



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS - ÁREA DE
GEOENGENHARIA DE RESERVATÓRIOS

Alexandre Campanhe Vidal

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DOS
COMPARTIMENTOS ESTRUTURAIS DA BACIA DE TAUBATÉ**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências, como
requisito parcial para obtenção do título de Mestre em
Geociências - Área Geoengenharia de Reservatórios.

Orientador: Dr. Chang Hung Kiang - UNESP

CAMPINAS - SÃO PAULO

Agosto - 1997

Este exemplar corresponde à
redação final da tese defendida
por Alexandre Campanhe Vidal
e aprovada pelo Conselho Julgador
em 05/09/97.


ORIENTADOR

V667c

31845/RC



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS - ÁREA DE
GEOENGENHARIA DE RESERVATÓRIOS**

Alexandre Campana Vidal

**CARACTERIZAÇÃO HIDROEQUÍMICA DOS
COMPARTIMENTOS ESTRUTURAIS DA BACIA DE
TAUBATÉ**

Dissertação apresentada ao Instituto de Geociências com
requisito parcial para obtenção do título de Mestre em
Geociências – Área de Geoengenharia de Reservatórios.

Orientador: Chang Hung Kiang 

CAMPINAS - SÃO PAULO

AGOSTO - 1997



367716

UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	Unicamp
V667c	
V	Ed.
TOMBO BC/	31845
PROG.:	281/97
	D ☒
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	18/10/97
N.º CPD	

CM-00102233-2

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA I.G. - UNICAMP

Vidal, Alexandre Campane

V667c Caracterização hidrogeoquímica dos compartimentos
estruturais da Bacia de Taubaté / Alexandre Campane
Vidal.- Campinas, SP.: [s.n.], 1997.

Orientador: Chang Hung Kiang

Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de
Campinas, Instituto de Geociências

Sedimentar (geologia) 5.7
1. *Hidrogeoquímica - Bacia Taubaté. 2. Geoestatística
3. Análise Multivariada. * I. Kiang, Chang Hung. II.
Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.
III. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS - ÁREA DE
GEOENGENHARIA DE RESERVATÓRIOS

AUTOR: Alexandre Campana Vidal

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DOS
COMPARTIMENTOS ESTRUTURAIS DA BACIA DE TAUBATÉ

ORIENTADOR: Chang Hung Kiang

Aprovada em: 05/09/97

PRESIDENTE: Prof. Dr. Chang Hung Kiang

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Prof. Dr. Chang Hung Kiang (Orientador)

Prof. Dr. Armando Zaupa Remacre

Prof. Dr. Osmar Sinelli

Campinas, de de



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS – ÁREA DE
GEOENGENHARIA DE RESERVATÓRIOS**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Sebastião e Laura, e a minha companheira Ana Cristina.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS – ÁREA DE
GEOENGENHARIA DE RESERVATÓRIOS

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Hung Kiang Chang, pelo incentivo e disponibilidade durante todo o trabalho.

Ao professor, Armando Zaupa Remacre, pelas sugestões técnicas e abertura para discussões dos problemas apresentados durante a tese.

Ao Moacir Cornetti pelo auxílio na confecção de programas para a interpretação dos dados.

Um agradecimento especial ao geólogo João Simanke Souza e ao engenheiro Roberto Messias de Moraes, ambos da SABESP, pelo apoio ao trabalho, aos gerentes de cada cidade da Bacia de Taubaté onde a SABESP está presente e aos funcionários que auxiliaram na etapa de coleta de amostras.

Ao SAEEG de Jacareí e Guaratinguetá e seus funcionários, pelo auxílio na etapa de coleta de dados.

A química Mirtis Malgutti (IG-UNESP) pela análise dos cátions e ao técnico José Aparecido (SABESP) pela execução e cooperação durante as análises químicas dos ânions.

Aos colegas de classe pelo cooperativismo e solidariedade.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS – ÁREA DE
GEOENGENHARIA DE RESERVATÓRIOS**

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DOS
COMPARTIMENTOS ESTRUTURAIS DA BACIA DE TAUBATÉ**

Resumo

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Alexandre Campana Vidal

O sistema aquífero Taubaté corresponde a uma das principais fontes de exploração de água do Estado de São Paulo. É representado por sedimentos terciários da Bacia de Taubaté, de origem lacustre e fluvial.

Este trabalho contou com a revisão dos dados disponíveis na bibliografia e nos órgãos destinados ao abastecimento público. Um banco de dados atual foi realizado através da coleta e análise físico-química das águas de poços.

Para a determinação e caracterização dos tipos hidroquímicos foi utilizada a estatística convencional e multivariada de análise de agrupamento. A configuração da distribuição dos tipos foi realizado através de métodos geoestatísticos.

Ao todo foram definidos quatro tipos hidroquímicos que possuem uma relação direta com a litologia da bacia. As amostras do tipo I foram retiradas dos arenitos dos sedimentos fluviais; as amostras do tipo II, inseridas nos sedimentos fluviais, mas com marcada influência de minerais carbonáticos; as do tipo III, com influência direta de sedimentos lacustres e, por fim, as do tipo IV, presentes exclusivamente nos sedimentos lacustres.

Os diferentes pacotes litológicos originaram águas distintas. As águas correspondentes a sedimentação fluvial, de baixa salinidade e pH, apresentam suas composições químicas

controladas principalmente pelas reações de substituição e dissolução de silicatos. As águas referentes aos sedimentos lacustres, caracterizadas pela alta salinidade e concentração dos íons sódio e bicarbonato, são controladas pelas reações de dissolução de carbonatos e de troca iônica das argilas.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS - ÁREA DE
GEOENGENHARIA DE RESERVATÓRIOS

Hydrochemical characterization of aquifers os compartments of Taubaté Basin

Abstract

MASTER DISSERTATION

Alexandre Campana Vidal

The aquifer system of Taubaté stands for one of the main supplies of groundwater in São Paulo State. It is represented by terciary sediments of Taubaté Bassin, of lacustrine and fluvial origin.

This work had a initial stage of collecting data disposable in the bibliography and in the department destined to the public supply.

To determine and to characterize the hydrochemical types was utilized the conventional and multivariate statistical. The configuration of distribution of types was done through geoestatistical method.

Altogether were defined four hydrochemical types, which have a direct relation with the litology of bassin. The samples of type I are inserted in sandstones of fluvial sediments; the samples of type II, inserted in the fluvial sediments too, but with important influence of carbonates minerals; the water of type III has a direct influence of lacustrine sediments; and, at last, the type IV are inserted only in lacustrine sediments.

The different litologic groups originate distint water, the water corresponds the fluvial sediments, low salinity and pH, show its chemical composition controlled mainly by substitutions and dissolution reactions of silicates. As the water corresponds at the lacustrine

sediments, was characterized by high salinity and concentration of sodium and bicarbonate ions, it was controlled by reactions of dissolution of carbonate and ion exchange of clays.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos	3
1.2. Estrutura da dissertação	3
2. BACIA DE TAUBATÉ	5
2.1. Aspectos Fisiográficos	5
2.1.1. Clima	5
2.1.2. Geomorfologia	6
2.2. GEOLOGIA	8
2.2.1. Embasamento Pré-Cambriano	8
2.2.2. Intrusões Jurássico-Cretácicas	8
2.2.3. Sedimentos Terciários - Bacia de Taubaté	8
2.2.3.1. Litologia e Estratigrafia	8
2.2.3.2. Compartimentação Estrutural	12
2.3. Hidrogeologia e Hidrogeoquímica	15
2.3.1. Hidrogeologia	15
2.3.2. Hidrogeoquímica	19
3. METODOLOGIA	23
3.1. Coleta de dados iniciais	23
3.2. Etapa de campo e laboratório	23
3.3. Análises de Laboratório	25
3.4. Processamento dos dados	25
3.5. Seleção dos Dados	29
4. HIDROGEOQUÍMICA DA BACIA DE TAUBATÉ	31
4.1. Determinação dos tipos hidroquímicos	31
4.2. Distribuição dos tipos hidroquímicos	39
4.2.1. Caracterização hidroquímica do Compartimento Jacareí-São José dos Campos	42
4.2.1.1. Distribuição dos íons	43
4.2.1.2. Análise Geoestatística do STD	46

4.2.2. Caracterização hidroquímica do Compartimento Quiririm-Taubaté e dos Altos Caçapava e Pindamonhangaba	52
4.2.2.1. Distribuição dos íons	54
4.2.2.2. Análise Geoestatística	54
4.2.3. Compartimento Aparecida-Lorena e Alto de Pindamonhangaba.	59
4.2.3.1. Distribuição dos íons	61
4.2.3.2. Análise Geoestatística	61
4.3. Mapa de salinidade	66
5. INTERAÇÃO ROCHA - FLUIDO	71
5.1. Descrição litológica	71
5.1.1. Descrição dos arenitos em superfície	71
5.1.2. Descrição dos arenitos em subsuperfície	73
5.1.3. Descrição dos sedimentos lacustres	74
5.1.4. Processos Diagenéticos	75
5.2. Comportamento dos íons maiores	75
5.3. Parâmetros termodinâmicos	81
5.3.1. Diagramas de atividade	81
5.3.2. Índice de Saturação	81
5.4. Evolução Hidroquímica das águas	86
5.4.1. São José dos Campos	87
5.4.2. Taubaté	90
5.4.3. Lorena	91
6. CONCLUSÕES	93
7. BIBLIOGRAFIA	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 Mapa de localização da área em estudo, com as principais cidades e vias de acesso (Fernandes, 1993).	2
Figura 2-1 Distribuição da precipitação pluviométrica durante um ano na Bacia de Taubaté (Moreira-Nodermann e Rebouças, 1986)	5
Figura 2-2 Mapa geomorfológico da Bacia de Taubaté (IPT, 1981).	7
Figura 2-3 Mapa geológico da Bacia de Taubaté (segundo IPT, 1981).	7
Figura 2-4 Coluna estatigráfica da Bacia de Taubaté, segundo alguns autores.	7
Figura 2-5 Compartimentação estrutural da Bacia de Taubaté, segundo DAEE (1977). Na figura estão representadas as sub-bacias pelos números: 1-Parateí, 2-Jacareí, 3-Eugênio de Melo, 4-Tremembé, 5-Lorena, 6-Cruzeiro. As letras representam os seguintes altos estruturais: A-Rio Putins, B-Caçapava, C-Aparecida, D-Cachoeira Paulista.	12
Figura 2-6 Compartimentação do embasamento da Bacia de Taubaté, segundo Hasui e Poçano (1978).	13
Figura 2-7 Compartimentação estrutural da bacia de Taubaté (segundo Fernandes, 1993)	14
Figura 2-8 Mapa de nível estático dos sedimentos terciários da Bacia de Taubaté (DAEE, 1977)	18
Figura 2-9 Mapa de resíduo seco da Bacia de Taubaté (DAEE, 1977)	20
Figura 4-1 Dendograma referente as águas da Bacia de Taubaté.	33
Figura 4-2 Histogramas de salinidades referentes aos quatros tipos hidroquímicos	34
Figura 4-3 Diagramas de Piper correspondentes a cada tipo hidroquímico	36
Figura 4-4 Diagrama de Piper ilustrando os campos de cada tipo hidroquímico	37
Figura 4-5 Distribuição dos tipos hidroquímicos na Bacia de Taubaté	41
Figura 4-6 Mapa com todos os poços catalogados no Compartimento S. J. dos Campos.	42
Figura 4-7 Distribuição dos tipos hidroquímicos no Compartimento Jacareí-São José dos Campos.	44
Figura 4-8 Mapa de distribuição de alguns íons selecionados no Compartimento Jacareí-São José dos Campos.	46
Figura 4-9 Variograma da variável STD no Compartimento Jacareí-São José dos Campos	47
Figura 4-10 Mapa krigado da variável STD para o Compartimento São José dos Campos.	49
Figura 4-11 Variograma modelado omnidirecional do Compartimento Jacareí-São José dos Campos. (a) STD; (b) condutividade e (c) variograma cruzado de STD e condutividade	50
Figura 4-12 Mapa de STD cokrigado com o auxílio da variável secundária condutividade, no Comp. São José dos Campos.	51
Figura 4-13 Mapa com a localização dos poços do compartimento Quiririm-Taubaté e altos de Caçapava e Pindamonhangaba.	52
Figura 4-14 Distribuição dos poços coletados com os tipos hidroquímicos no compartimento Quiririm-Taubaté.	53
Figura 4-15 Distribuição de alguns íons selecionados no Compartimento Quiririm-Taubaté	55

Figura 4-16 Variograma experimental de STD no Compartimento Quiririm-Taubaté e Altos de Caçapava e Pindamonhangaba.	56
Figura 4-17 Diagrama de STD vs. X' .	57
Figura 4-18 Mapa krigado da distribuição de STD para o compartimento Taubaté	58
Figura 4-19 Mapa com a distribuição dos poços catalogados, no Compartimento Aparecida-Lorena. Os poços referentes ao DAEE foram utilizados somente na análise geoestatística.	59
Figura 4-20 Distribuição dos poços coletados representados pelos tipos hidroquímicos, no Compartimento Aparecida-Lorena.	60
Figura 4-21 Distribuição de alguns íons selecionados no compartimento Lorena.	62
Figura 4-22 Variograma experimental para o Compartimento Lorena.	63
Figura 4-23 Validação cruzada para os dados do Compartimento Lorena. Os pontos em círculo representam os poços que estão com grande diferença entre o valor estimado e o real.	63
Figura 4-24 Localização dos poços que apresentaram valores díspares (d_{50} e d_9). Os dois poços estão próximos e separados pela Falha Rib. da Serra.	64
Figura 4-25 Mapa krigado de STD para o compartimento Lorena	65
Figura 4-26 Variogramas experimentais referentes a cada compartimento.	67
Figura 4-27 Mapa com os tres compartimentos sem a junção	68
Figura 4-28 Mapa de STD calculado com a união dos três compartimentos.	69
Figura 4-29 Distribuição dos tipos hidroquímicos na Bacia de Taubaté.	70
Figura 5-1 Diagramas triangulares com a composição das amostras referentesas Formações Resende e Tremembé (Goenopawiro 1997)	72
Figura 5-2 Microfotografia de um arenito de superfície referente a Form. Resende.	73
Figura 5-3 Diagramas de frequencia acumulada para os íons maiores	77
Figura 5-4 Relação entre STD e sódio conforme os compartimentos.	79
Figura 5-5 Diagrama mostrando a concentração de cálcio em relação a pH e STD, para todas as amostras da Bacia de Taubaté.	80
Figura 5-6 Relação entre cálcio e STD para os compartimentos da bacia	80
Figura 5-7 Relação entre potássio e STD conforme os três compartimentos	81
Figura 5-8 Diagramas de estabilidade em relação a sódio e cálcio	83
Figura 5-9 ISat do quartzo nos três compartimentos com relação a força iônica.	85
Figura 5-10 Correlação entre o índice de saturação da calcita e dolomita com a força iônica.	85
Figura 5-11 Índice de saturação da calcita em relação a força iônica das amostras nos três compartimentos.	85
Figura 5-12 Áreas da Bacia de Taubaté com evoluções hidroquímicas distintas. 1 São José dos Campos; 2 Taubaté; 3 Lorena.	87
Figura 5-13 Perfis esquemáticos de três direções distintas de evolução hidroquímica..	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1 Teores médios obtidos anualmente nas águas de chuva de São José dos Campos, durante o período de 1981-1986 (Moreira-Nodermann e Rebouças, 1986).	21
Tabela 4-1 Análises físico-químicas selecionadas para a determinação dos tipos hidroquímicos	32
Tabela 4-2 Tabela com os dados estatísticos e os valores do 1º e 3º quartil de cada tipo hidroquímico, valores de STD em mg/l.	35
Tabela 4-3 Valores médios dos íons, STD, pH e temperatura, para cada tipo hidroquímico.	
* as concentrações de sulfato e fluoreto foram detectadas em alguns poços e suas médias referem-se aos valores acima do limte de detecção.	38
Tabela 4-4 Concentração dos elementos traço por tipo hidroquímico em mg/l, os valores referem-se às médias dos valores acima do limite de detecção. Entre parênteses estão o número de amostras detectadas.	39
Tabela 5-1 Teores médios de quartzo e feldspato nas Formações Resende e Tremembé (Geonopawiro, 1997)	71
Tabela 5-2 Tabela de coeficientes de correlação entre os principais íons. O valor superior de cada célula corresponde ao Compartimento Jacareí-São José dos Campos. O valor central corresponde ao Compartimento Quiririm-Taubaté e o valor inferior ao Compartimento Aparecida-Lorena.	76

1. Introdução

O estudo hidrogeoquímico vem sendo freqüentemente utilizado nos trabalhos hidrogeológicos. Além de auxiliar na caracterização do aquífero, tais estudos tem como objetivo de estabelecer uma previsão da qualidade da água esperada e identificar as causas para as diferenciações hidroquímicas.

A Bacia de Taubaté foi escolhida por ser esta uma bacia que apresenta uma grande variação na composição química das águas dos poços, cujas variações não foram ainda estudadas em maior detalhe. Outros aspectos são a pequena dimensão e o formato de calha do arcabouço da bacia, limitada pelo embasamento cristalino, permitindo melhor definir a evolução hidroquímica das águas subterrâneas nos sedimentos terciários da Bacia de Taubaté.

A Bacia de Taubaté está localizada a sudeste do estado de São Paulo (Figura 1-1), entre os paralelos 22°30' e 23°30' de latitude sul e os meridianos 45°00' e 46°00' de longitude oeste. Com uma área aproximada de 2400 km², apresenta uma forma estreita e alongada, estendendo-se, ao longo do vale do Rio Paraíba, desde Jacareí até a cidade de Cruzeiro. A bacia é delimitada a noroeste pela Serra da Mantiqueira e a sudeste pelas serras Quebra Cangalha e Bocaina.

A bacia está inserida em uma importante região sócio-econômica do estado de São Paulo, no principal eixo de ligação entre os grandes centros urbanos de São Paulo e Rio de Janeiro. Cidades de grande porte estão presentes em toda sua extensão, onde uma boa parcela destas utiliza águas subterrâneas para o abastecimento público. Além disso, inúmeras indústrias do Vale do Paraíba têm instalados poços para consumo próprio.

Nas décadas de 80 e início de 90, vários trabalhos foram publicados sobre a Bacia de Taubaté. Dentre eles, destacam-se os trabalhos de Riccomini (1989), Marques (1990), Fernandes (1993) e Campanha (1994). Com esses trabalhos, uma nova configuração geológica, compartimentação estrutural e estratigrafia da bacia foram delineadas, possibilitando, desse modo, um bom arcabouço para estudos hidrogeoquímicos.

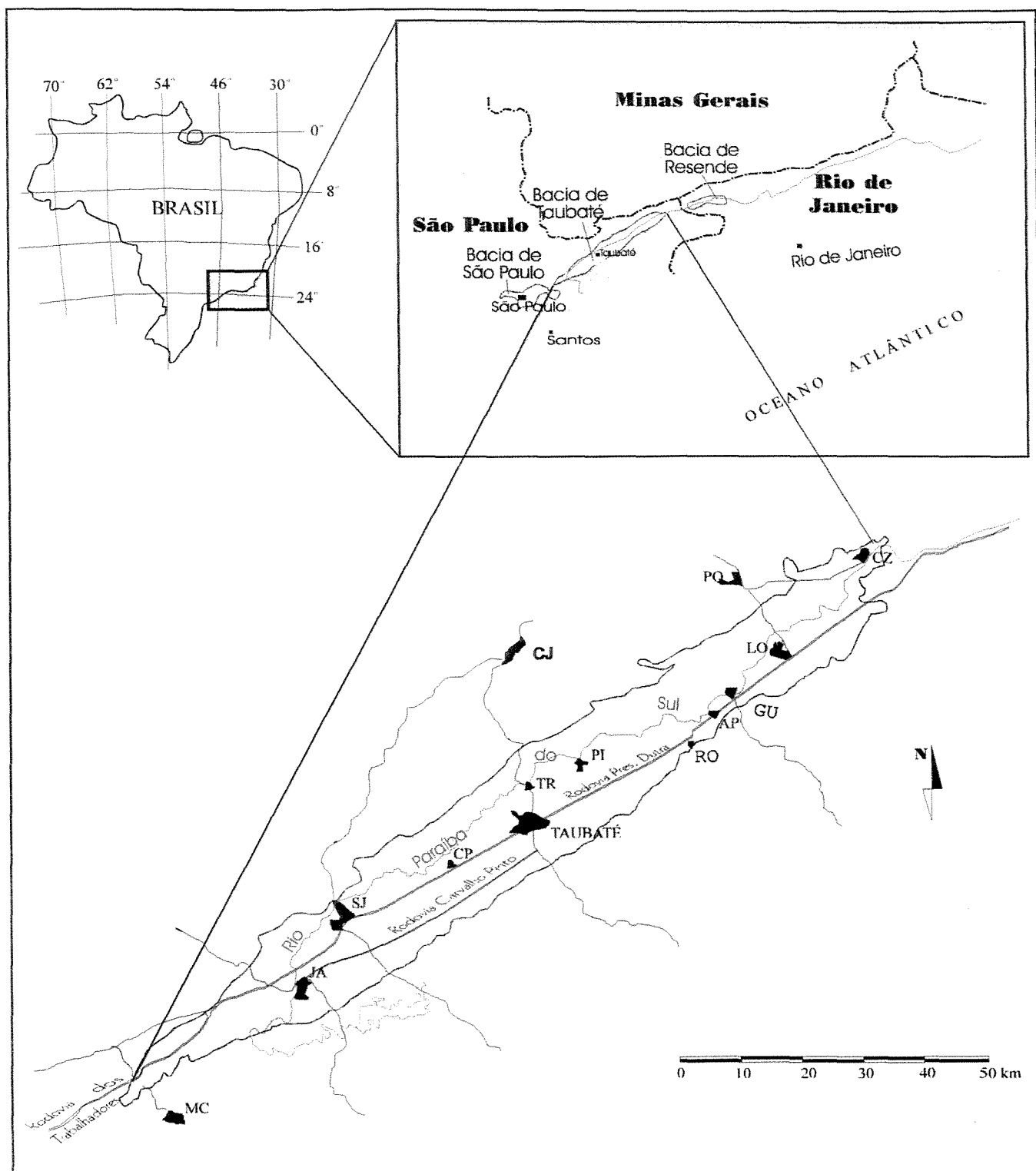


Figura 1-1 Mapa de localização da área em estudo, com as principais cidades e vias de acesso. No mapa MC-Moji das Cruzes, JA - Jacareí, SJ-São José dos Campos, CP-Caçapava, TR-Tremembé, PI-Pindamonhangaba, CJ-Campos do Jordão, RO-Roseira, AP-Aparecida do Norte, Gu-Guaratingueta, LO-Lorena, CZ-Cruzeiro, PQ-Piquete .

Com relação ao conhecimento hidrogeológico, a Bacia de Taubaté também é bem conhecida devido aos trabalhos do Departamento de Águas e Energia Elétrica -DAEE-(1977), Teissedre e Mariano (1978), Szikszay (1980) e Moreira-Noderman e Rebouças (1986). Tais trabalhos permitiram a elaboração de um estudo mais detalhado do ponto de vista hidrogeoquímico na bacia.

1.1. Objetivos

O presente trabalho tem por objetivos:

- a) Determinar os tipos hidroquímicos encontrados e estudar sua distribuição espacial.
- b) Verificar a relação existente entre os tipos hidroquímicos, a geologia e a compartimentação estrutural.
- c) Estudar a relação rocha-água, do ponto de vista hidrogeoquímico e termodinâmico, e determinar, quando possível, os processos diagenéticos que causaram a distinção entre os tipos hidroquímicos.

1.2. Estrutura da dissertação

O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre os fatores que influenciam na constituição hidroquímica das águas, como o clima, a geomorfologia, a geologia da bacia e a compartimentação estrutural. Também é apresentado, neste capítulo, uma revisão dos trabalhos de hidrogeologia e hidrogeoquímica referentes à bacia.

As descrições da campanha de campo, os métodos de amostragem e as técnicas utilizadas nas análises químicas estão no capítulo 3. Neste mesmo capítulo são apresentados os parâmetros calculados, no processamento dos dados, necessários às interpretações hidrogeoquímicas.

No capítulo 4 são determinados os tipos hidroquímicos e investigada a distribuição destes tipos em toda a bacia. Para um estudo detalhado, a bacia foi subdividida de acordo com os compartimentos regionais (baseado em Fernandes, 1993).

O capítulo 5 se refere ao estudo da relação rocha-fluido na bacia. Para isso, é realizada uma descrição composicional das diversas litologias encontradas e os principais processos diagenéticos observados. O comportamento dos íons maiores e dos parâmetros termodinâmicos de equilíbrio mineral são apresentados e é traçada, em cada compartimento, a provável evolução hidroquímica das águas .

Finalmente, no capítulo 6, são apresentadas as principais conclusões.

2. Bacia de Taubaté

2.1. Aspectos Fisiográficos

2.1.1. Clima

Com base nos dados do Departamento de Meteorologia do INPE, apresentados no trabalho de Moreira-Nodermann e Rebouças (1986), a Bacia de Taubaté possui uma precipitação média de 1243 mm/ano (dados coletados em um período de 20 anos, em São José dos Campos). As estações de inverno e verão são bem marcadas, com um inverno seco e frio e um verão quente e úmido (figura 2-1).

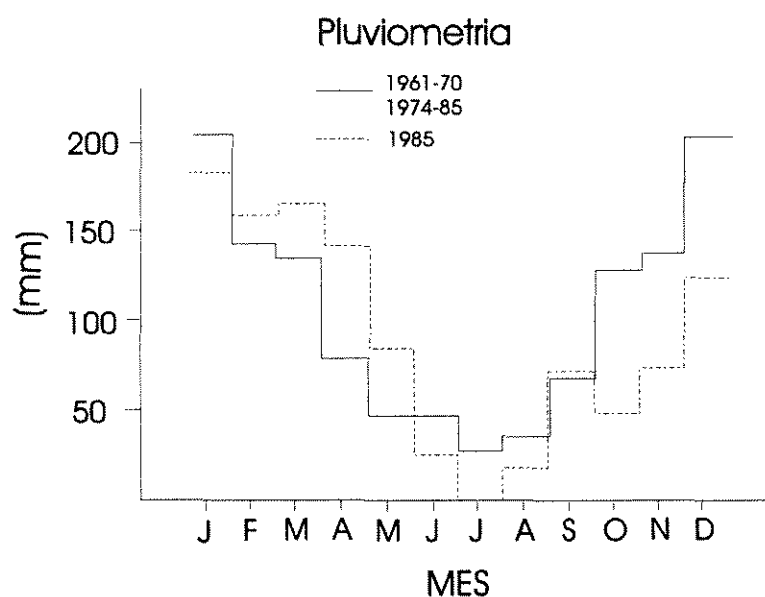


Figura 2-1 Distribuição da precipitação pluviométrica durante um ano na Bacia de Taubaté (Moreira-Nodermann e Rebouças, 1986)

A temperatura média anual do ar é de 21,3°C, com uma temperatura mínima média de 17,7°C (mínima no mês de julho) e uma temperatura média máxima de 23,9°C (máxima no mês de fevereiro).

A umidade relativa média do ar é de $76 \pm 10\%$ e a pressão atmosférica apresenta um valor médio de $941,3 \pm 2$ mbar .

Segundo a classificação de Koppen, o clima pode ser considerado do tipo AW (tropical úmido).

2.1.2. Geomorfologia

Conforme o mapa geomorfológico do Estado de São Paulo executado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas -IPT- (1981), a Bacia de Taubaté está inserida no planalto Atlântico, mais precisamente no Médio Vale do Paraíba, constituído pelas subzonas de Morros Cristalinos e Colinas Sedimentares.

Os Morros Cristalinos localizam-se ao redor e nos extremos da Bacia de Taubaté, principalmente nas regiões de Jacareí e Cachoeira Paulista-Cruzeiro, onde a espessura dos sedimentos é pequena .

As Colinas Sedimentares estão presentes nos pacotes mais espessos dos sedimentos terciários. Estas colinas são amplas, com encostas de pouca inclinação e com topos chatos. Elevam-se a 600-650 m. de altitude. As partes mais baixas estão a 560-600m., em vales abertos. Os principais relevos reconhecidos vão de formas extremamente regulares e suavizadas, como os Tabuleiros e as Colinas Amplas, até as Colinas Pequenas com Espigões Locais . Extensas Planícies Aluviais são identificadas ao longo do rio Paraíba do Sul e a sua largura varia de 2,5 a 4 km (figura 2-2).

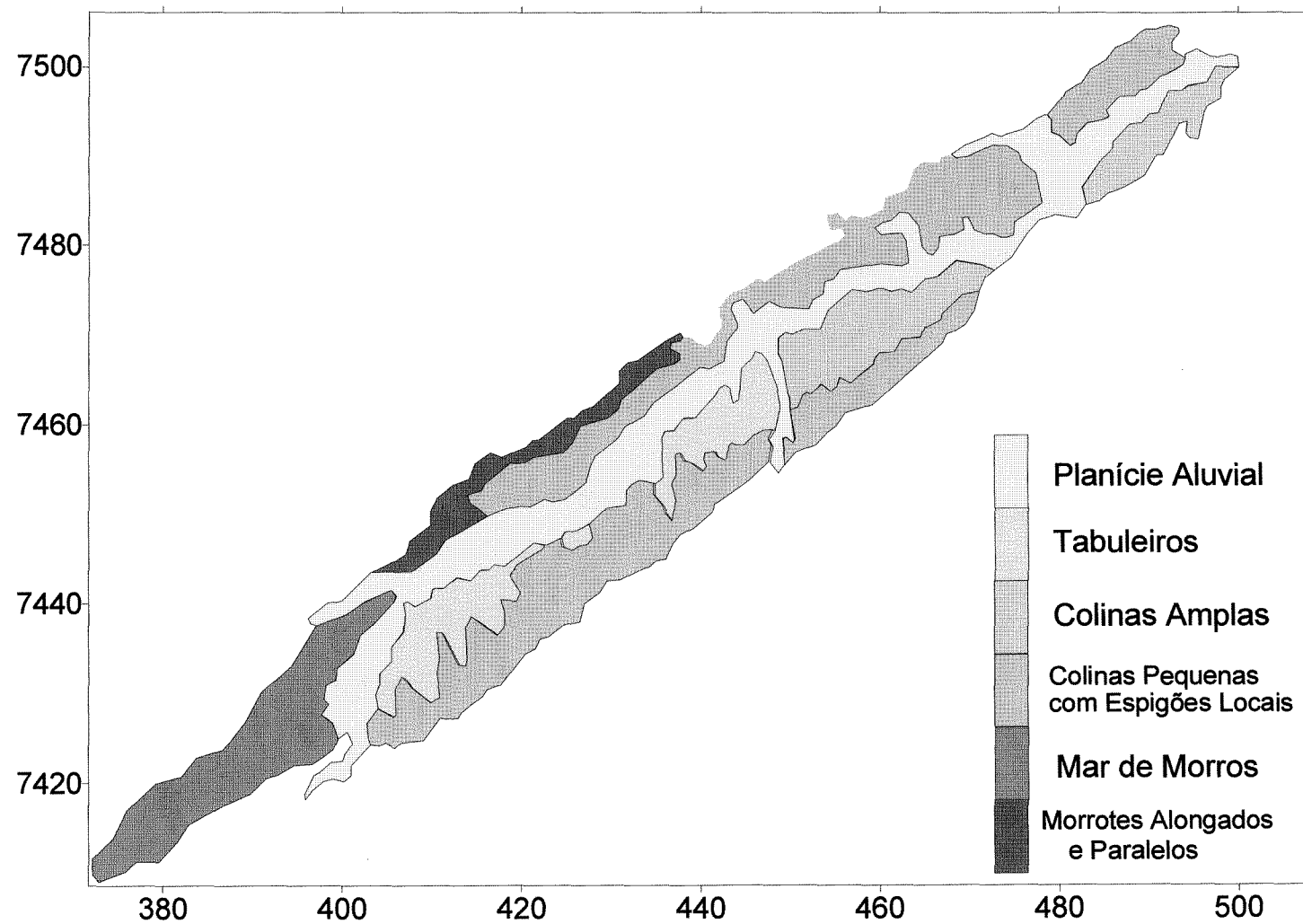


Figura 2-2 Mapa geomorfológico da Bacia de Taubaté (IPT, 1981)

2.2. GEOLOGIA

2.2.1. Embasamento Pré-Cambriano

A bacia de Taubaté encontra-se encaixada no Cinturão de Dobramentos Ribeira (Hasui et al., 1975), particularmente nas rochas correspondentes ao Grupo Açunguí. Este grupo é subdividido em Complexo Embú, referente aos migmatitos e gnaisses, e Complexo Pilar, representado por metassedimentos. O complexo Pilar é predominante no substrato da bacia, constituído principalmente por migmatitos homogêneos, oftálmicos, neolíticos e facoidais. Ocorrem ainda corpos metabásicos e rochas granitóides (Santoro et al, 1991).

2.2.2. Intrusões Jurássico-Cretácicas

Durante o Jurássico e Cretáceo, o Cinturão de Dobramentos Ribeira foi afetado por processos magmáticos, relacionados à Reativação Waldeniana, que implicou na ruptura do continente Gondwânico. A primeira fase da Reativação Waldeniana é marcada por intrusões de diabásio, sob a forma de diques e soleiras, datadas entre o Jurássico Superior e o Cretáceo Inferior (Amaral et. al., 1967). Posteriormente, ocorreram intrusões de rochas alcalinas, representadas pelos maciços de Itatiaia, Passa Quatro e Morro Redondo, datadas entre o final do Cretáceo e início do Terciário.

2.2.3. Sedimentos Terciários - Bacia de Taubaté

2.2.3.1. Litologia e Estratigrafia

Almeida (1958) nomeou os folhelhos da região de Taubaté-Tremembé como Formação Tremembé. Esta seria recoberta pelos arenitos da Formação São Paulo (Moraes Rego, 1933).

Suguio (1969), estudando a sedimentologia da bacia, caracterizou a Formação Tremembé como apresentando uma textura mais fina, litossomas mais persistentes, fossilífera e folhelhos pirobetuminosos. Já a Formação São Paulo apresenta uma textura mais grosseira, litossomas mais lenticulares e afossilífera.

A maior parte dos arenitos é composta por arcósios e arenitos feldspáticos. Os minerais secundários mais comuns são zircão, biotita, turmalina, epidoto e monazita. As argilas são divididas basicamente entre caulinita e montmorilonita.

Suguio (1969) observa que as montmorilonitas não estão restritas à Formação Tremembé, ocorrendo também na Formação São Paulo.

Segundo o Departamento de Águas e Energia Elétrica -DAEE- (1977) e Teissedre e Mariano (1978), o Grupo Taubaté seria subdividido nas fácies marginal, fluvial e lacustre. A fácies marginal, composta por brechas e conglomerados, está presente nas bordas da bacia. A fácies fluvial, presente na maior parte da bacia, é representada por lentes de arenito e argilito interdigitada. A fácies lacustre é formada por folhelhos e argilitos presentes nos pacotes basais da bacia e, na sub-bacia Tremembé tais sedimentos são predominantes, ocorrendo em grandes espessuras e aflorando em superfície.

Hasui e Poçano (1978) adotaram a interpretação proposta por Almeida (1958). Agruparam no Grupo Taubaté, a Formação Tremembé, para os pacotes basais formados pelos sedimentos lacustres, e a Formação Caçapava (Carneiro et al, 1976), para os sedimentos fluviais. O mapa geológico, realizado pelo IPT (1981b), está representado na figura 2-3.

Estudando as bacias Terciárias dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, Riccomini (1989) definiu o “Rift Continental do Sudeste do Brasil”. O autor, num estudo detalhado das bacias, identificou 20 fácies que foram agrupadas nos sistemas deposicionais correspondentes.

Riccomini (1989) designou a Formação Resende aos depósitos de leques aluviais, associados ao sistema lacustre, para o qual foi mantida a designação de Formação Tremembé. O Grupo Taubaté é composto, além das duas formações citadas acima, pela Formação São Paulo, caracterizada por depósitos de sistema fluvial meandrante. Riccomini (1989) ainda caracteriza outros dois sistemas deposicionais que ganham *status* de Formação. A Formação Itaquaquecetuba, representada pelos depósitos referentes ao sistema fluvial entrelaçado, e a Formação Pindamonhangaba, correspondente ao sistema fluvial meandrante.

Campanha (1993), através da estratigrafia de eventos, propôs uma nova coluna estratigráfica. A autora dividiu a coluna sedimentar da bacia em quatro seqüências deposicionais. As duas seqüências inferiores, denominadas Tremembé e Taubaté, são

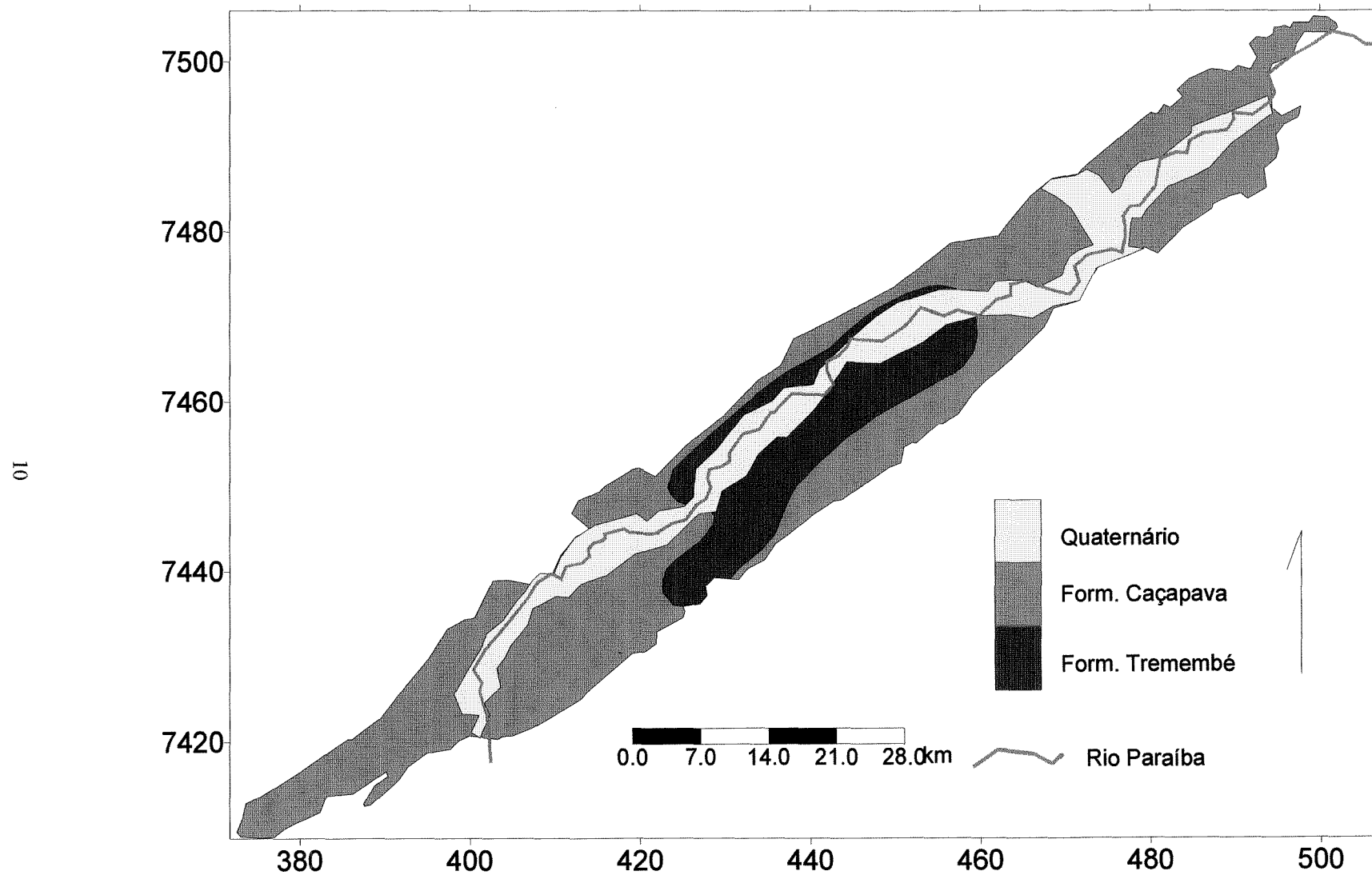


Figura 2-3 Mapa geológico da Bacia de Taubaté (segundo IPT, 1981)

constituídas pelos seguintes tratos de sistemas: leques aluviais, fluvial entrelaçado, fluvial meandrante e lacustre. As seqüências superiores, Pindamonhangaba e Vale do Paraíba, exibem tratos de sistemas deposicionais compostos por leques aluviais, fluvial entrelaçado e fluvial meandrante (figura 2-4).

CRONO- ESTRATIGRAFIA	HASUI & POÇANO (1978)	RICCOMINI (1989)	CAMPANHA ET.AL. (1991)
QUATERNÁRIO		Depósitos Colúvio-aluviais	Seqüência Vale do Paraíba
Neógeno	Formação Caçapava	Formação Pindamonhangaba Formação Itaquaquetuba	Seqüência Pindamonhangaba
Paleógeno	Grupo Taubaté Formação Tremembé	Grupo Taubaté Formação Resende Formação São Paulo Formação Tremembé	Seqüência Taubaté Seqüência Tremembé

Figura 2-4 Coluna estatigráfica da Bacia de Taubaté, segundo alguns autores.

Os últimos trabalhos realizados na bacia atingiram um grande detalhamento faciológico, mas grande parte deste detalhamento foi baseado na análise de afloramentos e descrição em superfície. Até o momento, poucos trabalhos analisaram a representatividade destas fácies em profundidade. Do ponto de vista geoquímico, basicamente dois pacotes distintos são claramente diferenciados, representados por diferentes ambientes deposicionais. Neste trabalho utilizou-se, de forma ostensiva, a designação “sedimentos fluviais” e “sedimentos lacustres”. A primeira corresponde aos arenitos das Formações Resende, São Paulo, Itaquaquetuba e Pindamonhangaba de Riccomini (1989) e Formação Caçapava de Hasui e Poçano (1978). A segunda refere-se aos folhelhos e argilitos da Formação Tremembé, de mesma designação para os dois autores.

2.2.3.2. *Compartimentação Estrutural*

Carneiro et al (1976) estuda a região de São José dos Campos e identifica o Compartimento Parateí, a sul, separado do Compartimento Jacareí pela falha de São José.

DAEE (1977) define a bacia como sendo compartimentada em seis sub-bacias: Parateí, Jacareí, Eugênio de Melo, Tremembé, Lorena e Cruzeiro, e dividida pela falha de São José e pelos altos estruturais do embasamento. Os altos estruturais são denominados Alto do Rio Putins, Alto de Caçapava, Alto de Aparecida e Alto de Cachoeira Paulista (figura 2-5).

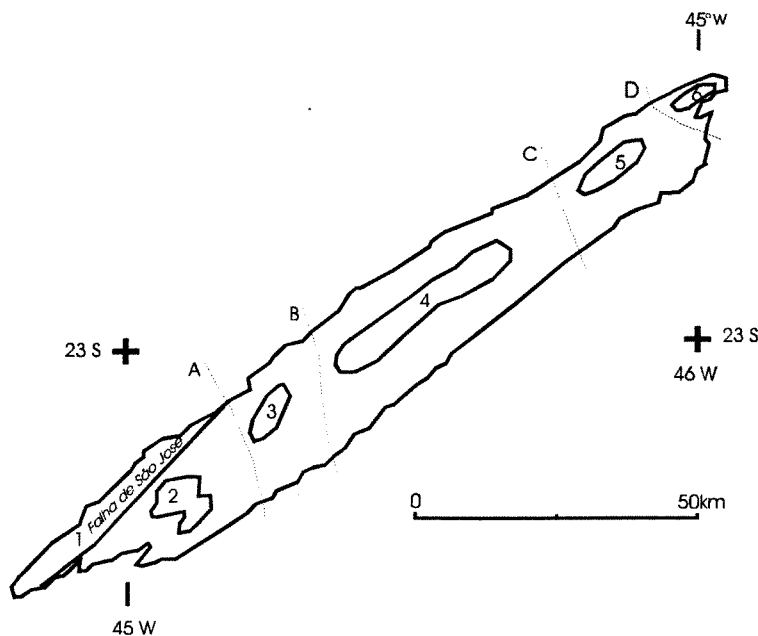


Figura 2-5 Compartimentação estrutural da Bacia de Taubaté, segundo DAEE (1977). Na figura estão representadas as sub-bacias pelos números: 1-Parateí, 2-Jacareí, 3-Eugênio de Melo, 4-Tremembé, 5-Lorena, 6-Cruzeiro. As letras representam os seguintes altos estruturais: A-Rio Putins, B-Caçapava, C-Aparecida, D-Cachoeira Paulista.

Teissedre e Mariano (1978) adotam para a bacia 3 altos estruturais, Rio Putins, Caçapava e Guaratinguetá, definindo 4 sub-bacias: Jacareí, Eugênio de Melo, Tremembé e Lorena.

Hasui e Poçano (1978) identificam 3 altos internos: Alto Rio Putins, Caçapava e Aparecida. Juntamente com a falha de São José, a bacia se apresentaria dividida em cinco sub-bacias, chamadas de Parateí, Jacareí, Eugênio de Melo, Tremembé e Lorena (figura 2-6).



Figura 2-6 Compartimentação do embasamento da Bacia de Taubaté, segundo Hasui e Poçano (1978).

Marques (1990), com base em seções sísmicas, define 4 depocentros que correspondem as sub-bacias de Eugênio de Melo, de Quiririm, de Roseira e de Lorena. Estes compartimentos são separados pelos Altos de Caçapava, da Capela de N. S. do Socorro e da Capela de Santa Luzia.

Fernandes (1993), através de dados gravimétricos e sísmicos, identifica 4 sub-bacias, separadas por 3 altos estruturais, definidos como “zonas de transferência”. As sub-bacias são nomeadas como Parateí, Jacareí-São José dos Campos, Quiririm-Taubaté e Aparecida-Lorena. As zonas de transferência foram nomeadas como Falha de São José, Alto de Caçapava e Alto de Pindamonhangaba (figura 2-7).

O compartimento Parateí, localizado na porção sudoeste da bacia, possui uma forma alongada na direção NNE e apresenta pequena espessura sedimentar. O limite com o compartimento Jacareí-São José dos Campos é dado pela Falha de São José.

O compartimento Jacareí-São José dos Campos limita-se com o Compartimento Taubaté pelo alto de Caçapava. Segundo Fernandes (1993), este compartimento representa um *graben* assimétrico, alongado segundo NE, com uma espessura máxima de sedimentos estimada em 300m .

O compartimento Quiririm-Taubaté consiste em um *meio-graben*, limitado a oeste pelo alto de Caçapava e a leste pelo alto de Pindamonhangaba. Seu depocentro localiza-se a sudeste, com uma profundidade máxima em torno de 600 m.

O compartimento Aparecida-Lorena corresponde à toda região situada a nordeste do Alto de Pindamonhangaba. Estima-se que a espessura máxima seja de aproximadamente 800m .

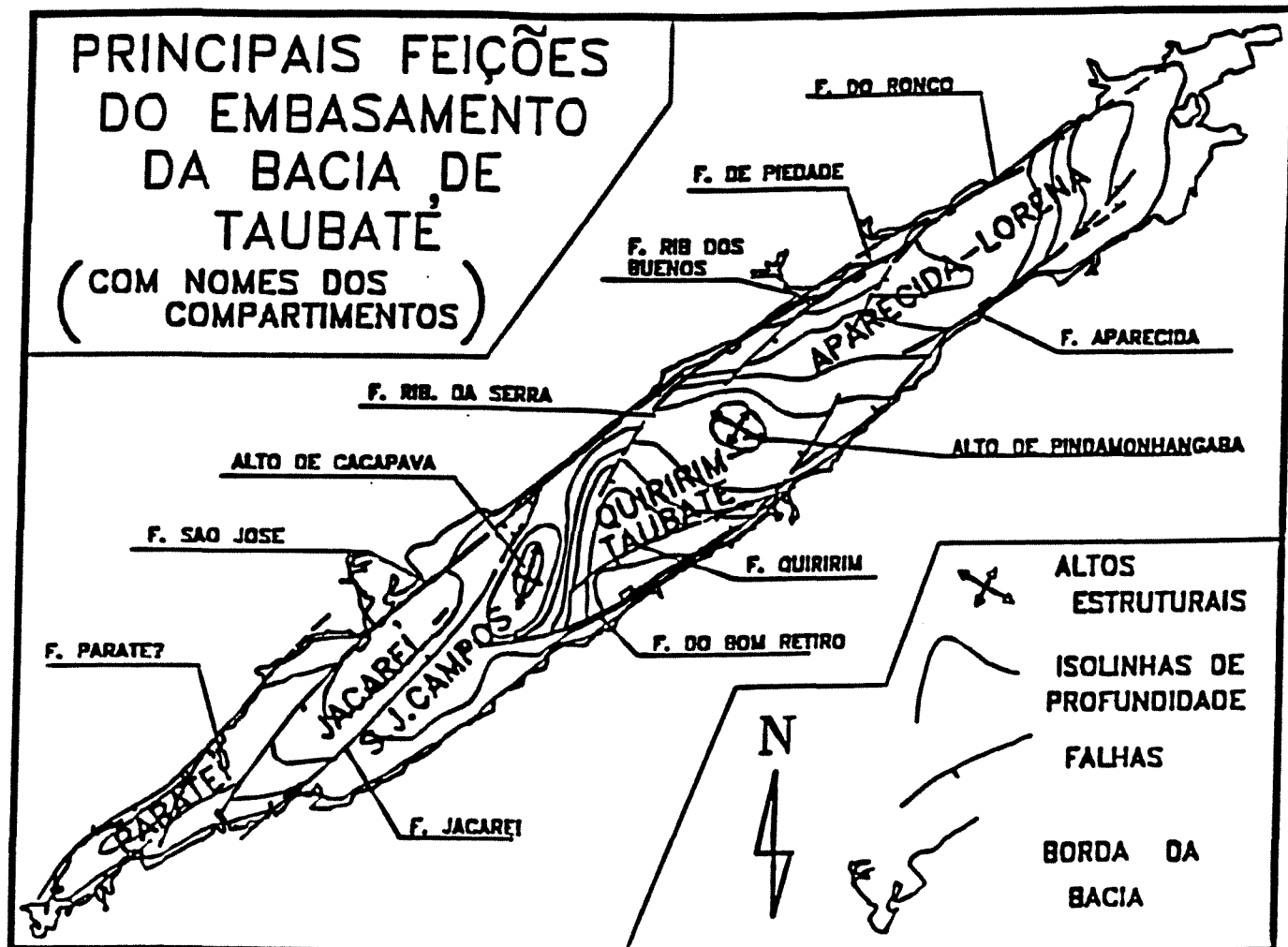


Figura 2-7 Compartimentação estrutural da bacia de Taubaté (segundo Fernandes, 1993)

2.3. Hidrogeologia e Hidrogeoquímica

Os trabalhos de hidrogeologia realizados destacam claramente o aspecto heterogêneo da bacia, a qual apresenta uma grande variação das características hidráulicas dos poços. Alguns destes trabalhos sugerem uma análise subdividida em diferentes áreas, conforme a litologia predominante, para se obter, de forma apurada, os parâmetros hidrológicos.

Por sua vez, do ponto de vista hidrogeoquímico, os trabalhos regionais consubstanciam estas diferenças, mas apesar de verificada a heterogeneidade com relação a química das águas, estes trabalhos não adotaram uma análise compartimentada, e a caracterização foi efetuada através de dados estatísticos coletados ao longo de toda a bacia .

2.3.1. Hidrogeologia

Frangipani e Panuti (1965) estudaram a região inserida entre as cidades de Jacareí e Quiririm. Subdividiram a área em três regiões distintas: a zona do cristalino com condições de aquífero apenas nas zonas com falhas ou fraturas; a zona de sedimentos quaternários; e a zona de sedimentos terciários, caracterizada pela alternância de camadas argilosas e arenosas, contendo um aquífero de boas características, com vazões de 5 a 120 m³/h. Em direção a Quiririm, observaram que há uma predominância de camadas impermeáveis, onde o aquífero passa a ter baixa qualidade.

Frangipani e Panuti (1965), através de testes de bombeamento, constataram, em alguns poços do terciário, a contribuição de aquíferos do tipo artesiano.

O relatório do DAEE (1977) constitui um importante trabalho sobre a hidrogeologia da Bacia de Taubaté. Foram nele catalogados 392 poços, incluindo os sedimentos Terciários, o embasamento e os poços perfurados nos depósitos quaternários.

Segundo o DAEE (1977), a bacia apresenta duas áreas principais onde a exploração de água subterrânea se encontra bem desenvolvida. A primeira refere-se ao sudoeste da bacia, entre as cidades de Jacareí e Caçapava, e a segunda abrange a região de Guaretinguetá e Lorena até a cidade de Cruzeiro. A vazão média dos poços nestas

duas áreas é de 30 m³/h e variam de 10 a 200 m³/h. A profundidade média dos poços está no intervalo de 100 a 200 m.

Entre as duas áreas é identificada uma zona, compreendendo as cidades de Taubaté a Pindamonhangaba, na qual o subsolo é preenchido por sedimentos finos, argilitos e folhelhos, com poucas camadas arenosas, correspondendo a fácies lacustre. Os poços desta região são mais profundos, mas devido a baixa qualidade do aquífero apresentam vazões de 20 a 30 m³/h.

A principal característica do aquífero sedimentar é a interdigitação entre as camadas aquíferas e confinantes e a forma lenticular das camadas aquíferas. Localmente, pode-se adotar o aquífero dividido em vários sub-aquíferos, segundo o número de camadas aquíferas no perfil. Devido a forma lenticular das camadas, não se pode diferenciar os sub-aquíferos em termos regionais e pode-se assumir que os diferentes sub-aquíferos estejam interligados hidrologicamente.

O fluxo de água subterrânea, de forma geral, é em direção aos rios da região, acompanhando as cotas topográficas, como se pode observar no mapa dos níveis estáticos (figura 2-8). A maior parte da região está sob condições freáticas ou pouco confinadas, enquanto que áreas limitadas ficam sob pressão. O rio Paraíba, localizado nas cotas mais baixas, serve de dreno principal para o aquífero. Apenas entre as cidades de Jacareí a São José dos Campos, o fluxo é do rio para o aquífero devido à topografia que controla este fenômeno.

Teissedre e Mariano (1978) pesquisaram as possibilidades hidrológicas da bacia de Taubaté e relacionaram a diferenciação litológica com as características dos aquíferos. A diferenciação litológica entre as sub-bacias tem como consequência aquíferos com características diferentes. A fácies lacustre possui aquíferos de má qualidade, enquanto, no restante da bacia, as fácies marginal e fluvial proporcionam bons aquíferos. A zona de melhor permeabilidade limita-se à parte superior do pacote sedimentar. Segundo esses autores, a intercalação de camadas impermeáveis com lentes de areia interligadas faz com que o aquífero seja classificado como aquífero heterogêneo, multicamada, com condições de pressão e artesianismo. Os aquíferos terciários teriam um comportamento livre a semiconfinado, não existindo barreiras impermeáveis que permitissem diferenciá-

los hidrologicamente. Condições de artesianismo foram observados em alguns pontos nas margens da sub-bacia Tremembé.

Os autores dividem a bacia em três regiões, divisão semelhante a adotada pelo DAEE (1977). A primeira constituída pelas sub-bacias, Jacareí e Eugênio Melo, considerada promissora do ponto de vista hidrológico. A segunda região promissora corresponde à sub-bacia de Lorena. Por fim, a região intermediária correspondente à sub-bacia de Tremembé, apresentando aquíferos de baixa produtividade.

Campos (1993) salienta que o aproveitamento desordenado do aquífero já produziu abatimento do nível d'água. Um exemplo são os poços de Getúlio Vargas que, nas décadas de 60 e 70, tinham o nível estático d'água situado entre 10 e 20 m da superfície; no começo da década de 90 o nível estava próximo dos 40 m.

Franco Filho e Souza (1994) estudaram o efeito, ao longo do tempo, da exploração da água subterrânea em São José dos Campos. Os autores constataram um declínio natural do nível estático e queda nas vazões específicas com a exploração intensiva e permanente do aquífero. A vazão nos poços varia de 5,90 m³/h a 190,1 m³/h, com a vazão média situando em torno de 41,52 m³/h.

Campos (1994) desenvolveu um estudo sobre anomalias hidrogeoquímicas na Bacia de Taubaté. Cita também que a super-exploração começa a apresentar abatimento em trechos de alta densidade de poços, além do aumento da concentração de poluentes devido à evolução sócio-econômica da região. Estima que o aquífero seja explotado por mais de 1000 poços tubulares, que apresentam vazões que variam de 30 a 250 m³/h.

Estudos geotérmicos (Frangipani e Hanza, 1987), bem como fenômenos de hidrotermalismo (Riccomini, 1989) indicam zonas pontuais de águas anômalas. Estes pontos coincidem grosso modo com a fácies lacustre.

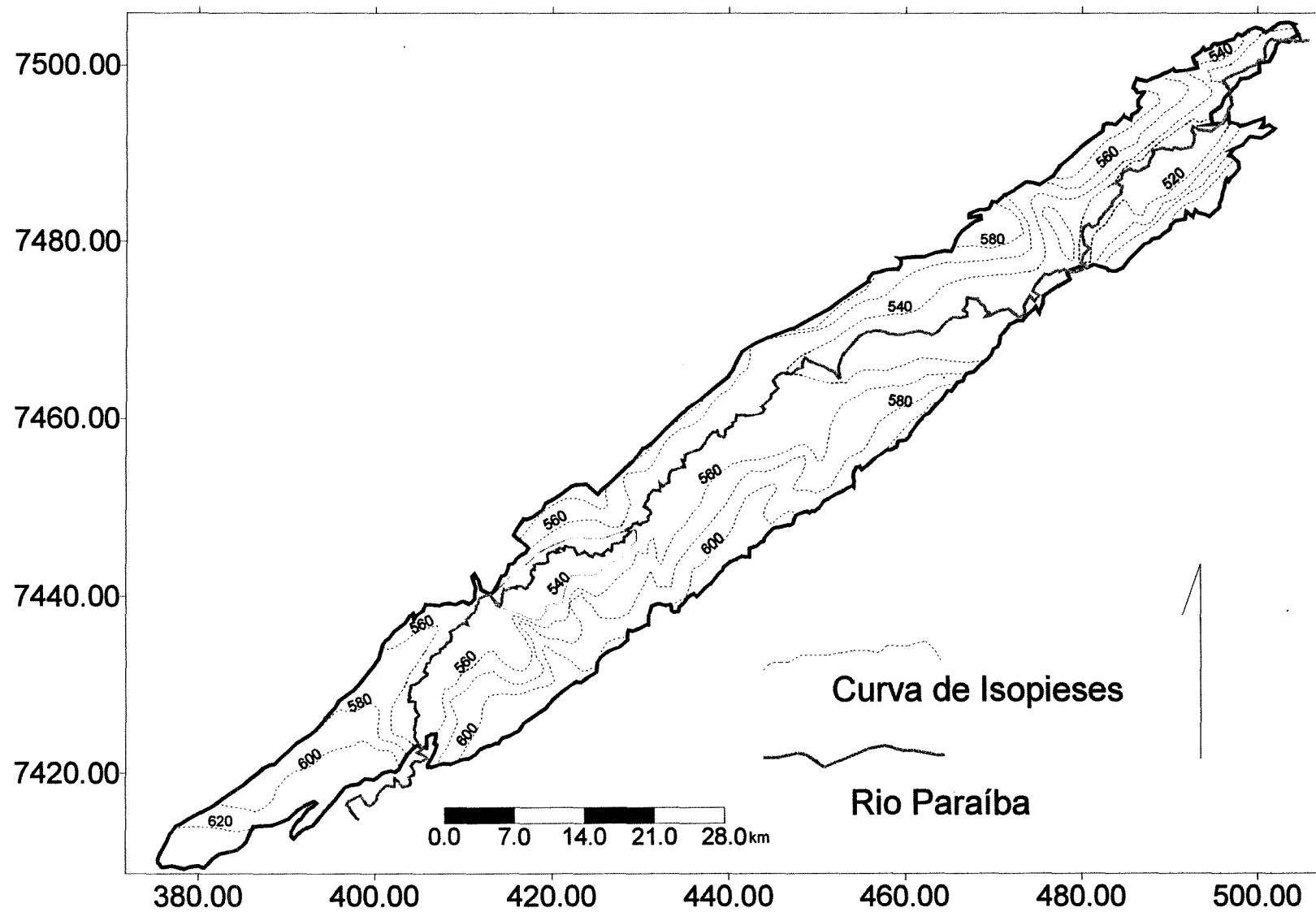


Figura 2-8 Mapa de nível estático do sistema aquífero Taubaté (segundo DAEE, 1977).

2.3.2. Hidrogeoquímica

O trabalho do DAEE (1977) verifica semelhanças entre as águas situadas nos sedimentos fluviais da Bacia de Taubaté. Águas que apresentam baixa concentração de sais dissolvidos, alto teor em sílica, predomínio de cálcio e sódio entre os cátions e de bicarbonatos entre os ânions. Estas áreas correspondem a Formação Caçapava e o Quaternário do Rio Paraíba do Sul e constituem-se nos principais aquíferos desta bacia. Enquanto que as águas referentes a Formação Tremembé apresentam alto pH, salinidade e elevada temperatura.

O pH obtido variou de 4,5 a 8,5. O resíduo seco variou de 20 a 683 mg/l, com média de 120 mg/l, geralmente não ultrapassando 300 mg/l de teor salino. O mapa de resíduo seco para toda a bacia está representado na figura 2-9.

Teissedre e Mariano (1978) analisaram 100 amostras, e os resultados das interpretações das análises físico-químicas apresentaram as seguintes características:

- baixo conteúdo de sais dissolvidos;
- alto teor de sílica;
- alto teor de cálcio e sódio em relação ao magnésio;
- bicarbonato predominante entre os ânions; baixas concentrações de cloretos e sulfatos;
- resíduo seco variando de 20 e 683mg/l, com média de 120mg/l, excetuando a região de Tremembé, com 300 mg/l;
- sílica com teores de 4 a 75mg/l, apresentando altos valores nas bordas e próximo de afloramentos cristalinos;
- cálcio, de 0 a 58 mg/l;
- magnésio, de 0 a 31mg/l;
- razão Mg/Ca, sempre inferior a 0,6;
- sódio, de 0 a 280 mg/l, com altos valores em poços profundos, no centro da bacia ou nos artesianos;
- alcalinidade, de 1 a 782mg/l de CaCO_3 ;
- dureza, de 0 a 273mg/l ,

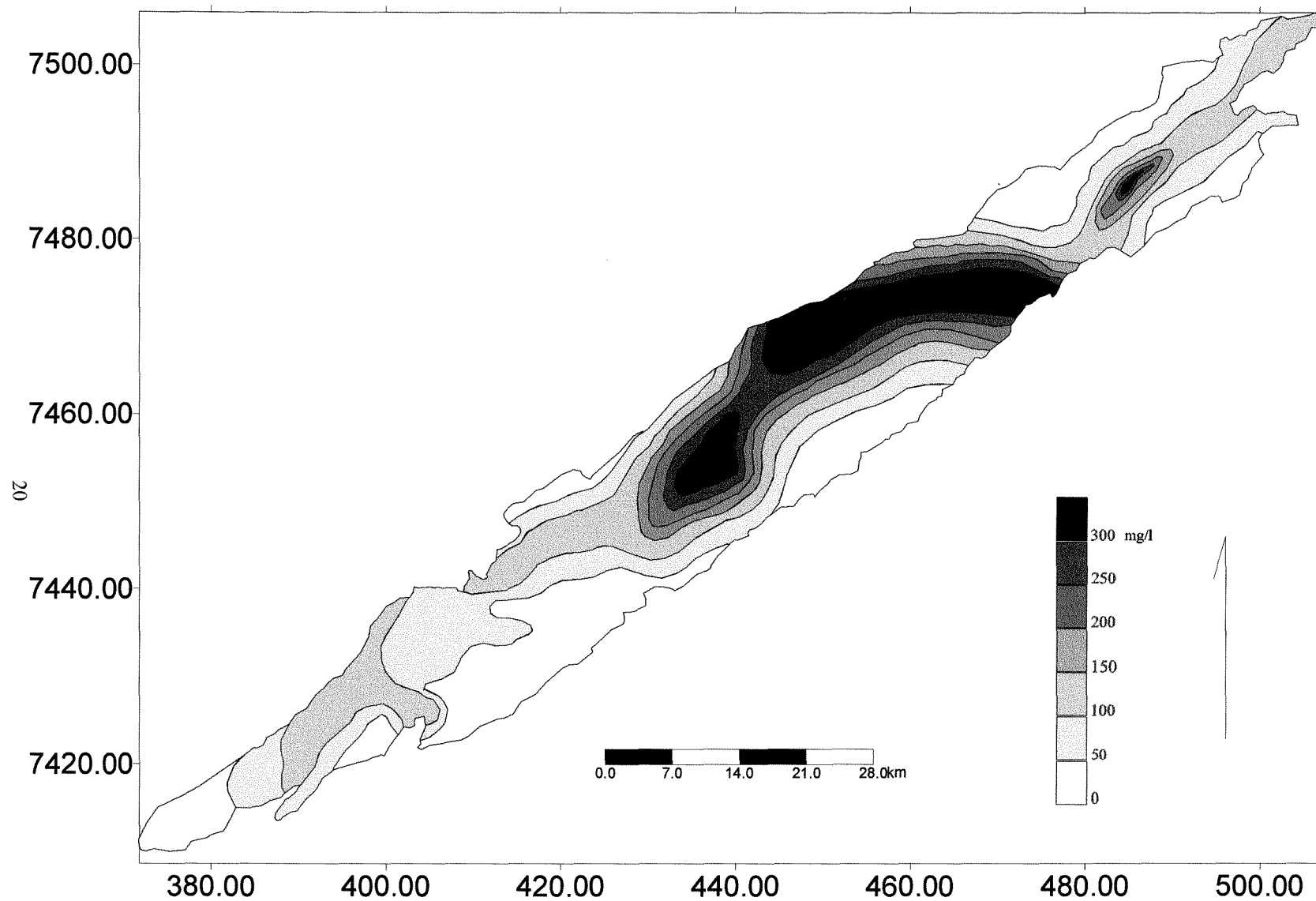


Figura 2-9 Mapa de resíduo seco da Bacia de Taubaté (DAEE, 1977).

- pH, na maior parte ácido, inferior a 6,5. Na sub-bacia Tremembé, costuma ser neutro a básico;

- temperaturas de 22 a 24°C. Um poço de 500m na sub-bacia de Tremembé (na cidade de Taubaté) apresentou 49°C.

As águas foram classificadas como bicarbonatadas sódicas, e cálcicas em alguns pontos. A maioria das águas foram consideradas potáveis, com nitrato e flúor sempre inferior ao limite permitido. Apenas o ferro apresentou concentrações entre 0,01 a 4,8mg/l, com média de 0,44mg/l. Os teores acima de 0,3mg/l foram encontrados em algumas áreas restritas.

Szikszay (1980) utilizou um banco de dados com 107 análises de águas de poços, com profundidades variando de 100 a 175m, e 12 amostras coletadas de piezômetros. A grande maioria das águas apresentaram-se isentas de poluição, sendo classificadas como bicarbonatadas sódicas e/ou cálcicas e, secundariamente, cloro-sulfatadas sódio-cálcicas. Os piezômetros instalados em áreas potencialmente poluidoras detectaram indícios de poluição com relação ao Fe, Mn, fenol e detergente. Estas áreas estavam localizadas junto às zonas industriais, de cultivo e em aterros sanitários.

Moreira-Nodermam e Rebouças (1986) estudaram o comportamento geoquímico das águas pluviais e subterrâneas, efetuando amostragem sistemática em um poço localizado no vale do Rio dos Putins, paralelamente com análises de águas de chuva e de solo.

Nas águas pluviais, destaca-se o elevado NH_4 e a relativa acidez (tabela 2-1). O magnésio é o constituinte de mais baixa concentração entre os cátions.

	pH	Na	Ca	K	Mg	Cl	NH_4	Cl/Na	K/Na
média	4,4	0,08	0,23	0,10	0,04	0,26	0,42	3,3	1,3
mínimo	3,5	<0,001	0,01	0,004	<0,001	<0,01	0,08	1,5	0,1
máximo	5,4	1,43	3,58	3,21	0,73	6,4	3,3	8,9	3,1

Tabela 2-1 Teores médios obtidos anualmente nas águas de chuva de São José dos Campos, durante o período de 1981-1986 (Moreira-Nodermann e Rebouças, 1986).

Na análise de solo, os íons mais solubilizados são o Ca, K e Cl, apresentando maiores concentrações em relação às águas subterrâneas.

São listadas abaixo as relações iônicas entre os elementos, determinados pelos autores.

Chuva : $\text{Cl} > \text{Ca} > \text{K} > \text{Na} > \text{Mg}$

Sedimento : $\text{Ca} \geq \text{Cl} \geq \text{K} > \text{Na} > \text{Mg}$

Águas Subterrâneas : $\text{K} > \text{Cl} = \text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$

As águas subterrâneas apresentam uma maior concentração de Na e K, o Ca possui uma menor participação e o Mg continua a ser o menos abundante. O pH é mais elevado em relação às águas de chuva. O NH_4 apresenta concentrações muito baixas e o Cl deixa de ser o principal ânion.

A razão Cl/Na média é igual a 1, mas os valores apresentam uma significativa variação nos períodos de chuva e seca. Segundo os autores, esta razão é indicadora da recarga do aquífero.

A razão K/Na é mais regular com relação aos períodos de chuva, podendo ser um provável indicador de continuidade na liberação desses elementos, refletindo a influência da litologia na água subterrânea.

Campos (1993) efetuou uma caracterização e mapeamento das províncias hidrogeoquímicas do Estado de São Paulo. Este estudo mostrou indícios de anomalias hidrogeoquímicas na Bacia de Taubaté, identificadas pelos valores excessivos, em alguns pontos, de fluoreto, de sulfato, de cloreto e de teor salino. Predominam águas bicarbonatadas sódicas (42%), seguidas das bicarbonatadas cálcicas (20%). Através da distribuição do teor salino e das razões Cl/HCO_3 e Na/Ca , é sugestiva uma evolução salina das bordas para o centro.

Campos (1994) mostrou que, em duas áreas da bacia (nordeste e sudeste), as anomalias estão distribuídas pontualmente. A hipótese mais provável para este fenômeno é a associação às proximidades de zonas sismogênicas, de anomalias geotermiais e tendências estruturais regionais.

3. Metodologia

3.1. Coleta de dados iniciais

A primeira parte do presente trabalho foi destinada à pesquisa bibliográfica, conhecimento da geologia da bacia, coleta de dados básicos sobre as características hidráulicas e hidroquímicas dos poços. As análises físico-químicas, presentes nos trabalhos anteriores, principalmente no trabalho do DAEE (1977), foram compiladas e agrupadas em uma planilha de dados. Este arquivo é formado por análises datadas da década de 70. Dados mais recentes foram coletados dos arquivos da SABESP, órgão responsável pelo abastecimento da maioria das cidades do Vale do Paraíba. Os arquivos, com os dados do DAEE e da SABESP, encontram-se no anexo 1.

3.2. Etapa de campo e laboratório

Nesta etapa, foram realizadas, no período de abril a agosto de 1996, campanhas de campo para a coleta de águas, visando a obtenção de dados mais recentes. Priorizaram-se as áreas pouco amostradas nos trabalhos anteriores e aquelas contendo poços importantes, da bibliografia, que apresentavam erros significativos na análise.

Foram coletadas ao todo 72 amostras, sendo 1 amostra de água do rio, 4 de cisternas e 67 de poços.

As águas foram coletadas diretamente da boca do poço, após um período de bombeamento. Todos os frascos, antes da coleta, foram lavados com a água do próprio poço. Foram coletados 2 litros de água a cada ponto. As amostras foram colhidas em vasilhames de polietileno de 500 ml, que foram preenchidos totalmente de modo a evitar o contato com o ar. O pH de campo e a temperatura foram medidas na hora da coleta, sendo os frascos fechados e conservados gelados até serem descarregados no laboratório.

No mesmo dia da coleta, realizou-se a análise de alcalinidade. O aparelho utilizado foi o Orion 960 (*Autochemistry System*), com o eletrodo de pH. A alcalinidade foi medida, utilizando o método de Barnes (1964). Este método consiste na determinação da alcalinidade total da amostra, que inclui as concentrações de carbonatos, bicarbonatos, ânions de ácidos orgânicos, boratos, hidróxidos de amônia, silicatos e outras espécies.

O método consiste na titulação de uma amostra de água. O titulante (no caso HCl com concentração de 0,01N) é adicionado até atingir o ponto de equivalência, determinado pela inflexão da curva de titulação. A curva de titulação é feita com o volume do titulante adicionado e a medida de pH em cada etapa. O ponto de equivalência representa o ponto em que números iguais de equivalentes do ácido e da base foram misturados (Russel, 1982).

O valor de alcalinidade referente à concentração de bicarbonatos em mg/l é dado pela fórmula :

$$C_{HCO_3^-} = \frac{N_t \times V_t}{V_s} \times 61 \times 1000$$

onde:

$C_{HCO_3^-}$ = Alcalinidade total (mg/l).

N_t = Normalidade do titulante.

V_t = Volume do titulante, adicionado até o ponto de equivalência (ml).

V_s = Volume da amostra (ml).

O valores 1000 e 61 representam a conversão em mililitros para litros e o peso molecular do bicarbonato, respectivamente.

A técnica de primeira derivada, utilizada na titulação pelo aparelho, assume que a taxa de variação de potencial com o volume do titulante adicionado será máximo no ponto de inflexão.

O anexo 2 apresenta o resultado de uma análise registrada pelo aparelho.

3.3. Análises de Laboratório

Para a análise de cátions, as amostras foram filtradas em um conjunto filtrante *milipore*, utilizando filtros de 0,45 μ m e, logo em seguida, acidificadas com ácido nítrico concentrado, com 2 ou 3 gotas para 100 ml de amostra.

As análises de cátions foram realizadas no laboratório do IGCE/UNESP e determinados os seguintes íons: Al, Ba, Ca, Cd, Cr_{total}, Cu, Fe_{total}, Mg, Mn, P, Pb, Sr, Zn e Si. Para esta determinação, foi utilizada a técnica de espectrometria de emissão atômica por plasma de acoplamento indutivo (ICP-AES), utilizando-se o espectômetro ARL 3410+ICP.

O Na e K foram determinados utilizando o espectrômetro de Absorção Atômica (AA).

Para os ânions, foram determinados o SO₄, Cl e F. O fluoreto e o sulfato foram determinados através de eletrodos íon-específicos, enquanto que o cloreto, por titulação com nitrato de prata. Estas análises foram efetuadas no laboratório da SABESP em São José dos Campos.

Os resultados das análises físico-químicas das águas coletadas neste trabalho estão presentes no anexo 3.

3.4. Processamento dos dados

Primeiramente, com os dados provenientes de trabalhos anteriores, foram corrigidas as concentrações de Ca, Mg e HCO₃, apresentadas inicialmente na forma de CaCO₃.

As concentrações, em meq/l, foram calculadas para todos os íons. O número de equivalentes permite uma comparação direta entre os íons (Custódio e Llamas, 1976).

A medida de sólidos totais dissolvidos (STD) resulta da somatória de todos os íons determinados analiticamente. A força iônica, utilizada na determinação do coeficiente de atividade, foi calculada neste trabalho segundo a equação abaixo:

$$I = \frac{1}{2} \sum m_i z_i^2,$$

onde z_i é a valência do íon i e m_i é a molalidade do íon i .

Os cálculos dos erros práticos e teóricos foram determinados pelo método de Logan (1965). O erro máximo permitido foi de 10%.

Pelo método de Logan (1965), o erro prático (E_p) é determinado pela fórmula abaixo:

$$E_p = \frac{Sc - Sa}{Sc + Sa} \times 100,$$

onde Sc é a soma dos cátions e Sa é a soma dos ânions em meq/l.

O erro teórico é o percentual máximo de erro prático permitido, levando-se em consideração a soma dos ânions ou cátions (tabela 3-1):

Σ ânions ou Σ cátions	<1	1	2	6	10	30	>30	
Erro permitido (%)		15	10	6	4	3	2	1

Tabela 3-1 Erro permitido em relação a soma de cátions e ânions, segundo Logan (1965).

Devido ao grande volume de dados, optou-se em utilizar somente as análises que estão abaixo do erro permitido de 10%.

Os diagramas de hidroquímicos, *STIFF*, *PIPER* e *SCHOELLER*, foram construídos através do programa *GWW - Groundwater Software for Windows* (UNESCO, 1994).

As análises estatísticas e multivariadas foram realizadas através do programa *Statistica for Windows 4.3* (StatSoft, 1993).

O tratamento geoestatístico, compreendendo a variografia e estimativa da variável STD, foi realizado com o auxílio do programa *ISATIS 2.0* (Fontainebleau, 1994). Os mapas foram confeccionados pelo programa *SURFER 5.01* (Golden Software, 1994).

Os cálculos de especiação das fases aquosas e o estado de saturação das fases minerais foram realizadas pelo programa *Solmineq88 pc/shell* versão 0.85 (Perkins et al, 1988). Este programa contém um algoritmo que calcula o equilíbrio e a distribuição de mais de 340 espécies aquosas, orgânicas e inorgânicas, presentes em águas naturais. Ele consiste na resolução de um sistema de equações que envolvem a lei de ação de massas, oxi-redução e balanço de massas, segundo o modelo de associação iônica da fase aquosa (Kharaka et al. , 1988).

As análises químicas foram inseridas como dados de entrada no programa, em condições de pressão de 1 bar e à temperatura medida no campo.

Neste estudo, o *Solmineq88* foi utilizado para:

a) cálculo das concentrações de todas as espécies aquosas em solução, a partir das concentrações dos elementos maiores e traços, obtidas das análises químicas. Para calcular a distribuição das espécies aquosas de uma dada amostra de água, a temperatura e pH específicos, são utilizadas as equações de ação de massas e balanço de massas. Por exemplo, para a dissociação do carbonato de cálcio, a respectiva equação de ação de massas é:

$$K_{CaHCO_3^+} = \frac{m_{Ca^{++}} \times \gamma_{Ca^{++}} \times m_{CO_3^{--}} \times \gamma_{CO_3^{--}}}{m_{CaCO_3} \times \gamma_{CaCO_3}}$$

Na equação acima, o m_i e γ_i são respectivamente a molalidade e o coeficiente de atividade da espécie subscrita, e K_j é a constante de dissociação da espécie subscrita. A equação de balanço de massa leva a forma:

$$m_{i,t} = \sum_j n_{i,j} m_j$$

Na fórmula acima, o $m_{i,t}$, $n_{i,j}$ e m_j são, respectivamente, molalidade (analítica ou total) do componente i, o coeficiente estequiométrico do componente i na espécie j e a molalidade calculada da espécie j.

b) cálculo de atividade das espécies dissolvidas. A atividade de cada elemento (a_i) é determinada pelo cálculo da equação.

$$a_i = m_i \gamma_i$$

Na equação acima m_i e γ_i são, respectivamente, molalidade e coeficiente de atividade da espécie i .

Os coeficientes de atividade para os cátions e ânions são calculados através da equação de Debye-Hückel (Garrels e Christ, 1965), sendo apropriada para baixas salinidades encontradas na bacia. Para as espécies aquosas neutras, são utilizadas equações específicas para cada espécie.

c) cálculo do índice de saturação. O índice de saturação (ISat) é calculado através do logaritmo da razão entre o IAP (*ion activity product*) e o K_{sp} (produto de solubilidade).

$$ISat = \log \frac{IAP}{K_{sp}}$$

Quando a razão acima for menor do que zero, a amostra é sub-saturada na fase mineral escolhida. Se a razão for igual a zero, a amostra estará em equilíbrio, e se for maior do que zero, a amostra estará supersaturada na fase mineral escolhida (Nordstrom, 1985).

Para a confecção de diagramas de atividades, foi utilizado o programa *PTA System* (Pressão - Temperatura - Atividade), versão 1.0 (Brown et al., 1987). Este programa é de grande utilidade para a construção de diagramas atividade x atividade, temperatura x atividade e pressão x atividade, além disso, contém um banco de dados termodinâmicos para minerais, espécies aquosas e gasosas (Abercombrie, 1988).

Para as illitas e esmectitas, foram utilizados os dados termodinâmicos estimados por Abercombrie (1988). As esmectitas foram representadas por suas componentes termodinâmicas (beidellitas), prefixadas por seus cátions intercambiáveis (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}).

3.5. Seleção dos Dados

Ao final da etapa de coleta e processamento dos dados atuais, como também da bibliografia, apresentam-se então 3 arquivos de dados disponíveis: os dados atuais coletados, os arquivos do DAEE e da SABESP.

Para se conseguir um maior número de informações, foram feitas comparações do arquivo atual com os da SABESP e DAEE. As diferenças puderam ser melhor evidenciadas nos poços reamostrados nas três campanhas, como também através dos valores médios de áreas restritas.

Apesar da diferença de aproximadamente 20 anos entre algumas análises, a maior parte dos elementos mostra poucas diferenças e, provavelmente, estas devem-se aos diferentes métodos analíticos utilizados. Praticamente a relação entre os poços continuaram as mesmas.

A comparação entre os dados atuais e as análises do DAEE constatou as maiores diferenças nas concentrações de cloretos e sulfatos. A discrepância nos resultados de sulfato se deve provavelmente à resolução na determinação de valores abaixo de 2mg/l.

Com relação aos dados da SABESP, a diferença principal em relação aos dados atuais está na concentração de bicarbonato. Esta diferença em relação ao bicarbonato é de grande importância, pois este elemento é o principal ânion nas águas da Bacia de Taubaté.

O tratamento hidroquímico foi efetuado utilizando-se somente o arquivo gerado da coleta atual de dados. A união dos dados antigos e novos foi utilizada apenas na análise geoestatística e confecção dos mapas da variável STD. Esta variável apresentou poucas diferenças, quando comparada com o arquivo do DAEE e, por isso, este arquivo foi incorporado aos dados atuais no estudo da variável STD.

A pequena diferença dos dados coletados, em relação aos dados do DAEE, é consequência da baixa influência da concentração de cloretos e sulfatos na salinidade total da água. Já o arquivo da SABESP apresentou grandes diferenças nos valores de STD, provavelmente ocasionado pelas análises de bicarbonato. Desta forma o STD do

arquivo da SABESP foi recalculado através do método da cokrigagem (vide capítulo 4), utilizando-se as medidas de condutividade.

A variável STD (sólidos totais dissolvidos) foi utilizada na avaliação do grau de salinidade das águas, calculado pelo programa *Solmin88* (Perkins et al., 1988). Para testar a representatividade desta variável, foi calculado o STD para os dados do arquivo do DAEE e efetuadas análises de correlações com a condutividade elétrica e com o resíduo seco (concentração de STD determinada em laboratório) destas águas, obtendo-se correlações de $r = 0,99$ e $r = 0,98$, respectivamente. As correlações entre o STD calculado para os dados atuais e a medida de condutividade foi de $r = 0,88$.

4. Hidrogeoquímica da Bacia de Taubaté

4.1. Determinação dos tipos hidroquímicos

A determinação dos tipos hidroquímicos foi baseada na concentração dos elementos maiores presentes nas águas. Estas concentrações são representadas em diagramas hidroquímicos, agrupando-se as amostras com as mesmas características. As análises físico-químicas selecionadas para classificar as águas quanto ao tipo hidroquímico estão listadas na tabela 4-1.

A determinação dos tipos hidroquímicos através dos diagramas hidroquímicos tradicionais mostrou um alto grau de incerteza para estas águas, sem uma clara definição dos limites dos diferentes tipos presentes.

Devido ao grande número de variáveis envolvidas e à grande disparidade entre as análises, optou-se então pela utilização da análise de agrupamento, uma técnica estatística multivariada que utiliza a similaridade entre os indivíduos para classificar as águas hierarquicamente em grupos, considerando todas as variáveis determinadas para cada indivíduo (Moura, 1985; Davis, 1986).

As variáveis utilizadas para a análise de agrupamento foram as que apresentaram as maiores concentrações: sódio, potássio, cálcio, magnésio, bicarbonato, cloreto e sílica. A medida do grau de similaridade foi determinada pelo coeficiente de distância euclidiana, usualmente utilizado quando se deseja estabelecer o grau de semelhança entre objetos (Moura, 1985). O agrupamento hierárquico está representado no dendograma da figura 4-1.

Através do dendograma, foi possível identificar quatro agrupamentos que foram identificados e descritos como os tipos hidroquímicos I, II, III e IV (figura 4-1). Os tipos I e II agrupam a maioria dos dados, enquanto o tipo IV apresenta-se mais diferenciado devido ao alto coeficiente de distância, em relação às demais águas da bacia.

poco	pH Lab	Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SiO ₂	STD
cepe	5,33	7,82	0,70	0,22	0,18	5,50	9,88	6,24	30,95
cp24	8,03	31,00	2,00	15,00	0,41	138,20	5,90	46,92	241,05
cp13	7,58	26,00	3,20	21,00	1,50	135,60	8,50	45,46	242,33
cp3	7,32	22,00	3,30	23,00	1,50	127,10	12,10	48,63	238,63
cp20	8,03	43,00	1,90	11,00	0,63	151,20	9,00	35,10	253,45
sj9	6,56	18,00	5,80	23,00	2,05	58,36	39,60	60,24	208,08
sj71	6,98	12,17	4,70	11,00	0,69	74,98	4,70	52,90	161,51
sj40	6,52	5,00	3,50	3,10	0,41	24,75	6,60	53,17	96,75
sj36	5,77	2,67	2,60	0,99	0,26	9,80	3,25	24,41	44,09
sj35	5,96	2,70	2,70	0,47	0,20	8,09	3,64	30,12	47,97
sj120	6,77	10,00	3,60	3,60	0,56	43,83	5,70	75,79	143,51
sj103	6,63	3,36	3,88	2,86	0,33	23,74	4,02	47,49	85,85
sl49	6,49	12,61	3,91	7,38	1,36	62,26	7,84	73,96	169,83
sj112	5,68	1,63	3,54	0,77	0,42	9,81	4,21	40,83	61,27
sj67	6,02	2,09	3,40	1,21	0,39	14,30	3,27	42,18	66,90
sj50	5,77	0,76	2,54	0,39	0,18	7,17	3,74	24,94	39,77
s/n	6,05	0,36	2,68	0,53	0,20	8,29	4,20	21,28	38,54
sj114	6,68	13,94	4,63	8,25	0,98	68,72	10,70	82,09	189,84
sj61	6,27	1,53	2,78	0,68	0,21	10,05	3,27	38,62	57,18
sj139	6,55	5,03	3,35	3,79	0,58	31,01	2,80	52,00	98,98
sj128	7,16	14,06	2,72	6,04	0,59	60,93	6,97	46,95	138,94
sj49	5,95	2,53	3,46	2,80	0,74	19,76	3,74	29,17	62,27
sj33	6,02	4,30	3,20	3,20	0,50	17,17	3,74	54,00	86,48
sj77	5,32	1,74	1,99	0,21	0,31	4,85	3,74	15,91	28,78
sj44	6,69	6,02	3,37	6,50	0,60	39,58	6,97	69,52	133,19
l05	8,53	105,35	0,70	3,77	0,10	300,00	8,67	18,56	438,74
l11	6,70	7,72	2,89	12,58	1,17	60,25	5,59	63,78	156,50
l04	6,15	7,78	2,78	8,52	1,26	40,03	5,88	70,54	139,09
lexplo	6,99	23,62	2,23	9,82	0,68	96,82	4,96	71,88	216,35
l07	7,86	37,64	0,97	5,19	0,46	125,80	6,12	25,57	202,77
l10	8,08	36,45	1,19	10,79	0,61	141,60	5,10	29,55	226,04
l06	8,50	85,90	0,65	5,40	0,15	270,40	6,84	19,36	390,30
cp23	7,77	29,30	2,41	17,53	1,04	130,90	5,20	40,37	231,60
cp22	7,43	12,62	3,61	31,25	1,24	123,50	4,67	59,55	241,86
cp21a	6,76	14,16	3,49	18,32	0,62	86,90	5,44	73,00	202,83
cp02	6,98	17,48	5,33	54,23	2,86	165,40	26,49	74,58	350,78
cp18	7,81	27,64	3,34	27,47	1,01	145,50	9,05	39,29	284,59
cp19	7,41	16,02	3,60	29,97	2,33	132,90	8,76	49,50	244,28
cp01	5,44	3,38	4,74	0,98	0,72	5,34	8,19	19,03	44,80
cp02v	5,67	1,74	2,97	1,90	0,46	12,07	3,75	22,03	45,18
cp21	7,96	36,90	2,10	15,91	0,93	145,00	6,84	37,95	271,17
ch02	8,30	55,80	0,77	3,52	0,27	178,30	7,25	27,41	276,83
chcanção	7,30	8,46	6,06	20,15	4,92	102,50	4,83	59,51	211,69
chlal	7,81	24,95	2,79	5,34	0,96	94,50	7,73	26,07	166,09
chfurnas	6,60	7,21	3,56	3,90	0,80	33,20	4,80	70,79	131,12
chinpe	5,88	3,48	3,58	1,49	0,62	17,88	5,31	38,85	71,93
r02	8,43	47,00	2,70	14,85	0,83	175,20	7,73	27,70	277,76
r04	7,72	6,31	4,71	34,01	7,32	163,50	6,76	27,93	251,80
r05	7,35	2,88	5,25	29,69	6,05	132,50	5,31	30,39	215,38
T04	8,17	196,10	3,77	2,68	0,74	612,90	6,60	16,43	844,47
T05	8,24	157,40	3,64	2,77	0,65	569,40	8,02	19,62	769,53
T06	7,93	25,28	3,10	9,59	1,89	122,80	4,71	30,79	202,05
T07	7,32	58,75	2,02	6,35	1,64	230,00	7,09	14,49	321,80
Pi11	8,29	178,40	2,61	2,62	0,52	579,80	6,07	18,05	792,04
Pi14	8,34	163,10	2,76	2,43	0,56	521,60	6,54	13,70	714,57
j13	6,15	10,14	5,98	4,36	1,06	36,92	5,74	46,05	111,01
j15	7,37	15,26	4,18	6,62	1,05	73,00	3,83	76,67	187,23
j07	6,49	12,86	4,58	5,81	0,96	53,42	4,31	84,67	170,18
j100	7,45	12,72	6,45	17,76	0,84	91,54	3,83	52,93	191,26
j200	5,61	7,61	4,86	2,19	0,63	16,28	7,18	34,77	73,93
G05	6,27	4,58	5,38	5,02	0,71	31,40	4,06	66,41	122,46
G08	7,18	32,30	2,72	10,53	0,76	137,70	2,96	42,07	229,85
G04	7,81	34,66	2,56	12,06	0,81	149,80	4,06	34,46	240,02
G04TC	6,57	6,85	2,99	6,63	0,78	43,03	3,54	70,49	135,86

Tabela 4-1 Análises físico-químicas selecionadas para a determinação dos tipos hidroquímicos

Tree Diagram for 64 Cases

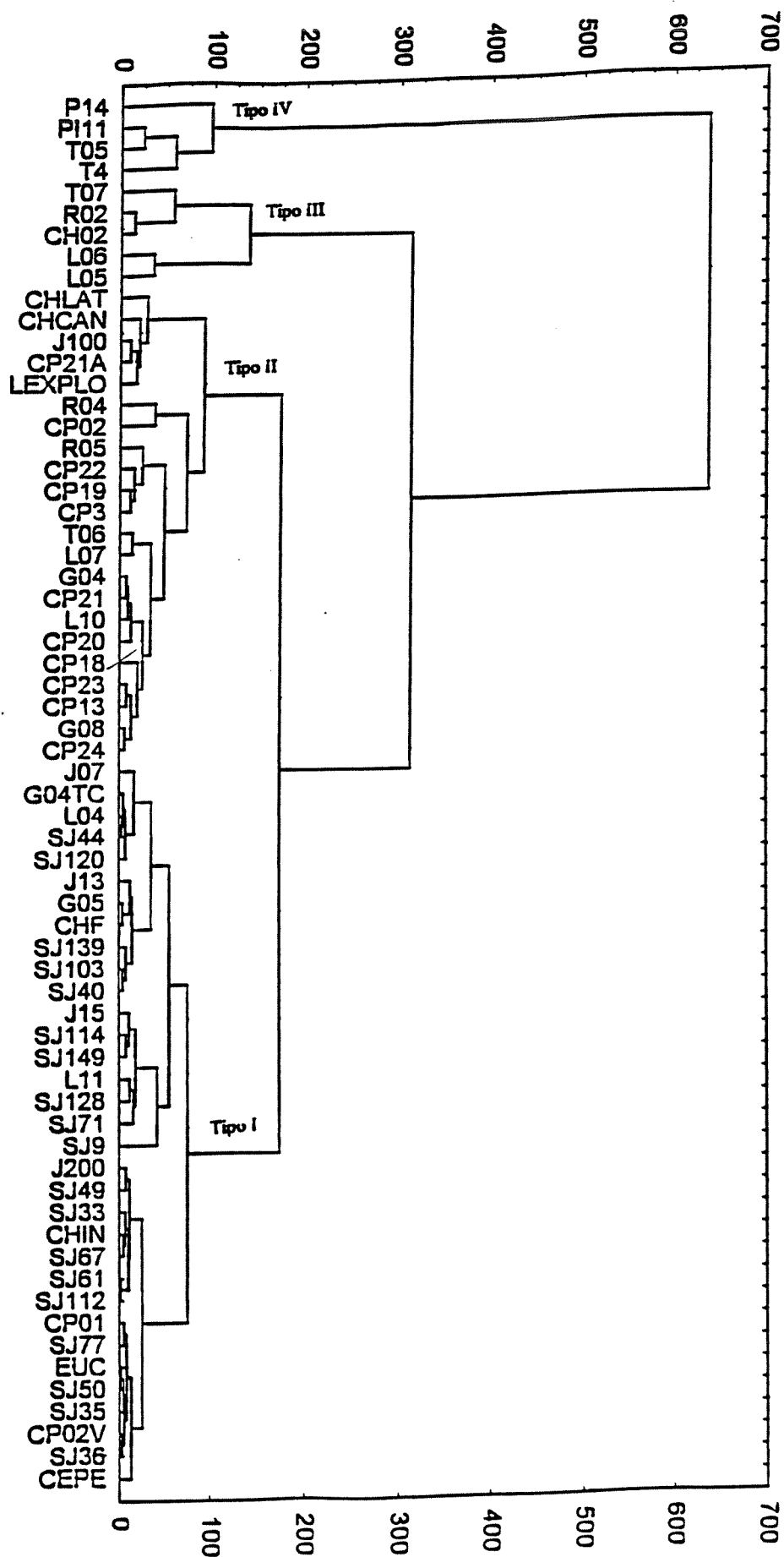


Figura 4-1 Dendograma referente as águas da Bacia de Taubaté.

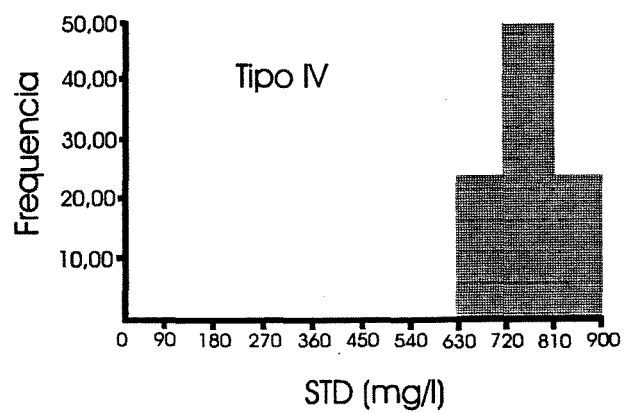
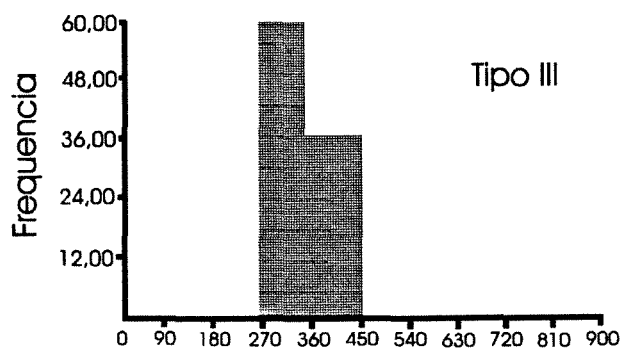
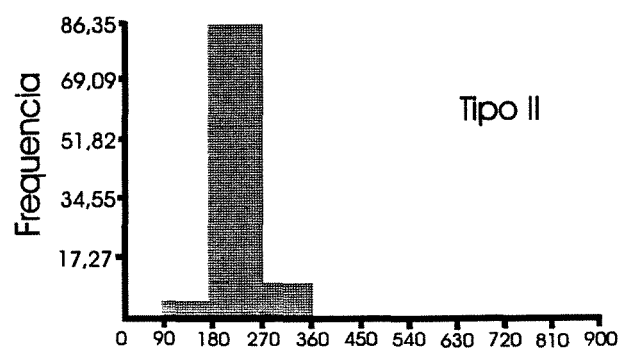
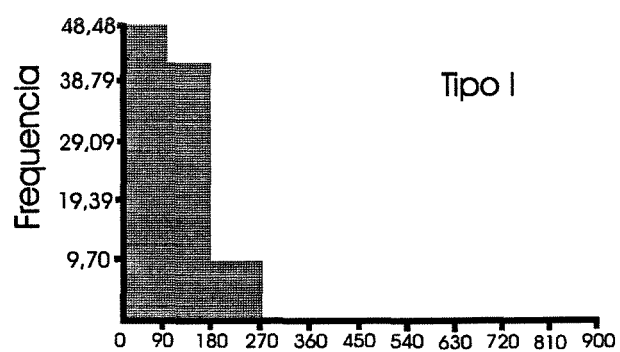


Figura 4-2 Histogramas de STD referentes aos quatro tipos hidroquímicos.

Para verificar uma provável ligação entre os tipos hidroquímicos e as salinidades das águas, foram construídos histogramas de STD para cada tipo (figura 4-2). Através destes histogramas, pode-se observar a estreita relação entre os tipos hidroquímicos e a salinidade. O aumento da concentração ocorre a partir das águas do tipo I ao tipo IV, este último tipo apresentando-se bem distinto em relação aos demais. Os valores dos quartis de cada histograma mostra claramente as diferenças (tabela 4-2).

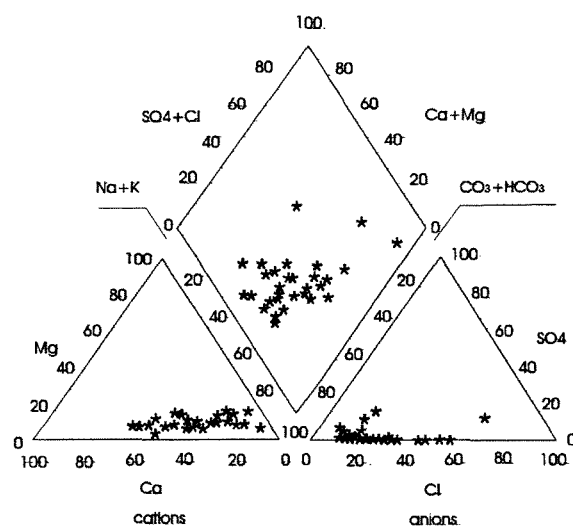
	TipoI	TipoII	TipoIII	TipoIV
amostras	33	21	5	4
Q ₂₅ -Q ₇₅	48-139	210-243	275-390	712-790
média	101,8	233,3	340,1	777,2
desv. padr.	42,95	35,95	73,50	53,30

Tabela 4-2 Tabela com os dados estatísticos e os valores do 1º e 3º quartil de cada tipo hidroquímico, valores de STD em mg/l.

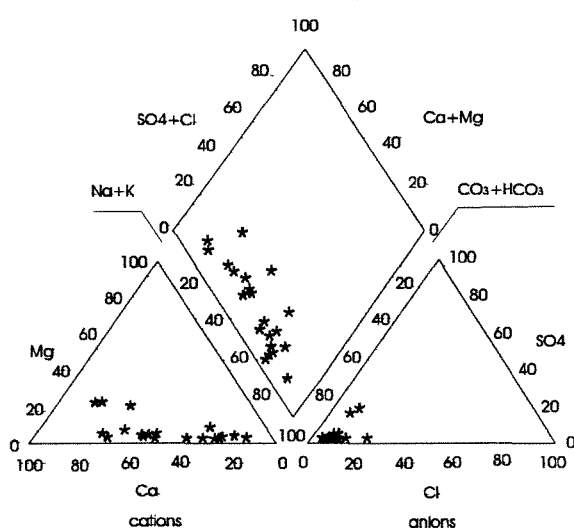
A análise da contribuição dos íons maiores no processo de seleção, determinada pela análise de agrupamento, pode ser visualizada nos diagramas hidroquímicos de classificação de águas. Os tipos hidroquímicos plotados no diagrama de Piper estão ilustrados nas figuras 4-3 e 4-4.

Desta forma, com base nos histogramas de salinidade (STD) e nos diagramas de Piper, os tipos hidroquímicos podem ser descritos:

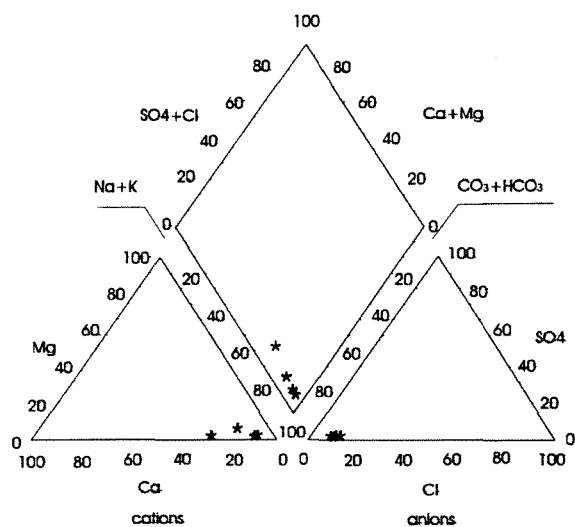
Tipo I - Apresenta salinidade variando entre 28 e 207 mg/l. A maior parte das águas são classificadas como bicarbonatadas sódicas, algumas apresentam composições de bicarbonatadas cálcicas e cloro-sulfatadas sódicas. É observado um enriquecimento da salinidade em direção às águas bicarbonatadas. As águas mais salinas contêm de 80% a 90% de teor de bicarbonato nos ânions. O cloreto é o segundo ânion em importância para estas águas, com participações mais significativas para as águas de baixa salinidade. O sulfato é o que apresenta as menores porcentagens. Entre os cátions, destacam-se as baixas proporções de magnésio, que não ultrapassa a 20% do total dos cátions. O sódio e o cálcio são os cátions predominantes.



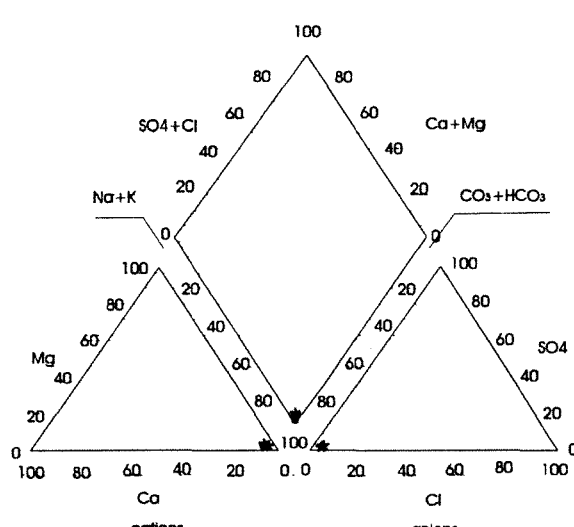
Tipo I



Tipo II



Tipo III



Tipo IV

Figura 4-3 Diagramas de Piper correspondentes a cada tipo hidroquímico.

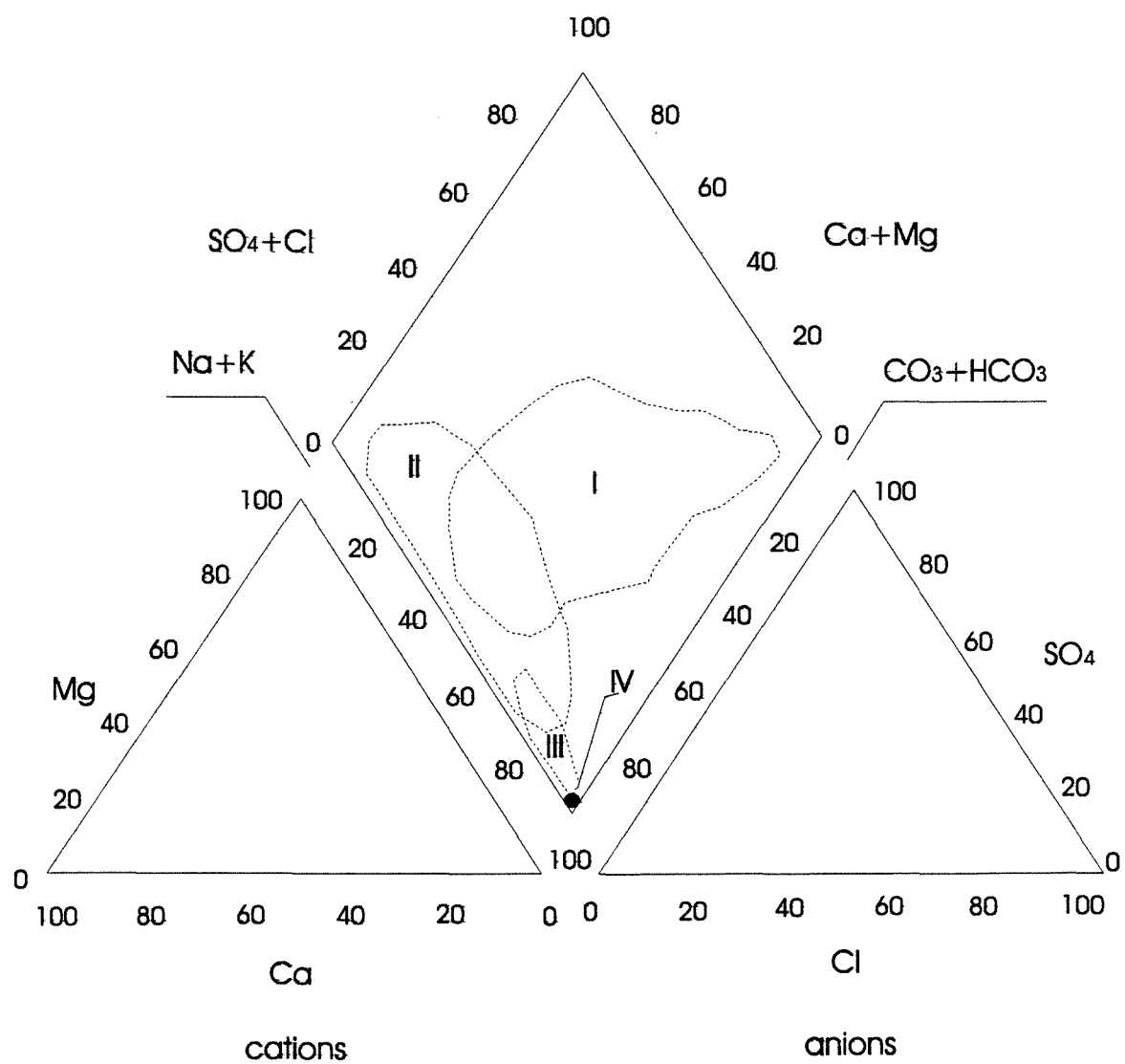


Figura 4-4 Diagrama de Piper ilustrando os campos de cada tipo hidroquímico.

Tipo II - As águas deste tipo estão representadas pelas águas bicarbonatadas cálcicas e sódicas. As salinidades variam de 165 a 350mg/l. O bicarbonato predomina entre os ânions, com uma porcentagem acima de 80% para a maioria das águas. Em relação aos cátions, novamente o magnésio apresenta os menores valores, apenas 3 poços apresentam um teor um pouco mais elevado deste elemento. O cálcio e o sódio dividem a predominância catiônica nas águas desse tipo.

Tipo III - Este tipo corresponde às águas bicarbonatadas sódicas. Os teores de magnésio e cálcio são baixos e o sódio é o cátion predominante. Os carbonatos e bicarbonatos perfazem mais de 90% entre os ânions. As salinidades estão entre 275 e 438mg/l.

Tipo IV - As águas deste tipo, como nas águas do tipo III, são classificadas, exclusivamente, como bicarbonatadas sódicas. No campo são facilmente identificadas pela elevada temperatura (aproximadamente 40°C). As composições químicas são marcadas claramente pelo predomínio de sódio (com uma porcentagem acima de 90%) entre os cátions, o mesmo acontecendo com bicarbonato entre os ânions. As salinidades dessas águas são as mais altas da bacia, variando entre 712 a 842 mg/l.

A composição média para cada tipo hidroquímico está sumarizada na tabela 4-3. Pode-se observar que, além do STD, o sódio e o bicarbonato apresentam uma tendência de crescimento da concentração destes íons em direção ao tipo IV. Outros elementos que mostraram-se indicativos desta tendência são o fluoreto e, de maneira menos pronunciada, o pH e a temperatura.

	Temp	pH	Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	SO ₄ *	Cl	F*	SiO ₂	STD
TipoI	22,8	6,24	6,57	3,56	4,45	0,66	31,1	0,7	6,21	0,01	48,5	101,8
TipoII	24,7	7,57	23,7	3,28	19,5	1,79	129,1	3,92	7,19	0,21	44,5	233,3
TipoIII	25,3	8,21	70,5	1,36	6,78	0,61	230,7	-----	7,51	0,98	21,4	340,1
TipoIV	40,7	8,26	173,7	3,19	2,62	0,61	570,9	-----	6,81	2,37	16,9	777,2

Tabela 4-3 Valores médios dos íons, STD, pH e temperatura, para cada tipo hidroquímico.

* as concentrações de sulfato e fluoreto foram detectadas em alguns poços e suas médias referem-se aos valores acima do limte de detecção.

As águas do tipo II são destacadas das demais pelas concentrações mais elevada de cálcio, magnésio e sulfato. Já as águas do tipo I são identificadas pelos baixos valores da maioria dos elementos e pelos altos valores de potássio e sílica

Os elementos traço apresentam-se subdivididos entre os tipos hidroquímicos na tabela 4-4.

Os elementos traço apresentam alguns íons com um grande número de amostras abaixo do limite de detecção, dentre estes o cádmio, chumbo e cromo, em todas as águas, estão abaixo do limite. O alumínio e cobre foram detectados em poucas amostras, sempre relacionadas ao tipo I. O zinco e o fosfato apresentam as maiores concentrações também relacionadas a este tipo.

Os elementos bário, manganês e estrôncio foram determinados na maioria das amostras e, neste caso, o bário e estrôncio estão claramente vinculados às águas do tipo II.

O boro também foi detectado na maioria da amostras, as águas em que este elemento não foi detectado são referentes as águas do tipo I. A tendência de crescimento das concentrações deste íon é semelhante as descritas para STD, sódio e bicarbonato.

	amostras	Fe	Al	Ba	PO ₄	Cu	Mn	Sr	Zn	B
TipoI	33	0,03(11)	0,07(1)	0,05(33)	0,76(11)	0,03(5)	0,04(9)	0,06(29)	0,09(18)	0,36(20)
TipoII	21	0,07(7)	-----	0,13(21)	0,35(3)	-----	0,04(19)	0,27(21)	0,04(10)	0,47(21)
TipoIII	5	0,04(3)	-----	0,06(5)	0,32(1)	-----	0,02(2)	0,11(5)	0,02(1)	0,96(4)
TipoIV	4	0,04(4)	-----	0,05(4)	-----	-----	-----	0,06(4)	-----	2,76(4)

Tabela 4-4 Concentração dos elementos traço por tipo hidroquímico em mg/l, os valores referem-se às médias dos valores acima do limite de detecção. Entre parênteses estão o número de amostras detectadas.

4.2. Distribuição dos tipos hidroquímicos

Com a identificação dos tipos hidroquímicos dentre as análises selecionadas, a etapa seguinte foi analisar a relação espacial dos tipos hidroquímicos com relação às

compartimentações estrutural e geológica, para com isso delimitar os zoneamentos hidroquímicos regionais.

A distribuição dos poços com os tipos hidroquímicos selecionados está presente na figura 4-5. A disposição dos tipos sugere uma zonalidade na porção sudoeste e central do mapa. Através dos mapas geológico e estrutural e das descrições litológicas dos poços, é verificado o marcante papel da litologia como diferenciador dos tipos hidroquímicos.

Os sedimentos fluviais na região de São José dos Campos (Compartimento Jacareí-São José dos Campos) apresentam o predomínio das águas do tipo I, claramente separada pelo alto de Caçapava. Em direção ao centro da bacia encontram-se as águas do tipo II bem caracterizadas na região do Alto de Caçapava. Embora façam parte dos sedimentos lacustres da Formação Tremembé, provavelmente estes sedimentos correspondem a uma zona de transição entre os sedimentos fluviais e lacustres, esta característica de transição está relacionada ao grande número de níveis arenosos existentes nas descrições litológicas dos poços.

Os poços realmente inseridos na Formação Tremembé, dentro do Compartimento Quiririm-Taubaté, são os que apresentam águas do tipo IV, localizados na região central da bacia. Alguns poços deste tipo chegam a atingir profundidades em torno de 500m. e, através das descrições litológicas destes poços, mostram o predomínio de folhelhos e argilitos até a base.

Após o alto de Pindamonhangaba, no Compartimento Aparecida-Lorena, os poços voltam a se concentrar no extremo nordeste do mapa, onde a sedimentação fluvial volta a ser predominante.

Apesar dos trabalhos hidrogeológicos apontarem os dois extremos da bacia, relacionados aos sedimentos fluviais, com características hidrogeológicas semelhantes (DAEE, 1977; Teissedre e Mariano, 1978), a constituição hidroquímica das águas mostra substancial diferença entre as duas áreas.

Para auxiliar no entedimento da evolução hidroquímica das águas em cada setor da bacia, a Bacia de Taubaté foi dividida conforme os grandes compartimentos regionais definidos por Fernandes (1993), ilustrados na figura 2-7.

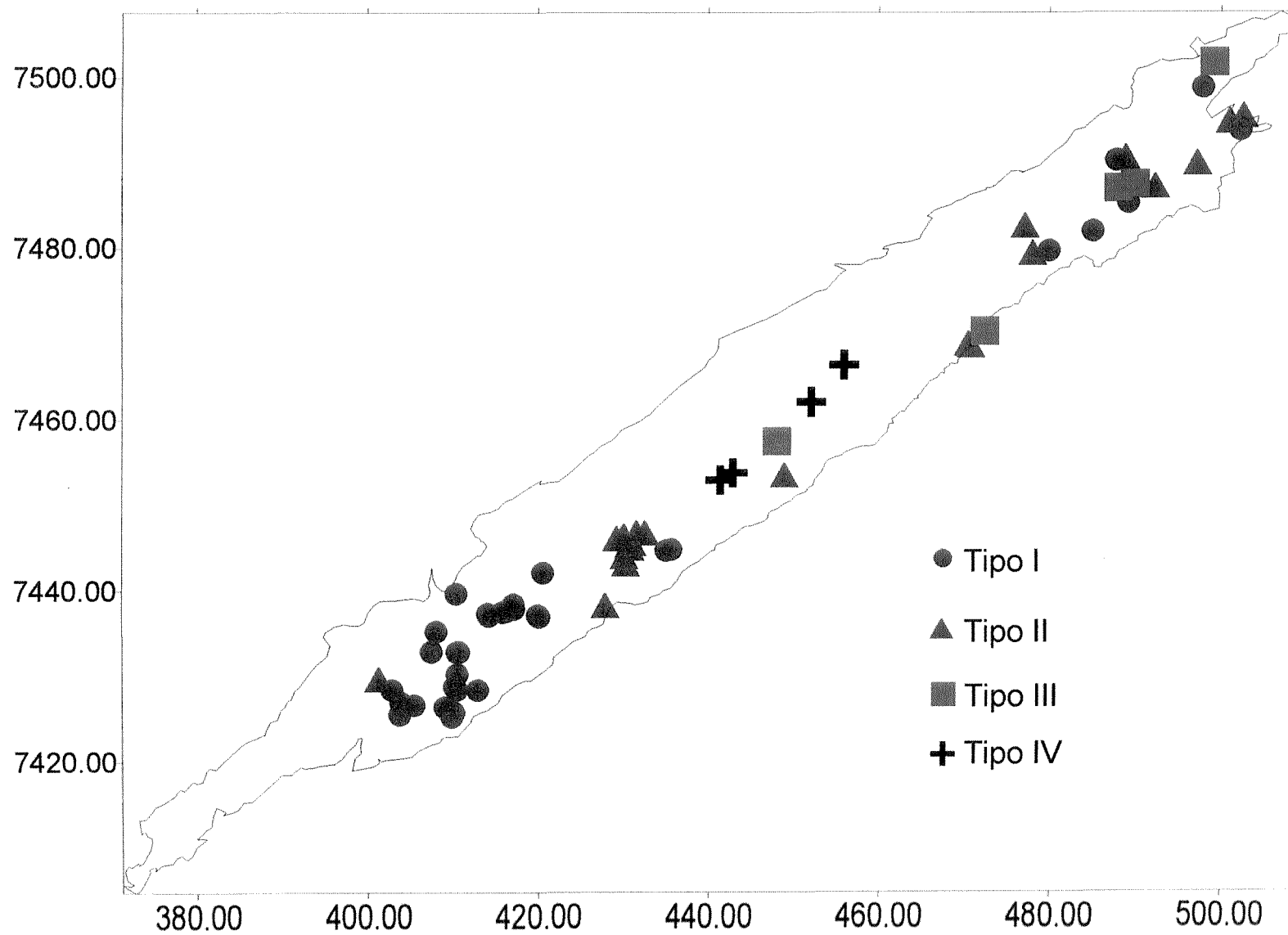


Figura 4-5 Distribuição dos poços com os tipos hidroquímicos correspondentes.

4.2.1. Caracterização hidroquímica do Compartimento Jacareí-São José dos Campos

Para este compartimento foram selecionados 73 poços (figura 4-6). Destes, 47 foram obtidos dos arquivos do DAEE e SABESP. Os 26 poços coletados no presente estudo estão sob a jurisdição da SABESP de São José dos Campos (21) e do SAEE (5) de Jacareí.

Do ponto de vista litológico, este compartimento é o mais homogêneo da bacia, constituído principalmente pela sedimentação fluvial no topo e com predominância de sedimentos lacustres à profundidades superiores a 200 m.

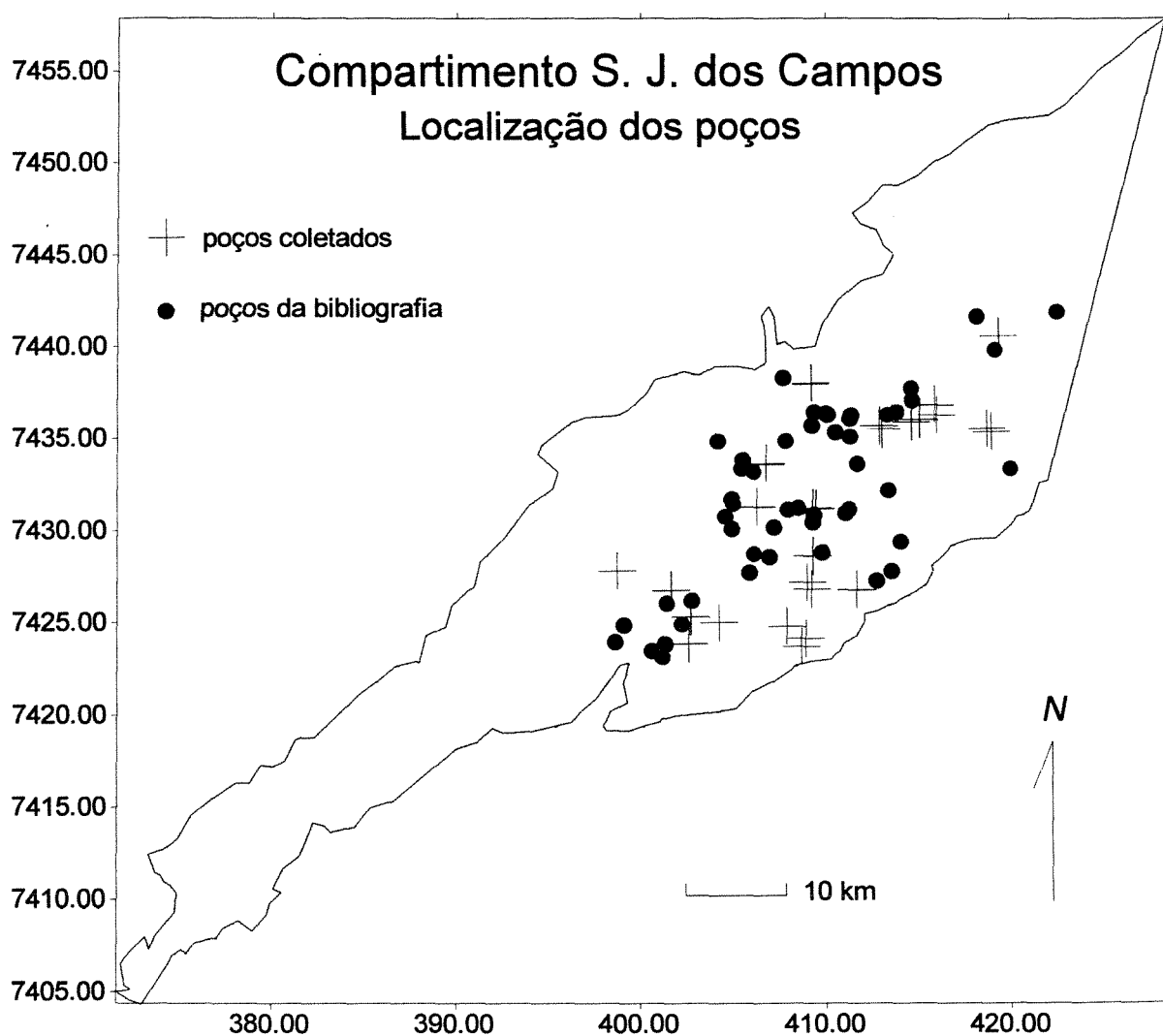


Figura 4-6 Mapa com todos os poços catalogados no Compartimento Jacareí-S. J. dos Campos.

Esta homogeneidade geológica é refletida na predominância das águas do tipo hidroquímico I para todo o compartimento. De todos os poços, apenas um (J100), localizado em Jacareí, é classificado como do tipo II (figura 4-7).

4.2.1.1. Distribuição dos íons

Uma primeira análise sobre a disposição dos principais elementos foi efetuada através de vários mapas, elaborados com a utilização da técnica do inverso do quadrado da distância (IQD).

De maneira geral, os íons maiores apresentam distribuições semelhantes entre si. Refletem, em grande parte, as características de aquíferos livres, com as menores concentrações dos íons localizados nas cotas mais elevadas, e as maiores concentrações localizadas nas cotas mais baixas, junto ao Rio Paraíba e seus afluentes, como o Rio Putins.

Devido a semelhança entre os mapas dos diversos íons, é verificado que o aumento da salinidade é provocado pelo aumento da concentração de todos os íons.

Uma área anômala contendo concentrações distintas de sulfato, em relação a maioria dos poços, está presente na figura 4-8. O mapa de sulfato apresenta os poços em que foram detectados este elemento, caracterizando uma área anômala em Jacareí. Esta área anômala também foi identificada nos outros bancos de dados, do DAEE e SABESP, em diferentes poços da mesma região. Além de estar presente nas cotas baixas, junto ao Rio Paraíba, a área está situada próxima à borda e inserida na principal zona de falhamentos do compartimento, relacionada a falha de São José.

Com relação aos elementos traços, os íons bário e estrôncio apresentam maiores concentrações nos poços localizados nas bordas do compartimento. O boro apresenta-se mais concentrado nos poços da borda do compartimento e, principalmente, na região anômala.

O mapa da razão iônica Na/Cl, indicativa das áreas de recarga (Moreira-Nodermann e Rebouças, 1986), confirma, em função das baixas razões, a área de recarga localizada a sul de São José dos Campos. A razão Ca/Na apresenta os maiores valores à leste de São José dos Campos sugerindo uma provável delimitação, no alto do Rio Putins, de distintas evoluções hidrogeoquímicas entre as duas áreas (figura 4-8).

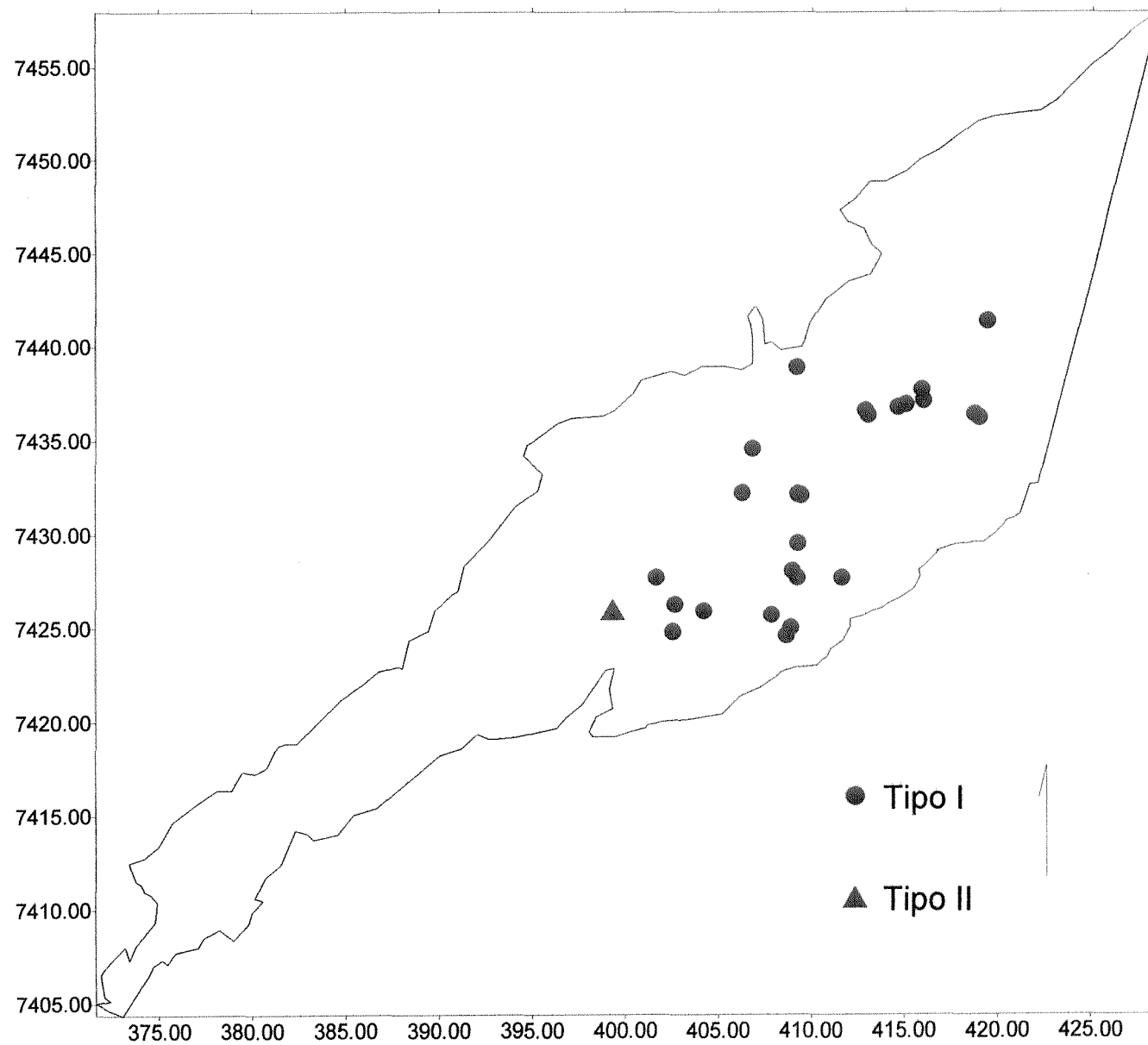


Figura 4-7 Distribuição dos poços com o tipo hidroquímico correspondente no Compartimento Jacareí-São José dos Campos

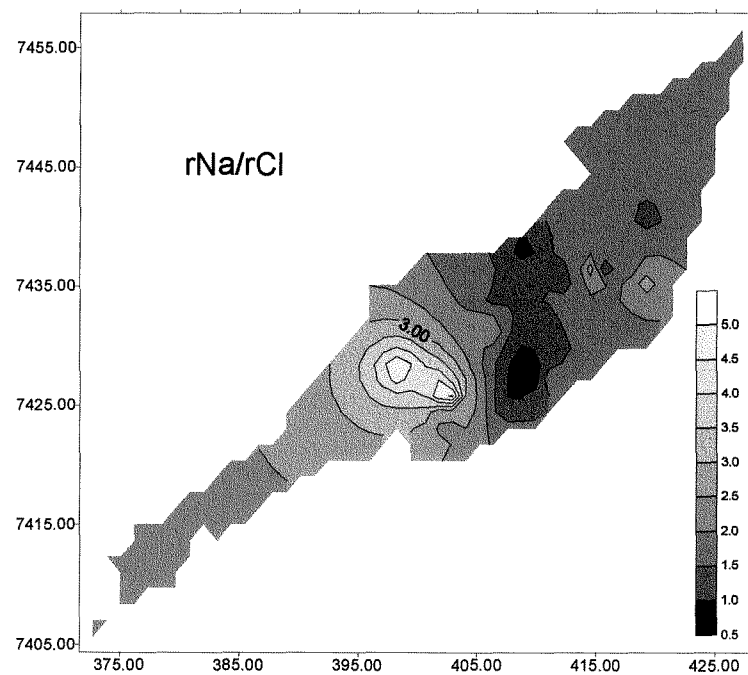
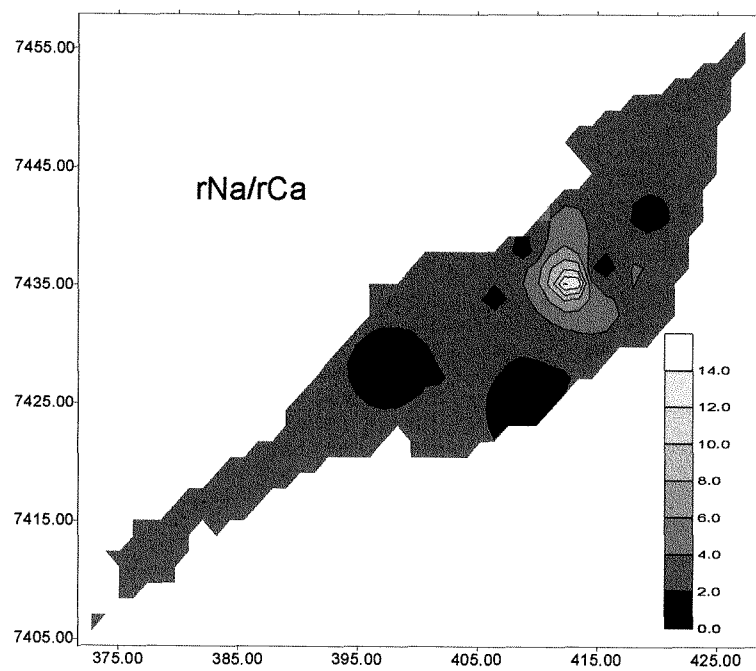
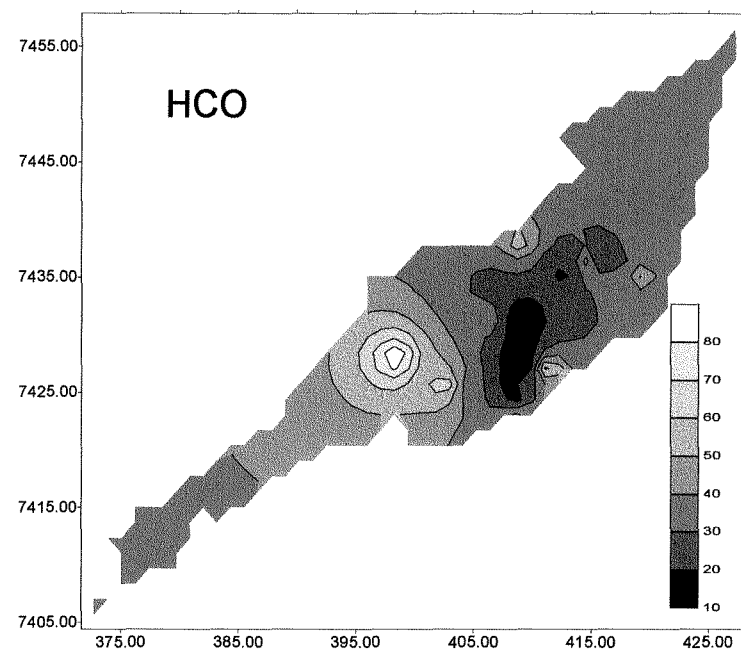
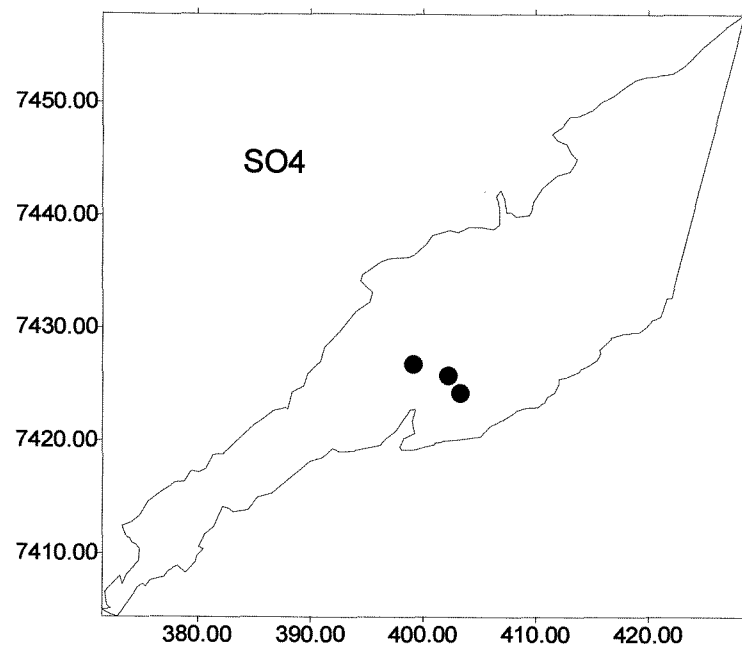


Figura 4-8 Distribuição de alguns íons selecionados no compartimento São José dos Campos

4.2.1.2. Análise Geoestatística do STD

Um tratamento geoestatístico foi realizado para a variável STD, variável que apresenta boa correlação, neste compartimento, com os íons maiores, além de representar a salinidade da água. Nesta análise foram incorporados os dados do DAEE aos poços atuais coletados.

A continuidade espacial desta variável pode ser observada através do variograma experimental omnidirecional (figura 4-9). O variograma apresenta um baixo valor do alcance, que não ultrapassa 500 m, e um componente pepítico na origem, indicando a baixa continuidade espacial. Outra característica é a ciclicidade no comportamento de STD, observado no variograma através do efeito buraco.

Tanto a baixa continuidade, como o componente pepítico na origem, refletem o caráter aleatório desta variável neste compartimento. A homogeneidade litológica faz com que a salinidade das águas não apresente direções preferenciais de aumento da concentração salina, sendo a variação na salinidade das águas provocadas por outros fatores, como topografia, profundidade dos poços, o número e localizações dos intervalos de filtros e as anomalias pontuais distribuídas nas bordas do compartimento.

O efeito buraco reflete o comportamento cíclico da variável (Isaaks and Srivastava, 1989). Esta ciclicidade provavelmente é devido à influência da topografia na distribuição da salinidade do aquífero, o que foi comprovado através dos mapas individuais dos íons (figura 4-8). A não estacionaridade do variograma também indica um comportamento de deriva ocasionado pela tendência regional de aumento de salinidade em direção a região de Caçapava e Taubaté.

Estabelecido o modelo variográfico, foi gerado o mapa krigado da variável STD (figura 4-10). A distribuição é semelhante em relação aos principais íons maiores. Nesse mapa, observam-se que as áreas com as maiores concentrações estão situadas na região que apresenta as cotas mais baixas, com salinidades acima de 200 mg/l, referentes as áreas do Rio Paraíba e seus afluentes. Baixas salinidades estão presentes a sul de São José dos Campos, com águas contendo concentrações entre 25 a 50 mg/l. Essa área é semelhante a região de Tabuleiros, determinada no mapa geomorfológico (figura 2-2). Certamente esta é a principal área, junto com as bordas da bacia, de recarga do compartimento.

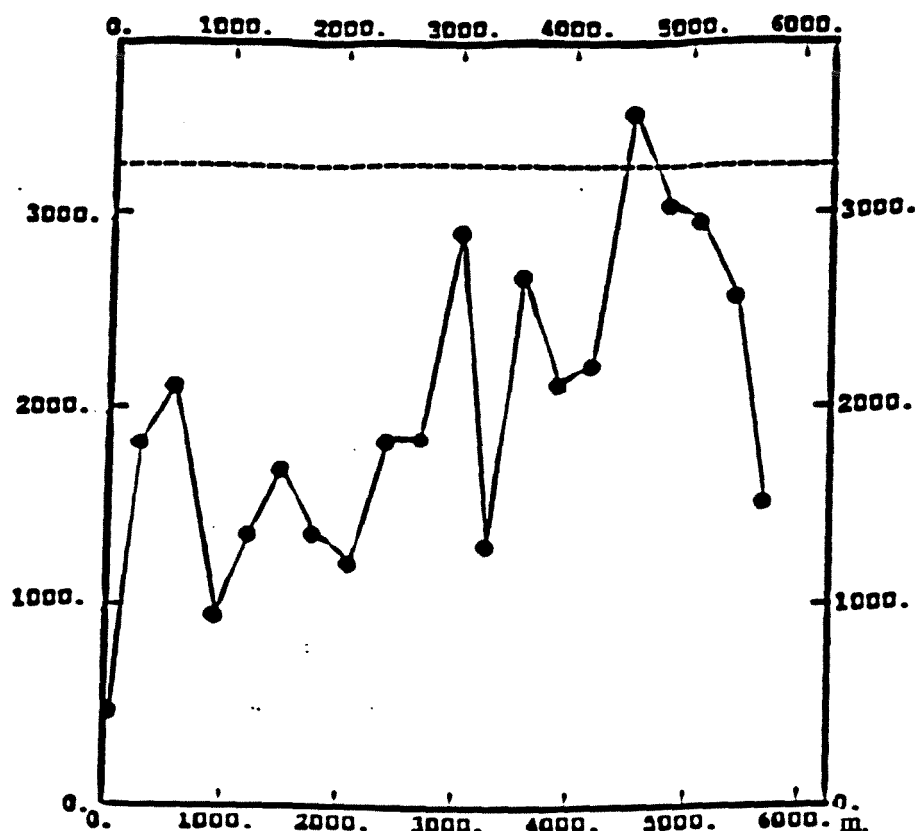


Figura 4-9 Variograma da variável STD no compartimento Jacareí-São José dos Campos

Devido ao grande volume de dados obtidos dos arquivos da SABESP para esta região, mas que apresentaram problemas nas análises (seção 3.5), foi adotado neste compartimento o método de cokrigagem. Trata-se de uma técnica de grande utilidade quando se tem uma variável primária (no caso STD) sub-amostrada e uma variável secundária (no caso, a condutividade) bem amostrada (Journel e Huijbregts, 1978). No presente estudo, a variável secundária possui uma boa correlação com a variável primária ($r = 0,80$).

O variograma cruzado das variáveis STD e condutividade está presente na figura 4-11. Nesta figura pode-se constatar o baixo alcance, entre 200 e 500m., bem definido nos dois variogramas .

O mapa de STD cokrigado está ilustrado na figura 4-12. A principal diferença deste mapa está na maior área representada em relação ao mapa krigado. Confirmam-se novamente as regiões de altas e baixas concentrações.

Entretanto, pode-se observar bem definida a relação existente entre a disposição das concentrações e a estruturação do compartimento. Claramente a falha de São José

(identificada pelo DAEE, 1977; Teissedre e Mariano, 1978; Hasui e Poçano, 1978; Fernandes, 1993) pode ser delineada pelas altas concentrações a oeste do compartimento, no percurso traçado pelo rio Paraíba e que separa águas subterrâneas de diferentes constituições químicas.

O Alto do Rio Putins (identificado pelo DAEE, 1977; Teissedre e Mariano, 1978; Hasui e Poçano, 1978) pode ser inferido tomando como base a curva de 75 mg/l. Na região a leste, esta curva tem um traçado norte-sul, separando a oeste águas menos salinas (25-75 mg/l) e, a leste, de maneira geral, águas com concentração entre 75 e 125 mg/l, correspondendo ao vale do rio Putins, esta estrutura já não é claramente identificada no mapa de salinidade.

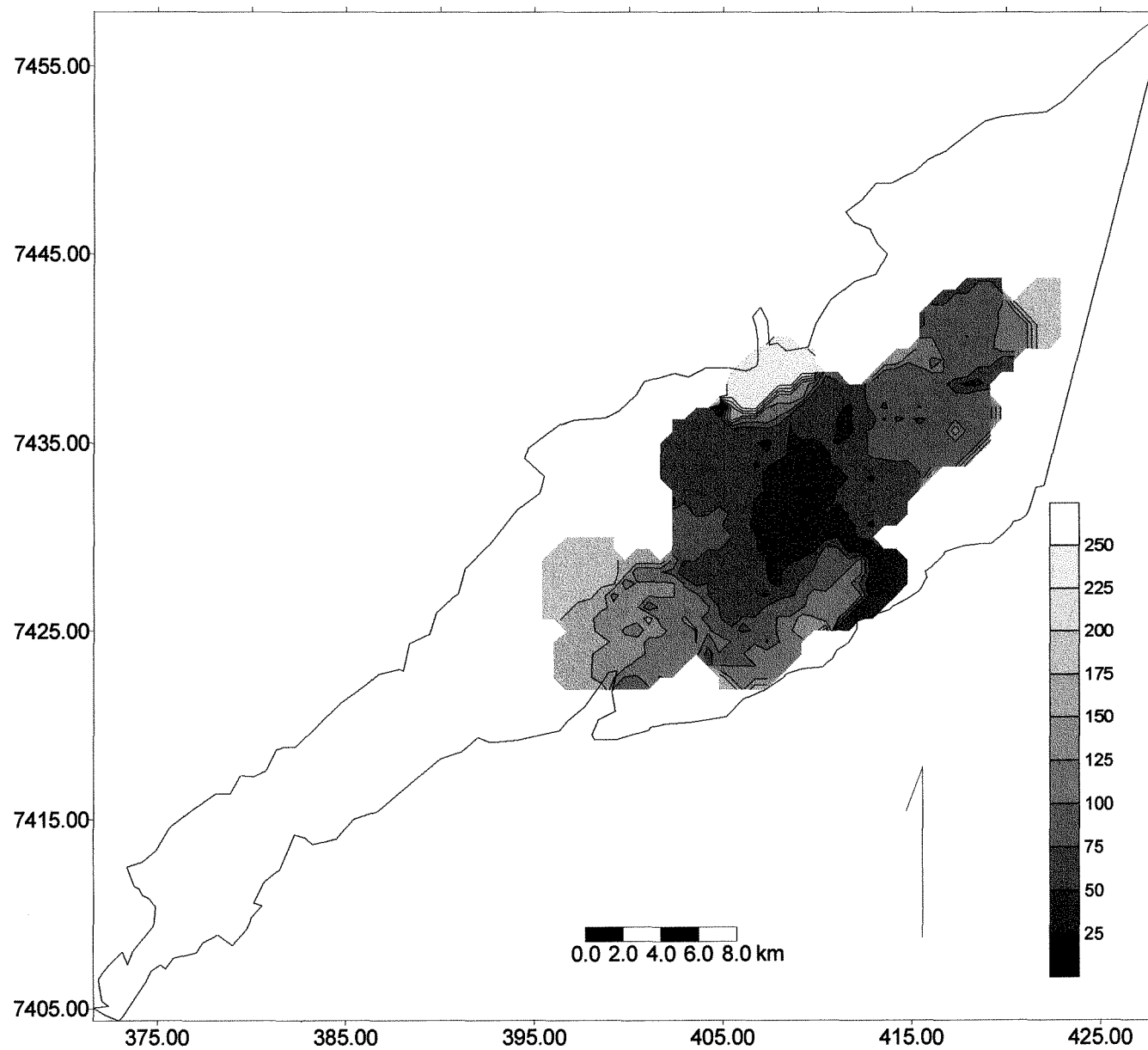
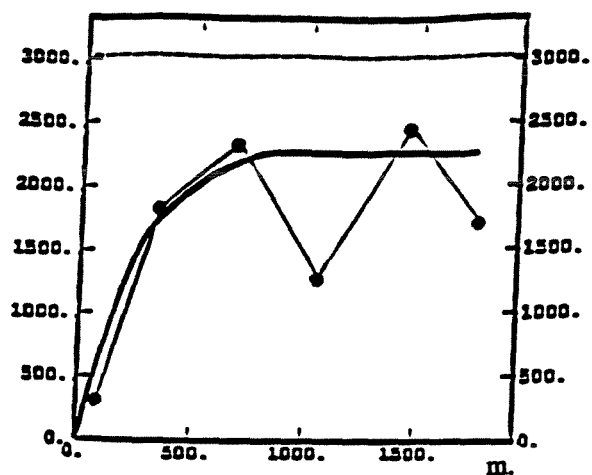
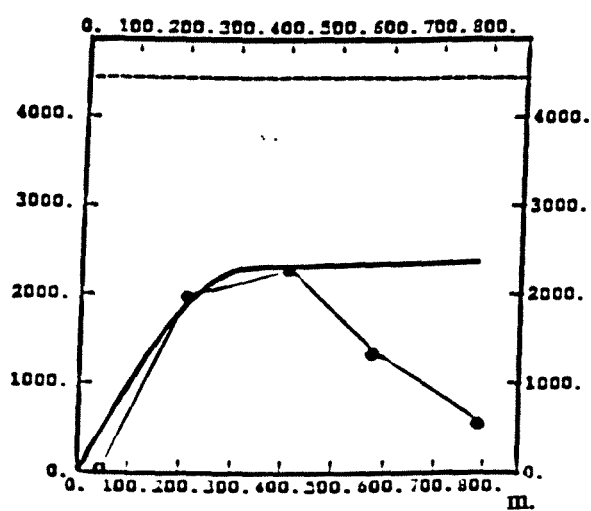


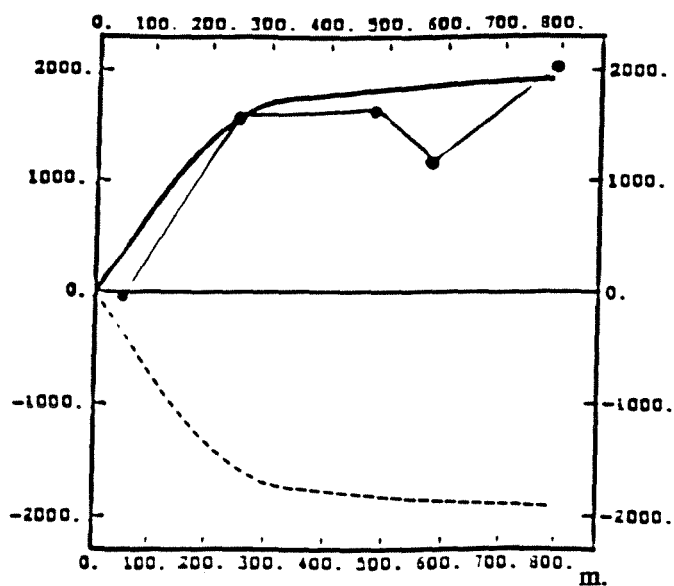
Figura 4-10 Mapa de STD no compartimento Jacareí-São José dos Campos



(a)



(b)



(c)

Figura 4-11 Variograma modelado omnidirecional do Compartimento Jacaré-S. J. dos Campos. (a) STD; (b) condutividade e (c) variograma cruzado de STD e condutividade.

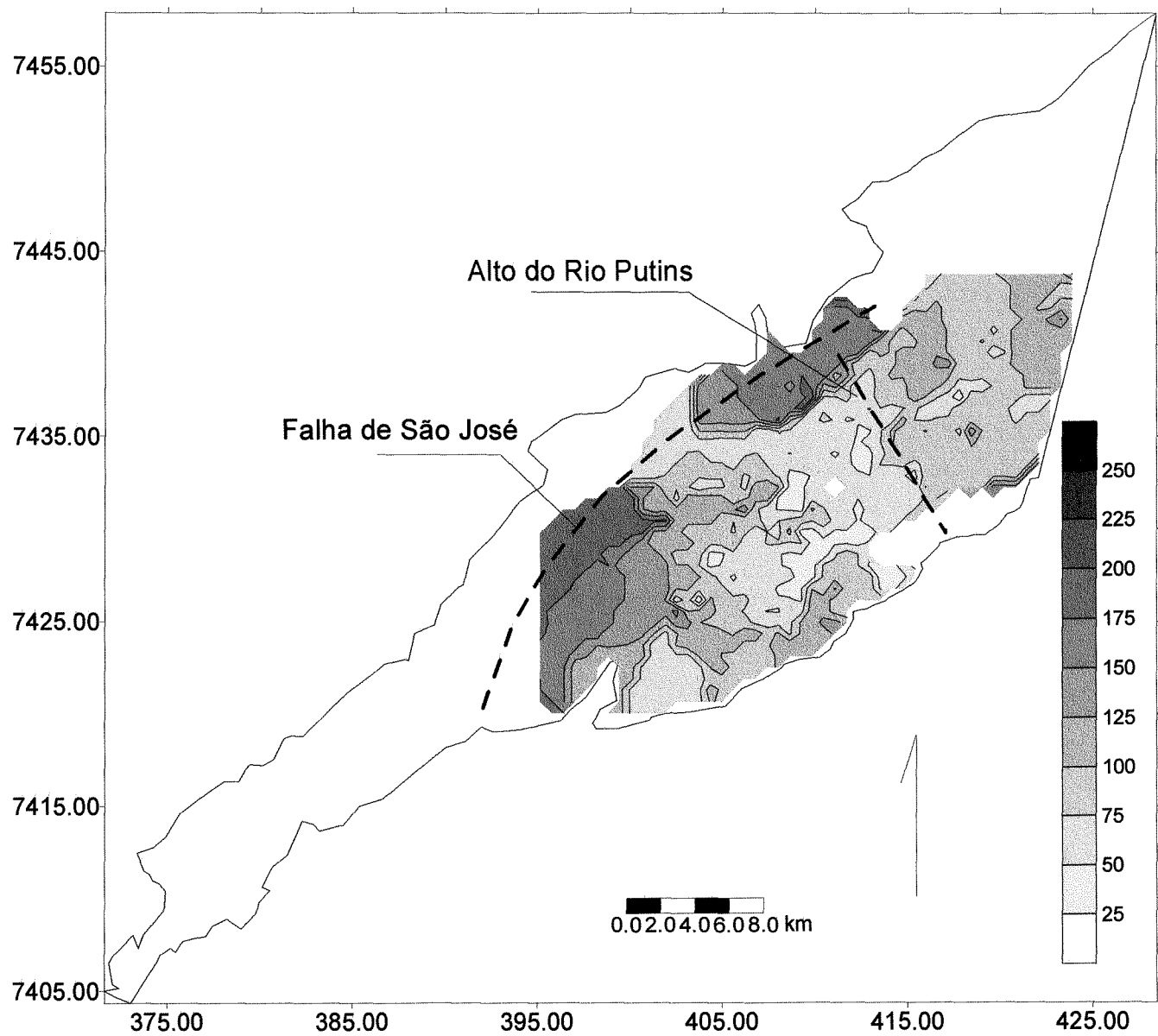


Figura 4-12 Mapa de STD cokrigado com o auxílio da variável secundária condutividade, no comp. S. J. dos Campos.

4.2.2. Caracterização hidroquímica do Compartimento Quiririm-Taubaté e dos Altos Caçapava e Pindamonhangaba

Neste setor a Bacia de Taubaté foram utilizados 28 poços, 9 são referentes aos dados do DAEE e SABESP e 19 são poços coletados para o trabalho (Figura 4-13).

Esta região apresenta dois pacotes litológicos bem discriminados: sedimentos fluviais presentes na borda oeste e sul e sedimentos lacustres presentes no centro e na borda leste.

A maior concentração de poços está localizada na região do Alto de Caçapava, contrastando com a menor distribuição no Compartimento Quiririm-Taubaté e no Alto de Pindamonhangaba.

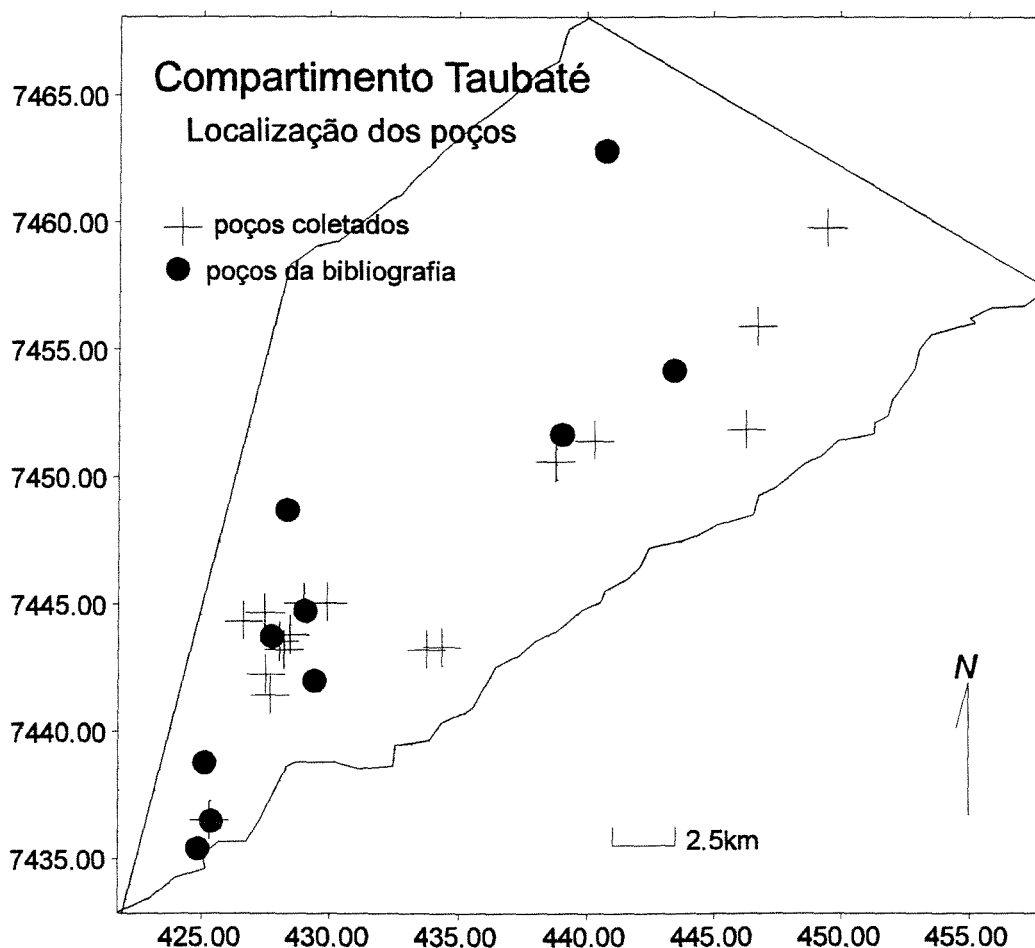


Figura 4-13 Mapa com a localização dos poços do compartimento Quiririm-Taubaté e altos de Caçapava e Pindamonhangaba.

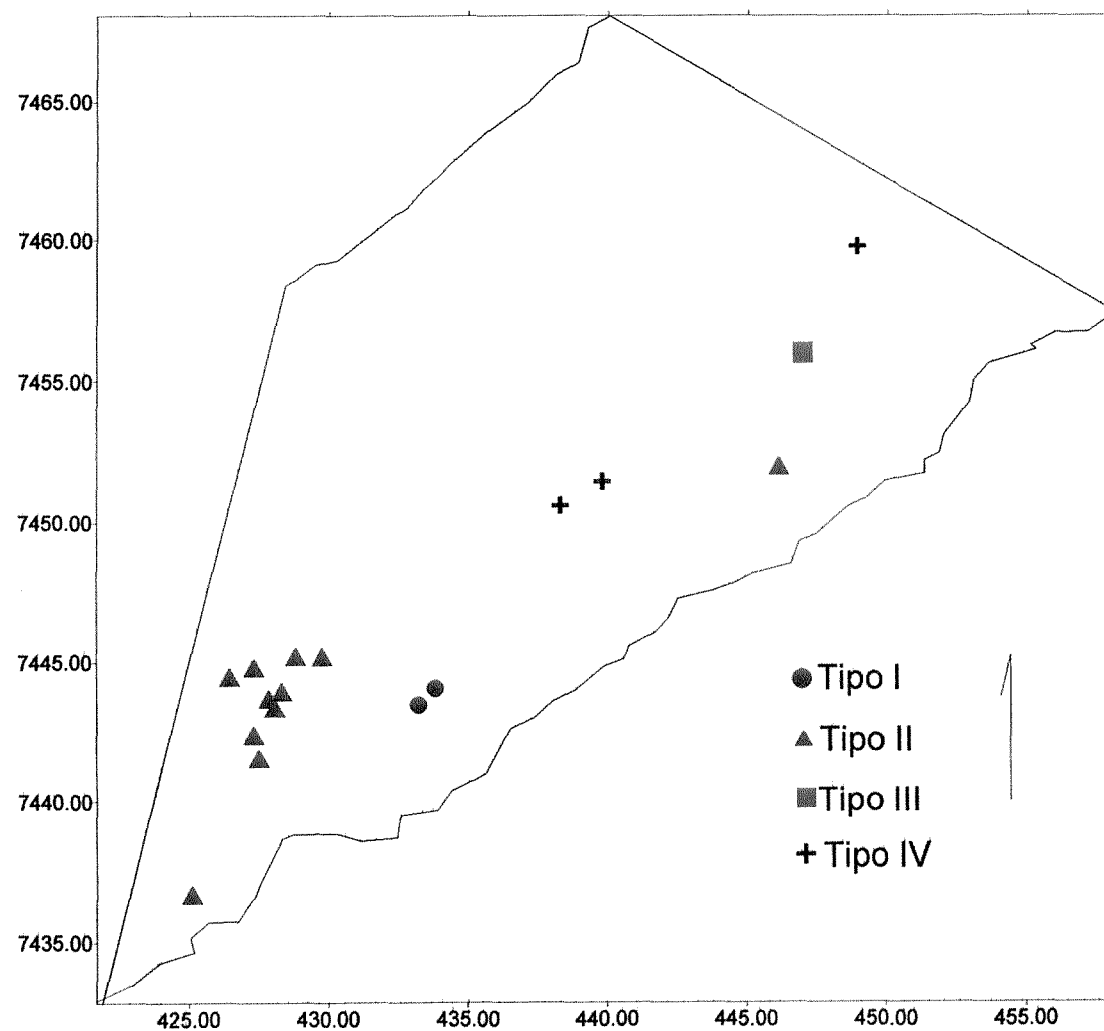


Figura 4-14 Distribuição dos poços coletados com os tipos hidroquímicos, no compartimento Quiririm-Taubaté.

Os tipos I e II situam-se nos limites deste setor da bacia, localizado-se na zona de transição entre os sedimentos fluviais e lacustres, enquanto que os tipos III e IV estão localizados mais ao centro, inseridos nos sedimentos lacustres da Formação Tremembé (Compartimento Quiririm-Taubaté), claramente definidos pela descrição geológica dos poços através do predomínio de argilitos e folhelhos (figura 4-14).

4.2.2.1.Distribuição dos íons

A heterogeneidade deste compartimento, gerada pelas distintas litologias, é observada pelas diferenças iônicas entre as águas do tipo II e IV. O sódio, bicarbonato e STD apresentam as maiores concentrações localizados nos poços relacionados aos sedimentos lacustres, enquanto que as concentrações de cálcio e sílica possuem as maiores concentrações nos poços do tipo II.

Altos valores de sódio coincidem com os poços do tipo IV. Já as altas concentrações de cálcio refletem os poços do tipo II. O mapa de sílica (figura 4-15) também contrasta as áreas sob influência dos reservatórios fluviais (altos valores) com os lacustres (baixos valores).

Com base na baixa razão Na/Cl, a região em contato com o embasamento cristalino (figura 4-15) destaca-se como a principal área de recarga. Já a razão Na/Ca, nos poços de águas quentes, atinge a razão de 60, contrastando com o Alto de Caçapava que apresenta menores valores, entre 0,28 e 1 .

4.2.2.2.Análise Geoestatística

O variograma experimental da variável STD mostrou uma forte deriva linear (figura 4-16). Até o passo (*lag*) de 3000m as relações entre os pares de pontos correspondem aos poços do mesmo tipo hidroquímico, a partir deste comprimento começa a haver a interação entre os poços dos dois grupos, que apresentam salinidades bem diferentes, com isso a variância passa a ser maior.

O diagrama da figura 4-17 aponta as diferenças de salinidades presente na região de Caçapava em relação a Taubaté.

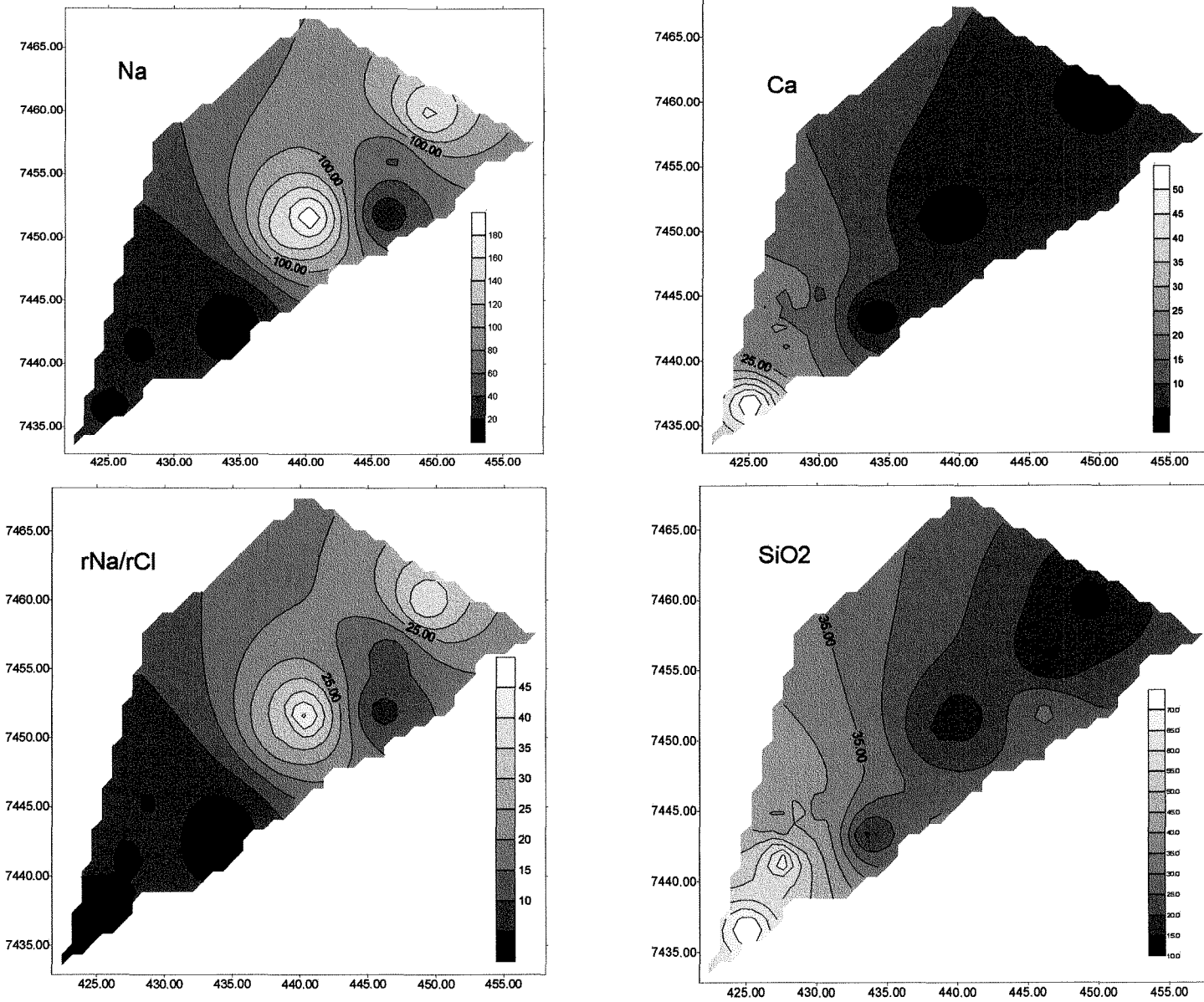


Figura 4-15 Distribuição de alguns íons selecionados no Compartimento Quiririm-Taubaté

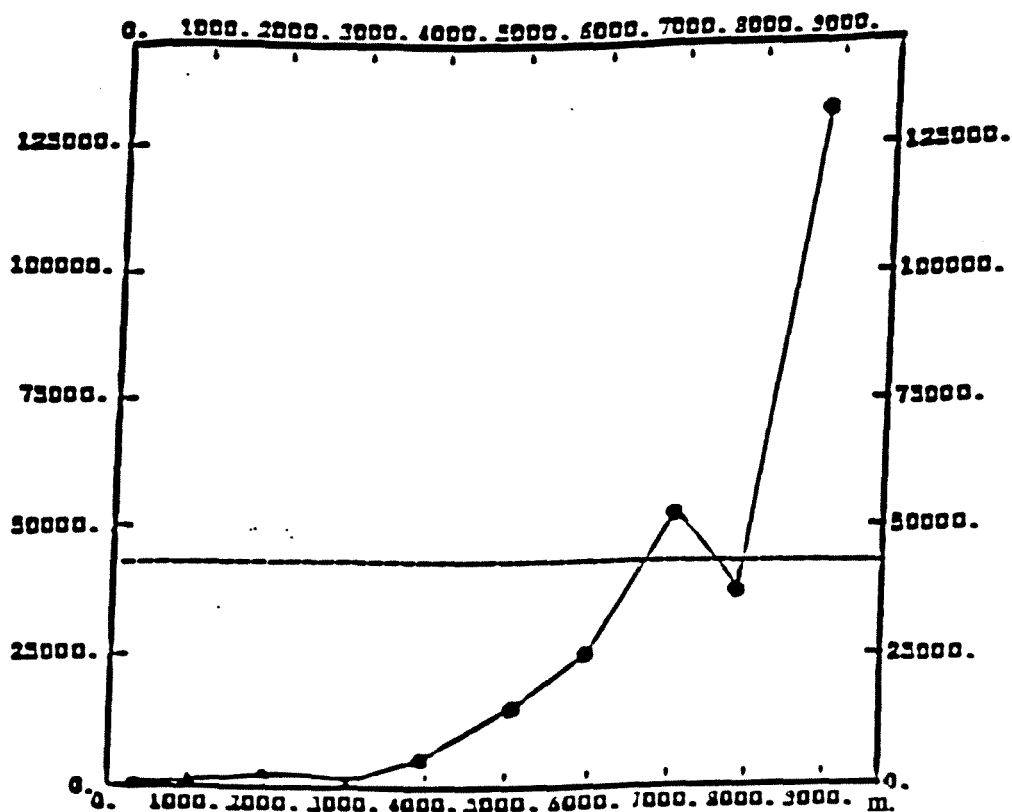


Figura 4-16 Variograma experimental de STD no Compartimento Quiririm-Taubaté e Altos de Caçapava e Pindamonhangaba.

O reconhecimento da estrutura de deriva foi realizado utilizando-se o programa ISATIS. O mapa krigado com deriva está ilustrado na figura 4-18 e apresenta uma região de elevada salinidade, como era esperado, representada pelas águas dos tipos III e IV. As águas da região de Caçapava apresentam salinidades entre 200 e 300 mg/l, e na borda sul, em contato com o cristalino, apresentam baixas concentrações.

Destaca-se no mapa a transição abrupta entre as águas pouco salinas da borda para as águas mais salinas do interior do compartimento. Esta transição também ocorre quando se analisa o mapa estrutural da bacia (figura 2-5), com drástico aumento da profundidade em direção ao interior do compartimento. Outra comparação é com o

mapa geológico, nas bordas com predomínio de sedimentos fluviais e no centro com sedimentos lacustres. As descrições geológicas dos poços mostram uma abrupta transição litológica em direção ao centro do compartimento.

A figura 4-17 apresenta um diagrama de STD em relação ao eixo x rotacionado do mapa. Os valores de salinidade abaixo de 400mg/l referem-se aos poços situados próximos à borda e na região de Caçapava. Através desta figura pode-se observar a transição abrupta em direção aos poços de maior salinidade, sem a presença de poços com salinidade entre 400 e 600mg/l.

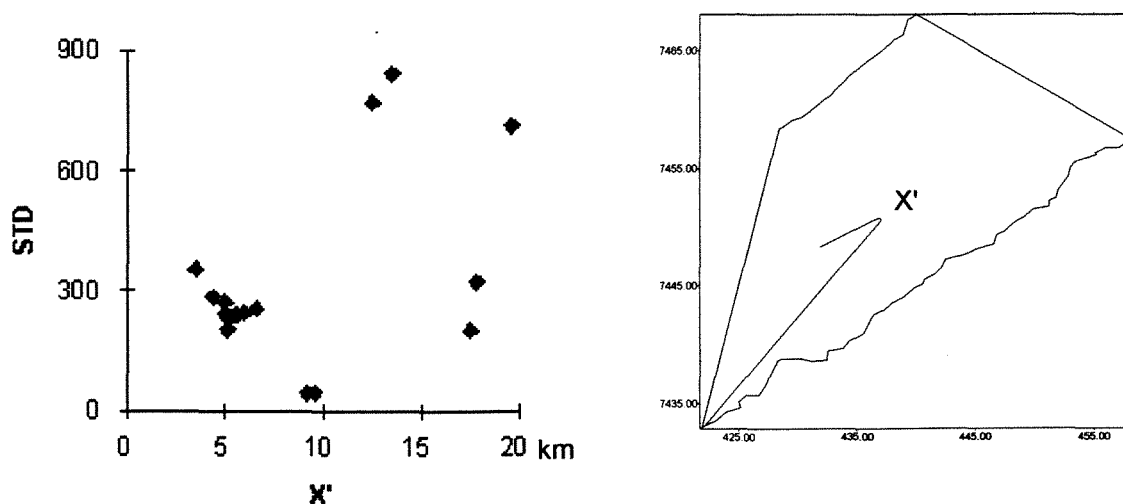


Figura 4-17 Diagrama de STD vs. X'.

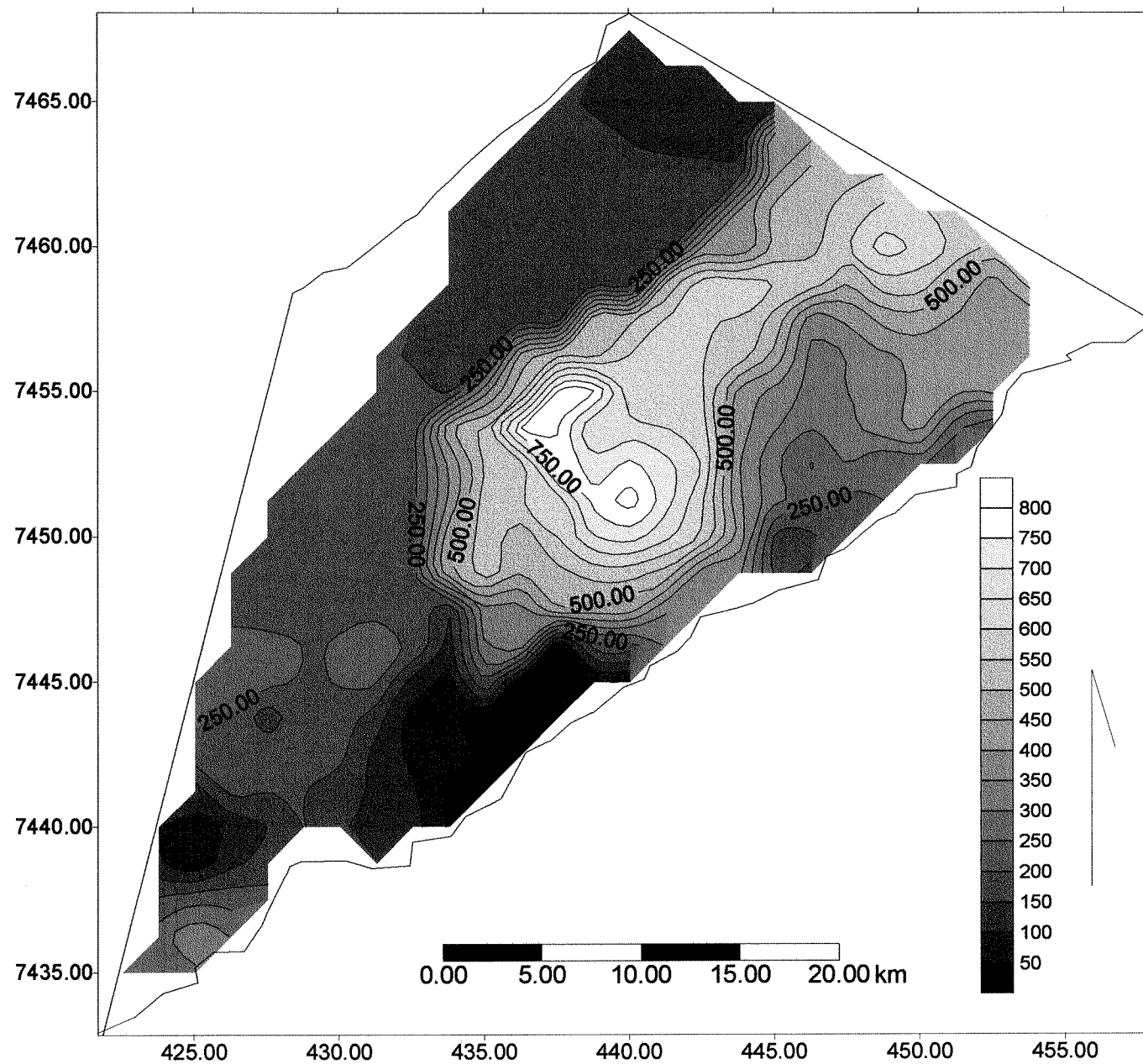


Figura 4-18 Mapa de STD krigado no Compartimento Quiririm-Taubaté.

4.2.3. Compartimento Aparecida-Lorena e Alto de Pindamonhangaba.

O mapa do compartimento, com a distribuição dos poços, encontra-se na figura 4-19. Para a confecção do mapa, 23 amostras foram coletadas neste trabalho e 17 foram selecionados dos arquivos da SABESP e DAEE.

Novamente os dois grupos litológicos estão presentes, os sedimentos lacustres ocupando predominantemente o Alto de Pindamonhangaba e os sedimentos fluviais dispostos nas bordas e a nordeste, no Compartimento Aparecida-Lorena.

Do ponto de vista hidroquímico, este setor da bacia é o mais heterogêneo, com a presença dos quatro tipos hidroquímicos. Apenas o poço situado a oeste do setor, Alto de Pindamonhangaba, caracterizado como do tipo IV, está inserido nos sedimentos lacustres. O restante dos dados correspondem ao domínio dos sedimentos fluviais, presentes nas bordas e a nordeste do compartimento (figura 4-20).

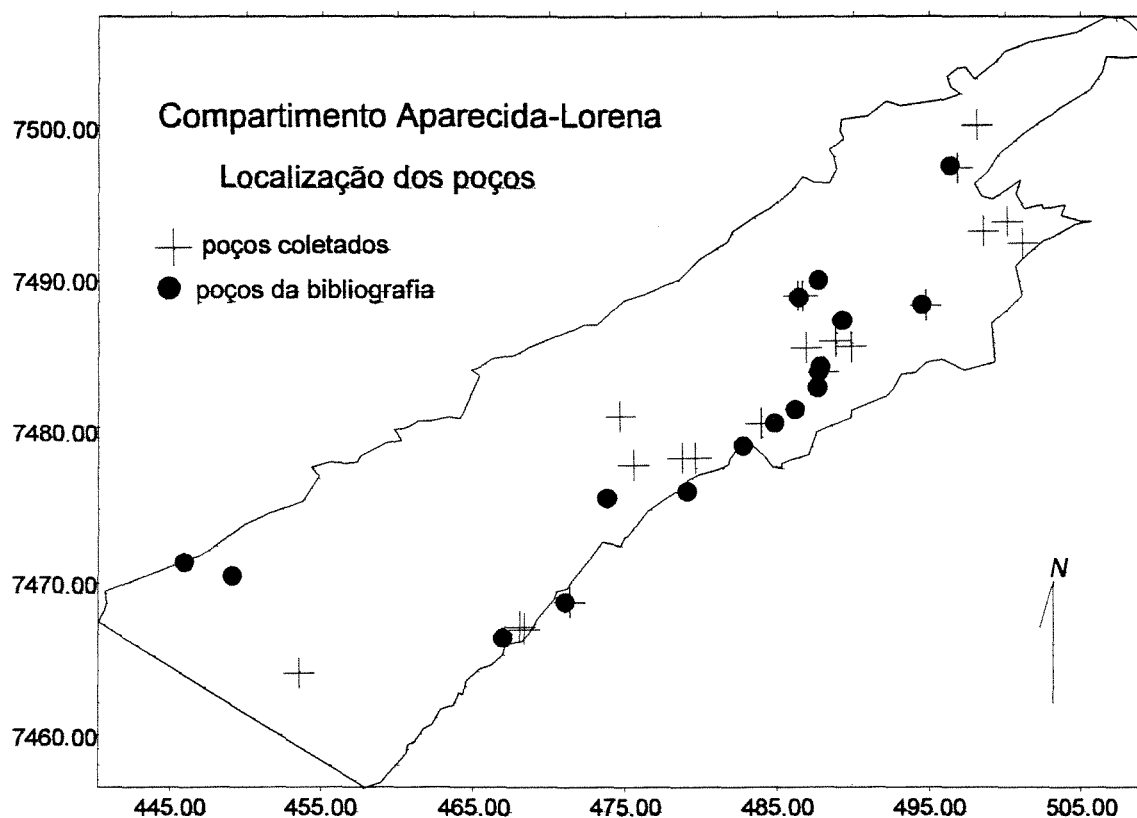


Figura 4-19 Mapa com a distribuição dos poços catalogados, no Compartimento Aparecida-Lorena. Os poços referentes ao DAEE foram utilizados somente na análise geoestatística.

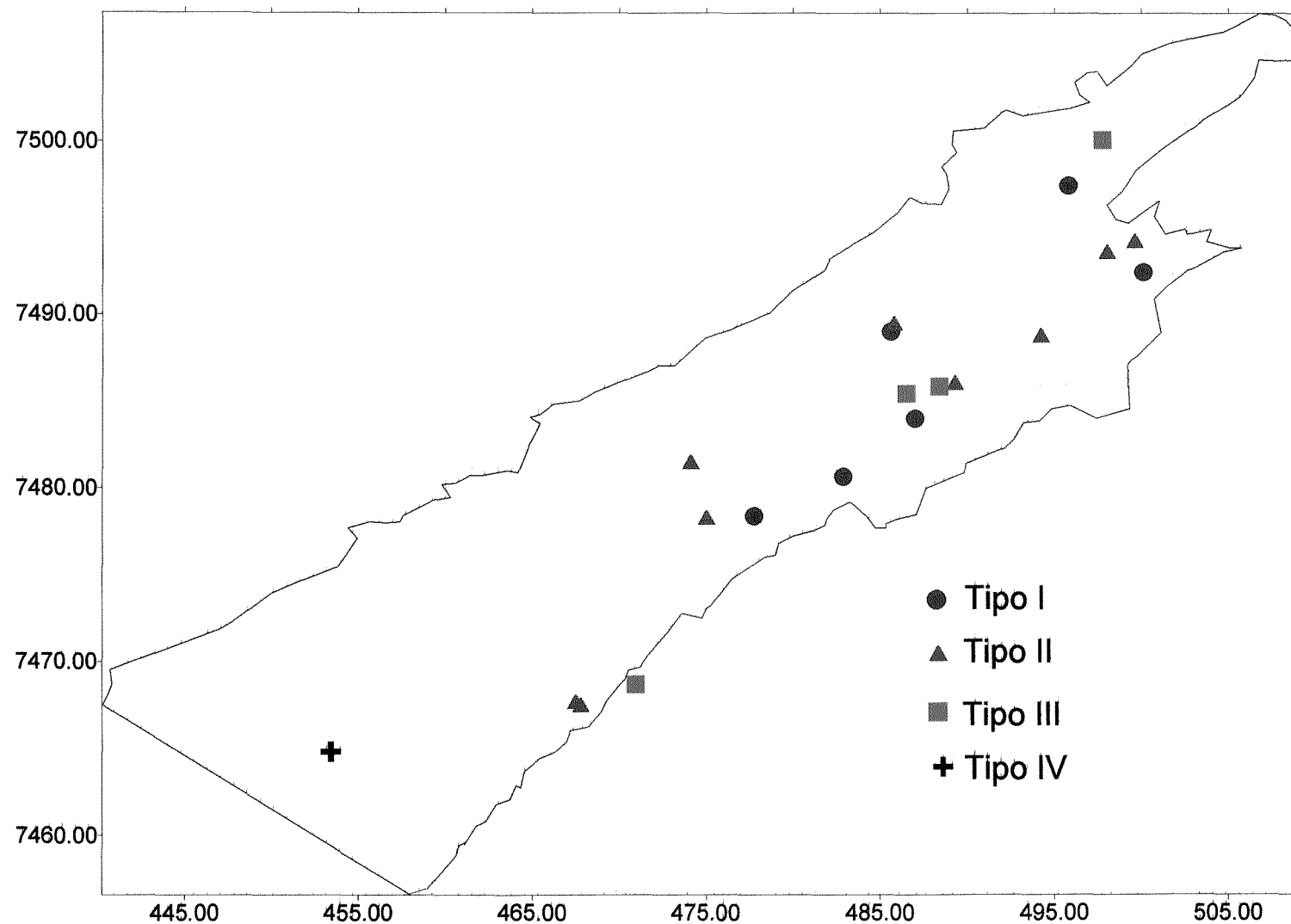


Figura 4-20 Distribuição dos poços coletados representados pelos tipos hidroquímicos, no Compartimento Aparecida-Lorena

Diferentemente do Compartimento Jacareí-São José dos Campos, os poços localizados neste compartimento, no domínio dos sedimentos fluviais, são mais heterogêneos. Os perfis litológicos destes poços apresentam uma maior porcentagem de níveis argilosos, principalmente na base do poços localizados no centro do compartimento, sugerindo que os sedimentos lacustres, situados estratigraficamente na porção basal da bacia, estão a profundidades mais rasas.

4.2.3.1. Distribuição dos íons

As maiores salinidades estão presentes na região do Alto de Pindamonhangaba e, gradativamente, diminuem em direção nordeste. O mapa de bicarbonato destaca as áreas que apresentam as maiores salinidades, correspondentes aos poços do tipo III e IV (figura 4-21). O mapa de sílica destaca também as áreas relacionadas aos dois ambientes sedimentares, os baixos valores referem-se aos reservatórios lacustres e os altos valores aos reservatórios fluviais, situados principalmente nas bordas do compartimento .

As áreas de recarga aparecem nas bordas do compartimento, e são destacadas pelos baixos valores da razão Na/Cl. A borda norte do compartimento deve constituir uma outra área de recarga, mas por insuficiência de dados, esta área não está ilustrada no mapa.

O mapa de cálcio identifica uma região anômala, de alta concentração deste elemento, relacionada aos poços da cidade de Roseira. Esta área é também identificada pelo alto teor de alcalinos terrosos, característicos dos poços do tipo II. A descrição litológica destes poços difere dos demais sedimentos fluviais, pelo maior número de intercalações argilosas.

4.2.3.2. Análise Geoestatística

No variograma experimental da variável STD foi observado uma maior continuidade, se comparado com o Compartimento Jacareí-São José dos Campos. Esta continuidade é marcada pelo crescente aumento de STD em direção aos poços do tipo III, estes poços apresentam influência dos sedimentos lacustres em seu perfil. O efeito

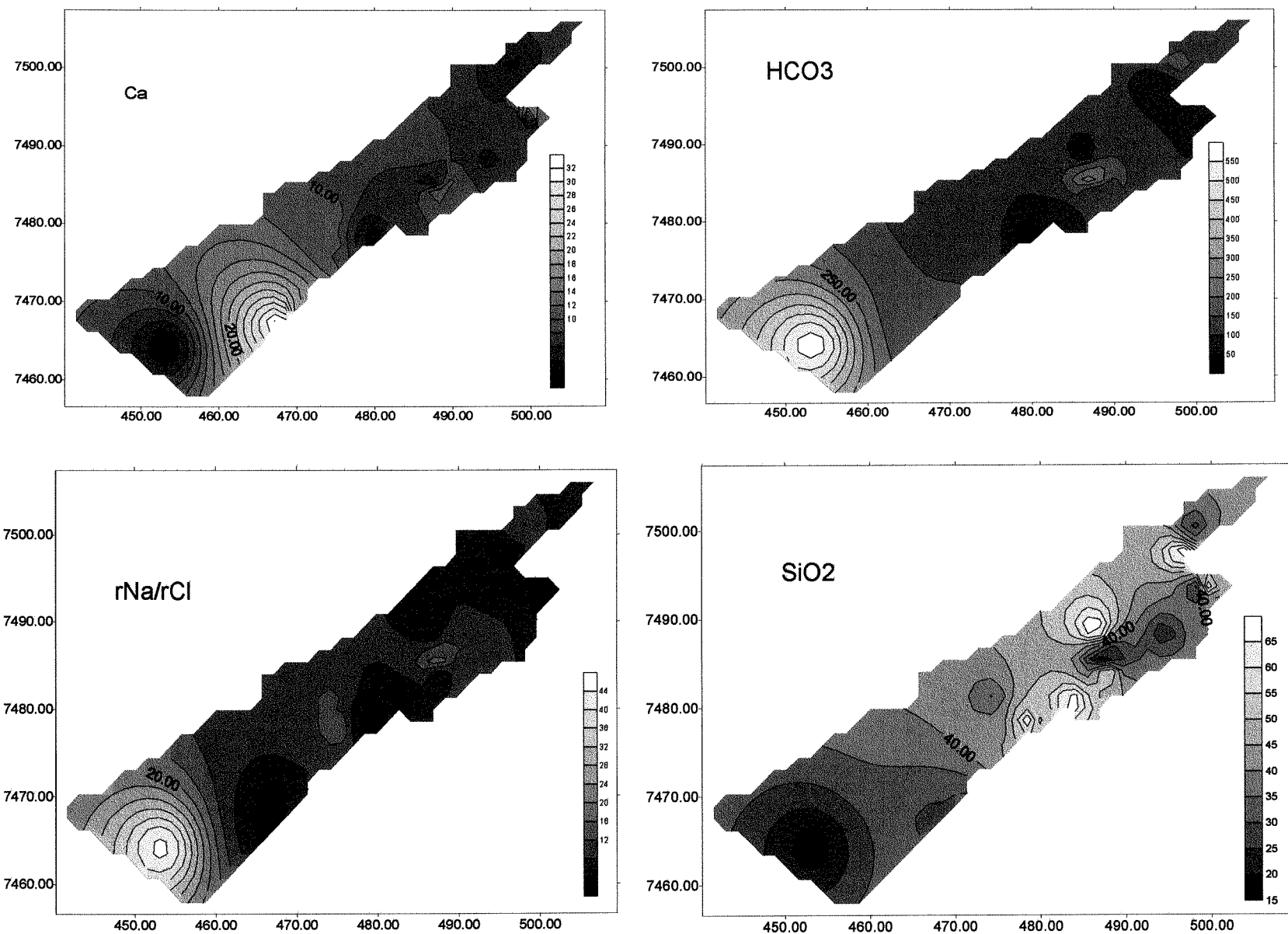


Figura 4-21 Distribuição de alguns íons selecionados no compartimento Lorena

buraco também é identificado neste variograma, a ocorrência deste efeito se deve, provavelmente, à influência da topografia nos aquíferos livres. Neste compartimento o efeito da topografia é mais destacado pela coincidência das porções menos profundas dos sedimentos lacustres estarem situadas nas cotas mais baixas (figura 4-22).

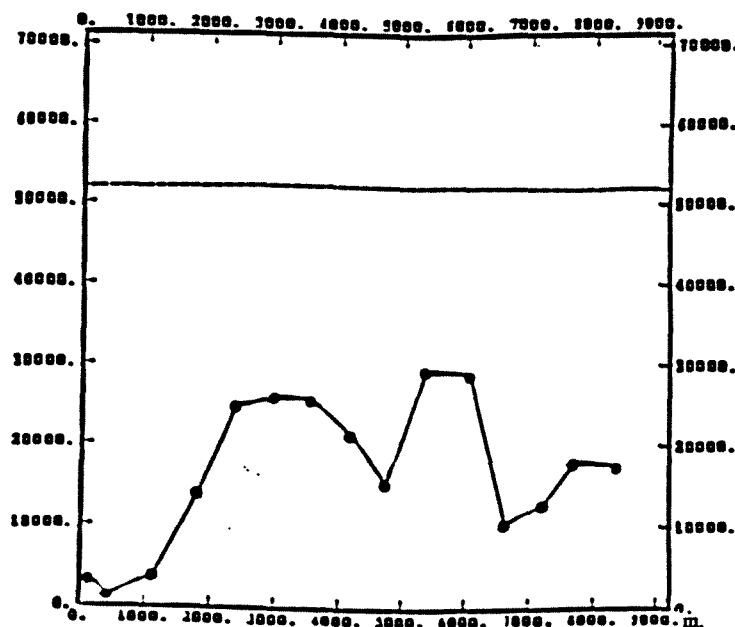


Figura 4-22 Variograma experimental para o Compartimento Aparecida-Lorena.

Durante a variografia, a interação entre um par de pontos mostrou uma alta variância, distinta de todos os outros pares. Este par anômalo foi descartado na confecção do variograma experimental. A validação cruzada também identificou problemas na estimativa destes dois poços (figura 4-23).

Analisando o mapa estrutural, observa-se que estes dois poços estão localizados próximos à borda, e separados pela Falha Rib. da Serra (figura 4-24). O poço, situado junto à borda da bacia (d50) apresenta baixa salinidade, enquanto o poço mais distal (d9) apresenta uma maior salinidade, compatível com a encontrada nos poços do tipo IV.

O mapa krigado de STD mostra claramente a alta salinidade na região sudoeste do compartimento (figura 4-25). A partir de Aparecida, as salinidades variam entre 100 e 250mg/l. Nesta região, apenas na cidade de Lorena, localizam-se dois poços (L05 e L06), do tipo III, com altas salinidades.

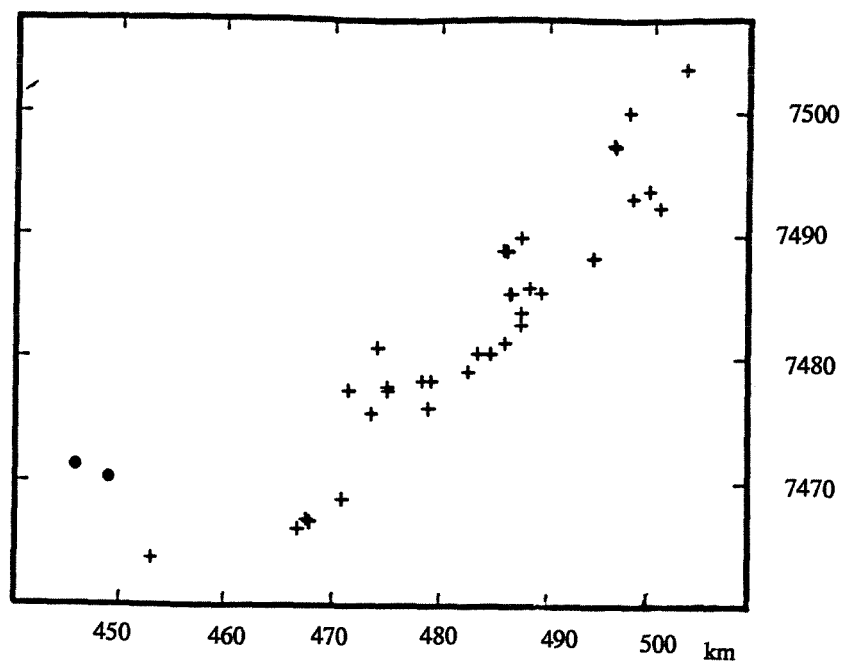


Figura 4-23 Validação cruzada para os dados do Compartimento Lorena. Os pontos em círculo representam os poços que estão com grande diferença entre o valor estimado e o real.

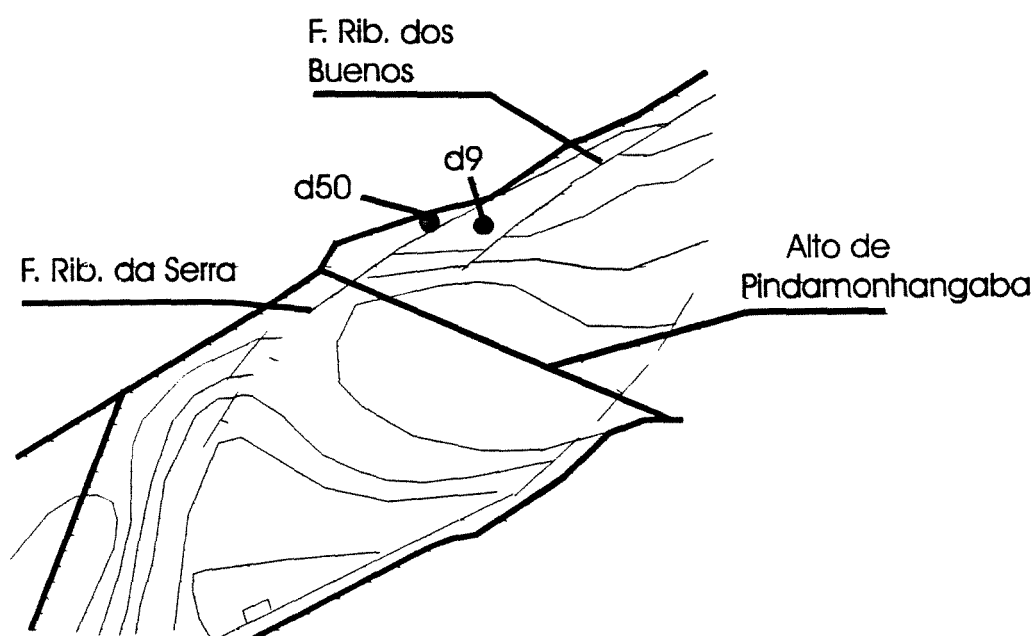


Figura 4-24 Localização dos poços que apresentaram valores díspares (d50 e d9). Os dois poços estão próximos e separados pela Falha Rib. da Serra.

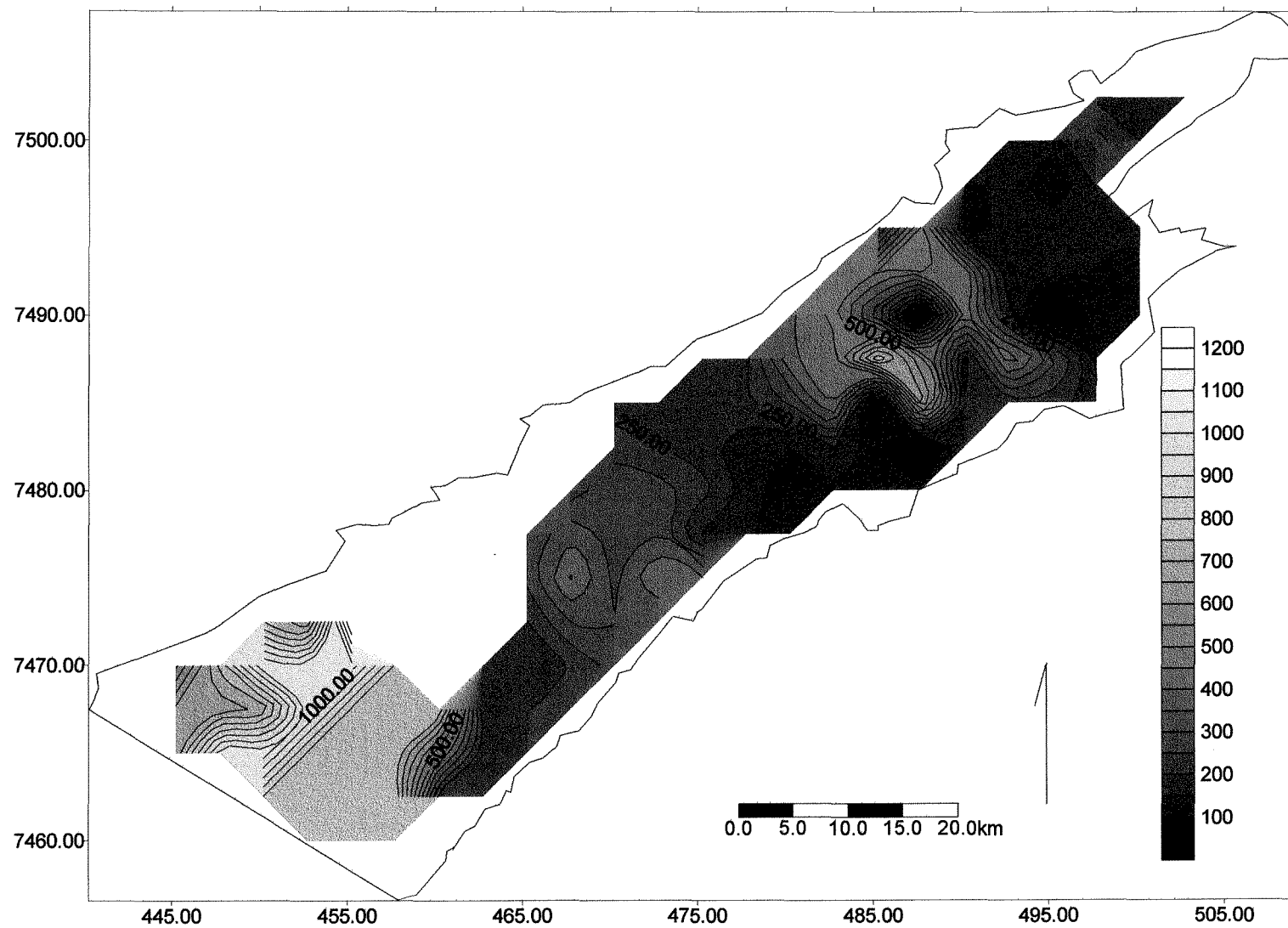


Figura 4-25 Mapa de STD no Compartimento Aparecida-Lorena .

4.3. Mapa de salinidade

Um mapa de salinidade, representativo para toda a bacia, foi efetuado após ter sido efetuado a avaliação da distribuição dos principais elementos nos compartimentos estruturais, cujas diferenças podem ser melhor observadas na comparação dos variogramas experimentais de cada compartimento (figura 4-26).

A distribuição das salinidades nos compartimentos, sem a junção, está ilustrada na figura 4-27. Para a confecção de um mapa geral único de STD, preservando o modelo variografico de cada compartimento, foi estabelecida uma malha única cobrindo toda a bacia, sendo os valores recalculados nesta nova malha para os três compartimentos.

O mapa final resultante da união dos três compartimentos está ilustrado na figura 4-28. Como observado nas descrições anteriores dos compartimentos, nota-se, no mapa geral, a estreita ligação entre a salinidade das águas com a litologia da bacia, claramente observada no mapa da figura 2-3. A área central, caracterizado por águas de alta salinidade, corresponde aos áreas afloramentos dos sedimentos lacustres da Formação Tremembé.

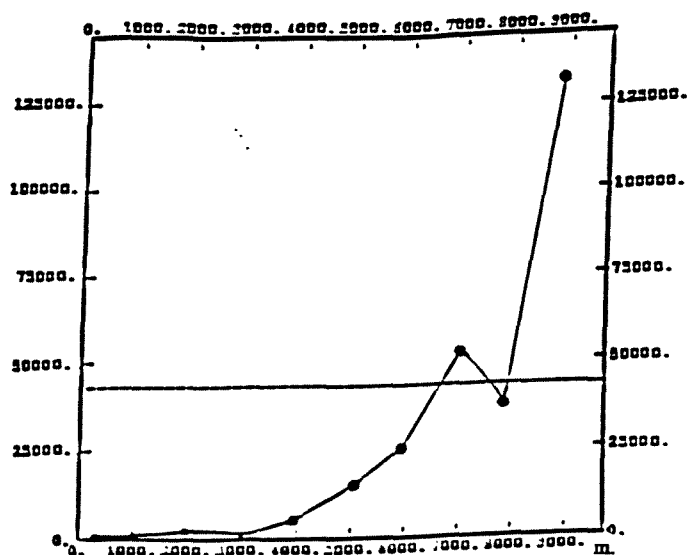
De forma geral, as grandes estruturas mapeadas correspondem às identificadas pelo mapa de resíduo seco do DAEE (1977) (figura 2-9). No mapa do DAEE os valores de alta e baixa concentração correspondem ao encontrado neste trabalho, a principal diferença está no traçado das curvas do mapa feito pelo DAEE, que apresentam um contorno exagerado das linhas acompanhando a topografia, ressaltando a influência do comportamento livre do aquífero na distribuição hidroquímica das águas.

Devida à alta correlação da salinidade com os tipos hidroquímicos (figura 4-2), foi possível estabelecer a distribuição dos tipos hidroquímicos utilizando-se as salinidades estimadas (figura 4-29).

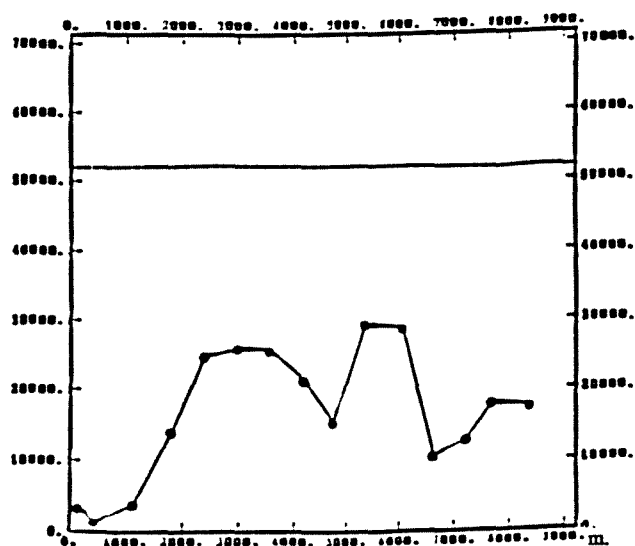
Esta operação produziu um mapa de distribuição dos tipos hidroquímicos que introduziu uma região ocupada por águas do tipo IV, no compartimento Lorena. Águas do tipo IV não foram detectados na amostragem de campo realizado no presente trabalho.



(a)



(b)



(c)

Figura 4-26 Variogramas experimentais referentes a cada compartimento, (a) S.J.C.; (b) Taubaté; (c) Lorena.

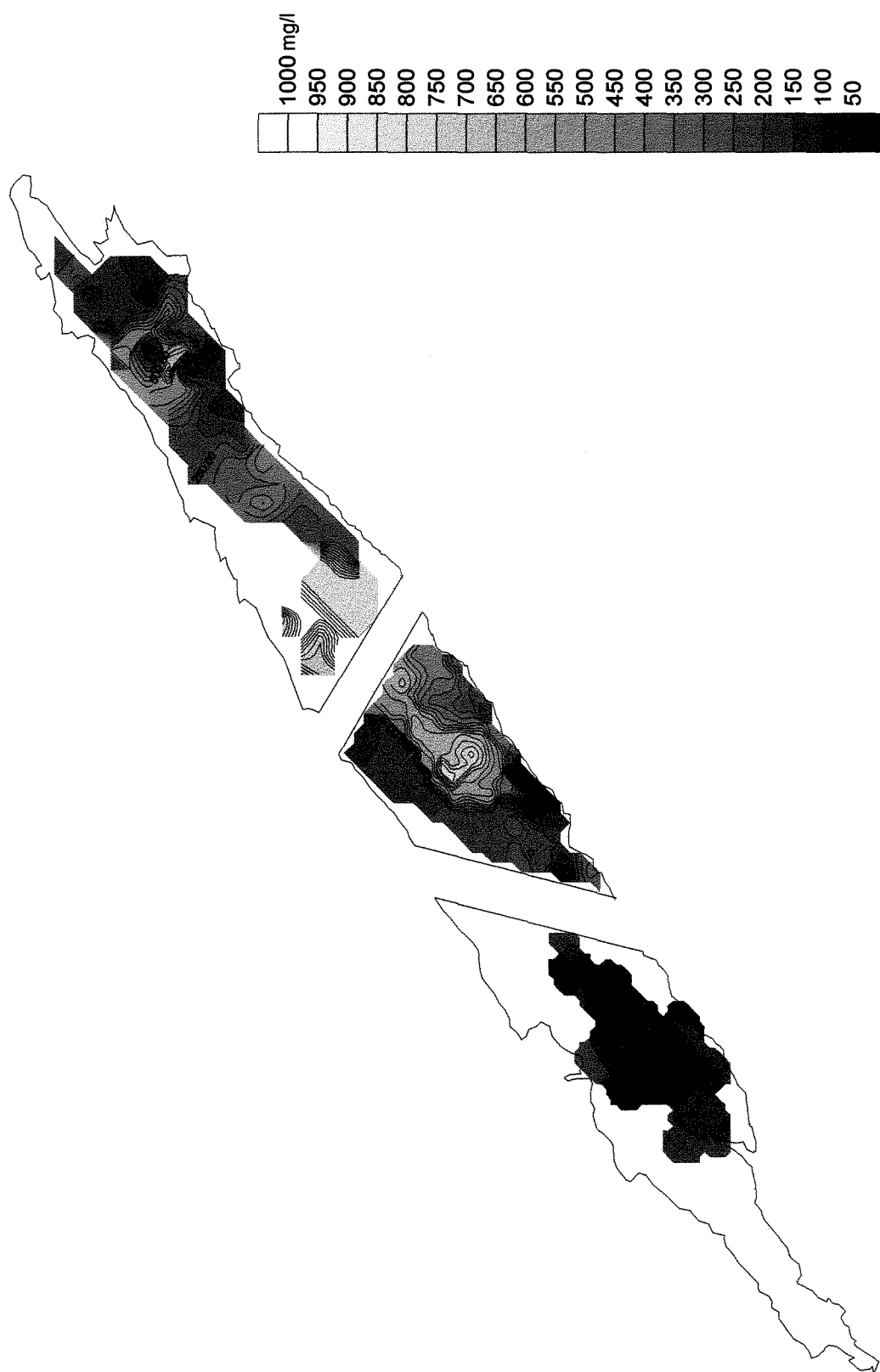


Figura 4-27 Distribuição da salinidade para cada compartimento, sem a junção

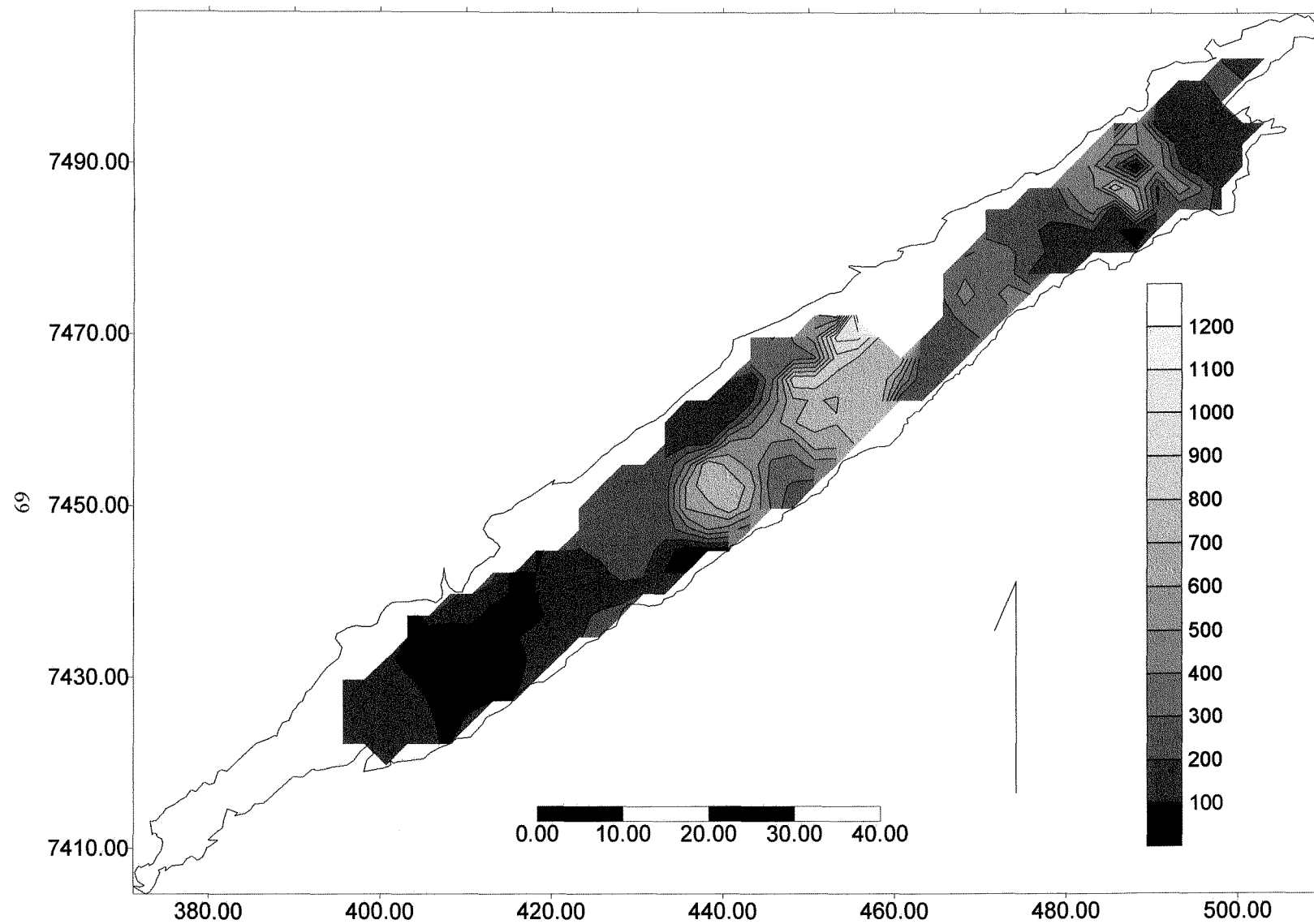


Figura 4-28 Mapa de STD com a união dos tres compartimentos.

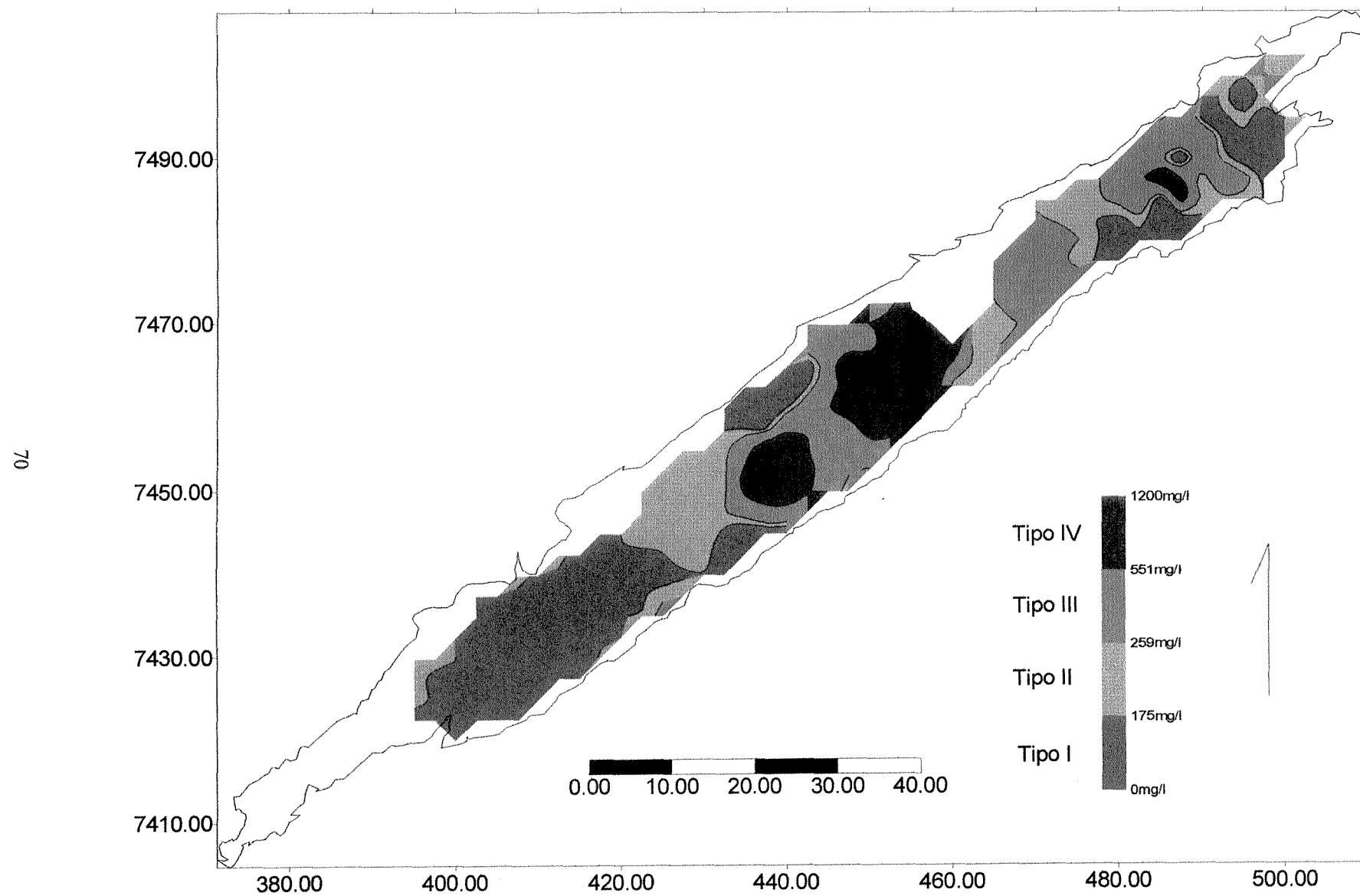


Figura 4-29 Distribuição dos tipos hidroquímicos na bacia de Taubaté

5. Interação rocha - fluido

Como descrito no capítulo anterior, a Bacia de Taubaté apresenta uma heterogeneidade hidroquímica controlada principalmente pela diferenciação litológica existente. Os íons maiores apresentam uma relação diferenciada entre os compartimentos. Este capítulo tem como objetivo tecer algumas considerações sobre a interação rocha-fluido nos compartimentos e discutir a evolução hidroquímica para a bacia.

5.1. Descrição litológica

5.1.1. Descrição dos arenitos em superfície

Um estudo detalhado sobre a diagênese superficial dos arenitos da bacia de Taubaté foi realizado por Goenopawiro (1997), que enfatizou o caráter monótono da mineralogia dos arenitos em toda a bacia. Em suas descrições, os principais constituintes detríticos do arcabouço dos arenitos são quartzo e feldspatos, enquanto que os fragmentos líticos, muscovita, biotita e minerais opacos ocorrem subordinadamente. A figura 5-1 ilustra a composição dos arenitos nas Formações Resende e Tremembé.

As porcentagens dos minerais, quartzo e feldspatos, para as formações Resende e Tremembé, estão reportadas na tabela 5-1 .

	Quartzo	Feldspatos
Form. Resende	média 57% (38-76%)	média 68% (54-83%)
Form. Tremembé	média 41% (22-60%)	média 30% (15-44%)

Tabela 5-1 Teores médios de quartzo e feldspato nas Formações Resende e Tremembé (Geonopawiro, 1997)

Em todas as Formações observadas, o feldspato alcalino é predominante (80%), sendo o ortoclásio o mineral mais abundante. O plagioclásio chega a apresentar uma porcentagem de 10% nos arenitos de granulação média-grossa. Os fragmentos líticos são raros, perfazendo em média 1% da rocha.

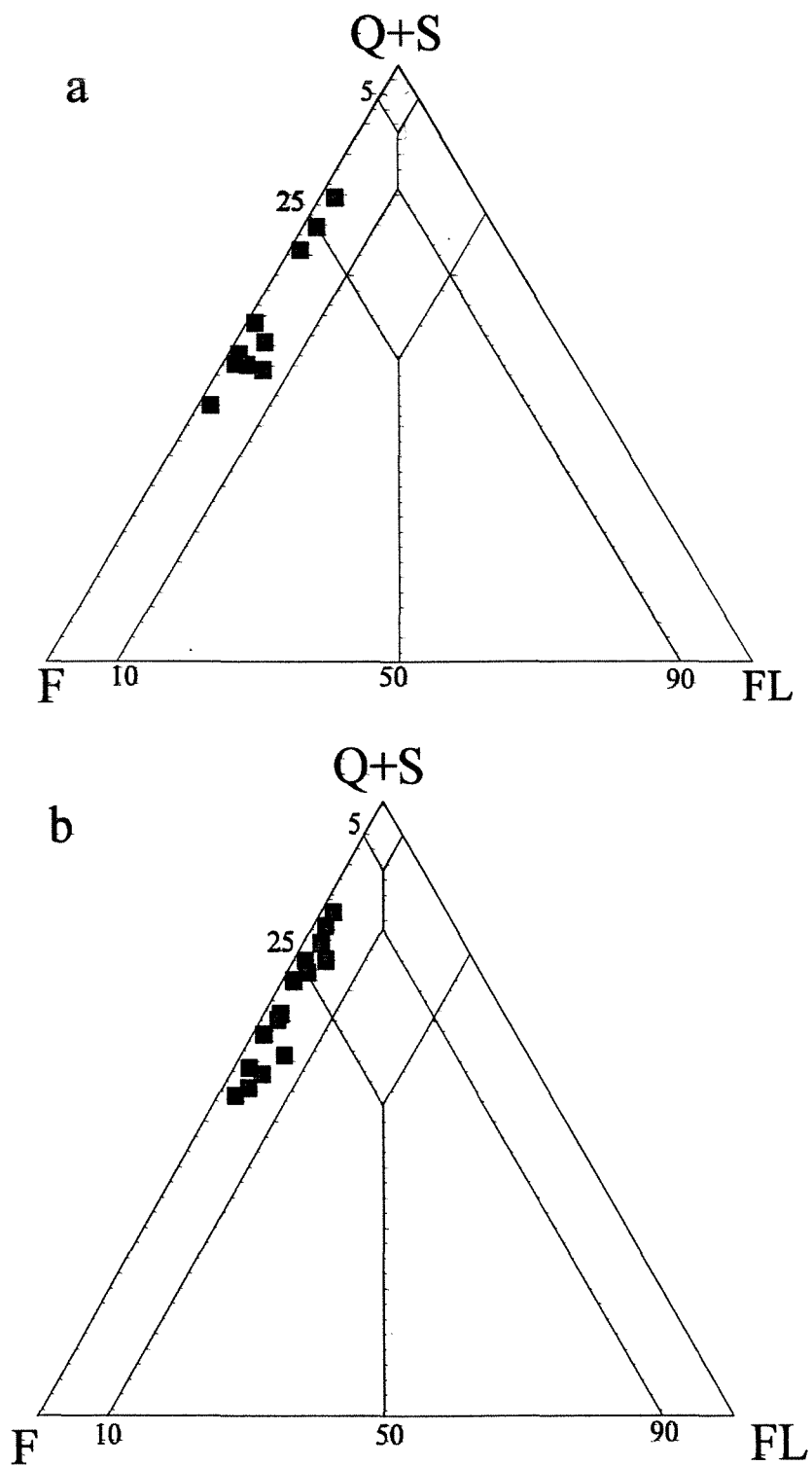


Figura 5.1 - Diagrama triangular de acordo com a classificação de McBride (1963) mostrando a classificação dos arenito da Bacia de Taubaté. a = Formação Resende e b = Formação Tremembé. (Segundo Goenopawiro, 1997).
 .Q+S = Quartzo+Silice, F = Feldspato, FL = Fragmento Lítico.

A matriz corresponde a 20% da rocha na maioria dos arenitos. Desta, 10% são referentes às argilas de infiltração mecânica. A constituição mineralógica da matriz é formada predominantemente por caolinita e secundariamente por esmectitas e ilitas.

Goenopawiro (1997) observa que nas frações mais finas dos arenitos, onde o fluxo já não é tão intenso e as águas já se apresentam menos diluídas, a esmectita predomina como o principal argilo mineral. Este equilíbrio com as esmectitas pode ser reportado para os horizontes arenosos mais profundos, onde foram identificadas argilas do grupo das esmectitas (Riccomini, 1989; Suguio, 1969)

A figura 5-2 mostra uma lâmina delgada de um arenito da Formação Resende, com a maioria do grãos detríticos formados por quartzo e feldspato alcalino. O arcabouço é aberto, com a presença de argila infiltrada rodeando os grãos.

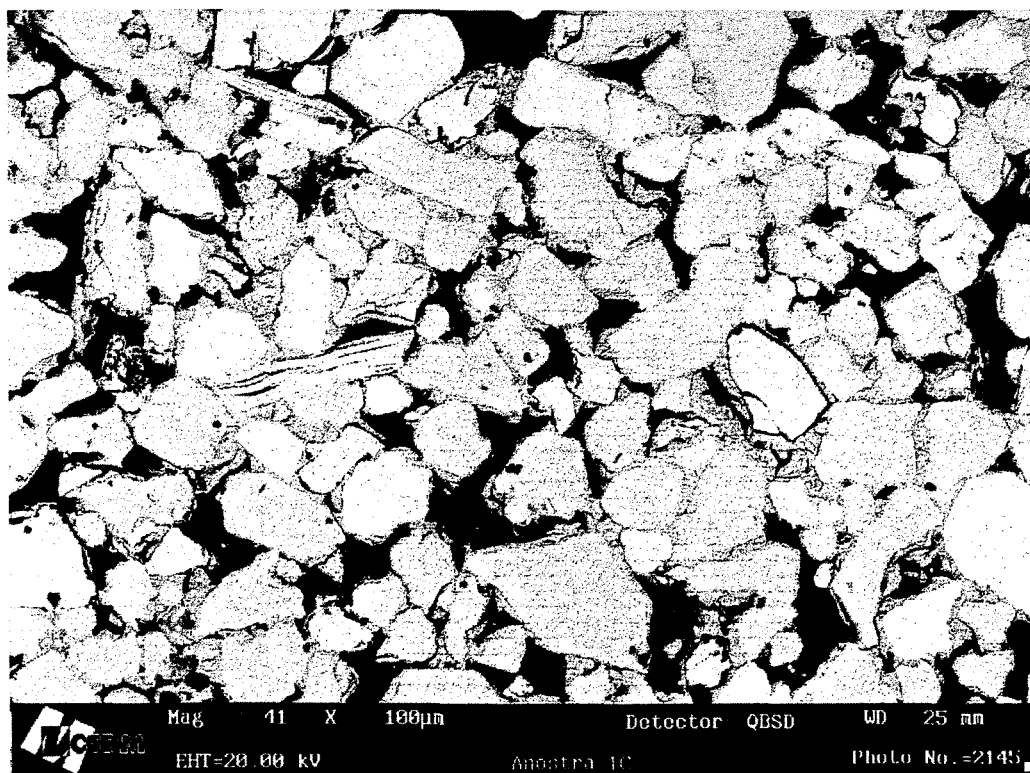


Figura 5-2 Microfotografia de um arenito de superfície referente a Formação Resende.

5.1.2. Descrição dos arenitos em subsuperfície

Em subsuperfície, o conhecimento sobre a litologia é muito escasso. Este estudo baseou-se principalmente nas descrições geológicas dos poços e em algumas descrições de testemunhos, localizados no compartimento Quiririm-Taubaté.

As descrições de afloramentos dos sedimentos fluviais correspondem, em grande parte, às heterogeneidades encontradas nas descrições dos poços. A principal diferença

com relação aos pacotes arenosos, descritos em superfície, é a presença, na maioria dos poços, de cimentação carbonática. Goenopawiro (1997) infere, através das amostras em superfície, que os sedimentos desprovidos de argilas foram, em parte, cimentados por calcita, que é sugerido pelo arcabouço frouxo e pela ausência de sobrecrecimentos de quartzo e feldspato.

5.1.3. Descrição dos sedimentos lacustres

Em relação as áreas com predominância de sedimentos lacustres, as descrições geológicas dos poços são poucas e pouco detalhadas. Autores, como Suguio (1969) e Riccomini (1989), descrevem, de forma mais apurada, as várias faciologias encontradas na Formação Tremembé.

Suguio (1969) realizou dois perfis de correlação estratigráfica ao sul de Tremembé. Os poços, com profundidades aproximadas de apenas 60m, mostram a pequena espessura, de escala métrica, das camadas arenosas, posteriormente mapeadas por Riccomini (1989) como Formação Pindamonhangaba. Outro destaque é o grande número de intercalações dos folhelhos pirobetuminosos próximo à superfície, nesta região.

Os dois autores acima citados descreveram a sondagem nº42 do CNP, localizado entre Taubaté e Pindamonhangaba, com 200m de testemunho que atravessou a Formação Tremembé. As duas descrições mostram o predomínio dos folhelhos e de espessos pacotes de lamitos, com níveis de argilitos e siltitos e a presença de alguns níveis de areia grossa. Além disso, observam-se níveis dolomíticos e de calcretes calcíticos (caliche) .

As argilas destes sedimentos diferem das argilas das formações fluviais pela predominância do grupo das esmectitas, com cloritas e illitas associados (Riccomini, 1989).

Infelizmente, há uma carência de dados sobre a composição litológica em profundidade, para que se possa detalhar melhor a evolução das águas em subsuperfície.

5.1.4. Processos Diagenéticos

Segundo Goenopawiro (1997), os processos diagenéticos encontrados nos arenitos em superfície correspondem aquelas encontradas nas fases de eodiagênese e de mesodiagênese.

A eodiagênese é referente aos processos de introdução de argilas detríticas nos espaços intersticiais, por infiltração mecânica, e dissolução da cimentação carbonática.

A mesodiagênese materializa-se através da dissolução ou da substituição parcial ou total dos grãos do arcabouço. Tanto as substituições quanto as dissoluções envolvem

5.2. Comportamento dos íons maiores

A relação entre os íons maiores apresenta diferenças entre os compartimentos. Estas diferenças são indicativas de diferentes processos diagenéticos atuantes na interação rocha-fluido.

Como observado no capítulo anterior, estes compartimentos possuem características hidroquímicas distintas e a análise comparativa entre os íons maiores nos compartimentos comprova estas diferenças, auxiliando na identificação dos principais processos diagenéticos envolvidos.

O primeiro passo para a análise da relação entre os íons maiores foi a confecção de curvas de frequência acumulada, as quais são úteis na investigação das águas em diferentes aquíferos (Seather et. al., 1995). Estas curvas permitem comparar a composição química entre os compartimentos. A frequência acumulada indica quantos elementos, ou a porcentagem deles, estão abaixo de um certo valor.

A configuração da curva, em cada compartimento, é reflexo do tipo hidroquímico predominante (figura 5-3). No Compartimento São José dos Campos, as águas apresentam curvas de sódio, bicarbonato, STD e pH bem distintas das demais, mostran-

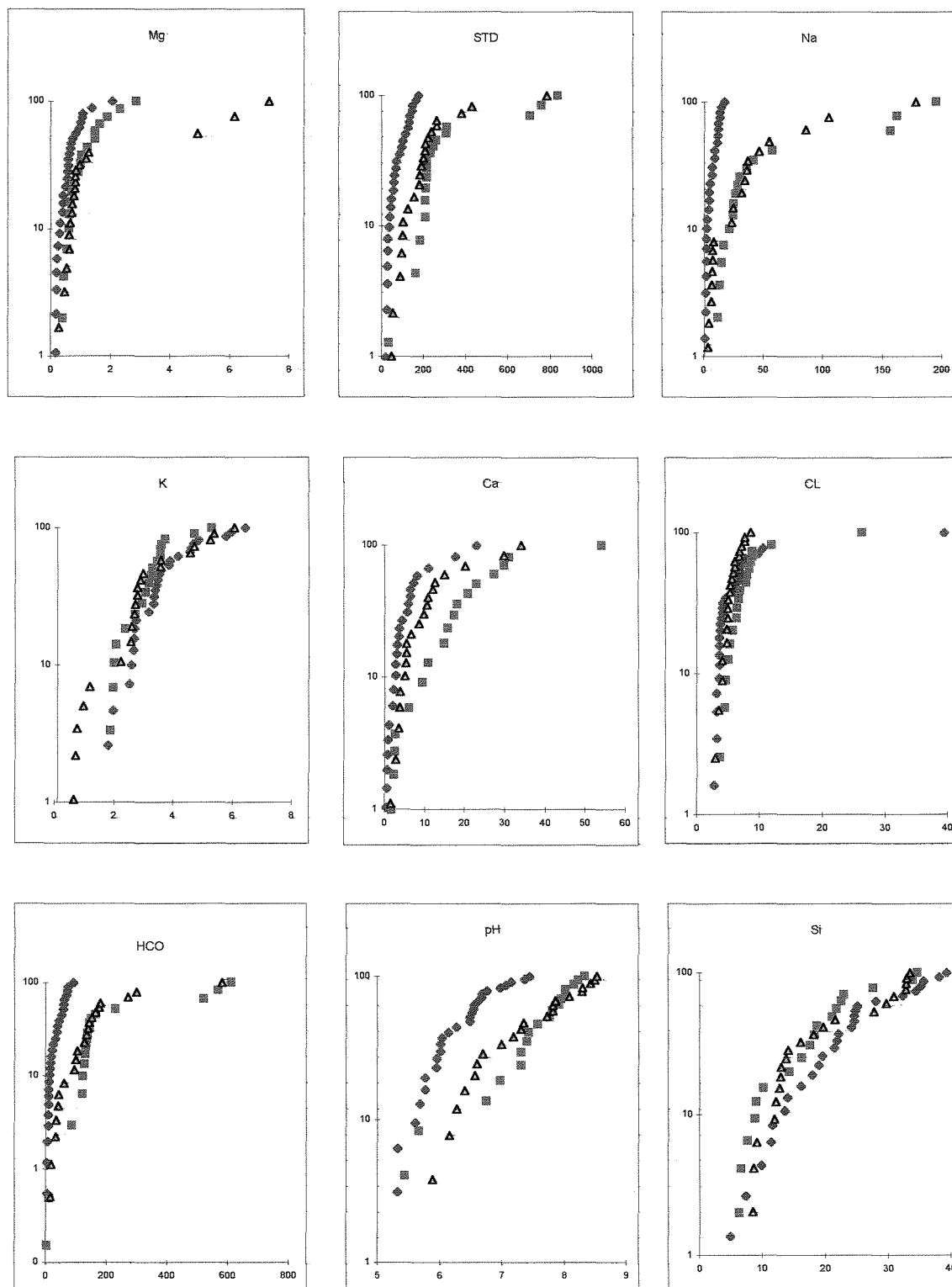


Figura 5-3 Curva de frequencia acumulada dos íons maiores para os tres compartimentos. Os pontos em azul correspondem ao compartimento S.J.C., o compartimento Taubaté esta representado pelos quadrados em vermelho e os triângulos amarelos representam o compartimento Lorena

do baixas concentrações destes elementos. Além de destacarem os baixos valores em São José dos Campos, as curvas de sódio, bicarbonato e STD diferem grandemente das águas do tipo IV, indicadas pelas maiores concentrações destes elementos. Estas mesmas curvas mostram grande semelhança entre aquelas dos Compartimentos Quiririm-Taubaté e Aparecida-Lorena, principalmente para os dados acima de 10% das curvas.

As curvas representadas pelos íons sílica, potássio e cloreto, são semelhantes entre os compartimentos. O Compartimento Jacareí-São José dos Campos apresenta, para potássio e sílica, uma maior concentração em comparação com outros compartimentos.

As curvas traçadas para o íon cálcio destacam as águas do Compartimento Quiririm-Taubaté, que inclui o Alto de Caçapava, refletindo o predomínio das águas do tipo II. As curvas de magnésio mostram-se semelhantes entre os compartimentos, destacando três poços do Compartimento Aparecida-Lorena localizados na área anômala de Roseira .

O comportamento das águas foi também investigado utilizando-se uma matriz de correlação única (tabela 5-2), permitindo desta forma comparar os índices de correlação entre as variáveis de cada compartimento.

	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SiO ₂	STD
pH	1,00								
Na ⁺	0,75 0,57 0,79	1,00							
K ⁺	0,54 -0,44 -0,56	0,69 -0,04 -0,77	1,00						
Ca ⁺⁺	0,62 0,01 0,18	0,79 -0,46 -0,27	0,78 0,40 -0,47	1,00					
Mg ⁺⁺	0,41 -0,03 0,00	0,82 -0,31 -0,41	0,72 0,42 0,65	0,80 0,72 0,92	1,00				
HCO ₃ ⁻	0,88 0,62 0,90	0,91 0,99 0,89	0,71 0,02 -0,56	0,78 -0,33 0,18	0,66 -0,20 0,02	1,00			
Cl ⁻	0,14 -0,08 -0,63	0,53 -0,11 -0,60	0,43 0,58 -0,43	0,73 0,70 0,01	0,76 0,65 0,00	0,29 -0,02 0,60	1,00		
SiO ₂	0,67 -0,09 -0,78	0,73 -0,56 -0,63	0,50 0,30 0,43	0,45 0,85 -0,12	0,57 0,43 -0,06	0,70 -0,46 -0,74	0,24 0,45 -0,60	1,00	
STD	0,81 0,64 0,90	0,96 0,97 0,90	0,76 0,07 -0,56	0,87 -0,23 0,17	0,81 -0,14 0,01	0,96 0,99 1,00	0,52 0,07 0,62	0,77 -0,37 -0,72	1,00

Tabela 5-2 Tabela de coeficientes de correlação entre os principais íons. O valor superior de cada célula corresponde ao Compartimento Jacareí-São José dos Campos. O valor central corresponde ao Compartimento Quiririm-Taubaté e o valor inferior ao Compartimento Aparecida-Lorena.

As correlações, referentes ao compartimento Jacareí-São José dos Campos, mostram boas relações de dependência de STD com a maioria dos íons maiores, sódio, cálcio, potássio, magnésio, sílica e bicarbonato, com índices de correlação acima de 0,7. Os íons sódio, cálcio e bicarbonato apresentam boas correlações entre si. Entre todos os íons são observadas correlações positivas.

No compartimento Quiririm-Taubaté, apenas o sódio e bicarbonato apresentam boas correlações com STD (coeficientes de correlação de 0,97 e 0,99 respectivamente). O restante dos íons mostram baixas correlações com STD. O cálcio, neste compartimento, passa a ter um coeficiente de correlação de -0,23 com STD.

Os resultados do Compartimento Aparecida-Lorena, com as altas correlações de salinidade somente para os íons sódio e bicarbonato e correlações baixas ou negativas para os íons restantes, são semelhantes ao encontrado no Compartimento Quiririm-Taubaté. Os íons potássio e sílica apresentam pronunciadas correlações negativas com STD. Os íons cálcio e magnésio indicam um comportamento independente da salinidade e entre esses dois cátions a correlação é de $r = 0,92$. A correlação entre cálcio e sódio é negativa.

De maneira geral pode-se generalizar o comportamento de alguns íons que, de certa forma, apresentaram as mesmas relações entre os compartimentos.

- Na, HCO_3 e STD

Conforme observado em todos os compartimentos, as correlações entre sódio, bicarbonato e STD são extremamente altas entre si, sendo o sódio e bicarbonato os principais íons responsáveis pela salinidade das águas. Para exemplificar pode-se observar a alta correlação de sódio com STD (figura 5-4).

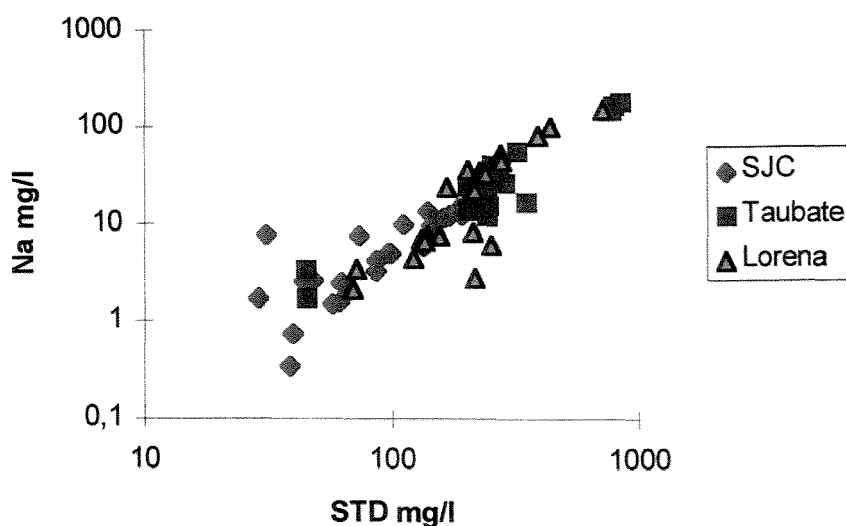


Figura 5-4 Relação entre STD e sódio conforme os compartimentos.

- Ca e Mg

O cálcio e magnésio apresentam um comportamento semelhante entre os compartimentos. O cálcio, segundo cátion em importância para as águas da bacia, apresenta um comportamento diferenciado em comparação ao sódio e bicarbonato, a semelhança entre estes íons só está presente para as águas com baixas concentrações, com o aumento da salinidade as concentrações passam a decrescer em relação ao sódio e bicarbonato. Este comportamento ocorre com relação a todos os alcalinos terrosos, magnésio, bário e estrôncio.

O comportamento do cálcio assemelha-se ao dos poços do aquífero Botucatu, descritos por Silva (1983), que relaciona a concentração de cálcio com a salinidade, pH e temperatura. A figura 5-5 mostra a relação de cálcio com STD e pH na Bacia de Taubaté. A quebra no crescimento da concentração de Ca com pH e STD é semelhante à encontrada por Silva (1983). Para uma concentração acima de 200 mg/l e pH acima de 8, o Ca passa a decrescer. O comportamento com a temperatura é similar .

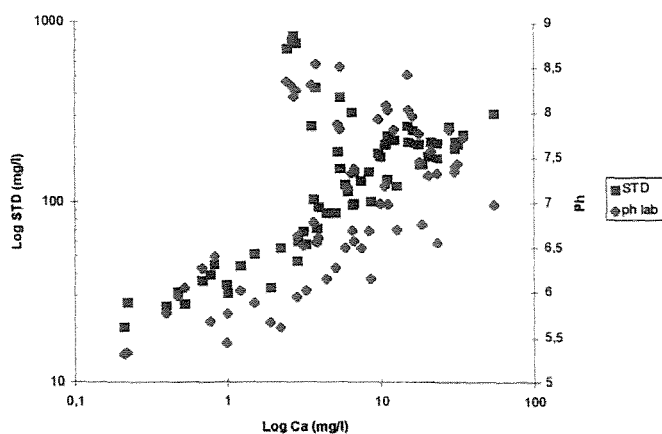


Figura 5-5 Diagrama mostrando a concentração de cálcio em relação a pH e STD, para todas as amostras da Bacia de Taubaté.

Analisando o cálcio pelos compartimentos regionais (figura 5-6), observa-se a relação linear no Compartimento Jacareí-São José dos Campos. Por outro lado, o Compartimento Quiririm-Taubaté, com exceção dos dois poços de baixa salinidade (tipo I), apresenta uma correlação negativa, o mesmo acontecendo para o compartimento Lorena, indicando com isso a retenção destes elementos com o aumento da salinidade.

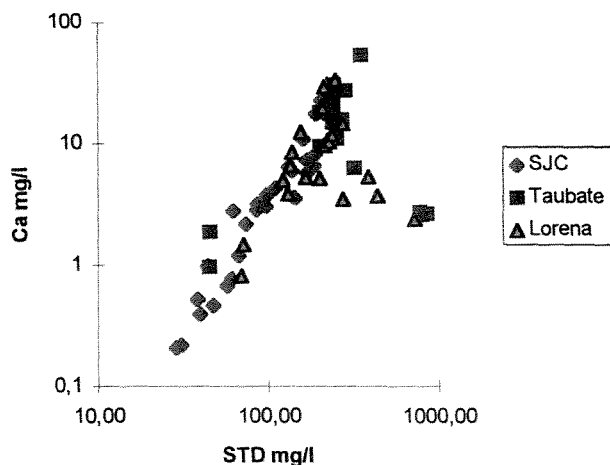


Figura 5-6 Relação entre cálcio e STD para os compartimentos da bacia

- K e SiO₂

Os íons potássio e sílica apresentam uma relação distinta destacada principalmente no compartimento Lorena pelas correlações negativas com STD. A figura 5-7 apresenta a relação entre potássio e STD.

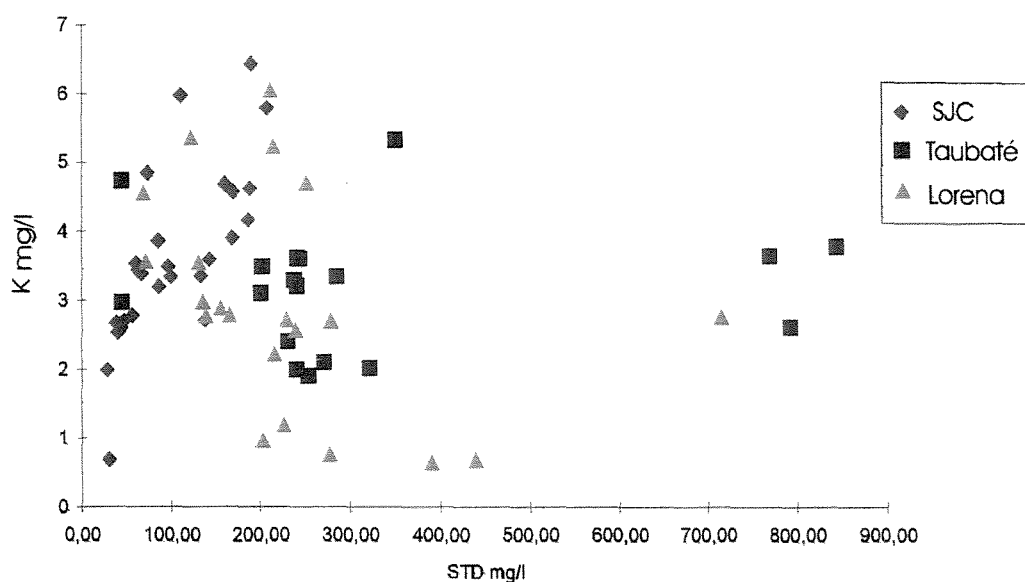


Figura 5-7 Relação entre potássio e STD conforme os três compartimentos

As águas do Compartimento Jacareí-São José dos Campos, de maneira geral, apresentam um crescimento do potássio e sílica com o aumento da salinidade (STD), e contém os maiores índices de saturação destes íons na bacia. Apesar deste acréscimo com relação a salinidade, estes íons apresentam uma menor taxa de crescimento em relação ao sódio, indicado pela razão iônica de K/Na , SiO_2/Na .

5.3. Parâmetros termodinâmicos

Para auxiliar no conhecimento do comportamento químico destas águas, foram utilizados critérios de equilíbrio termodinâmico, como diagramas de atividades e índices de saturação.

5.3.1. Diagramas de atividade

Para investigar a fase mineralógica em equilíbrio com as águas produzidas nos poços amostrados, foram construídos diagramas de atividade. Estes foram construídos a partir das reações possíveis que envolvem as fases minerais presentes nos sedimentos. A base de dados termodinâmicos, usado na construção dos diagramas, foi retirada do programa PTA (calculados a 1 atm e 25°C).

O sistema $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ (figura 5-8) mostra que as fases estáveis, em equilíbrio termodinâmico com os sedimentos da bacia, são a caolinita e a Na-esmectita. A diferença com relação aos argilos minerais descritos em superfície, está no predomínio das esmectitas. Apenas as amostras de baixa salinidade, geralmente relacionadas ao Compartimento Jacareí-São José dos Campos estão em equilíbrio com a caolinita.

O sistema $\text{CaO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ mostra o predomínio de Ca-esmectita para a maioria das águas. Apenas algumas amostras estão no campo das caolinitas (figura 5-8).

A cimentação caolinítica reflete, em grande parte, a baixa concentração salina das águas coletadas (Tardy, 1971; Dutta, 1993), que é produto da elevada taxa pluviométrica da região e uma elevada capacidade de fluxo dessas areias. Estas águas diluídas estão relacionadas com as águas de recarga do compartimento São José dos Campos, que apresentam as menores salinidades de toda a bacia.

A título de comparação, o aquífero Botucatu apresenta a composição iônica em equilíbrio com a caolinita em sua porção livre e, em direção às regiões confinadas, as águas encontram-se em equilíbrio com as argilas esmectitas (Sineli, 1979; Silva, 1983).

A composição química das águas da bacia de Taubaté apresenta-se, em sua maioria, em equilíbrio com as argilas esmectíticas, provavelmente não tanto relacionadas ao confinamento de suas águas, mas à maior participação das argilas nestes sedimentos, que gradam para os sedimentos lacustres, onde predominam esmectitas.

Convém salientar que as estimativas realizadas estão superestimando as atividades do cálcio e do sódio, uma vez que nos dois diagramas apresentados não há um fracionamento dos cátions equivalente à participação de cada um na constituição das argilas em profundidade.

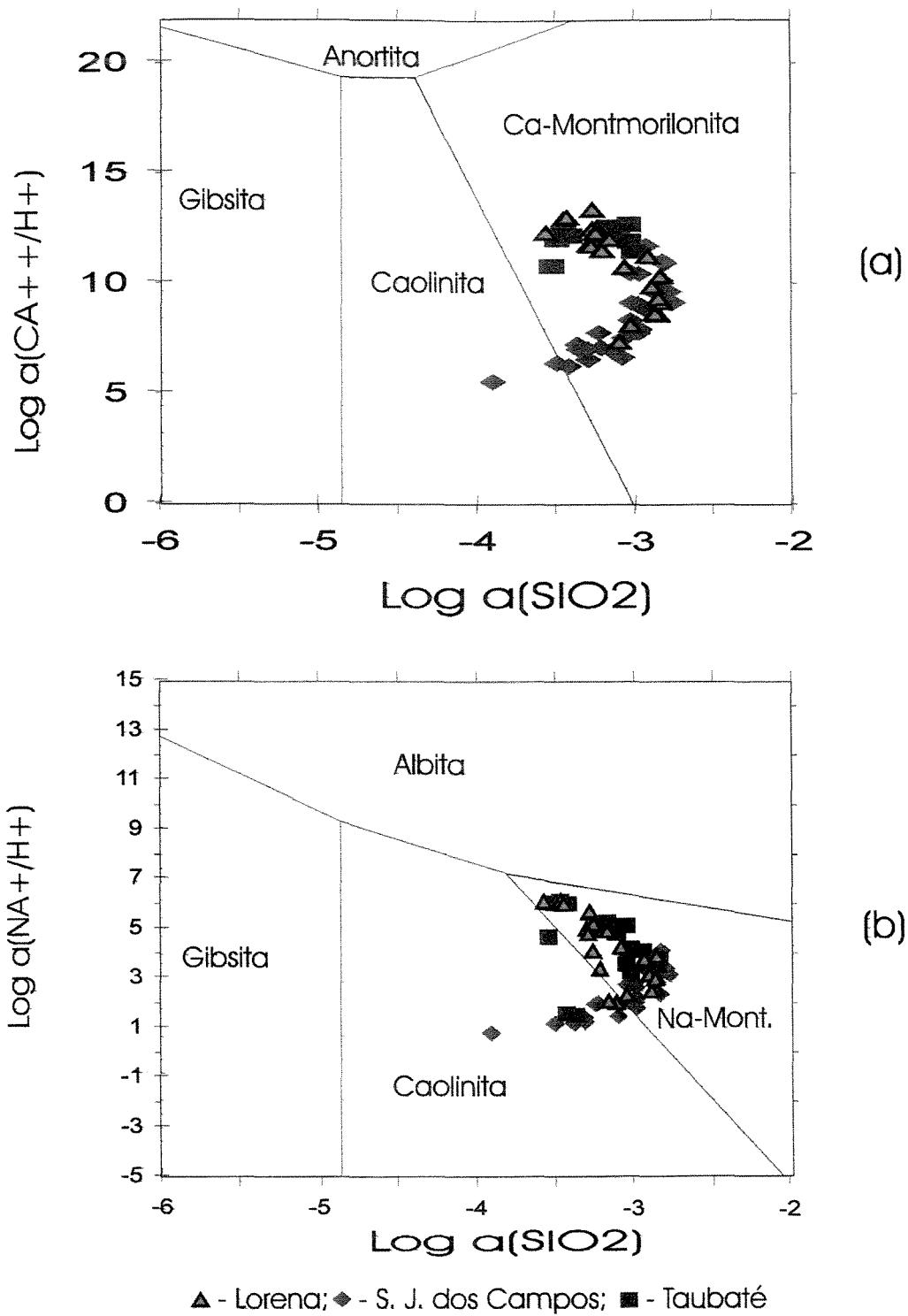


Figura 5-8 Diagrama de estabilidade - Sistema CaO.Al₂O₃.SiO₂.H₂O (a) e Sistema Na₂O. Al₂O₃.SiO₂.H₂O (b), a 25C e 1atm.

5.3.2. Índice de Saturação

O índice de saturação (ISat) é outro parâmetro termodinâmico que calcula a condição de equilíbrio da água para a fase mineral escolhida. Este parâmetro foi determinado pelo programa Solmin88 para todas as fases minerais disponíveis em seu banco de dados.

Os índices calculados indicam condições de supersaturação em relação ao grupo da sílica, na forma de quartzo e sílica amorfa (calcedônia), e ao grupo dos carbonatos, com relação à calcita e à dolomita.

Os argilominerais apresentaram baixos índices de saturação devido a não detecção do alumínio nas análises. Simulando a adição de concentrações mínimas de alumínio no programa, as águas se tornam supersaturadas nas fases minerais da caolinita e esmectita. Isto indica que as condições são ideais para a presença destas fases.

A apatita ocorre supersaturada nas amostras em que foi detectado o fósforo, o que não significa que cineticamente esta fase seja favorecida.

O comportamento do índice de saturação do quartzo, por compartimento, em relação a força iônica, pode ser visualizado na figura 5-9.

O compartimento São José dos Campos apresenta um aumento do índice de saturação em relação a salinidade. Já as águas do compartimento Taubaté, e principalmente do compartimento Lorena, apresentam a diminuição do índice em relação ao aumento da salinidade.

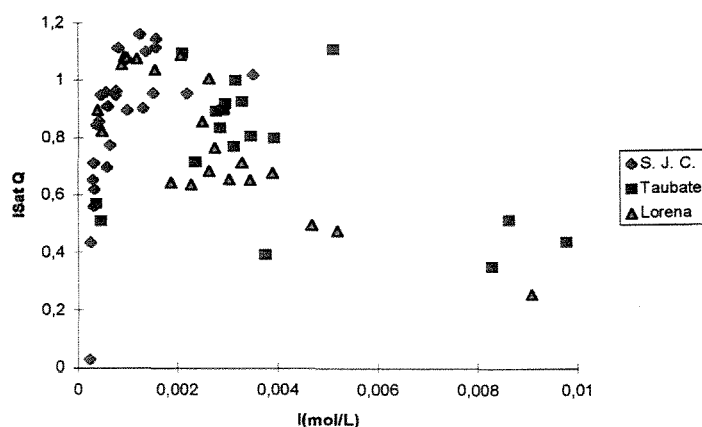


Figura 5-9 ISat do quartzo nos três compartimentos com relação a força iônica.

O comportamento do índice de saturação de calcita e dolomita, em relação à Força Iônica (figura 5-10), indica que a calcita, na maior parte das amostras, é mais saturada em relação à dolomita. O inverso só acontece para as águas do tipo III e IV, a maior saturação com relação à dolomita se deve à maior concentração de Mg nas águas quentes. De maneira geral, observa-se que as águas apresentam um aumento logarítmico no índice de saturação dos dois minerais com o aumento da salinidade ou força iônica.

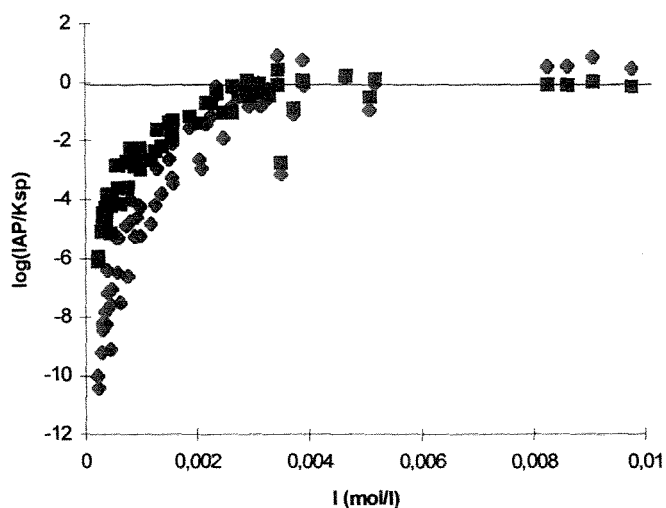


Figura 5-10 Correlação entre o índice de saturação da calcita e dolomita com a força iônica.

O índice de saturação da calcita em relação a força iônica, para os compartimentos, está presente na figura 5-11.

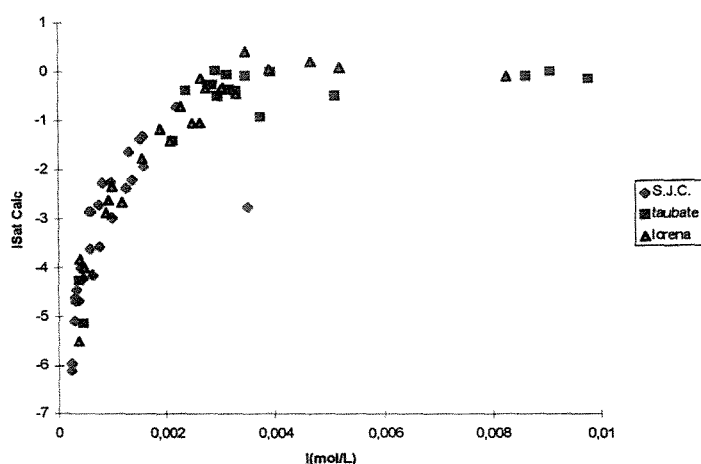


Figura 5-11 Índice de saturação da calcita em relação a força iônica das amostras nos três compartimentos.

Com relação aos poços instalados nos arenitos do Compartimento São José dos Campos, nota-se que todas as amostras apresentam-se subsaturadas.

No Compartimento Taubaté, com exceção das águas do tipo I, a maioria apresenta valores acima de -1, isto é, próximo à saturação em relação à calcita. O mesmo acontece com o Compartimento Lorena, que apresenta os poços do tipo I subsaturados, sendo os outros tipos saturados.

Embora o índice de saturação seja indicativo da presença da fase mineral escolhida, este índice pode ser influenciado por outros fatores como velocidade de fluxo, mistura de águas com diferentes características e o aumento na concentração destes elementos devido a outras reações químicas que não estejam necessariamente relacionadas à interação com rochas carbonáticas (Freeze e Cherry, 1979).

5.4. Evolução Hidroquímica das águas

A evolução hidroquímica das águas subterrâneas é influenciada diretamente pela litologia da rocha. Segundo Freeze e Cherry (1979), ao analisar a evolução hidroquímica das águas em um reservatório que apresente uma marcada heterogeneidade litológica, deve-se primeiramente determinar a seqüência litológica seguida pela água em seu trajeto, *order of encounter*. A diferenciação litológica determinará diferentes constituições hidroquímicas da água em seu percurso.

De acordo com os mapas de salinidade e da razão Na/Cl, as direções preferenciais de fluxo direcionam-se das bordas em direção ao centro da bacia, com as áreas de descarga localizadas nas cotas mais baixas junto ao Rio Paraíba. Esta interpretação é confirmada pelo mapa de nível estático da figura 2-8.

Devido a direção de fluxo ocorrer das bordas para o centro da bacia e a existência das heterogeneidades litológicas, constatadas no capítulo anterior, a evolução hidroquímica será discutida para as três regiões delimitadas da figura 5-12.

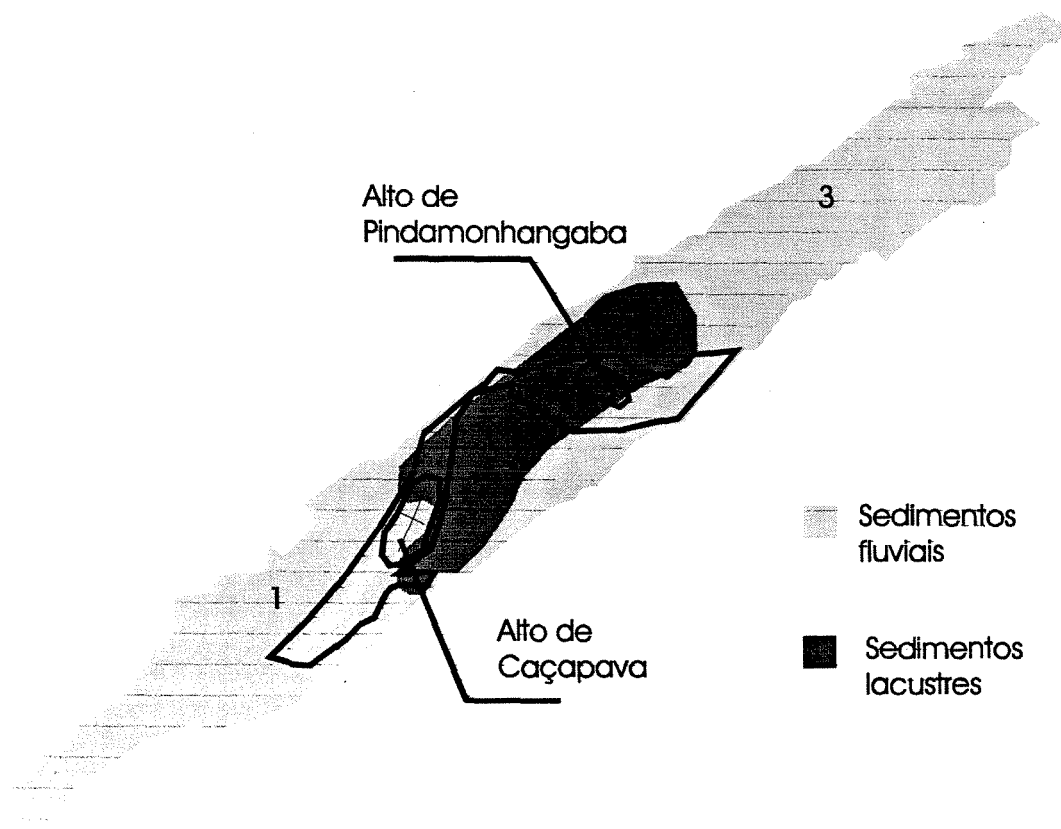
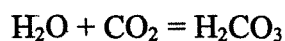


Figura 5-12 Áreas da Bacia de Taubaté com evoluções hidroquímicas distintas. 1 São José dos Campos; 2 Taubaté; 3 Lorena.

O processo de evolução das águas subterrâneas começa com o contato das águas da chuva no solo. A água da chuva, apresentando um predomínio de Cl entre os ânions e Ca entre os cátions (Moreira-Nodermam e Rebouças, 1986), ao entrar em contato com o solo e atravessar a zona não saturada, interage com o CO₂ presente, muito mais concentrado no solo, devido à atividade biogênica, formando o ácido carbônico. Esse processo dará a acidez encontrada nas águas de recarga, conforme as equações abaixo.



O processo de evapotranspiração também influencia no aumento da concentração das águas, durante o trajeto até a zona saturada.

5.4.1. São José dos Campos

Na área referente ao Compartimento Jacareí-São José dos Campos, a composição química das águas é diretamente influenciada pelas águas de recarga, caracterizadas por águas do tipo I, baixo pH e salinidade.

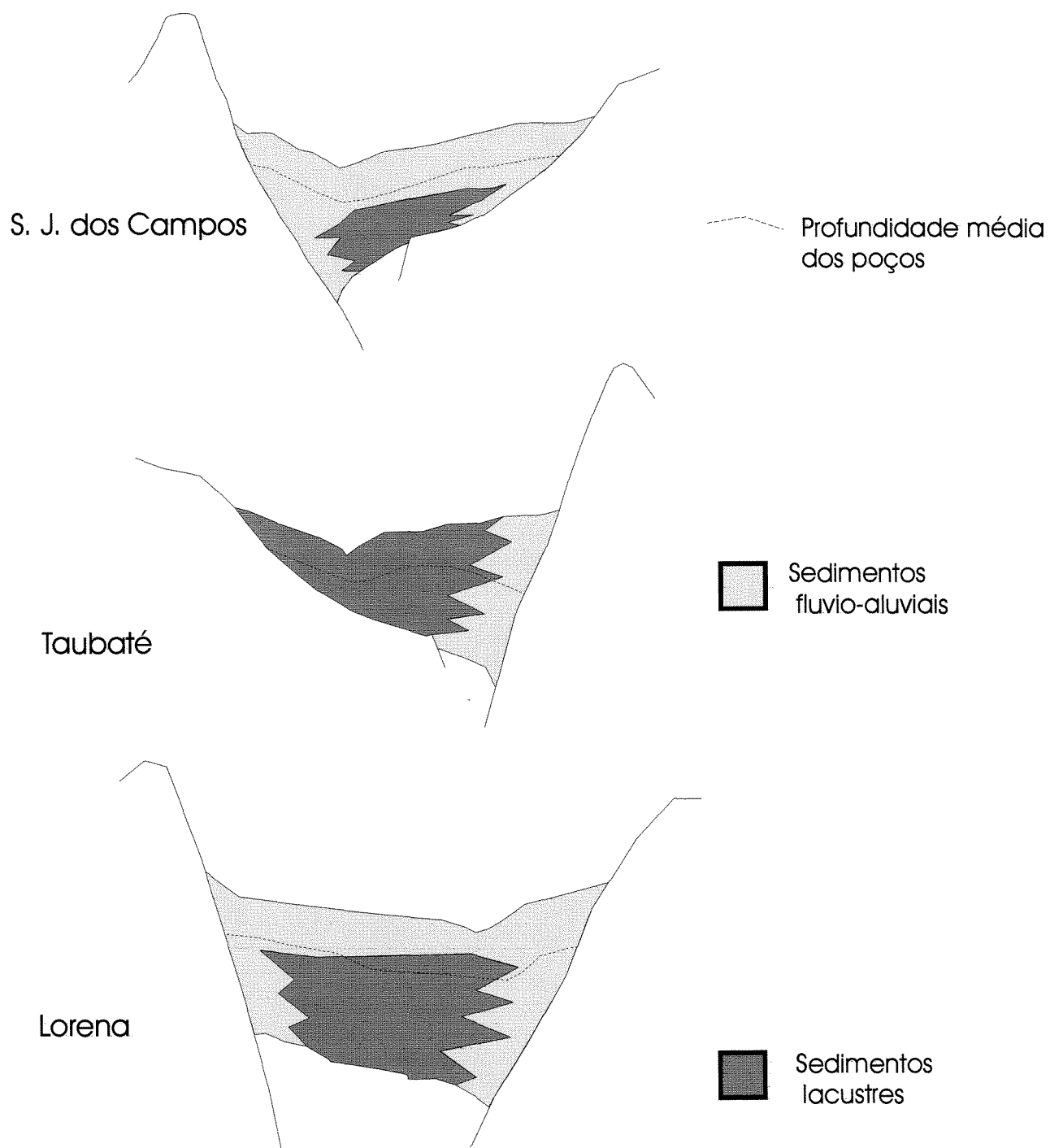
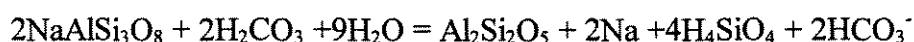


Figura 5-13 Perfis esquemáticos de três direções distintas de evolução hidroquímica.

No caso dos arenitos da região de São José dos Campos, as intercalações de argilas são menos pronunciadas. Estas argilas, por não terem continuidade, não servem como barreiras significativas para a separação de camadas isoladas (Franco Filho e Souza, 1994). Pode-se considerar que estas águas, até uma profundidade média de 200m, estão instaladas em um pacote sedimentar homogêneo formado exclusivamente por sedimentos fluviais (figura 5-13). Isto pode ser comprovado pelo baixo pH, normalmente próximo a 7, e pela baixa concentração salina. O aumento constante de todos os íons maiores indica o baixo tempo de residência dessas águas e mostra o alto grau de lixiviação.

O caráter ácido das águas de recarga aumenta o processo de dissolução dos silicatos. Concomitante com a dissolução de grãos de feldspatos e micas e com a alteração das esmectitas, ocorre também a neoformação destes minerais por caolinita nas zonas de recarga, sendo a esmectita estável nas águas mais salinas (figura 5-8). Tais processos liberam para o meio aquoso os principais íons maiores, os quais determinam a qualidade química das águas, conforme exemplificado nas equações abaixo.



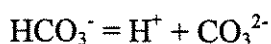
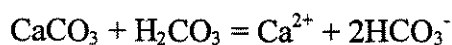
A composição química das águas confirma a hipótese deste aquífero estar relacionado a reservatório formado por arenitos. Sua composição hidroquímica é semelhante às constituições hidroquímicas dos arenitos “silicosos” (grão suportados sem a presença de cimentação carbonática) descritos por Szikszay (1983) e também para os descritos por Freeze and Cherry (1979).

As águas do tipo I apresentam também elementos como Cu, Zn, Al e PO_4 , relacionadas aos baixos valores de pH (Fenzl, 1986).

5.4.2. Taubaté

A evolução hidroquímica da região central da bacia, referem-se as águas descritas no compartimento Quiririm-Taubaté e nos altos de Caçapava e Pindamonhangaba, áreas que estão relacionadas a Formação Tremembé aflorante.

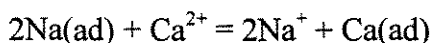
As águas de recarga são constituídas pelos tipos I e II, possuem um comportamento semelhante ao descrito para as áreas de recarga do Compartimento Jacareí-São José dos Campos. As águas do tipo II apresentam-se mais salinas em relação ao tipo I com uma provável interação com minerais carbonáticos, que contribuem para um aumento nos teores de bicarbonato, cálcio e pH, conforme as equações a seguir.



Outra evidência da presença de níveis carbonáticos é constatado pelas maiores concentrações de estrôncio e bário, constituintes do grupo dos alcalinos terrosos, com propriedades semelhantes, bem como o modo de ocorrência na natureza, na forma de carbonatos em rochas sedimentares (Rankama e Sahama, 1968).

Estas águas, ao se dirigirem para o centro da bacia, passam para o domínio dos sedimentos lacustres, o aquífero torna-se semiconfinado, com o aumento da temperatura (figura 5-13).

Durante este trajeto as águas passam a pertencer aos tipos III e IV. Há um continuo aumento dos teores de sódio e bicarbonato, e conseqüentemente da salinidade. Notadamente, conforme a figura 4-30, os teores de cálcio, magnésio, estrôncio e bário sofrem decréscimos em suas concentrações. Este comportamento antagônico entre o sódio e cálcio, em terrenos formados por sedimentação argilosa é claramente descrita na literatura como o produto do processo de troca iônica (Freeze and Cherry, 1979; Wallick, 1981), conforme a equação abaixo



onde, para cada mol de Ca adsorvido é liberado 2 mol de Na.

Segundo Stum (1995), de acordo com a estrutura das argilas a capacidade de troca iônica é maior para os íons bivalentes do que para os monovalentes e esta seletividade dos íons de maior valência decrescem com o aumento da força iônica em solução (salinidade). Segundo o autor o processo inverso de troca só ocorrerá para as águas salobras e salinas, o que não acontece com as águas da bacia. Este processo é acentuado quando as argilas formadoras da rocha são compostas por esmectitas, mineral que apresenta uma elevada capacidade de troca iônica (Drever, 1982). Isto explica a diminuição dos alcalinos terrosos e o aumento do sódio e potássio para as águas do tipo IV.

Freeze e Cherry (1979) simulam o fluxo partindo de arenitos em direção a sedimentos lacustres, nesta evolução é verificado que na passagem de águas pelos sedimentos lacustres há uma maior porcentagem de Na em relação ao Ca, o qual sofreu um decréscimo em suas concentrações resultado do processo de troca iônica. Neste processo estas águas apresentam concentrações de bicarbonato e pH estacionárias. Diferentemente, nos sedimentos lacustres da bacia de Taubaté, além da troca iônica entre cátions, ocorre também um constante aumento da alcalinidade, sugerindo que a fácies carbonática persiste até o interior do compartimento.

Wallick (1981) estudou uma bacia de sedimentação glacial e muito heterogênea do ponto de vista litológico, com a coexistência de carbonatos e argilitos. Neste trabalho, as análises químicas são muito semelhantes aquelas encontradas no compartimento Taubaté, confirmando para a nossa bacia uma participação de sedimentos carbonáticos.

Outros elementos que apresentam concentrações significativas nestas águas são o flúor e o boro, que possuem um aumento gradacional em direção às águas de maior salinidade.

5.4.3. Lorena

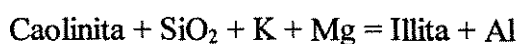
A evolução hidroquímica do compartimento Aparecida-Lorena é marcada pela presença de sedimentos fluviais com maiores intercalações de argilitos, (figura 5-13).

As áreas de recarga localizam-se nas bordas do compartimento, indicadas pelas águas de baixa salinidade e pH. Suas águas mostram as mesmas características do

Compartimento de São José dos Campos nas áreas de recarga. No entanto, diferenciam-se, pela sua evolução em direção às áreas de descarga.

Como apresentado na matriz de correlação (tabela 5-2), esta área apresenta um comportamento dos íons maiores semelhantes ao encontrado no compartimento Taubaté. Novamente o sódio e bicarbonato são os responsáveis pela salinidade das águas. O restante dos íons apresentam correlações negativas com STD.

Nota-se, nesse caso, o decréscimo de potássio, magnésio e sílica com a salinidade, indicando uma provável absorção destes íons na formação das argilas, conforme a equação abaixo (Dutta, 1983 in Dutta, 1993).



Esses processos certamente ocorrem nos arenitos de outros compartimentos conforme constatados pelas razões iônicas (Moreira-Noderman e Rebouças, 1986). Entretanto, nesse compartimento, a interação é melhor identificada. Provavelmente as barreiras de fluxo, provocadas pelo maior número de intercalações argilosas, contribuem para uma maior interação com a rocha.

Pode-se inferir que as águas do tipo III representam uma transição para as do tipo IV, verdadeiramente inseridos nos sedimentos lacustres. Com isso, as areias do Compartimento Lorena chegam a evoluir até o estágio de troca iônica entre Na e Ca. Isso provavelmente se deve ao aumento da ocorrência de argilas em profundidade e em direção ao interior da bacia. Ocorre também o aumento das concentrações de flúor e boro.

6. Conclusões

O sistema aquífero Taubaté, que apresenta intensa exploração dos seus recursos hídricos, é caracterizado pela marcante heterogeneidade química de suas águas subterrâneas, reflexo da variação litológica e da compartimentação estrutural da bacia.

Através da análise de dados coletados no presente trabalho e dados da literatura, foi constatada a constância química dos aquíferos em relação a maioria dos íons maiores, durante as últimas décadas. Este fato possibilitou a utilização conjunta de alguns íons de diferentes arquivos, principalmente entre os dados atuais e o arquivo do DAEE (1977).

Este trabalho utilizou a análise multivariada de agrupamento para a determinação dos tipos hidroquímicos. Esta análise foi motivada pela incerteza inerente dos diagramas hidroquímicos, uma vez que estes diagramas fornecem somente a razão entre os íons. No caso dos aquíferos da Bacia de Taubaté, muitas amostras apresentaram relações iônicas semelhantes, mas com diferentes concentrações. Através desta técnica multivariada, quatro tipos hidroquímicos foram identificados.

O tipo I refere-se às águas inseridas nos sedimentos fluviais, predominantes nas bordas da bacia e na região de São José dos Campos. As águas são classificadas como bicarbonatadas sódicas e cálcicas, com baixa concentração salina e baixo pH.

O tipo II está presente nos sedimentos fluviais próximos à zona de transição com os sedimentos lacustres. As águas apresentam-se mais salinas em relação ao tipo I e exibem maiores teores de cálcio, magnésio, sulfato, bicarbonato e pH alcalino. Correspondem a águas bicarbonatadas cálcicas e sódicas.

O tipo III ocorrem em poços que atravessam unidades com predominância de sedimentos lacustres, apresentando níveis de folhelhos e argilitos na base dos poços. As águas são classificadas como bicarbonatadas sódicas.

O tipo IV ocorre em poços exclusivamente instalados em sedimentos lacustres, caracterizados por possuírem alta temperatura e salinidade. Suas águas são classificadas como bicarbonatadas sódicas e apresentam baixas concentrações de cálcio.

A alta correlação existente entre os tipos hidroquímicos e a salinidade das águas permitiu que fosse realizado um estudo mais apurado, através da geoestatística, da variável sólidos totais dissolvidos (STD). Este estudo propiciou um maior entendimento da distribuição espacial desta variável e a confirmação das heterogeneidades entre os compartimentos. Na análise geoestatística foram gerados mapa de STD na bacia, onde buscou-se preservar as características de cada compartimento. Devido à boa correlação, foi possível determinar, de forma indireta, a distribuição dos tipos hidroquímicos na bacia.

A importância da maior precisão dos mapas krigados está na delimitação mais precisa dos limites em que os tipos hidroquímicos são encontrados. Tal delimitação é de grande relevância para a exploração do aquífero.

No estudo da distribuição dos elementos nos compartimentos, foi possível determinar a litologia como o principal fator atuante na diferenciação dos tipos hidroquímicos. Secundariamente, a topografia exerce grande influência, isto em função do comportamento livre do aquífero na maior parte da bacia. As altas salinidades estão localizadas nas cotas mais baixas, acompanhando a hidrografia do rio Paraíba.

A influência da litologia foi investigada e, de forma geral, constatou-se que as águas do tipo I são marcadas pelas reações de dissolução e substituição de silicatos, com suas águas apresentando alta capacidade de lixiviação. As águas do tipo II retratam as principais reações envolvendo minerais carbonáticos e silicatos, com os poços localizados na transição entre os sedimentos fluviais e lacustres. Por fim, para os tipos III e IV as reações envolvem os minerais carbonáticos e a troca iônica nos argilitos da Formação Tremembé. As águas destes dois últimos tipos apresentam maior grau de confinamento.

Através do estudo hidroquímico foi possível identificar aquíferos distintos na bacia. Com base na distribuição da salinidade, na razão de Na/Cl e no íon bicarbonato, pôde-se inferir a direção de fluxo das bordas para o centro da bacia, em direção ao Vale do Rio Paraíba. O aquífero apresenta um comportamento livre nas áreas de predomínio dos sedimentos fluviais. A análise influência da profundidade dos aquíferos na distribuição da salinidade da bacia foi prejudicada, pois têm característica de multicamada, com vários sub-aquíferos interligados espacialmente.

Pelo limitado número de informações de subsuperfície existentes na bacia, o estudo hidrogeoquímico constitui uma importante ferramenta auxiliar na compreensão dos processos diagenéticos atuantes na rocha.

Com isso, este trabalho permitiu cartografar a distribuição dos tipos hidroquímicos. A divisão e a configuração no mapa destes tipos hidroquímicos estão baseados apenas nos dados coletados, estas definições podem sofrer mudanças com a incorporação de novas análises físico-químicas da bacia, resultando em maior detalhamento de suas distribuições.

Os mapas foram confeccionados em duas dimensões, com os dados dos poços plotados em superfície, sem a incorporação da profundidade. Os pontos utilizados referem-se a uma composição química média das águas de todo o poço.

A distribuição dos tipos hidroquímicos reflete grosso modo a interação rocha-fluido, cuja a composição do fluido é compatível com a composição mineralógica das rochas associadas.

7. BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, F. F. M., 1958. **Vale do Paraíba**. In: Relatório anual do diretor. Rio de Janeiro, DNPM/DMG, 241, 36p.
- ABERCOMBRIE, H. J., 1988. **Water-rock interaction during diagenesis and thermal recovery, Cold Lake, Alberta**. Canada, Univ. of Calgary (Msc Dissert. Thesis).
- AMARAL, G.; BUSHEE, J.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J.H., 1967. **Potassium - argon ages of alkaline rocks from Southern Brazil**. Geoch. Cosmoch. Acta. 31:117-142.
- BARNES, I., 1964. **Field measurament of alkalinity and ph**. Washington, U. S. Geological Survey Water-Suply, paper 1535-H, p.17.
- BROWN, T. H., BERMAN, R. G. & PERKINS E. H., 1987. **GEO-CALC: A software package for rapid calculation and display of pressure-temperature-composition phase diagrams using an IBM or compatible personal computer**. Computers & Geosciences, v.14, No.3, p. 279-289, 1988.
- CAMPANHA, V. A., 1994. **Arquitetura deposicional da Bacia Sedimentar de Taubaté, SP, como subsídio à delimitação das zonas de produção mineral**. 193p. (Tese de Doutorado apresentada ao IGCE da UNESP, campus de Rio Claro).
- CAMPOS, H. C. N. S., 1993. **Caracterização e cartografia das províncias hidrogeoquímicas do Estado de São Paulo**. São Paulo. 177p. e 1 mapa (Tese de Doutorado, IGc/USP).
- CAMPOS, H. C. N. S., 1994. **Anomalias hidrogeoquímicas e o contexto estrutural da Bacia de Taubaté (SP)**. In : CONG. BRAS. ÁGU. SUBT., Recife 1994. Anais... Recife , ABAS . 420-424.

- CARNEIRO, C. D. R.; HASUI, Y.; GIANCURSI, F.D., 1976. **Estrutura da Bacia de Taubaté na região de São José dos Campos**. In: CONG. BRAS. DE GEOLOGIA, 29. Anais. Ouro Preto, SBG, v. 4, p. 247-256.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB), 1978. **Poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo, estudo preliminar**. São Paulo, CETESB. 88p.
- CUSTÓDIO, E. e LLAMAS, M. R., 1976. **Hidrologia subterrânea**. Barcelona, Omega, t. 1.
- DAVIS, J. C., 1986. **Statistics and data analysis in geology**. New York. Wiley. 550p.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA -DAEE-, 1977. **Estudo de águas subterrâneas da região administrativa 3 (São José dos Campos e Faixa Litorânea), SP**. São Paulo, DAEE. 175p.
- DREVER, I. D., 1982. **The Geochemistry of natural waters**. London, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs. p. 387.
- DUTTA, P, K., 1992. **Climatic influence on diagenesis of fluvial sandstones**. In: Diageneses, III, Developments in Sedimentology, 47. Elsevier Science Publishers.
- FERNANDES, F. L., 1993. **Arcabouço estrutural e evolução da Bacia de Taubaté - SP**. 147p. (Dissertação de mestrado apresentada na Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto).
- FRANCO FILHO, F. W. B. e SOUZA, J. C. S., 1994. **Exploração de água subterrânea em São José dos Campos - Efeitos observados ao longo do tempo**. In : CONG. BRAS. ÁGU. SUBT., Recife 1994. Anais... Recife, ABAS. 113-123.
- FRANGIPANI, A. & HANZA, V. M. 1987. **Mapas de fluxo geotermal do Estado de São Paulo**. In: ENC. REG. GEOF., 2. Salvador, 1987. Boletim SBGF, Salvador, p. 66-67.
- FRANGIPANI, A. e PANNUTI, E. L., 1965. **Estudos Hidrologicos na Bacia de Taubaté, entre Jacareí e Quiririm**. Bol. do IGG, nº 42, São Paulo, 126p.

- FREEZE, R. A. e CHERRY, J. A., 1979. **Groundwater**. New Jersey, Prentice-Hall.
- FENZL, N., 1986. **Introdução à hidrogeoquímica**. Editora Universitária, UFPA, Belém 189p.
- GARRELS, R. M. e CHRIST, C.L., 1965. **Solutions, minerals and equilibria**. New York, Harper e Row.
- GOENOPAWIRO, K., 1997. **Diagenese dos arenitos terciários da Bacia de Taubaté-SP**. (Tese de Doutorado apresentada ao IGCE da UNESP, campus de Rio Claro).
- GUERRA, P. A. G., 1988. **Geoestatística Operacional**. Ministério das Minas e Energia, DNPM, 145p..
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; COIMBRA, A. M., 1975. **The Ribeira Folded Belt**. Rev. Bras. Geoc., 5(4): 257-266.
- HASUI, Y. & POÇANO, W. L., 1978. **Organização estrutural e evolução da Bacia de Taubaté**. In : CONG. BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, Recife, SBG, v. 1, p. 368-381.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS -IPT-, 1981. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo; escala 1:1.000.000**. Secretaria da Industria, Ciência e Tecnologia. São Paulo, SP. 2v.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS -IPT-, 1981b. **Mapa geológico do estado de São Paulo; escala 1:500.000**. Secretaria da Industria, Ciência e Tecnologia. São Paulo, SP. 2v.
- ISAAKS, E. & SRIVASTAVA, R., 1989. **An Introduction to Applied Geostatistics**. Oxford Un. Press, New York.
- ISATIS, 1994. **User's Guide, To Know More About ISATIS... Version 2.0**. Fontainebleau, França.
- JOURNEL, A. G. & HUIJBREGTS, C. J., 1978. **Mining Geostatistics**. Academic Press, London, 598p.
- KHARAKA, Y. K.; GUNTER, W. D.; AGGARWAL, P. K.; PERKINS, E. H.; DEBRAAL, J. D., 1988. **SOLMINEQ88: A computer program for**

- geochemical modeling of water-rock interaction.** California, U. S. Geological Survey Water-Rock Investigation report 88-4227, 209p.
- LOGAN, J., 1965. **Interpretação de análises químicas de água.** Recife, PE. U. S. Agency for International Development. 75p.
- MARQUES, A., 1990. **Evolução tectono-sedimentar e perspectivas exploratórias da Bacia de Taubaté, SP, Brasil.** Bol. Geoc. Petrobrás. Vol. 4 n° 3 253-262.
- MORAES REGO, L. F., 1933. **As formações cenozóicas de São Paulo.** São Paulo, Esc. Polit. S. Paulo (Anuário), 2: 231-167.
- MOREIRA-NODERMANN, L. M. & REBOUÇAS, A. C., 1986. **Comportamento geoquímico de íons em águas de chuva e subterrânea.** In : CONG. BRAS. ÁGU. SUBT., 4. Brasília 1986. Anais... Brasília , ABAS . 221-236.
- MOURA, C. A. V., 1985. **Aplicação de tratamento estatístico multivariante em dados geoquímicos de solo no mapeamento geológico na província de Carajás (Alvo2-Corpo4).** Rev. Bras. Geoc. 15 (3): 241-248.
- NORDSTROM, D. K. & MUNOZ, J. L., 1985. **Geochemical Thermodynamics .** Menlo Park, California. The Benjamin/Cummings Co., Inc. 477p.
- 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: 5° SIMP. REG. GEOL. SBG/SP, São Paulo, SP. Atas SBG, São Paulo, 2:503-514.
- PERKINS, E. H., GUNTER, W. D. & NESBITT, W., 1988. **SOLMINEQ.88 PC/SHELL, User manual. version: 0.85, Alberta Research Council-OSHR.** Edmonton, Canada.
- RANKAMA E SAHAMA 1968 **Geochemistry.** Chicago: Univ. of Chicago press.
- RICCOMINI, C., 1989. **O rift continental do sudeste do Brasil.** São Paulo. 256p e anexos. (Tese de Doutorado, IGc/USP).
- RUSSEL, J. B., 1992. **Química Geral.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. 897p.
- SANTORO, E.; ENS, H.H.; NAGATA, N., 1991. **Geologia das folhas Jacareí, Tremembé Taubaté e Pindamonhangaba - SP, Parte 1: Embasamento**

Setentrional da Bacia de Taubaté. Atas, SBG/SP-RJ; 2º Simp. Geol. Sudeste. p. 481-489.

SEATHER, O. M.; REIMAN, C.; HILMO, B. O.; TAUSHANI, E. 1995. **Chemical composition of hard- and soft rock groundwater from Central Norway with special consideration of fluoride and Norwegian drinking water limits.** Environmental Geology, vol 6 number 3.

SILVA, R. B. G., 1983. **Estudo Hidrogeoquímico e Isotópico das Águas Subterrâneas do Aquífero Botucatu no Estado de São Paulo, São Paulo.** Tese de Doutorado, Inst. Geoc., USP.

SINELI, 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.

STATISTICA for Windows 1993 Version 4.3, StatSoft.

STUM, W., 1995. **Chemistry of the solid water interface: Processes at the mineral-water and particle-water interface in natural systems.** New York: John Willey & Sons. Inc. 428p.

SUGUIO, K., 1969. **Contribuição à Geologia da Bacia de Taubaté, Vale do Paraíba - Estado de São Paulo.** São Paulo, 106 p. (Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo). Publicada em Boletim Especial da FFCLUSP.

SURFER for Windows 1994. **User's Guide... Version 5.01.** Golden Software, Inc.

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. Águ. Subt. ABAS. 2(1) : 26-32.

SZIKSZAY, M 1983 Boletim IG-USP, Série Didática N° 5 1993.

TARDY, Y., 1971. **Characterization of the principal weathering types by the geochemistry of waters from some European and African crystalline massifs.** Chem. Geol., 7: 253-271.

TEISSEDRE, J. M. & MARIANO, I. B., 1978. **Possibilidades hidrológicas da Bacia de Taubaté.** SBG. 6: 3003-3011.

WALLICK, B. I., 1981. **Chemical evolution of groundwater in a drainage basin of Holocene age, East Central Alberta, Canada.** Journal of Hidrology, 54(1/3) : 245-283.

Anexo 1 - Análise físico-química referentes aos arquivos do DAEE e SABESP.

DAEE

numero	coord e-o	coord n-s	Aquifero	Tcampo	pH	PhLab	COND	RS180	HCO3	NO3	CL	F	SO4	Ca	Mg	Na	K	Fe3	SiO2	Dur TOTAL	B	SAR	%Na
1	438,9	7462,95	ter	22	5,9	6,99	118	150	56	0,03	0,2	0,09	4	12,4	0,6	9,8	3,6	0,06	75	33	0	0,74	44
2	437,7	7482,3	cr	16	5,3	6,96	56	58	13	2,9	1,7	0,13	0	5	0,6	3,6	1,4	0,02	14,2	15	0	0,41	39
3	486,75	7485,5	ter	28,4	6,5	8,61	600	403	346	0,01	6,5	0,18	0	2,7	0,2	138	0,6	0,02	16,2	7	0	21,74	97
4	494,45	7488,4	ter	22,8	4,5	7,51	100	96	52	0,48	1	0,2	2	5,4	0,4	16,4	2,4	0,25	43,5	15	0	1,83	72
5	486,35	7488,9	ter	25	5,7	7,7	160	132	90	0	1	0,27	0	5,5	0,3	37	1,8	0,09	29	15		4,15	85
6	487,65	7490	nd/ter	23	5,3	6,6	100	100	51	0,04	1	0,27	0	11,4	0,7	8,4	2,6	1,6	32	31		0,65	41
7	496,33	7497,55	ter	22,2	5,3	6,31	58	96	24	0,04	0,2	0,1	0	2,9	0,4	6,6	3	0,08	60	9	0	0,96	6,7
8	486,95	7467,7	nd/ter	25,2	5,3	7,23	290	224	145	0,01	41	0,6	2	38,8	8,9	24,8	4,8		23,5	134	4	0,93	31
9	449,1	7470,55	nd/ter	26,8	6,2	8,41	1200	683	760	0,02	1	0,4	1	25,9	3,2	280	11,2	0,3	37	78	16,8	13,79	89
10	473,75	7475,65	nd/ter	24	6,5	7,5	590	420	341	0,5	0,5	0,34	1	24,9	0,6	124	5,8	0,19	27	6,5		6,7	81
11	466,9	7466,45	nd/ter	27,8	6,2	7,85	240	150	126	0,01	1,5	0,21	5	38,4	5	4,7	4,5	0,23	19,2	117	3,6	0,19	12
12	471,65	7477,5	ter	23,4	5,5	7,92	300	207	176	0	0,5	0,2	1	15,5	2,7	41,5	4,8	0,39	36	50	0	2,58	66
13	486,1	7481,5	nd/ter	21,8	5	6,37	45	92	20	0,3	0,5	0,14	0	1,9	0,4	5,3	3,1	0,69	61	6	0	0,91	71
14	487,6	7482,95	ter	22,8	5,3	6,66	27	55	12	0,14	0,5	0,36	0	2	0	2	2,2	0,02	29	5	0	0,39	59
15	482,7	7479,1	ter/cr	22	5,4	6,99	90	125	50	0	0,5	0,3	4	5,7	1,1	11	5	0,34	57	19	0	1,1	6,2
16	479,05	7476,1	nd/cr	24,8	5,4	7,07	200	1,68	76	0,01	10,5	0,1	15	16,3	6,3	12,8	5,3	0,48	47	67	0	0,68	34
17	475,25	7477,5	ter	23,4	5,4	7,38	130	147	67	0,02	0,7	0,28	2	14,8	1,5	5,1	4,3	2,34	62	43	0	0,34	28
18	484,8	7480,6	nd/ter	23,2	5,5	7,1	70	111	33	0,02	1	0,21	1	6	0,7	6,2	3,6	0,25	64	18	0	0,64	50
19	405,95	7430,15	ter	24	5,3	7,2	56	74	29	0,05	1	0,11	0	2,9	0,2	7	3,3	0,11	30	8		1,08	71
20	405,95	7430,15	ter	24		6,7	52	75	27	0,08	0,5	0,08	0	2,7	0,3	6,4	3,3	0,14	29	8		0,99	69
21	405,95	7431,75	ter	24	5,3	6,7	21	28	9	0,08	0,5	0,08	1	0,9	0,3	2,3	2,2	0,09	23	3		0,54	69
22	408,25	7430,2	nd/ter	22,8	5,2	5,6	6	20	1	0,3	0,2	0,21	0	0	0	0,5	0,7	0,01	9,3	0	0		100
23	numeros	iguais	ter	24,2	5,4	6,2	29	58	12	0,37	0,5	0,24	0	1,6	0	3,6	1,4	0,01	31	4	0	0,79	71
24	408	7428,6	nd/ter	24,2	5,3	6,5	21	48	10	0,14	0,1	0,2	1	0,6	0	2,2	2,9		34	1	0	0,78	85
25	409,55	7431,35	ter	23	5,3	5,95	13	35	5	0,17	0,1	0,1	2	0,2	0	0,7	2,5	0,01	25	1	0	0,44	90
26	409,65	7431,65	nd/ter	24	5,6	7,57	70	87	37	0,08	0,3	0,1	0	4,4	9,4	3,1	3,1	0,01	46	11	0	1,23	69
27	409	7431,15	ter	24	5,3	6,42	19	52	9	0,13	0,2	0,21	0	0,8	0	2	2,5	0,03	29	2	0	0,61	79
28	412,1	7431	ter	24,4	5,3	5,2	35	68	16	0,06	0,2	0,13	0	1,8	0	3,9	2,9		38	4	0	0,8	73
29	412,3	7431,2	ter	24	5,2	5,2	12	32	4	0,16	0,2	0,16	0	0	0	0,6	2,3		17,5	0	0		100
30	413,05	7435,4	ter	24	5,3	5,3	32	52	13	0,1	0,2	0,2	0	2,6	0,8	1,8	3,1	0,34	26	10	0	0,25	45
31	412,35	7435,1	ter	22	5,2	5,3	18	44	8	0,09	0,2	0,13	0	0,9	0	1,1	2,9		23	2	0	0,32	73
32	415,7	7437,1	ter	23,4	5	5,9	27	47	10	0,05	0,5	0,1	0	1,8	0,1	1,5	3	0,01	23	5	0	0,3	59
33	414,85	7436,45	ter	23	5	5	30	51	14	0,07	0,2	0,21	0	2,4	0,6	1,9	3,4	0,08	31	8	0	0,29	50
34	414,4	7432,2	ter	22,8	5	6,72	47	65	20	0,12	1	0,19	1	3,7	0,7	2,8	3,5	0,67	29	12	0	0,35	46
35	410,85	7428,85	nd/ter	23	5	6,4	11	28	4	0,07	0,2	0,1	1	0	0	0,2	2,3	0,03	13,4	4	0		100
36	420,2	7435,85	nd/ter	23	5,3	6,28	80	80	22	0,06	0,5	0,15	1	3,8	0,3	4,4	3,2	0,41	17,5	11	0	0,58	56
37	419,2	7441,65	nd/ter	24	5	6,32	59	89	24	0,08	0,5	0,11	0	5,1	0	4,9	3,3		19,9	13	0	0,6	54
38	412,35	7436,1	ter	23	5	6,6	20	39	8	0,14	0,8	0,19	1	0,8	0,1	1,8	2,5	0,02	15,8	2	0	0,5	74
39	415,65	7437,75	ter	25	5,5	8,06	93	129	51	0,04	0,3	0,17	0	8,7	0	10,8	4,8	0,01	62	22	0	1	58
40	411,6	7426,05	nd/ter	22,8	5	8,1	15	42	11	0,36	0,8	0,2	3	1,2	0,6	1,3	2	1,1	19	5	0	0,24	50
41	411,6	7436,05	ter	23	5	6,85	51	80	22	0,15	0,2	0,16	0	3	0,4	5,3	3,3	0,01	46	9	0	0,76	63
42	410,4	7436,55	nd/ter	23	5	6,22	36	52	9	0,98	3	0,2	0	2,6	4,6	1,8	0,2	0,01	28	5	0	0,16	14
43	410,35	7436	nd/ter	24	4,7	8,4	18	4,3	10	0,08	0,3	0,09	0	1	0	1,3	3	0,02	28	3	0	0,38	75
44	406,5	7433,4	ter	23	5,3	5,76	19	42	5	0,4	0,5	0,1	1	0,6	0	1,2	2,8	0,01	23	2	0	0,43	81
45	408,75	7438,35	ter	23,4	5,3	6,7	370	267	63	2	80	0,49	2	38,9	4,1	31,5	5,3	0,01	27	414	6,4	1,28	40
46	405,2	7434,5	nd/ter	23,2	5,3	6,17	54	66	20	0,95	1	0,25	0	4,6	0,6	4,7	2,1	2,23	21	14	0	0,56	49
47	438,8	7451,85	ter	49,5	5,7	8,51	800	509	548	0,01	3	2,5	1	4,3	0,5	0,01	5,2	0,05	23,5	13	24,4	28,18	97
48	443,2	7454,35	ter	23,6	4,4	5,08	170	116	7	10	21	0,1	7	4,3	2	15,6	8	0,06	4	19	0	1,56	70
49	439,5	7444,1	nd/ter	22,1	4,8	6,82	30	55	11	0,48	1	0,2	1	2,6		1,4	2,6	0,97	16,5	8	0	0,24	49
50	445,9	7471,45	ter	23	4,5	6,68	45	48	20	0,18	0,5	0,1	1	4,5	1,1	2,4	2,5	0,06	26	16	0	0,26	34
51	440,3	7434,45	nd/ter	24	4,7	5,42	45	34	8	0,73	2	0,3	0	0,4		5,6	0,2	2,79	4,8	1	0	2,43	93

DAEE

52	428,1	7448,85	nd/ter	24,8	5,7	6,93	185	149	89	0,23	1	0,66	6	23,1	1,1	13,2	5,6	0,45	55,5	62	0	0,73	36
53	429,15	7442,15	ter	24,8	4,7	7,23	180	121	96	0,04	0,5	0,3	2	24,8	5	7,6	4,3	0,3	45	83	0	0,36	21
54	428,8	7444,9	ter	22	5,7	7,4	260	194	95	0,04	15	0,15	29	41,1	3,4	7,4	5,3	0,1	28	117		0,3	16
55	427,5	7443,9	nd/ter	22	5,7	7,6	150	112	76	0,22	0,5	0,6	1	7,2	0,9	25,2	2,6	0,08	24	22		2,35	73
56	423,55	7441,9	ter		5,4	7,54	140	92	75	0,07	0,5	0,3	1	14,3		17	4	0,02	50	36	0	1,24	54
57	424,85	7438,95	ter	22,1	5,3	7	18	20	8	0,07	0,5	0,04	2	1,2	0,3	1,1	2,2	1	15	4		0,23	55
58	403,25	7424,55	nd/ter	22	6,5	7,04	99	112	48	0,05	0,5	0,09	2	5,5	0,7	10,4	4,9	0,01	58,5	17	0	1,11	64
59	402,45	7426,1	ter	20	6,5	6,74	28	34	6	1,11	1,8	0,09	0	0,9	0,6	3,9	1,8	0,02	16,2	5	0	0,78	70
60	402,35	7423,85	ter	21	6,5	7,41	62	104	29	0,08	0,5	0,09	0	3	0,5	7,4	4,2	0,03	69	9	0	1,04	69
61	402,35	7423,9	ter	21	6,5	6,86	72	96	34	0,24	0,5	0,18	0	3,3	0,7	9,6	3,9	0,01	56,5	11	0	1,25	70
62	400,1	7424,5	ter	20,5	6,5	6,6	120	104	56	0,08	0,1	0,92	3	6,5	1,6	14,8	4	0,88	33	23		1,35	62
63	399,5	7423,8	ter	20	6,2	7,84	135	144	74	0,06	0,5	0,22	4	7,5	0,7	32	6,8	0,01	60	22	0	2,99	78
64	399,65	7424	nd/ter	16,4	6,5	7,35	110	134	58	0,02	0,5	0,18	6	5,9	1,4	20,8	5,3	0,69	63	20	0	1,99	72
65	406,9	7427,75	ter		5,5	6,85	18	51	9	0,14	0,2	0,21	0	0,7	0	2	2,2	0,02	46	2	0	0,65	80
66	400	7419,95	nd/cr	20	5,3	7,5	250	160	108	0,04	8	0,07	4	33,5	3,3	10	3,6	1,1	25	97		0,44	21
67	402,2	7423,2	cr	24	6,5	8,17	250	194	160	0,19	1,2	0,57	0	9,6	1	51	3,3	0,01	26	28	1,8	4,18	80
68	idem	idem	ter	24	6,5	6,97	800	638	123	0,58	46	0,26	304	58	31,1	65	54	0,15	35	273	0	1,71	44
69	401,65	7423,5	nd/ter,cr	22	5,3	5,72	20	38	4	0,78	1	0,2	0	0,6	0,4	1,7	3,3	0,01	18,2	3	0	0,41	72
70	396,35	7417,7	nd/cr	17	5,5	7,9	270	168	145	0,03	0,5	0,08	5	33,5	3,7	27	4,2	0,16	27	99		1,18	40
71	411,45	7409,2	nd/cr	23	5,5	7,3	98	101	38	0,16	2	0,44	0	6	0	12,6	1,4	0,1	33	15		1,41	66
72	409,3	7412,05	nd/cr	21	5,3	7,3	280	194	92	0,17	17,5	0,6	23	38	3,3	24	5,2	0,25	23	109		1	35
73	409,15	7414,6	nd/cr	22	5,5	7,5	250	150	129	0,06	0,5	0,5	2	30	5,6	19,6	4,1	0,27	23	98		0,86	33
74	404,2	7428,1	ter	23	6,5	6,4	48	70	10	2,9	1,5	0,13	0	1,8	0,2	5,7	2,2	0,01	32	6	0	1,6	74
75	403,8	7426,25	ter	20	5	5	10	22	4	0,14	0,8	0,1	0	0,6	0	0,5	1	0,12	10,5	2	0	0,18	62
76	413,75	7427,3	nd/ter	22,4	4,7	4,7	15	37	3	0,2	0,5		0	0	0	0,7	2,7	0,01	18,2	0	0		100
77	515,3	7493,7	cr	22,2	5,3	6,74	105	93	41	0,23	2	0,12	3	9,6	2,2	63	3,9	0,65	23	33	0	0,48	36
78	503,2	7503,65	ter	21,6	5,5	7,06	108	112	48	0,52	4	0,2	14	8,9	2,7	7,3	4,7	4,8	42	33	0,8	0,55	40
79	509,7	7504,35	cr	23,4	4,7	7,35	250	184	114	0	3	0,2	12	33,6	5	9,6	4,3	0,69	44	105	0	0,41	20
80	512,5	7508,35	nd/cr	22,8	5	7,46	260	199	178	0,08	3	0,3	4	34,9	10,3	15,6	3,7	0,04	41	130	0	0,6	23

Sabesp

poco	n-s	e-w	cota	prof	temp	ph	ph lab	cond	Na	K	Ca	Mg	Fe	HCO3	SO4	Cl	NO3	NH4 (N/F)	SiO2	Al	As	Ba	Cd	Pb	Cr total	Cu	Cr hex	Mn	Hg	Ag	Se	Zn	
1	404.55	7444.45	630	200			7.3	287	26	2.2	63	24	0.06	99.2	41	4	0.15	0.07	0.49		<0.02	<0.03	<0.3	<0.001	<0.02	<0.005	<0.03	<0.005	0.32	<0.002	<0.05	<0.00	0.22
48	408.55	7438	560	111	24	5.5	8.25	237	30	2.6	18	0.5	0.01	112	2	1	0.02		0.94	19.8													
52	411.75	7463.8	575	150	22	5.5	7	120					0.5	54.1		2.9	<0.04		<0.2					<0.03	<0.005			0.045					
53	408.35	7424.8	568	201			6.8	27					0.31	12.6		4.5	<0.04	<0.02	<0.2														
54	408.74	7424.6	593	201																													
59	414.47	7429.26	595	150			6.5	45			6.5	2.8	0.1	21.8	<1	3.8	<0.04	<0.02	<0.2									0.029				0.37	
60	416.2	7437.22	558	200			7.2	52			10	5.1	4.16	33.2	<1	4	0.15	<0.02	<0.2									0.06				0.49	
67	408.7	7424.33	595	204			6	27			1	2.6	0.75	9.6	2	4.8	0.05	<0.02	<0.2													0.41	
68	407.7	7428.2	615	178	24.5		6.3	22.5			4	5	0.08	9.4	<1.0	2.8	0.16	<0.02	<0.2													1.89	
69	416.96	7436.57	590	168	24		7.2	95			20	7.9	0.35	43.8	<1.0	3.6	0.06	<0.02	<0.02							0.008			0.021			0.55	
70	409.13	7427.93	645	220	20		6.3	41			8.8	2.9	0.41	17.7	<1.0	3.3	<0.04	<0.02	<0.2								0.08					0.85	
74	414.3	7436.3	580	200			7				6.9	3.9	0.14	18	<1.0	3.1	<0.04	<0.02	0.2	0.03			0.1	<0.03		<0.02		0.05				0.38	
74	414.3	7436.3	580	200			7.5	50			11	12.4	0.08	21	<1	4.6	0.07	<0.02	<0.2	0.04													
84	417.75	7428.55	630	150			6.7	84			14	5.9	0.12	35	<1.0	4.8	0.12	<0.02	<0.2													0.21	
85	405.6	7430.8	600	200			6.5	30	2.2	2.2	3.9	4	0.12	9.4	<1.0	3.9	0.37	<0.02	<0.2									0.03				1	
85	405.6	7430.8	600	200			6.5	30	2.2	2.2	3.9	4	0.12	9.4	<1	3.9	0.66	<0.02	<0.2									0.03				1	
86	411.55	7435.35	560	219	17		6.6	51	6	3.3	9.9	1	0.07	24.8	1.6	4.9	0.06	0.03	<0.2													0	
86	411.55	7435.35	560	219	17		6.6	51	6	3.3	9.9																						

Sabesp

[illegible]

Anexo 2 - Resulto de uma análise de alcalinidade realizada pelo aparelho ORION 960.

0 v= 0.000 mL E= -88.1 mV 20 sec
-7.0 mV/min drift +/- 0.9 mV noise
pH= 8.03

1 v= 0.348 mL E= -67.0 mV 33 sec
-8.0 mV/min drift +/- 0.7 mV noise
pH= 7.67

2 v= 0.596 mL E= -56.6 mV 56 sec
9.5 mV/min drift +/- 0.5 mV noise
pH= 7.49

3 v= 1.093 mL E= -43.3 mV 17 sec
2.9 mV/min drift +/- 1.0 mV noise
pH= 7.27

4 v= 1.997 mL E= -26.6 mV 18 sec
8.6 mV/min drift +/- 0.9 mV noise
pH= 6.98

5 v= 3.130 mL E= -11.1 mV 19 sec
0.0 mV/min drift +/- 0.3 mV noise
pH= 6.72

6 v= 4.670 mL E= 4.2 mV 20 sec
-2.3 mV/min drift +/- 0.3 mV noise
pH= 6.46

7 v= 6.757 mL E= 21.5 mV 22 sec
-6.6 mV/min drift +/- 0.5 mV noise
pH= 6.16

8 v= 8.893 mL E= 41.6 mV 22 sec
-0.1 mV/min drift +/- 0.2 mV noise
pH= 5.82

9 v= 10.284 mL E= 59.9 mV 20 sec
-1.0 mV/min drift +/- 0.2 mV noise
pH= 5.51

10 v= 11.079 mL E= 77.7 mV 18 sec
3.5 mV/min drift +/- 0.3 mV noise
pH= 5.20

11 v= 11.476 mL E= 92.6 mV 17 sec
-0.3 mV/min drift +/- 0.2 mV noise
pH= 4.95

12 v= 11.725 mL E= 106.8 mV 16 sec
0.3 mV/min drift +/- 0.0 mV noise
pH= 4.71

13 v= 11.874 mL E= 117.2 mV 16 sec
5.2 mV/min drift +/- 0.2 mV noise
pH= 4.53

14 v= 12.073 mL E= 131.6 mV 16 sec
3.1 mV/min drift +/- 0.2 mV noise
pH= 4.28

15 v= 12.271 mL E= 142.9 mV 16 sec
-1.7 mV/min drift +/- 0.2 mV noise
pH= 4.09

16 v= 12.520 mL E= 152.9 mV 16 sec
0.0 mV/min drift +/- 0.3 mV noise
pH= 3.92

7.7 min

=====

SAMPLE ID NUMBER: 3

TEST:

SITE: cacapava- p20

ANALYST:

00:06 03-28-96 ELECTRODE: 1:pH

HELP IN EFFECT

SAMPLE VOLUME 50.000 mL

TITRANT .01040 M of HCl

MAX TITRANT VOL 25.000 mL

STABILITY CRITERION 10.0 mV/min

PRESTIR 10.0 sec

CONTINUOUS STIRRING

REACTION RATIO 1.0000

MOLECULAR WEIGHT 61.00

NO. OF ENDPOINTS 1

CAL CONSTANT 0.99363

=====

HELP ANALYSIS (No. 2)

=====

0 dE/dv=	60.7	d2E/dv2=	-22.5
1 dE/dv=	52.9	d2E/dv2=	-48.5
2 dE/dv=	31.8	d2E/dv2=	-42.1
3 dE/dv=	21.5	d2E/dv2=	-11.5
4 dE/dv=	15.8	d2E/dv2=	-4.9
5 dE/dv=	11.5	d2E/dv2=	-2.5
6 dE/dv=	9.0	d2E/dv2=	-0.7
7 dE/dv=	8.9	d2E/dv2=	0.4
8 dE/dv=	10.9	d2E/dv2=	2.2
9 dE/dv=	16.5	d2E/dv2=	7.6
10 dE/dv=	27.5	d2E/dv2=	23.9
11 dE/dv=	45.0	d2E/dv2=	53.1
12 dE/dv=	61.8	d2E/dv2=	66.7
13 dE/dv=	71.5	d2E/dv2=	8.7
14 dE/dv=	64.8	d2E/dv2=	-60.3
15 dE/dv=	47.5	d2E/dv2=	-55.3
16 dE/dv=	40.1	d2E/dv2=	-29.9

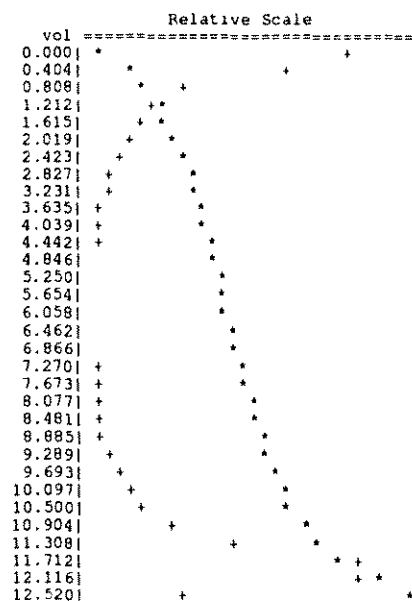
SAMPLE = 151.2 mg/L

END POINT VOL= 11.914 mL (120.3 mV)

(pH 4.48)

FIRST DERIVATIVE invoked

Signal/Noise= 14



mL

=====

Symbols: * = mV, + = first derivative

Anexo 3 - Análise físico-química correspondente as amostras coletadas para este trabalho

Amostras analisadas neste trabalho

poco	n-s	e-w	cota	prof	data	temp	ph	ph lab	cond	Na	K	Ca	Mg	Fe	HCO	SO4	Cl	F	Si	Al	Ba	Cd	P	Pb	Cr total	Cu	Mn	Sr	Zn	B
cepe	412,80	7435,70	595		27/03/96		5,46	5,33	3,98	7,82	0,70	0,22	0,18	0,04	5,50	<10	9,88	0,20	2,91	0,07	0,02	<0,01	<0,07	0,00	<0,025	<0,01	0,02	<0,01	0,04	<0,1
cp24	428,04	7443,32	580	200	27/03/96		7,65	8,03	0,33	31,00	2,00	15,00	0,41	<0,01	138,20	<10	5,90	0,42	21,84	<0,05	0,17	<0,01	<0,07	<0,05	<0,025	<0,01	0,01	0,35	0,03	0,65
cp13	428,30	7443,90	580	180	27/03/96		7,07	7,58	0,32	26,00	3,20	21,00	1,50	0,02	135,60	<10	8,50	0,32	21,16	<0,05	0,13	<0,01	<0,07	<0,05	<0,025	<0,01	0,03	0,31	0,02	0,24
cp3					27/03/96		7,03	7,32	0,33	22,00	3,30	23,00	1,50	<0,01	127,10	<10	12,10	<0,2	22,64	<0,05	0,20	<0,01	<0,07	<0,05	<0,025	<0,01	0,05	0,41	0,01	0,32
cp20	429,75	7445,15	560	220	27/03/96		7,66	8,03	0,36	43,00	1,90	11,00	0,63	<0,01	151,20	<10	9,00	1,02	16,34	<0,05	0,10	<0,01	<0,07	<0,05	<0,025	<0,01	0,01	0,23	<0,01	0,26
sj9	408,98	7438,24	555	126	14/05/96	22,40	6,53	6,56	0,36	18,00	5,80	23,00	2,05	<0,01	58,36	<2	39,60	<0,1	28,04	<0,05	0,28	<0,01	<0,07	<0,05	<0,025	<0,01	0,17	0,29	<0,01	0,29
sj71	418,73	7435,57	600	145	14/05/96	24,20	6,84	6,98	0,16	12,17	4,70	11,00	0,69	<0,01	74,98	<2	4,70	<0,1	24,62	<0,05	0,06	<0,01	<0,07	<0,05	<0,025	<0,01	0,00	0,12	<0,01	0,19
sj40	412,66	7435,92	583	173	14/05/96	23,00	6,48	6,52	0,13	5,00	3,50	3,10	0,41	<0,01	24,75	<2	6,60	<0,1	24,75	<0,05	0,03	<0,01	<0,07	<0,05	<0,025	<0,01	0,00	0,04	<0,01	0,16
sj36	409,22	7431,40	613	180	14/05/96	19,80	5,69	5,77	0,48	2,67	2,60	0,99	0,26	<0,01	9,80	<2	3,25	<0,1	11,36	<0,05	0,04	<0,01	<0,07	<0,05	<0,025	0,04	<0,01	0,01	0,03	<0,1
sj35	409,05	7431,45	600	137	14/05/96	23,90	5,83	5,96	0,30	2,70	2,70	0,47	0,20	<0,01	8,09	<2	3,64	<0,1	14,02	<0,05	0,03	<0,01	<0,07	0,00	<0,025	<0,025	<0,01	0,01	<0,01	<0,1
sj120	406,04	7431,50	600	202	14/05/96	24,40	6,63	6,77	0,13	10,00	3,60	3,60	0,56	<0,01	43,83	<2	5,70	<0,1	35,27	<0,05	0,02	<0,01	0,13	<0,05	<0,025	<0,025	0,01	0,06	<0,01	0,21
sj103	406,57	7433,87	560	209	18/06/96	22,00	6,24	6,63	0,06	3,36	3,88	2,86	0,33	<0,01	23,74	<2	4,02	<0,1	22,10	<0,05	0,02	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	0,00	0,04	<0,01	0,10
s149	408,45	7423,90	635	166	18/06/96	22,80	6,34	6,49	0,18	12,61	3,91	7,38	1,36	<0,01	62,26	<2	7,84	<0,1	34,42	<0,05	0,06	<0,01	0,11	<0,05	<0,025	<0,025	<0,01	0,09	<0,01	0,26
sj112	407,66	7425,00	655	214	18/06/96	22,80	5,51	5,68	0,36	1,63	3,54	0,77	0,42	<0,01	9,81	<2	4,21	<0,1	19,00	<0,05	0,06	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	<0,01	0,02	<0,01	<0,1
sj67	408,70	7424,33	679	204	18/06/96	22,10	5,81	6,02	0,10	2,09	3,40	1,21	0,39	<0,01	14,30	<2	3,27	<0,1	19,63	<0,05	0,05	<0,01	0,00	<0,05	<0,025	<0,025	0,00	0,02	<0,01	<0,1
sj50	409,05	7428,85	610	141	25/06/96	23,20	5,65	5,77	0,02	0,76	2,54	0,39	0,18	<0,01	7,17	<2	3,74	<0,1	11,61	<0,05	0,03	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,1
s/n	409,00	7427,00	645		25/06/96	22,50	5,91	6,05	0,03	0,36	2,68	0,53	0,20	<0,01	8,29	<2	4,20	<0,1	9,90	<0,05	0,03	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	<0,01	<0,01	0,98	<0,1
sj114	411,42	7427,00	600	252	25/06/96	23,80	6,56	6,68	0,56	13,94	4,63	8,25	0,98	<0,01	68,72	<2	10,70	<0,1	38,21	<0,05	0,03	<0,01	0,11	<0,05	<0,025	<0,025	0,00	0,09	0,03	0,28
sj61	408,76	7427,37	620	115	25/06/96	24,40	6,04	6,27	0,03	1,53	2,78	0,68	0,21	<0,01	10,05	<2	3,27	<0,1	17,97	<0,05	0,03	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	0,00	0,01	<0,01	<0,1
sj139	414,40	7436,10	585	216	25/06/96	24,00	6,38	6,55	0,08	5,03	3,35	3,79	0,58	<0,01	31,01	<2	2,80	<0,1	24,20	<0,05	0,04	<0,01	0,14	0,00	<0,025	<0,025	<0,01	0,04	0,06	0,14
sj128	414,83	7436,25	570	227	25/06/96	25,10	7,09	7,16	0,13	14,06	2,72	6,04	0,59	0,02	60,93	<2	6,97	<0,30	21,85	<0,05	0,06	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	<0,01	0,06	0,01	0,24
sj49	415,75	7436,47	590	150	25/06/96	23,80	5,76	5,95	0,14	2,53	3,46	2,80	0,74	0,02	19,76	<2	3,74	<0,1	13,58	<0,05	0,03	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	<0,01	0,02	<0,01	<0,1
sj33	415,67	7437,05	590	200	25/06/96	24,30	6,33	6,02	0,06	4,30	3,20	3,20	0,50	<0,01	17,17	<2	3,74	<0,1	25,13	<0,05	0,02	<0,01	0,19	<0,05	<0,025	<0,025	0,00	0,03	0,01	0,11
sj77	418,50	7435,75	585	196	25/06/96	23,60	5,10	5,32	0,04	1,74	1,99	0,21	0,31	<0,01	4,85	<2	3,74	<0,1	7,40	<0,05	0,04	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	<0,01	<0,01	<0,01	<0,1
sj44	419,16	7440,75	560	160	25/06/96	22,50	6,59	6,69	0,09	6,02	3,37	6,50	0,60	<0,01	39,58	<2	6,97	<0,1	32,36	<0,05	0,02	<0,01	0,33	<0,05	<0,025	<0,025	0,00	0,05	<0,01	0,24
l05	486,55	7485,50	520	350	03/07/96	25,80	8,46	8,53	0,54	####	0,70	3,77	0,10	<0,01	300,00	<2	8,67	1,50	8,64	<0,05	0,03	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	<0,01	0,07	<0,01	<0,1
l11	487,70	7483,95	530	218	03/07/96	24,40	6,68	6,70	0,13	7,72	2,89	12,58	1,17	<0,01	60,25	2,20	5,59	<0,1	29,69	<0,05	0,05	<0,01	0,12	<0,05	<0,025	<0,025	0,05	0,10	<0,01	<0,1
l04	486,30	7488,95	560	160	03/07/96	22,70	6,00	6,15	0,11	7,78	2,78	8,52	1,26	0,02	40,03	2,00	5,88	<0,1	32,83	<0,05	0,04	<0,01	0,17	<0,05	<0,025	<0,025	<0,01	0,07	<0,01	<0,1
lexplo	486,00	7488,98	560 k		03/07/96	24,20	6,93	6,99	0,21	23,62	2,23	9,82	0,68	<0,01	96,82	6,00	4,96	<0,1	33,46	<0,05	0,01	<0,01	0,10	<0,05	<0,025	<0,025	<0,01	0,06	0,01	0,16
l07	494,40	7488,35	530 k		03/07/96	23,00	7,90	7,86	0,24	37,64	0,97	5,19	0,46	<0,01	125,80	<2	6,12	0,70	11,90	<0,05	0,05	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	<0,01	0,12	<0,01	0,16
l10	489,50	7485,60	540	203	03/07/96	24,70	8,33	8,08	0,27	36,45	1,19	10,79	0,61	0,01	141,60	<2	5,10	0,20	13,75	<0,05	0,08	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	0,02	0,20	<0,01	0,24
l06	488,45	7485,95	540	182	03/07/96	25,50	8,97	8,50	0,50	85,90	0,65	5,40	0,15	<0,01	270,40	<2	6,84	1,00	9,01	<0,05	0,05	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	<0,01	0,10	<0,01	0,47
cp23	427,85	7443,65	560	200	09/07/96	25,90	7,68	7,77	0,29	29,30	2,41	17,53	1,04	<0,01	130,90	4,00	5,20	0,20	18,79	<0,05	0,12	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	0,02	0,27	<0,01	0,25
cp22	427,32	7442,33	560	164	09/07/96	24,50	7,39	7,43	0,27	12,62	3,61	31,25	1,24	<0,01	123,50	4,00	4,67	0,20	27,72	<0,05	0,24	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	0,03	0,53	0,05	0,38
cp21a	427,51	7441,51	565	210	09/07/96	27,90	6,61	6,76	0,42	14,16	3,49	18,32	0,62	<0,01	86,90	<0,2	5,44	0,15	33,97	<0,05	0,03	<0,01	0,13	<0,05	<0,025	<0,025	0,01	0,19	0,01	0,37
cp02	425,10	7436,65	590	170	09/07/96	22,00	6,84	6,98	0,48	17,48	5,33	54,23	2,86	<0,01	165,40	3,40	26,49	<0,1	34,71	<0,05	0,10	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	<0,01	0,39	<0,01	0,53
cp18	426,45	7444,43	555	94	09/07/96	27,00	7,80	7,81	0,34	27,64	3,34	27,47	1,01	<0,01	145,50	###	9,05	0,20	18,29	<0,05	0,12	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	0,05	0,34	<0,01	0,59
cp19	428,80	7445,15	580	229	09/07/96	27,10	7,40	7,41	0,31	16,02	3,60	29,97	2,33	<0,01	132,90	<0,2	8,76	<0,1	23,04	<0,05	0,19	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	0,06	0,47	<0,01	0,48
cp01	433,60	7443,30	620	150	09/07/96	22,40	5,24	5,44	0,06	3,38	4,74	0,98	0,72	0,02	5,34	2,20	8,19	<0,1	8,86	<0,05	0,13	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	<0,01	0,03	0,04	<0,1
cp02v	434,20	7443,																												

Amostras analisadas neste trabalho

T04	440,14	7451,54	585	500	01/08/96	41,00	8,01	8,17	1,07	####	3,77	2,68	0,74	0,03	612,90	<2,00	6,60	3,00	7,65	<0,05	0,06	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	<0,01	0,07	<0,01	2,10
T05	438,64	7450,68	610	400	01/08/96	42,00	8,17	8,24	1,01	####	3,64	2,77	0,65	0,05	569,40	<2,00	8,02	3,00	9,13	<0,05	0,06	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	<0,01	0,07	<0,01	4,85
T06	446,11	7451,93	575	200	01/08/96	25,60	7,89	7,93	0,28	25,28	3,10	9,59	1,89	0,01	122,80	3,00	4,71	<0,1	14,33	<0,05	0,04	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	0,02	0,13	<0,01	0,70
T07	446,57	7456,00	570		01/08/96	26,00	7,37	7,32	0,39	58,75	2,02	6,35	1,64	0,04	230,00	<2,00	7,09	<0,1	6,74	<0,05	0,10	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	0,03	0,09	<0,01	1,20
Pi11	453,20	7464,10	555	360	06/08/96	42,10	8,37	8,29	0,98	####	2,61	2,62	0,52	0,04	579,80	<2,00	6,07	2,00	8,40	<0,05	0,05	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	<0,01	0,05	<0,01	1,85
Pi12	452,32	7465,21	540	30	06/08/96	24,10	4,01	4,15	0,26	17,00	8,26	2,80	0,82	0,04	4,57	<2,00	23,36	<0,1	2,60	1,07	0,18	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	0,06	0,02	1,07	0,13
Pi13	449,64	7458,00	570	15	06/08/96	22,70	5,62	5,69	0,48	59,80	1,64	0,59	0,04	0,04	52,00	###	18,50	<0,1	2,56	<0,05	0,01	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	<0,01	<0,01	0,01	1,04
Pi14	449,28	7459,86	555	140	06/08/96	37,90	8,43	8,34	1,10	####	2,76	2,43	0,56	0,04	521,60	<2,00	6,54	1,50	6,38	<0,05	0,05	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	<0,01	0,05	<0,01	2,25
j13	404,00	7425,20	590	k	08/08/96	21,90	6,22	6,15	0,13	10,14	5,98	4,36	1,06	<0,01	36,92	<2,00	5,74	<0,1	21,43	<0,05	0,09	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	<0,01	0,09	0,01	0,57
j15	402,45	7425,55	575	k	08/08/96	22,10	7,41	7,37	0,17	15,26	4,18	6,62	1,05	0,00	73,00	5,20	3,83	<0,1	35,69	<0,05	0,03	<0,01	0,16	<0,05	<0,025	<0,025	<0,01	0,11	0,01	1,11
j07	401,43	7427,01	560	80	08/08/96	21,40	6,46	6,49	0,13	12,86	4,58	5,81	0,96	0,03	53,42	2,30	4,31	<0,1	39,41	<0,05	0,03	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	0,02	0,09	0,01	1,09
j100	398,50	7428,00	600	201	08/08/96	23,50	7,32	7,45	0,21	12,72	6,45	17,76	0,84	0,02	91,54	4,00	3,83	<0,1	24,63	<0,05	0,01	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	<0,01	0,25	0,06	0,84
jrio			560	k	08/08/96	21,00	7,22	7,07	0,06	3,45	1,81	2,47	0,67	0,21	13,05	2,30	6,80	<0,1	4,98	0,10	0,01	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	<0,01	0,02	<0,01	0,24
j200	402,36	7424,10	575	90	08/08/96	22,10	5,57	5,61	0,10	7,61	4,86	2,19	0,63	0,05	16,28	<2,00	7,18	<0,1	16,19	<0,05	0,16	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	0,03	<0,01	0,05	0,11	<0,1
G05	478,45	7478,30	525	k	13/08/96	23,20	6,21	6,27	0,09	4,58	5,38	5,02	0,71	0,03	31,40	4,20	4,06	<0,1	30,91	<0,05	0,01	<0,01	0,33	<0,05	<0,025	<0,025	0,01	0,03	0,02	0,25
G08	475,20	7477,80	550	k	13/08/96	25,00	7,38	7,18	0,30	32,30	2,72	10,53	0,76	0,03	137,70	<2,00	2,96	<0,1	19,58	<0,05	0,07	<0,01	0,12	<0,05	<0,025	<0,025	0,06	0,08	0,03	0,42
G04	474,30	7481,00	545	k	13/08/96	25,40	7,79	7,81	0,30	34,66	2,56	12,06	0,81	0,02	149,80	<2,00	4,06	<0,1	16,04	<0,05	0,10	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	0,06	0,10	<0,01	1,34
G04TC	483,60	7480,60	545	154	13/08/96	23,90	6,53	6,57	0,14	6,85	2,99	6,63	0,78	0,04	43,03	<2,00	3,54	<0,1	32,81	<0,05	0,06	<0,01	0,94	<0,05	<0,025	<0,025	0,04	0,05	0,08	0,34
Pi30	459,90	7465,00	550		23/08/96	24,30	5,06	5,11	0,05	4,92	0,55	0,93	0,23	0,02	4,86				2,70	<0,05	0,02	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	0,06	0,01	<0,01	0,01	<0,1
G32	479,30	7478,30	530	150	23/08/96	23,20	6,34	6,40	0,05	2,16	4,58	0,82	0,65	0,01	14,66				21,49	<0,05	0,02	<0,01	<0,1	<0,05	<0,025	<0,025	<0,01	0,01	0,06	0,34

Anexo 4 - Glossário de alguns termos específicos

Glossário de alguns termos específicos

- efeito buraco (hole effect) - este efeito ocorre quando um fenômeno apresenta uma ciclicidade natural ou concentrações discretas de altos valores intercalados com baixos valores.
- efeito pepita (nugget effect) é uma variável que apresenta uma tangente vertical na origem. Esta descontinuidade recebe este nome, pelo fato de ser o caso que apresentam os minerais de distribuição geralmente errática. Este efeito representa as variações locais ou a pequena escala, como erros de análise, amostragem, etc.
- derivas (tendência) são constatadas quando as figuras apresentam um comportamento sempre crescente, ao se comparar valores cada vez mais distantes as discrepâncias entre os mesmos cada vez seriam maiores. Isto corresponde à presença de tendências (fenômeno não estacionário).
- variograma experimental (variograma observado) é o variograma obtido a partir do conjunto de amostras derivadas da amostragem realizada, portanto o único conhecido.
- variograma omnidirecional é o variograma confeccionado sem um limite angular, “classe de ângulo”, com isso todos os pares de pontos são selecionados independente do ângulo.
- validação cruzada é um método utilizado para a comparação entre os valores reais e estimados. Esta é uma importante ferramenta para se comparar os vários métodos de estimativa.