperatura varia de 22 a 25°C na parte aflorante, aumentando gradativamente com a profundidade de confinamento, chegando a 63°C em Presidente Prudente;
- . variação espacial da composição química - na porção aflorante ou próximo a ela, os teores de sais são menos elevados e correspondem ao campo de águas bicarbonatadas sódicas; na zona confinada mais profunda, cresce a concentração de sais dissolvidos e as águas se tornam bicarbonatadas sódicas e cloro-sulfatadas sódicas; a relação r_{Na}/r_{Ca} mostra que estes valores são menores que 0,77 para as águas menos profundas (cálcicas) e aumentam progressivamente à medida que se afastam da área de recarga, até atingir o máximo de 80,2; com o aumento gradativo da temperatura das águas do aquífero Botucatu com a profundidade influencia a dissolução de sílica, sendo provavelmente um dos fatores responsáveis pela diminuição da solubilidade de $CaCO_3$, gerando conseqüentemente, águas menos cálcicas nas zonas mais profundas, o contrário devendo acontecer com o íon Na^+ cuja solubilidade aumenta com a temperatura;
- . o fluoreto aumenta sua concentração na porção confinada do aquífero, não sendo, no entanto progressivo como o observado para outros íons, estando aparentemente relacionado ao crescimento da quantidade de sódio.

SINELLI & SOUZA (1982) interpretando os dados hidroquímicos em parte da bacia hidrográfica do rio Pardo, na região norte do Estado, constataram que as águas do aquífero Botucatu são ácidas, com condutividade elétrica variando de 30 a 108 micromho/cm, com o ânion bicarbonato predominante e apresentando a seguinte seqüência catiônica: $r_{Mg} > r_{Na} > r_{K}$.

SILVA (1983) em trabalho hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do aquífero Botucatu em território paulista conclui principalmente que:

- . as águas predominantes são bicarbonatadas cálcicas e cálcico-magnesianas, com resíduo seco inferior a 294 mg/l e com pH

inferior a 7,5; as águas bicarbonatadas sódicas apresentam resíduo seco entre 61 e 650 mg/l e pH alcalino entre 8,15 e 10,35;

- . os sólidos totais dissolvidos, a temperatura e o pH mostram comportamento interdependente: a elevação de cada um é associada a elevação dos outros dois, evidenciando um aumento progressivo da carga de sais dissolvidos na água e sua tendência de alcalinização no fluxo subterrâneo;
- . a presença dos íons maiores nas águas do aquífero podem ter as seguintes origens - Na^+ e K^+ - feldspatos e solos; Ca^{2+} - águas das chuvas e/ou dissolução dos plagioclásios e calcitas dos basaltos; Mg^{2+} - águas das chuvas e piroxênios dos basaltos; HCO_3^- - reação do gás carbônico do solo com a água; Cl^- - precipitação meteórica e/ou dissolução das micas (sericita e biotita) presentes em pequenas quantidades nas formações Botucatu e Pirambóia e cloritas como minerais secundárias dos basaltos; SO_4^{2-} - águas meteóricas e por dissolução de sulfetos encontrados em pequenas quantidades nos basaltos;
- . em termos regionais, as águas do aquífero Botucatu obedecem uma evolução hidroquímica, observada em três fácies transicionais - a leste, na porção livre do aquífero, predominam águas bicarbonatadas magnesianas e cálcico-magnesianas, ácidas, com resíduo seco inferior a 100 mg/l, temperatura entre 22°C e 25°C; ao longo de uma faixa de 60 km de largura, a partir do contato dos sedimentos das formações Botucatu e Pirambóia com os basaltos da Formação Serra Geral, as águas são bicarbonatadas cálcicas e cálcico-magnesianas (capeamento basáltico pouco espesso e bastante fraturado; início do confinamento), com resíduo seco às vezes superior a 200 mg/l, com temperaturas de até 30°C e com aumento do pH; na zona francamente confinada do aquífero, as águas tornam-se bicarbonatadas sódicas, evoluindo no extremo sudoeste do Estado, para cloro-sulfatadas sódicas, com temperaturas de até 63°C, pH alcalino e resíduos seco atingindo 650 mg/l, com aumento do íon fluoreto.

PERRONI et al. (1985) pesquisando a ocorrência dos fluoretos nos aquíferos da Bacia do Paraná no território estadual, correlacionam a presença destes íons com a temperatura e os teores mais salinos das águas, juntamente com Na^+ , Cl^- , H_2BO_3^- e HCO_3^- . A ocorrência de águas fluoretadas evidencia que, no aquífero Botucatu, apresentam um enriquecimento progressivo para o interior da Bacia e acompanham a evolução química da água com predominância de Na^+ e aumento de SO_4^{2-} e Cl^- . Este trabalho lembra ainda que do ponto de vista mineralógico as rochas das formações Botucatu e Pirambóia (que formam o aquífero Botucatu) dificilmente poderiam dar origem às elevadas concentrações de fluoreto.

SILVA et al. (1985) e KIMMELMANN et al. (1986) em estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do aquífero Botucatu para a região norte da Bacia do Paraná (estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Goiás) observaram que:

- . as águas são fracamente mineralizadas com resíduo seco entre 38 e 362 mg/l, pH de 5,52 a 9,69, predominando águas básicas; as temperaturas nas regiões aflorantes estão entre 24 e 28°C, aumentando no sentido do confinamento até 48°C;
- . quanto às famílias, ou tipos hidroquímicos, existem dois tipos principais - águas bicarbonatadas cálcicas ou mistas, menos salinas, com resíduo seco menor que 119 mg/l, pH entre 5,52 e 8,02, temperatura entre 24,2°C e 38°C, obedecendo a seguinte classificação iônica - $r\text{Ca}^{2+} > r\text{Na}^+ >$ ou $< r\text{Mg}^{2+}$ e $r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- >$ ou $< \text{SO}_4^{2-}$; num outro grupo, de águas bicarbonatadas sódicas, com resíduo seco mais elevado (246 a 362 mg/l), pH básico (8,94 a 9,61) e temperaturas mais elevadas (39 a 48°C), apresentam uma seqüência aniônica semelhante à da família anterior, porém com uma mudança na seqüência catiônica - $r\text{Na}^+ > r\text{Ca}^{2+} > r\text{Mg}^{2+}$;
- . a distribuição espacial das águas cálcicas ou mistas está na parte aflorante do aquífero e onde ele é pouco confinado (a oeste - Mato Grosso do Sul e a leste - São Paulo); as águas

bicarbonatadas sódicas são encontradas no centro da bacia, onde o aquífero é muito confinado.

O DAEE (1984 e 1988) e ROCHA (1986) descrevem para o aquífero Botucatu em território estadual as seguintes características:

- . as águas do aquífero Botucatu, embora fracamente mineralizadas, apresentam um enriquecimento salino desde a área de recarga (a leste) até a região de forte confinamento (a oeste);
- . a leste, na porção livre do aquífero, predominam águas cálcico-magnesianas, com resíduo seco inferior a 100 mg/l e temperatura variável de 22 a 25°C, ao longo de uma faixa de 60 km de largura, o confinamento dos basaltos altera a salinidade e a temperatura das águas para 200 mg/l e 30°C respectivamente (águas bicarbonatadas cálcicas); mas para oeste, na área francamente confinada do aquífero, as águas tornam-se bicarbonatadas sódicas, evoluindo no extremo sudoeste do território paulista, para clorosulfatadas sódicas, com aumento de salinização para até 650 mg/l e temperaturas que chegam a 63°C por causa do grau geotérmico;
- . teores excessivos de fluoreto, acima de 5 mg/l, têm sido detectados em alguns poços de grande profundidades que captam o aquífero confinado; a origem destes teores anômalos provavelmente está associada a fenômenos geotectônicos que engendram a formação de soluções hidrotermais ricas em flúor.

FRAGA & LISBOA (1990) em uma análise introdutória à origem do flúor nas águas subterrâneas da Bacia do Paraná, com base nos dados hidrogeoquímicos disponíveis no Estado do Paraná, afirmam que a origem das mineralizações de flúor, em poços que penetraram parcial ou totalmente os aquíferos Botucatu e Serra Geral, é de origem sedimentar. As concentrações anômalas de fluoreto foram constatadas somente, em termos de procedência, em águas alcalinas, típicas do aquífero Botucatu sob condições de grande confinamento. A atuação de um processo geoquímico de

amplitude regional, sob forte influência morfo climática é responsável pela resolubilização no quaternário, de precipitados químicos, portadores de flúor, originados no período compreendido entre o Triássico Superior e o Jurássico Inferior.

Ainda segundo FRAGA & LISBOA (op. cit.) a origem primária do flúor (área-fonte) é de idade neo-proterozóica, relacionável à presença de fluidos residuais -pós-magmáticos- oriundos dos magmatismos ácido e alcalino granítico, instalado ao longo de fraturas de tração no fim da orogênese brasileira.

KIMMELMAN et al. (1990) em estudo sobre as anomalias de fluoreto na Bacia do Paraná (Estados de São Paulo, do Paraná e Rio Grande do Sul) indicam uma relação entre o teor de fluoreto e a idade das águas, datadas pelo método do carbono-14. Quanto mais antiga a água, isto é, a idade de recarga, mais alto é o teor deste íon, que aumenta na direção de confinamento do aquífero, o que corresponde ao centro da Bacia do Paraná.

FRAGA (1992) no estudo da origem de fluoreto em águas subterrâneas dos sistemas aquíferos Botucatu e Serra Geral da Bacia do Paraná (Estado do Paraná) chega às seguintes conclusões principais:

- . as concentrações de F^- (3,6 a 12 mg/l - máximo observado) estão relacionadas às águas alcalinas do sistema aquífero Botucatu sob condições de grande confinamento. São águas do tipo $SO_4^{2-}Cl^-Na^+$, com temperatura variando de 28 a 52°C (máximo constatado no Paraná). Neste caso, os teores de sólidos totais dissolvidos superiores a 1.000 mg/l são representativos de áreas de estagnação de fluxo, decorrentes da compartimentação que a Bacia do Paraná sofreu com o soerguimento de estruturas marginais e da área central, bem como devido a ocorrência de múltiplas fases de injeção magmática a elas associadas;
- . as áreas potencialmente críticas à ocorrência do F^- nas águas estão diretamente relacionadas aos grandes traços da geometria da bacia deposicional do Pirambóia. As áreas com eixos de maior subsidência, onde há maior superposição e ocorrência de

ciclos fluviais melhor individualizados é que constituem os sítios preferenciais para a ocorrência mais acentuada dos precipitados químicos e, conseqüentemente, das concentrações mais elevadas de F^- na água.

. Aquitardo Passa-Dois

TALTASSE (1968), analisando a composição química das águas subterrâneas dos terrenos sedimentares no Estado de São Paulo identificou para a Formação Irati (Grupo Passa Dois), dois fácies hidroquímicos: cloretadas sódicas e sulfatadas-sulfurosas cálcicas.

O DAEE (1981a), em estudo das águas subterrâneas da região de Campinas, verificou a predominância de águas bicarbonatadas sódicas, com a maior parte apresentando condutividade elétrica superior a 2000 micromho/cm, podendo atingir valores de até 2.000 micromho/cm. Nestas águas podem existir quantidades razoáveis de sulfatos e cloretos; a tendência do pH é ser básico em grande freqüência de valores acima de 8,0.

O DAEE (1981b), para a região de Sorocaba, aponta as seguintes características químicas para as águas subterrâneas do aquitardo Passa Dois: águas bicarbonatadas sódicas (predominante, bicarbonatadas cálcicas, cloretada cálcica ou magnésiana e cloretada sódica; a condutividade elétrica é superior a 590 micromho/cm e pH básico de 7,6 a 8,7.

DIOGO et al. (1981a) em estudo das condições de ocorrência de água subterrânea na Bacia do Rio Piracicaba, apontam dois tipo hidroquímicos para as águas do aquitardo Passa Dois: bicarbonatadas sódicas e bicarbonatadas cálcicas.

SZIKSZAY & TEISSEDE (1981b) analisando a composição química das águas de fontes na Bacia do Paraná verificam que as fontes de Águas de São Pedro (águas do "arenito Botucatu e do Grupo Estrada Nova") são mesotermiais (25 a 52,5°C), com pH abaixo de 7,0 e condutividade elétrica muito elevada de 2.800 a 4.100 micromho/cm. Estas águas são ricas em cloreto e sódio, podendo o fluoreto ser encontrado entre os teores de 8,1 a

10,0 mg/l, refletindo minerais de argila mais ricos em fluoretos, proveniente da alteração de micas; são classificadas como cloretadas sódicas.

PERRONI et al. (1985) pesquisando a ocorrência de fluoreto nos aquíferos da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo, relatam que teores altos de Na^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- e H_2SO_3 são encontrados no "sistema Passa Dois/Tubarão, podendo suas águas atingir até 10.800 mg/l de resíduo seco. Do ponto de vista mineralógico, não pode ser descartada a existência de minerais-fontes nas rochas deste "sistema" - pela diversidade litológica e ambiental - como geradores de altas concentrações de fluoretos. A ocorrência de águas fluoretadas evidencia que no "sistema Passa Dois/Tubarão" existe uma concentração preferencial em direção ao fluxo d'água de leste (valores na ordem de 2 mg/l) para oeste (17 mg/l).

O DAEE (1984) e ROCHA (1986) descrevem a existência de teores excessivos de sulfatos e fluoretos detectados em alguns poços deste aquífero.

. Tubarão

TALTASSE (1968) indica dois fácies hidroquímicos para as águas subterrâneas da "Formação Tubarão": bicarbonatadas sódicas e bicarbonatadas cálcicas.

O DAEE (1981a) para a região de Campinas, em estudo hidrogeológico regional, apresenta as seguintes características químicas: as águas subterrâneas do Grupo Tubarão (principalmente do Sub-Grupo Itararé) são em sua maioria bicarbonatadas sódicas, sendo as concentrações salinas mais fracas encontradas na Formação Aquidauana; de um modo geral, as águas do Grupo tubarão tem condutividade elétrica inferior a 350 micromho/cm, variação de pH de 5,6 a 8,9, com maior frequência de pH básico.

O DAEE (1981b) apresenta para o aquífero tubarão na região de Sorocaba estas características hidroquímicas: águas magnesianas, cloretadas sódicas, como famílias ou tipos hidroquímicos existentes; quanto ao teor salino as águas subterrâneas possuem condutividade elétrica inferior a

790 micromho/cm; o pH varia de 4,0 a 9,0 (de ácido a muito básico).

DIOGO et al. (1981b) em estudo preliminar do comportamento hidrogeológico do Grupo Tubarão, na sua área de ocorrência no Estado de São Paulo, tecem estas considerações:

- . as águas do aquífero Tubarão são, de um modo geral, fracamente salinas, refletindo provavelmente a alta taxa pluviométrica e a densa rede de drenagem característica da região;
- . os teores de resíduo seco variam de 21 a 421 mg/l, com 64% das amostras apresentando valores entre 100 e 200 mg/l. Observa-se que todas as amostras com teores superiores a 200 mg/l são oriundas do Sub-Grupo Itararé. A distribuição espacial destes valores parece indicar uma tendência geral de enriquecimento em sais no sentido da drenagem superficial, de leste para oeste, o que pode ser observado em especial na bacia do Rio Tietê;
- . além dos baixos teores salinos, as águas apresentam pH variando desde ácido até básico com valores entre 4,8 e 9,0. As concentrações de bicarbonato são sempre mais elevadas que as de cloreto e sulfatos, podendo atingir 285 mg/l, enquanto os valores de cálcio variam de 0,0 a 46,4 mg/l e os de sódio de 0,1 a 170 mg/l. Apenas duas amostras ultrapassam 500 micromho/cm de condutividade, sendo que a maioria dos valores são inferiores a 300 micromho/cm.

DIOGO et al. (1981a) ressaltam que as águas do aquífero tubarão na bacia do Rio Piracicaba são predominantemente bicarbonatadas sódicas.

SZIKSZAY & TEISSEIRE (1981b) revelam no estudo da Fonte Natal (aquífero Tubarão) na cidade de Americana, que sua água é bicarbonatada magnésiana, com pH abaixo de 7,0 e condutividade elétrica muito baixa (19 micromho/cm).

PERRONI et al. (1985) através da pesquisa sobre a ocorrência do fluoreto nos aquíferos da Bacia do Paraná, descrevem os altos teores deste elemento encontrados nos

aquífero Tubarão, pela associação deste aquífero ao aquífero Passa-Dois, formando o denominado "sistema Passa Dois-Tubarão".

O IPT (1987a e b) no diagnóstico básico das águas minerais do Estado de São Paulo classifica as águas da "Província Paleozóica" como cloretadas sódicas.

O DAEE (1984 e 1988) e ROCHA (1986) sintetizam os dados hidroquímicos para as águas do aquífero Tubarão no Estado de São Paulo deste modo: predomínio das águas bicarbonatadas sódicas (Sub-Grupo Itararé), secundariamente bicarbonatadas cálcicas (Formação Aquidauana) ou bicarbonatadas mistas, com valores de pH entre 4,8 a 9,0 e resíduo seco entre 21 e 421 mg/l. As águas subterrâneas da Formação Aquidauana possuem valores igual ou maiores que 200 mg/l de resíduo seco.

DINIZ (1990) em estudo hidrogeológico do Sub-Grupo Itararé no médio Tietê no município homônimo, constatou que o pH varia na totalidade das amostras, entre 7 e 9,7, predominando águas alcalinas. A condutividade elétrica é sempre menor que 560 micromho/cm e embora as águas subterrâneas na região sejam sempre bicarbonatadas, não há um tipo de cátion com grande predomínio, podendo ser cálcicas, magnesianas, sódicas ou mistas, variando de forma bastante heterogênea.

ODA et al. (1990) em trabalho no Vale Médio do Rio Tietê, na região centro-leste do Estado de São Paulo verificaram que no aquífero Tubarão as águas são pouco mineralizadas, possuem caráter básico e variam de bicarbonatadas sódicas a bicarbonatadas cálcio-sódicas.

YOSHINAGA et al. (1990) na caracterização hidrogeológica do município de Sorocaba (SP), observaram que as águas do aquífero Tubarão são pouco mineralizadas, bicarbonatadas cálcicas ou mistas e com pH em torno de 7,6.

RIBEIRO (1992) em estudo dos teores excessivos de fluoreto nas águas subterrâneas da Bacia do médio Tietê, região de Piracicaba, conclui que sua origem advém dos aquíferos explorados nos sedimentos do Grupo Tubarão e do Grupo Passa-Dois e ainda das fendas do diabásio intrusivo do Grupo Tubarão. Os excessos de sódio foram os mais elevados em aparecimentos simultâneos, com os excessos de fluoreto nas águas, devido,

possivelmente, à precipitação de fluorita. O pH das águas com excesso de fluoreto variou entre 8 e 9,2 na maior parte dos casos.

. Furnas

Nos trabalhos até aqui pesquisados não encontrou-se dados hidroquímicos disponíveis sobre este aquífero.

Sistemas Aquíferos Fraturados, Permeáveis por Fraturamentos das Rochas

. Serra Geral

O DAEE (1974) em estudo de águas subterrâneas na região de Ribeirão Preto apresenta as seguintes características para as águas dos basaltos: o conteúdo dos sólidos totais dissolvidos (STD) varia de 44 a 280 mg/l (aumento das concentrações concordam com os divisores de águas superficiais - SSE-NNW e NNE-SSW); pH de 4,8 a 7,0, aumentando de leste para oeste; a relação rMg/rCa varia de 0,0 a 1,66 (com valores mais altos na direção dos vales dos rios Sapucaí-Mirim, Moji-Guaçu, Tietê e cidade de São Carlos; na porção norte da área aumenta de acordo com o STD e diminui em relação ao STD, na porção sul); temperaturas variam de 22^o a 29^oC, aumentando para oeste (as temperaturas em torno de 29^oC nos poços das cidades de Viradouro e Itápolis podem ter contribuição das águas do aquífero Botucatu). Quanto à classificação química das águas, o estudo apontou três grupos hidrogeoquímicos, que podem ter evoluído, geoquimicamente, de um para outro:

(1) $rCa > rMg$; $rMg > rNa$; $rNa \gg rCl$;

(2) $rCa > rMg$; $rMg < \text{ou} = rNa$; $rNa > rCl$;

(3) $rCa < rMg$; $rMg < rNa$; $rNa > rCl$.

O DAEE (1976) analisando as características hidrogeoquímicas das águas do aquífero basalto nas regiões de Bauru, São José do Rio Preto e Araçatuba observa que o resíduo seco varia de 35 a 807 mg/l, onde as anomalias "alinham-se" a 3

eixos principais, que passam pelas seguintes cidades: Iacanga-Ibirá-Icém-Paulo de Faria; Icém-Riolândia-Água Vermelha; Araçatuba-Santa Fé do Sul. Estes alinhamentos de anomalias - com teores de resíduo seco acima de 200 mg/l - podem ser explicados através de fraturas ou conjunto de falhas preenchidas por mineralização hidrotermal secundária ou uma origem mais profunda, dos aquíferos subjacentes. A temperatura varia de 22^o a 31,4^oC; o pH varia de 4,8 a 9,7 e os valores acima de 7,0 também acompanham estes alinhamentos citados, além dos teores de sulfatos superiores a 50 mg/l. No que diz respeito à classificação química das águas, elas podem ser classificadas de bicarbonatadas cálcicas, secundariamente magnesianas ou sódicas e bicarbonatadas sódicas.

REBOUÇAS (1976 e 1978) estudando "as zonas aquíferas da Formação Serra Geral" na Bacia do Paraná, revelou que suas águas tem uma forte tendência alcalina e mineralização total inferior a 300 mg/l, ressaltando-se os teores elevados de sílica, superiores a 30 mg/l, em média e de ferro que oscila em torno de 9,8 mg/l.

A CETESB (1978) para as regiões de Ribeirão Preto, Bauru, Araçatuba e São José do Rio Preto, fornecem os seguintes valores - médios ou em intervalos de variação - para os parâmetros físico-químicos analisados: temperatura (22,0 a 27,0^oC); pH (4,8 a 9,5); sólidos totais dissolvidos - STD - (35 a 800 mg/l); sílica (8 a 88 mg/l - proveniente da decomposição química dos plagioclásios, minerais ferro-magnesianos - piroxênios - e minerais secundários, liberando sílica); nitrato (média de 1,33 mg/l N); ferro (média de 0,12 mg/l); fluoreto (0,05 a 8,2 mg/l); sulfato (concentrações superiores a 100 mg/l alinham-se sobre as direções preferenciais das cidades de Iacanga-Icém-Paulo de Faria; Riolândia-Água Vermelha acompanhando as anomalias de temperatura, pH, STD e fluoreto); magnésio (0,0 a 21,0 mg/l); sódio (1,0 a 122 mg/l - pontos mais ricos em sódio são em virtude dos minerais feldspáticos e pirogênicos).

O DAEE (1979b) classifica as águas dos basaltos para a região centro-oeste do território paulista como sendo

fortemente bicarbonatadas, cálcicas e cálcico-magnesianas. As águas dos poços situados próximo aos sistemas de fraturamento, apresentam concentrações de sais mais elevadas do que os poços não associados a fraturas, com valores de pH entre 6,5 a 7,5, condutividade elétrica variando de 80 a 160 micromho/cm e bicarbonato entre 1,0 e 2,0 meq/l; nas águas dos poços não associados a fraturas, com menor concentração de sais, os teores de bicarbonato variam de 0,5 a 1,0 meq/l, pH entre 6,0 e 7,0 e condutividade elétrica entre 50 e 80 micromho/cm. As temperaturas variam de 23 a 24°C.

ROCHA (1979) et. al. em estudo hidrogeológico das bacias dos rios Aguapeí, Peixe e Paranapanema no Estado de São Paulo, identificam as águas dos basaltos como pertencentes a um grupo dominante de águas fortemente bicarbonatadas, cálcicas e cálcico-magnesianas.

GALLO & SINELLI (1980) em estudo hidroquímico das águas subterrâneas na região de Ribeirão Preto, onde os aquíferos pesquisados foram o Basalto e Botucatu, verificaram entre outros resultados que:

- . o pH das águas varia de 5,6 a 8,1. A maioria dos valores situam-se entre 6,0 e 6,5, valor normal para águas que percolam arenitos e rochas ígneas fraturadas; todas as amostras são pouco mineralizadas, apresentando valores de 27 mg/l (leste) a 163 mg/l (oeste);
- . em todas as amostras, os teores dos alcalino-terrosos são superiores ao dos alcalinos ou $rCa + rMg > rNa + rK$; praticamente o único ânion presente é o bicarbonato; quanto à sílica, as águas que percolam os basaltos apresentam valores maiores (30,5 a 29,5 mg/l);
- . o estudo petrográfico dos basaltos mostram que são compostos praticamente por 50% de minerais que apresentam facilidade à alteração (plagioclásios e piroxênios);
- . o caráter químico da água é função da percolação da água, nos solos formados dos produtos de alteração dos basaltos; a Formação Botucatu, constituída predominantemente de grãos de

quartzo, praticamente não intervém na composição química dos "aqüíferos";

- . a mineralização é adquirida pela hidrólise ácida dos minerais do basalto e seus produtos de alteração que constituem os solos da região.

CAMPOS (1981) relatava a metodologia aplicada pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) aplicada na análise geoquímica para o flúor através de amostras de calha coletadas a intervalos de três metros durante a perfuração dos poços. Esta prática fundamentava-se na hipótese de que a contaminação do flúor procedia de níveis mineralizados ao longo da seqüência de derrames basálticos ou da dissolução da concentração de flúor do arenito, incorporado à rocha reservatório sob a forma de cimento. Os resultados analíticos de quatro poços profundos (São José do Rio Preto - dois, Presidente Prudente e Londrina - PR) apoiado em perfilagem elétrica e análises físico-químicas das águas, colocava a seguinte discussão:

- . os teores elevados de flúor em águas provenientes dos sistemas aqüíferos Serra Geral e Botucatu, através de poços profundos, são de caráter local e não há qualquer indicação prévia indireta, no sentido de orientar a escolha da locação de poços, visando minimizar a anomalia;
- . visto que a água captada em superfície, representa uma mistura de diversas entradas presentes na coluna litológica, torna-se muito difícil identificar aquelas responsáveis pela elevação dos teores de flúor obtidos nas águas dos poços;
- . a prática de se efetuar análises quantitativas para flúor em amostras de calha relevou que as oscilações dos teores de flúor estão relacionadas com zonas de fraturas e zonas vesiculares na seqüência dos derrames basálticos e com as variações de argilosidade do corpo arenoso.

O DAEE (1981b) na região de Sorocaba, aponta que as águas dos basaltos são todas bicarbonatadas cálcicas, com a

condutividade elétrica variando de 30 a 120 micromho/cm, teores de bicarbonato entre 0,12 a 1,12 meq/l e pH ácido a levemente básico, na faixa 5,8 a 8,3.

GIAMPÁ et al. (1981) observaram algumas anomalias de teores excessivos de fluoreto nas águas dos poços perfurados nas cidades de Gastão Vidigal (4,4 mg/l e 3,3 mg/l), Colombia (2,0 mg/l), Santa Albertina (2,0 mg/l e 4,6 mg/l) e Miraestrela (2,0 mg/l). A ocorrência segundo estes autores é devido a zonas amigdaloidais e vesiculares bem desenvolvidas, constituindo trechos alterados.

SZIKSZAY & TEISSEDE (1981b) para uma fonte na estância de Águas de Santa Bárbara onde as águas provém da circulação ascendente nas fraturas do basalto (e somente desta rocha), verificaram que a temperatura se encontrava em torno de 27°C, pH abaixo de 7,0, condutividade elétrica na faixa de 170 a 640 micromho/cm e classificada como bicarbonatadas cálcica. As fontes das Termas de Ibirá - águas do arenito Bauru e dos basaltos já foram comentadas pelos mesmos autores, no item "aquífero Bauru" desta síntese.

SZIKSZAY et al. (1981) tecem comentários ao "aquífero Basalto" associando-o ao "aquífero Bauru", em estudo de fontes do Grupo Bauru. As águas são do tipo bicarbonatadas, com a predominância do íon Mg sobre o Ca.

GIAMPÁ (1982) constata que as águas de dois poços perfurados no município de Santa Albertina, com entradas de águas profundas (cerca de 200 m de profundidade) acusaram teores anômalos de flúor, chegando até 4,4 mg/l.

ROCHA (1984) apresentava os números de poços com profundidades muito diferentes (de 100 a 3.663 m) e os aquíferos captados no Estado de São Paulo com águas com teores excessivos de fluoreto (acima de 1,0 mg/l F): Basaltos (13), Botucatu-Pirambóia (7), Passa-Dois (9) e Tubarão (10). Algumas hipóteses foram levantadas na tentativa de explicar a origem destas anomalias sem que no entanto nenhuma possa ainda ser considerada como comprovada, segundo o autor. Elas podem ser assim resumidas:

- . origem nas formações Botucatu e/ou Pirambóia: o fluoreto seria originário da dissolução de minerais fluoretados disseminados nestas formações, processo este acelerado em regiões mais profundas do aquífero, onde as águas apresentam força iônica mais elevada; esta hipótese sugere a que os teores excessivos encontrados nos poços de Presidente Prudente e Londrina (PR) podem estar também influenciados pela presença de intrusivas;
- . origem na Formação Serra Geral: fluoreto originário da dissolução de minerais secundários em zonas intensamente fraturadas e/ou falhadas dos basaltos; esta hipótese não descarta a possibilidade da presença de minerais fluoretados no arenito sotoposto, apostando mais, no entanto, na descendência de águas enriquecidas deste íons do aquífero Serra Geral para o Botucatu;
- . origem nos sedimentos mais antigos (Grupos Passa-Dois e Tubarão): as soluções portadoras de fluoreto, originário da dissolução de minerais fluoretados presentes nestes grupos, ascenderiam para os aquíferos Botucatu e Serra Geral, em regiões estruturalmente propícias.

PERRONI et al. (1985) estudando os teores anômalos de fluoretos encontrados nos aquíferos Passa Dois, Tubarão, Botucatu e Serra Geral da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo, constataram as seguintes características hidrogeoquímicas para as águas dos basaltos:

- . os maiores teores encontrados para o cálcio, magnésio, ferro e nitrato, são do aquífero Basalto;
- . os teores de fluoreto são correlacionáveis com águas mais salinas além do pH, carbonato e sulfato; altos teores de fluoreto e sulfato estão também associados a altos teores de sódio, que é uma composição química rara para águas deste aquífero (normalmente existe predomínio de bicarbonato, cálcio e magnésio);
- . a ocorrência de águas fluoretadas (com valor máximo de 9,2 mg/l), distribuem-se com maior frequência em uma faixa ao

- longo do rio Tietê, sendo comum nestes locais, teores mais elevados de sódio e sulfato;
- . do ponto de vista mineralógico as rochas da Formação Serra Geral dificilmente poderiam dar origem às elevadas concentrações de fluoreto encontradas;
 - . a distribuição espacial de alguns teores excessivos encontrados no aquífero Basalto, em áreas próximas a estruturas geológicas profundas já reconhecidas (alinhamentos estruturais de Guapiara - FERREIRA et al., 1981 e Tietê - COIMBRA et al. 1977, apud PERRONI et al., op. cit.), sugerem possível condicionamento estrutural deste fenômeno; diversos autores têm apontado uma estreita relação entre os magmatismos alcalinos mesozóico e terciário à grande estrutura da Bacia do Paraná; as manifestações hidrotermais, associadas a este tipo de magmatismo apresentam soluções ricas em fluoretos e também podem promover remobilização dos fluoretos eventualmente contido nas rochas encaixantes (ALLMANN & KORITING, 1974, apud PERRONI et al., 1985).

O DAEE (1984 e 1988) e ROCHA (1986) sintetizam os seguintes dados hidrogeoquímicos para o aquífero Basalto: águas predominantemente bicarbonatadas cálcicas, secundariamente magnesianas, com resíduo seco inferior a 200 mg/l, pH entre 6,0 e 7,0 e anomalias hidroquímicas, associadas a sistemas de fraturas, com valores de resíduo seco da ordem de 800 mg/l e teores excessivos de fluoretos.

O IPT (1986) em estudo de teores anômalos de fluoretos em águas dos aquíferos Botucatu e Serra Geral no Estado de São Paulo resume as seguintes hipóteses para explicar os fenômenos responsáveis mais diretos pela ocorrência de águas fluoretadas:

- . as diversas fases de magmatismo, associadas à reativação Wealdeniana teriam propiciado a ação de fontes de flúor, através de perturbações térmicas e circulação de fluidos que teriam remobilizado o flúor contido nos sedimentos paleozóicos, durante o fluxo ascendente destes fluidos,

através de fraturas, os sedimentos mesozóicos e os próprios basaltos teriam sofrido mineralizações que poderiam ser consideradas fieanas epitermais;

. embora se reporte aos sedimentos paleozóicos como fonte original de flúor, sejam em concentrações ou disseminados nos sedimentos pré-existentes, poderiam também ter existido, principalmente, junto à depressão periférica, fluidos originalmente ricos em flúor, derivados, por exemplo, de magmatismo alcalino.

. Diabásio

O DAEE (1981 a e b) em estudo das águas subterrâneas das regiões de Campinas e Sorocaba identificou as seguintes características químicas para as águas dos diabásios (apesar da escassez de dados disponíveis): condutividades elétricas geralmente acima de 200 micromho/cm, altos teores de bicarbonatos e até teores razoáveis de sulfatos e cloretos; a tendência do pH é ser básico.

DIOGO et al. (1981a) em estudo hidrogeológico de uma porção da bacia do Rio Piracicaba, verificaram dois tipos hidroquímicos para as águas dos diabásio: bicarbonatadas cálcicas e bicarbonatadas sódicas.

SZIKSZAY et al (1981) e SZIKSZAY & TEISSEDE (1981a), analisando as águas de fontes proveniente dos diabásios, observaram que o tipo químico predominante é de águas bicarbonatadas sódicas.

SINELLI & SOUZA (1982) investigando fontes de águas dos diabásios em parte da bacia do rio Pardo (norte do Estado), perceberam que as mesmas tem uma tendência de serem águas neutras a básicas e com a seguinte classificação química: $rCa > rMg > rNa > rK$ e $rHCO_3 > rNO_3 > rCl > rSO_4$.

. Cristalino

LEINZ & CARVALHO (1957) afirmavam que toda a água subterrânea encontrada na "Bacia de São Paulo" é potável, tanto

do ponto de vista químico como biológico. A dosagem de sulfatos, nitratos, nitritos e amônia foi negativa em todos os casos, e dos elementos inorgânicos destacam-se principalmente a sílica, cujo teor elevado é comum quando se trata de água proveniente de "rochas cristalinas". Em água de tal origem é baixo o teor de ferro, mas naquela originária de "sedimentos" o teor de Fe_2O_3 é muito alto.

TALTASSE (1968) classifica as águas do Complexo Cristalino como pouco mineralizadas, do tipo bicarbonatadas sódica e potássica e secundariamente magnesianas.

SILVA & BASANO (1972) em levantamento hidrogeológico da porção central da Bacia de São Paulo, comentam que o resíduo seco nas águas dos granitos e gnaisses é pouco elevado (devido a difícil dissolução dos seus elementos) sendo mais elevado nas rochas xistosas e no regolito. O pH é ácido, com abundante teores de sílica; predominam nestas águas o sódio e o potássio com pouco cálcio (com exceção para os anfibolitos) e magnésio; entre os ânions predomina o bicarbonato sobre o cloreto, e o sulfato é raro.

O DAEE (1977) no trabalho de reconhecimento hidrogeológico regional da região de São José dos Campos (Bacia de Taubaté) comenta que as águas subterrâneas do cristalino investigado apresentam valores de resíduo seco que variam de 58 a 200 mg/l.

SZIKSZAY & TEISSEDE (1977a) pesquisando as fontes existentes na Estância de Águas da Prata, constataram que as águas provenientes das rochas alcalinas, possuem pH em torno de 7,0, condutividade elétrica variando de 24 a 3.400 micromho/cm, podendo ser classificada como bicarbonatadas sódica.

SZIKSZAY & TEISSEDE (1977b) na análise hidrogeoquímica preliminar das fontes dos arredores da Bacia de São Paulo, verificaram que as águas apresentam baixo conteúdo em sais (para a maioria dos cátions, ânions e elementos analisados os teores são muito baixos) com condutividade elétrica entre 24 e 107 micromho/cm, pH de 4,7 a 5,5, podendo ser classificadas como predominantemente bicarbonatadas magnesianas e secundariamente como cálcicas ou sódicas.

A CETESB (1978) apresenta os seguintes dados físico-químicos para as águas subterrâneas do cristalino nas regiões da Grande São Paulo e de São José dos Campos: temperatura de 16,0 a 24,4°C, pH 5,3 (média), sólidos totais dissolvidos 144 mg/l (média) e ferro 0,45 mg/l (média).

O DAEE (1979a) investigando os aquíferos da faixa litorânea do território paulista, subdivide o cristalino pela classificação geoquímica das águas subterrâneas: "cristalino do Vale do Ribeira" e "cristalino do Litoral". As águas do "cristalino do Vale do Ribeira" têm as seguintes características: temperatura média de 24,3°C; resíduo seco de 72 a 334 mg/l; bicarbonato - média de 93 mg/l; cloreto não ultrapassando 20 mg/l; sódio - valores inferiores a 35 mg/l; cálcio - média de 21 mg/l; magnésio - média de 8,5 mg/l; são águas bicarbonatadas cálcicas, secundariamente sódicas ou magnesianas ($\text{HCO}_3 \gg \text{Cl} > \text{SO}_4$ e $\text{Ca} > \text{ou} = \text{Na} + \text{K} > \text{Mg}$). As águas do "cristalino do Litoral" apresentam: temperatura média de 23,9°C; resíduo seco alcançando até 10.600 mg/l; bicarbonato de 20 a 370 mg/l; cloreto de 13 a mais de 6.000 mg/l; sódio de 7 a 1.740 mg/l; cálcio de 4 a 1.670 mg/l; magnésio de 2,8 a 330 mg/l; as águas são cloretadas sódicas, secundariamente cálcicas ($\text{Cl} \gg \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$ e $\text{Na} + \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg}$).

SINELLI (1979) em estudo de fontes localizadas nos granitos da região de São Paulo, mostrou que o pH ácido, indica equilíbrio com o argilo-mineral caolinita.

O DAEE (1981a) na região de Campinas, identifica as seguintes características para o aquífero Cristalino: águas predominantemente bicarbonatadas cálcicas, secundariamente bicarbonatadas sódicas, com condutividade elétrica inferior a 200 micromho/cm e pH de 4,8 a 7,1.

O DAEE (1981b) em estudo das águas subterrâneas da região de Sorocaba constata que as águas do cristalino são bicarbonatadas cálcicas, secundariamente sódicas, com condutividade elétrica inferior a 260 micromho/cm e pH variando de ácido a levemente básico, de 5,9 a 7,7.

DIOGO et al. (1981a) investigando as características hidrogeológicas da Bacia do Rio Piracicaba, verificam a

predominância de águas bicarbonatadas cálcicas para as águas subterrâneas do aquífero cristalino.

SZIKSZAY (1981) estudando a hidrogeoquímica das fontes de Águas da Prata, se refere às águas bicarbonatadas sódicas como as provenientes das rochas alcalinas da área.

SZIKSZAY et al. (1981) e SZIKSZAY & TEISSEDE (1981a) estudando as águas de fontes distribuídas sobre as rochas do "complexo cristalino", observaram que as águas são predominantemente bicarbonatadas magnesianas ou bicarbonatadas sódicas.

TEISSEDE et al. (1981) comentam que as águas subterrâneas do aquífero na faixa do litoral paulista, com maiores concentrações de sais (acima de 250 mg/l), são provenientes de fraturas profundas que prolongam-se até o mar. São águas cloretadas sódicas, secundariamente cálcicas.

PARISOT & REBOUÇAS (1982) avaliando a qualidade das águas subterrâneas da região centro-oeste do município de São Paulo, relatam que as águas do aquífero cristalino são pouco duras com valores de 30 a 100 mg/l CaCO_3 .

PARISOT (1983) através do estudo das características hidrogeológicas e químicas das águas subterrâneas no centro-oeste do município de São Paulo, apresenta a seguinte classificação química para as águas do aquífero cristalino: $r\text{Na} = r\text{Ca} > r\text{K} = r\text{Mg}; r\text{HCO}_3 > r\text{Cl} = r\text{SO}_4 > r\text{NO}_3$ (águas bicarbonatadas sódicas e bicarbonatadas cálcicas). Neste estudo o autor ainda comenta que o mecanismo essencial de alteração de minerais silicatados, constituintes das rochas cristalinas, na zona tropical, é a hidrólise (PEDRO, 1964, apud PARISOT, op. cit.); a hidrólise da albita libera o sódio e a hidrólise da anortita, libera o cálcio.

BERTACHINI (1987) em estudo das características hidrogeológicas dos terrenos cristalinos na região de Jundiaí tece os seguintes comentários sobre a hidroquímica:

. são águas pouco mineralizadas com resíduo seco entre 62 e 376 mg/l, bicarbonatadas cálcicas, com pH entre 6,1 e 7,5, com dureza inferior a 120 mg/l CaCO_3 ;

- . segundo a análise de agrupamentos (Cluster Analysis) realizada entre variáveis, ficou caracterizado que parâmetros como profundidade, capacidade específica e espessura de alteração do manto saturado, não interferem diretamente no comportamento hidrogeoquímico das águas; em outra análise, verificou-se que o sódio e o potássio são correlacionáveis com o aumento dos sólidos totais dissolvidos; a associação ou não de poços aos lineamentos com forte evidência de fraturas, não modifica a composição química das águas subterrâneas;
- . as fraturas mais superficiais são mais abertas e interconectadas entre si causando maior renovação da água e menor concentração progressiva; as fraturas mais profundas são menos permeáveis, acarretando maior tempo de residência da água provocando uma concentração progressiva.

O DAEE (1984 e 1988) e ROCHA (1986), sintetizam deste modo as características químicas das águas do aquífero cristalino no Estado de São Paulo: os tipos químicos predominantes são águas bicarbonatadas cálcicas na maior parte da área (com pH ácido a neutro, fracamente mineralizadas com resíduo seco inferior a 250 mg/l) e águas cloretadas sódicas na faixa litorânea (apresentando valores elevados de resíduo seco de até 10.000 mg/l e de ferro).

O IPT (1987a e b) no diagnóstico básico das águas minerais do Estado de São Paulo classifica as águas da "Província Pré-Cambriana" de bicarbonatadas sódicas.

YOSHINAGA & SILVA (1988) em monitoração hidroquímica e isotópica das águas de fontes termominerais de Águas de Lindóia e Lindóia, concluíram preliminarmente que:

- . do ponto de vista hidroquímico as águas são bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas;
- . o nitrato encontrado em excesso deve provir da influência antrópica, devido ao uso e preservação inadequadas das fontes.

CAVALCANTE (1990) em estudo de terrenos cristalinos com manto de intemperismo na região de Atibaia (SP), observou

que as águas do manto são essencialmente bicarbonatadas cálcicas e as do meio fraturado são bicarbonatadas mistas gradando para sódicas e cálcicas. A caolinita e a montmorilonita cálcica são os dois principais argilo-minerais liberadores dos íons predominantes nas águas subterrâneas.

ODA et al. (1990) observaram que as águas do aquífero cristalino no vale médio do Rio Tietê, na região centro-leste do Estado de São Paulo, são pouco mineralizadas, têm caráter ácido e são predominantemente águas bicarbonatadas mistas.

YOSHINAGA et al. (1990a) em trabalho de caracterização hidrogeológica do município de Sorocaba (SP), verificaram que as águas do aquífero cristalino têm o pH em torno de 6,6, são pouco mineralizadas e o elemento flúor, geralmente em baixas concentrações é encontrado em 10 poços do aquífero.

YOSHINAGA et al. (1990b) em estudo da origem e dos processos de mineralização das águas minerais dos municípios de Águas de Lindóia e Lindóia, na região nordeste do Estado de São Paulo, revelaram que as águas de fontes e poços tubulares caracterizam-se por possuir uma baixa condutividade elétrica (entre 9 micromho/cm a 165 micromho/cm), pH entre 5,00 e 7,70 e valores de temperatura variando de 18 a 28°C. A composição química das águas expressa as seguintes seqüências de concentrações de íons principais (em meq/l) : $rCa > rMg = rNa > rK$ e $rHCO_3 > rCl = rNO_3 > rSO_4$. Por meio do diagrama Piper, as águas se classificam, predominantemente como bicarbonatadas cálcicas e bicarbonatadas cálcio-magnesianas, características de terrenos ígneos. A composição química das águas é oriunda da hidrólise dos minerais das rochas (plagioclásios, ortoclásios, biotita, hornblenda e muscovita) e, secundariamente, da troca de bases e oxidação. O fenômeno da hidrólise e da oxidação ocorreria no manto de alteração, onde a água que se infiltra ataca os minerais e se enriquece de íons. Ainda segundo estes autores, nas fraturas, devido à grande dinâmica de circulação, o processo mais significativo é a troca de bases. A aplicação dos isótopos de hidrogênio e oxigênio-18 nas águas das fontes e poços tubulares definiu sua origem

meteórica. A média das concentrações de oxigênio-18 das águas estudadas não reflete o valor médio ponderado das chuvas, indicando áreas de recarga fora do local de estudo.

A N E X O II

INVENTÁRIO DE DADOS DE ANÁLISES QUÍMICAS

No	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31	P32	P33	P34	P35	P36	P37	P38	P39	P40	P41	P42	P43	P44	P45	P46	P47	P48	P49	P50	P51	P52	P53	P54	P55	P56	P57	P58	P59	P60	P61	P62	P63	P64	P65	P66	P67	P68	P69	P70	P71	P72	P73	P74	P75	P76	P77	P78	P79	P80	P81	P82	P83	P84	P85	P86	P87	P88	P89	P90	P91	P92	P93	P94	P95	P96	P97	P98	P99	P100	P101	P102	P103	P104	P105	P106	P107	P108	P109	P110	P111	P112	P113	P114	P115	P116	P117	P118	P119	P120	P121	P122	P123	P124	P125	P126	P127	P128	P129	P130	P131	P132	P133	P134	P135	P136	P137	P138	P139	P140	P141	P142	P143	P144	P145	P146	P147	P148	P149	P150	P151	P152	P153	P154	P155	P156	P157	P158	P159	P160	P161	P162	P163	P164	P165	P166	P167	P168	P169	P170	P171	P172	P173	P174	P175	P176	P177	P178	P179	P180	P181	P182	P183	P184	P185	P186	P187	P188	P189	P190	P191	P192	P193	P194	P195	P196	P197	P198	P199	P200	P201	P202	P203	P204	P205	P206	P207	P208	P209	P210	P211	P212	P213	P214	P215	P216	P217	P218	P219	P220	P221	P222	P223	P224	P225	P226	P227	P228	P229	P230	P231	P232	P233	P234	P235	P236	P237	P238	P239	P240	P241	P242	P243	P244	P245	P246	P247	P248	P249	P250	P251	P252	P253	P254	P255	P256	P257	P258	P259	P260	P261	P262	P263	P264	P265	P266	P267	P268	P269	P270	P271	P272	P273	P274	P275	P276	P277	P278	P279	P280	P281	P282	P283	P284	P285	P286	P287	P288	P289	P290	P291	P292	P293	P294	P295	P296	P297	P298	P299	P300	P301	P302	P303	P304	P305	P306	P307	P308	P309	P310	P311	P312	P313	P314	P315	P316	P317	P318	P319	P320	P321	P322	P323	P324	P325	P326	P327	P328	P329	P330	P331	P332	P333	P334	P335	P336	P337	P338	P339	P340	P341	P342	P343	P344	P345	P346	P347	P348	P349	P350	P351	P352	P353	P354	P355	P356	P357	P358	P359	P360	P361	P362	P363	P364	P365	P366	P367	P368	P369	P370	P371	P372	P373	P374	P375	P376	P377	P378	P379	P380	P381	P382	P383	P384	P385	P386	P387	P388	P389	P390	P391	P392	P393	P394	P395	P396	P397	P398	P399	P400	P401	P402	P403	P404	P405	P406	P407	P408	P409	P410	P411	P412	P413	P414	P415	P416	P417	P418	P419	P420	P421	P422	P423	P424	P425	P426	P427	P428	P429	P430	P431	P432	P433	P434	P435	P436	P437	P438	P439	P440	P441	P442	P443	P444	P445	P446	P447	P448	P449	P450	P451	P452	P453	P454	P455	P456	P457	P458	P459	P460	P461	P462	P463	P464	P465	P466	P467	P468	P469	P470	P471	P472	P473	P474	P475	P476	P477	P478	P479	P480	P481	P482	P483	P484	P485	P486	P487	P488	P489	P490	P491	P492	P493	P494	P495	P496	P497	P498	P499	P500	P501	P502	P503	P504	P505	P506	P507	P508	P509	P510	P511	P512	P513	P514	P515	P516	P517	P518	P519	P520	P521	P522	P523	P524	P525	P526	P527	P528	P529	P530	P531	P532	P533	P534	P535	P536	P537	P538	P539	P540	P541	P542	P543	P544	P545	P546	P547	P548	P549	P550	P551	P552	P553	P554	P555	P556	P557	P558	P559	P560	P561	P562	P563	P564	P565	P566	P567	P568	P569	P570	P571	P572	P573	P574	P575	P576	P577	P578	P579	P580	P581	P582	P583	P584	P585	P586	P587	P588	P589	P590	P591	P592	P593	P594	P595	P596	P597	P598	P599	P600	P601	P602	P603	P604	P605	P606	P607	P608	P609	P610	P611	P612	P613	P614	P615	P616	P617	P618	P619	P620	P621	P622	P623	P624	P625	P626	P627	P628	P629	P630	P631	P632	P633	P634	P635	P636	P637	P638	P639	P640	P641	P642	P643	P644	P645	P646	P647	P648	P649	P650	P651	P652	P653	P654	P655	P656	P657	P658	P659	P660	P661	P662	P663	P664	P665	P666	P667	P668	P669	P670	P671	P672	P673	P674	P675	P676	P677	P678	P679	P680	P681	P682	P683	P684	P685	P686	P687	P688	P689	P690	P691	P692	P693	P694	P695	P696	P697	P698	P699	P700	P701	P702	P703	P704	P705	P706	P707	P708	P709	P710	P711	P712	P713	P714	P715	P716	P717	P718	P719	P720	P721	P722	P723	P724	P725	P726	P727	P728	P729	P730	P731	P732	P733	P734	P735	P736	P737	P738	P739	P740	P741	P742	P743	P744	P745	P746	P747	P748	P749	P750	P751	P752	P753	P754	P755	P756	P757	P758	P759	P760	P761	P762	P763	P764	P765	P766	P767	P768	P769	P770	P771	P772	P773	P774	P775	P776	P777	P778	P779	P780	P781	P782	P783	P784	P785	P786	P787	P788	P789	P790	P791	P792	P793	P794	P795	P796	P797	P798	P799	P800	P801	P802	P803	P804	P805	P806	P807	P808	P809	P810	P811	P812	P813	P814	P815	P816	P817	P818	P819	P820	P821	P822	P823	P824	P825	P826	P827	P828	P829	P830	P831	P832	P833	P834	P835	P836	P837	P838	P839	P840	P841	P842	P843	P844	P845	P846	P847	P848	P849	P850	P851	P852	P853	P854	P855	P856	P857	P858	P859	P860	P861	P862	P863	P864	P865	P866	P867	P868	P869	P870	P871	P872	P873	P874	P875	P876	P877	P878	P879	P880	P881	P882	P883	P884	P885	P886	P887	P888	P889	P890	P891	P892	P893	P894	P895	P896	P897	P898	P899	P900	P901	P902	P903	P904	P905	P906	P907	P908	P909	P910	P911	P912	P913	P914	P915	P916	P917	P918	P919	P920	P921	P922	P923	P924	P925	P926	P927	P928	P929	P930	P931	P932	P933	P934	P935	P936	P937	P938	P939	P940	P941	P942	P943	P944	P945	P946	P947	P948	P949	P950	P951	P952	P953	P954	P955	P956	P957
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

#	PL	Feço	Coord	Coord	SR	Use	Prof	Cota	Aquis.	Data	T. No	pm	PK	Cond	Cond	Cond	Ma*	H*	Ca**	Mg**	Fe sol	MO*	CO*	OK*	SO**	Cl*	NO*	R.S.	R.V.	H			
Ord	DAME	DAME	N-E	N-E	AR	Agua	Agua	Agua	Agua	Coleta	Agua	Cam	Lab	Campo	Sub	Cond	Ma*	H*	Ca**	Mg**	Fe sol	MO*	CO*	OK*	SO**	Cl*	NO*	105	180	mg/l			
142	59	5	7716,10	782,30	07	PU		351,00		06/12/85	24,0	6,50	8,84			143	27,00	22,00	0,50	10,20	0,90		71,00	17,00			0,50	0,01	0,16	5,00	121	120	
143	61	3	7704,70	200,05	07	PU		167,00	662	05/12/82						154	46,00	10,00	1,30	16,00	2,00	0,01	60,00			3,00		0,00	0,31	24,00	100	122	
144	61	4	7695,50	199,90	07	PU		163,00	662	15/01/73	25,0					112	59,00	12,00	1,60	17,00	4,00	0,03	68,00			3,50		0,10	4,00	148	148		
145	61	5	7703,10	204,85	07	PU		100,50	690	12/01/73	24,1					7,21	110	46,00	4,00	2,30	14,00	2,00	0,15	59,00			0,50		0,17	38,00	106	106	
146	61	6	7703,10	205,00	07	PU		120,00	694	08/12/73						7,06	100	42,00	4,00	1,50	14,00	2,00	0,02	51,00			0,50		0,17	38,00	100	100	
147	61	7	7703,07	213,45	07	PU		135,00	760	08/08/86	30,0					7,47	110	32,00	10,00	1,10	9,00	2,00	0,03	53,00			1,20		0,10	27,00	84	84	
148	61	14	7706,45	200,00	07	PU		450,00		02/08/86	35,0	6,00	0,21			0,29	130	53,00	6,00	4,30	0,35	1,83	71,00		1,40	2,00	0,05	0,01	2,10	136	128	86,00	
149	61	15	7720,20	211,20	07	PU		580,70		02/08/86	35,0	6,00	0,21			0,29	130	53,00	6,00	4,30	0,35	1,83	71,00		1,40	2,00	0,05	0,01	2,10	136	128	86,00	
150	63	2	7716,15	261,85	07	PU		305,00	730	DEBO	26/02/73	28,0				6,00	147	71,00	11,20	3,68	19,20	1,40	75,00		1,00	1,00	0,02	0,25	15,00	124	124		
151	63	2	7716,15	261,85	07	PU		305,00	730	DEBO	15/12/72					6,00	147	61,00	7,40	4,60	19,20	2,00	0,01	84,00		1,00	1,00	0,02	0,25	15,00	124	124	
152	63	4	7726,77	250,25	07	PU		144,00	983	07/02/73	23,0					7,60	168	70,00	3,40	4,80	16,00	7,00	0,01	44,00		1,00	11,50		0,18	44,00	172	172	
153	63	10	7716,10	262,35	07	PU		180,00	950	NO	26/02/73	25,0				9,30	195	58,00	18,50	5,38	16,00	4,00	97,00	1,00	3,00		0,10	20,00	140	140			
154	63	11	7726,02	253,20	07	PU		63,90	994	NO	26/02/73	22,5				7,14	62	20,00	25,00	4,70	7,00	1,00	32,00			0,50		0,10	20,00	140	140		
155	65	1	7703,10	443,30	02	AR		310		NO	23/06/75					4,82	225	96,00	9,70	2,50	22,00	5,20	121,00		1,00	5,50	0,44	0,22	36,40	150	150		
156	65	3	7703,10	439,10	02	AR		100,30	310	NO	23/06/75					7,50	250	99,00	10,70	3,40	10,90	3,20	121,00		1,00	5,50	0,44	0,22	36,40	150	150		
157	65	11	7679,90	425,55	02	AR		70,20	262	BA	01/07/75	24,2				7,55	55	14,00	2,30	6,80	4,00	0,50	0,11	22,00		1,00	1,00	0,01	0,10	66	60,80		
158	65	12	7681,70	433,60	02	AR		85,20	270	BA	01/07/75	24,0				7,50	55	29,00	3,10	6,30	8,00	1,40	0,09	41,00		1,00	0,50	0,22	0,17	47,00	96	96	
159	65	19	7689,65	442,10	02	AR		144,00	365	BASG	01/07/75	24,2				8,00	120	39,00	5,60	9,50	9,60	3,60	0,47	54,00		1,00	1,50	0,01	0,29	44,00	92	6,40	
160	65	22	7693,15	444,55	02	AR		126,00	362	BASG	01/07/75	24,8				8,05	140	16,00	3,80	7,10	10,80	5,60	0,11	60,00		1,00	1,50	0,01	0,29	44,00	92	6,40	
161	66	2	7692,65	449,25	02	AR		152,00	383	BA	01/07/75	24,6				8,00	225	94,00	5,00	7,30	24,00	8,20	0,01	108,00		1,00	1,50	0,01	0,29	44,00	148	148	
162	66	6	7690,05	459,22	02	AR		94,00	395	BA	01/07/75	24,4				7,05	100	19,00	7,50	7,30	5,20	1,40	0,02	19,00		2,00	3,00	7,90	0,25	55,00	106	2,00	
163	66	8	7690,05	465,45	02	AR		90,00	395	NO	01/07/75	24,4				6,95	105	26,00	3,00	13,40	6,40	2,40	0,02	22,00		2,00	5,00	3,30	0,17	40,00	116	116	
164	66	11	7679,90	415,10	02	AR		100,00	410	NO	01/07/75	24,9				7,35	238	82,00	5,90	8,80	16,80	9,40	0,01	59,00		1,00	10,00	10,40	0,25	32,00	168	0,80	
165	66	17	7694,30	459,50	02	AR		100,00	410	NO	08/07/75	24,2				6,55	140	32,00	4,00	15,80	8,80	2,40	0,02	95,00		1,00	10,00	10,40	0,25	32,00	168	0,80	
166	66	19	7698,50	472,70	02	AR		160,00	355	BASG	21/05/76	25,0	5,70			7,02	210	106,00	2,10	4,10	30,60	7,30	0,01	66,00		1,00	10,00	16,40	0,51	46,00	201	116	
167	66	21	7689,35	460,00	02	AR		146,00	392	BASG	08/07/75	25,0				7,90	300	124,00	10,20	9,70	35,80	7,80	1,40	99,00		1,00	12,00	10,60	0,13	43,00	236	236	
168	66	24	7689,07	460,25	02	AR		80,00	352	BA	14/07/75	24,0				8,25	250	123,00	6,40	9,20	36,10	8,00	0,01	114,00		1,00	3,50	2,30	0,37	56,00	194	2,00	
169	66	28	7689,00	460,00	02	AR		90,00	375	BA	14/07/75	24,3				7,42	250	121,00	6,00	7,80	31,20	10,40	0,01	115,00		1,00	9,50	5,50	0,40	47,00	230	2,40	
170	66	31	7687,65	461,12	02	AR		80,00	360	BA	14/07/75	24,0				7,42	250	121,00	6,00	7,80	31,20	10,40	0,01	115,00		1,00	9,50	5,50	0,40	47,00	230	2,40	
171	66	35	7689,70	460,77	02	AR		90,00	382	BA	14/07/75					7,85	250	122,00	6,20	10,20	20,00	10,20	0,01	60,00		1,00	7,00	1,00	0,25	46,00	174	2,40	
172	66	39	7699,03	461,00	02	AR		90,00	388	BA	14/07/75	24,4				8,09	150	46,00	4,90	8,90	15,20	1,20	0,01	47,00		1,00	6,00	2,90	0,21	42,00	102	0,20	
173	66	41	7692,27	463,61	02	AR		85,00	395	BA	14/07/75	24,5				8,00	250	89,00	4,90	8,30	23,60	7,20	0,01	90,00		1,00	3,50	2,30	0,32	56,00	156	0,80	
174	66	43	7688,92	463,30	02	AR		90,00	379	BA	14/07/75	24,9				8,35	190	67,00	5,20	8,80	16,80	3,10	0,01	52,00		1,00	6,00	5,50	0,19	49,00	198	0,20	
175	66	51	7688,65	463,00	02	AR		116,00	390	BA	21/07/75	25,5				6,90	250	27,00	2,00	9,10	7,20	1,20	0,05	19,00		1,00	6,00	5,50	0,19	49,00	198	0,20	
176	66	56	7691,70	463,00	02	AR		50,00	370	BA	21/07/75	25,0				6,20	200	102,00	4,00	6,70	27,40	8,10	0,01	120,00		1,00	2,50	2,50	0,84	39	56,00	170	1,60
177	66	63	7699,10	459,15	02	AR		100,00	400	BA	21/07/75	24,4				7,55	130	51,00	5,90	9,10	11,40	5,40	0,02	70,00		2,00	2,50	2,50	0,23	30,00	120	0,20	
178	66	65	7699,10	459,15	02	AR		100,00	400	BA	21/07/75	24,4				7,55	130	51,00	5,90	9,10	11,40	5,40	0,02	70,00		2,00	2,50	2,50	0,23	30,00	120	0,20	
179	66	66	7699,50	464,20	02	AR		170,00	385	BA	21/05/76	24,3	5,30			7,90	225	98,00	14,90	10,20	18,60	12,50	0,01	112,00		1,00	5,00	0,34	0,23	51,00	164	0,80	
180	66	82	7679,90	471,20	02	AR		149,50	410	ADSA	20/05/87	26,0				7,02	27	221,00	0,80	7,60	43,60			130,00		1,00	3,50						

No	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	W12	W13	W14	W15	W16	W17	W18	W19	W20	W21	W22	W23	W24	W25	W26	W27	W28	W29	W30	W31	W32	W33	W34	W35	W36	W37	W38	W39	W40	W41	W42	W43	W44	W45	W46	W47	W48	W49	W50	W51	W52	W53	W54	W55	W56	W57	W58	W59	W60	W61	W62	W63	W64	W65	W66	W67	W68	W69	W70	W71	W72	W73	W74	W75	W76	W77	W78	W79	W80	W81	W82	W83	W84	W85	W86	W87	W88	W89	W90	W91	W92	W93	W94	W95	W96	W97	W98	W99	W100	W101	W102	W103	W104	W105	W106	W107	W108	W109	W110	W111	W112	W113	W114	W115	W116	W117	W118	W119	W120	W121	W122	W123	W124	W125	W126	W127	W128	W129	W130	W131	W132	W133	W134	W135	W136	W137	W138	W139	W140	W141	W142	W143	W144	W145	W146	W147	W148	W149	W150	W151	W152	W153	W154	W155	W156	W157	W158	W159	W160	W161	W162	W163	W164	W165	W166	W167	W168	W169	W170	W171	W172	W173	W174	W175	W176	W177	W178	W179	W180	W181	W182	W183	W184	W185	W186	W187	W188	W189	W190	W191	W192	W193	W194	W195	W196	W197	W198	W199	W200	W201	W202	W203	W204	W205	W206	W207	W208	W209	W210	W211	W212	W213	W214	W215	W216	W217	W218	W219	W220	W221	W222	W223	W224	W225	W226	W227	W228	W229	W230	W231	W232	W233	W234	W235	W236	W237	W238	W239	W240	W241	W242	W243	W244	W245	W246	W247	W248	W249	W250	W251	W252	W253	W254	W255	W256	W257	W258	W259	W260	W261	W262	W263	W264	W265	W266	W267	W268	W269	W270	W271	W272	W273	W274	W275	W276	W277	W278	W279	W280	W281	W282	W283	W284	W285	W286	W287	W288	W289	W290	W291	W292	W293	W294	W295	W296	W297	W298	W299	W300	W301	W302	W303	W304	W305	W306	W307	W308	W309	W310	W311	W312	W313	W314	W315	W316	W317	W318	W319	W320	W321	W322	W323	W324	W325	W326	W327	W328	W329	W330	W331	W332	W333	W334	W335	W336	W337	W338	W339	W340	W341	W342	W343	W344	W345	W346	W347	W348	W349	W350	W351	W352	W353	W354	W355	W356	W357	W358	W359	W360	W361	W362	W363	W364	W365	W366	W367	W368	W369	W370	W371	W372	W373	W374	W375	W376	W377	W378	W379	W380	W381	W382	W383	W384	W385	W386	W387	W388	W389	W390	W391	W392	W393	W394	W395	W396	W397	W398	W399	W400	W401	W402	W403	W404	W405	W406	W407	W408	W409	W410	W411	W412	W413	W414	W415	W416	W417	W418	W419	W420	W421	W422	W423	W424	W425	W426	W427	W428	W429	W430	W431	W432	W433	W434	W435	W436	W437	W438	W439	W440	W441	W442	W443	W444	W445	W446	W447	W448	W449	W450	W451	W452	W453	W454	W455	W456	W457	W458	W459	W460	W461	W462	W463	W464	W465	W466	W467	W468	W469	W470	W471	W472	W473	W474	W475	W476	W477	W478	W479	W480	W481	W482	W483	W484	W485	W486	W487	W488	W489	W490	W491	W492	W493	W494	W495	W496	W497	W498	W499	W500	W501	W502	W503	W504	W505	W506	W507	W508	W509	W510	W511	W512	W513	W514	W515	W516	W517	W518	W519	W520	W521	W522	W523	W524	W525	W526	W527	W528	W529	W530	W531	W532	W533	W534	W535	W536	W537	W538	W539	W540	W541	W542	W543	W544	W545	W546	W547	W548	W549	W550	W551	W552	W553	W554	W555	W556	W557	W558	W559	W560	W561	W562	W563	W564	W565	W566	W567	W568	W569	W570	W571	W572	W573	W574	W575	W576	W577	W578	W579	W580	W581	W582	W583	W584	W585	W586	W587	W588	W589	W590	W591	W592	W593	W594	W595	W596	W597	W598	W599	W600	W601	W602	W603	W604	W605	W606	W607	W608	W609	W610	W611	W612	W613	W614	W615	W616	W617	W618	W619	W620	W621	W622	W623	W624	W625	W626	W627	W628	W629	W630	W631	W632	W633	W634	W635	W636	W637	W638	W639	W640	W641	W642	W643	W644	W645	W646	W647	W648	W649	W650	W651	W652	W653	W654	W655	W656	W657	W658	W659	W660	W661	W662	W663	W664	W665	W666	W667	W668	W669	W670	W671	W672	W673	W674	W675	W676	W677	W678	W679	W680	W681	W682	W683	W684	W685	W686	W687	W688	W689	W690	W691	W692	W693	W694	W695	W696	W697	W698	W699	W700	W701	W702	W703	W704	W705	W706	W707	W708	W709	W710	W711	W712	W713	W714	W715	W716	W717	W718	W719	W720	W721	W722	W723	W724	W725	W726	W727	W728	W729	W730	W731	W732	W733	W734	W735	W736	W737	W738	W739	W740	W741	W742	W743	W744	W745	W746	W747	W748	W749	W750	W751	W752	W753	W754	W755	W756	W757	W758	W759	W760	W761	W762	W763	W764	W765	W766	W767	W768	W769	W770	W771	W772	W773	W774	W775	W776	W777	W778	W779	W780	W781	W782	W783	W784	W785	W786	W787	W788	W789	W790	W791	W792	W793	W794	W795	W796	W797	W798	W799	W800	W801	W802	W803	W804	W805	W806	W807	W808	W809	W810	W811	W812	W813	W814	W815	W816	W817	W818	W819	W820	W821	W822	W823	W824	W825	W826	W827	W828	W829	W830	W831	W832	W833	W834	W835	W836	W837	W838	W839	W840	W841	W842	W843	W844	W845	W846	W847	W848	W849	W850	W851	W852	W853	W854	W855	W856	W857	W858	W859	W860	W861	W862	W863	W864	W865	W866	W867	W868	W869	W870	W871	W872	W873	W874	W875	W876	W877	W878	W879	W880	W881	W882	W883	W884	W885	W886	W887	W888	W889	W890	W891	W892	W893	W894	W895	W896	W897	W898	W899	W900	W901	W902	W903	W904	W905	W906	W907	W908	W909	W910	W911	W912	W913	W914	W915	W916	W917	W918	W919	W920	W921	W922	W923	W924	W925	W926	W927	W928	W929	W930	W931	W932	W933	W934	W935	W936	W937	W938	W939	W940	W941	W942	W943	W944	W945	W946	W947	W948	W949	W950	W951	W952	W953	W954	W955	W956	W957
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

