

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

**HIDROQUÍMICA E ASPECTOS DIAGENÉTICOS DO  
SISTEMA AQÜÍFERO BAURU NA REGIÃO SUDOESTE DO  
ESTADO DE SÃO PAULO**

Marcia Regina Stradioto

Orientador: Prof. Dr. Chang Hung Kiang

Dissertação de Mestrado elaborada junto ao  
Curso de Pós-Graduação em Geociências e  
Meio Ambiente - Área de Concentração em  
Geociências e Meio Ambiente, para obtenção do  
Título de Mestre em Geociências.

Rio Claro (SP)  
2007

551.49 Stradioto, Marcia Regina  
S895h Hidroquímica e aspectos diagenéticos do sistema  
aquífero Bauru na região sudoeste do estado de São Paulo / Marcia  
Regina Stradioto. – Rio Claro : [s.n.], 2007

103 p. : il., figs., gráfs., tabs., mapas

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista,  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Orientador: Chang Hung Kiang

1. Águas subterrâneas. 2. Aquífero Bauru. 3. Petrografia.  
4. Diagenese. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI – Biblioteca da UNESP  
Campus de Rio Claro/SP

**COMISSÃO EXAMINADORA**

Prof. Dr. Chang Hung Kiang  
(orientador)

Prof. Dr. Alexandre Campana Vidal

Prof. Dr. Osmar Sinelli

Marcia Regina Stradioto  
(aluna)

Rio Claro, 12 de Julho de 2007.

Resultado: Aprovado

*Dedico este trabalho ao meu amor  
Marcelo e a minha mãe Valdeci pelo  
apoio e carinho.*

*“A vida só pode ser compreendida olhando-se para trás; mas só pode ser vivida olhando-se para  
frente” (Soren Kierkegaard).*

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Chang Hung Kiang pela orientação e dedicação durante esta pesquisa.

À minha mãe pelo amor e incentivo durante toda a minha vida, aos meus irmãos Maria, Sonia, Solange, Silvio e Elaine, aos meus cunhados Valdecir, Dinael, Rogério, Joseano e Ariane e aos meus sobrinhos Guilherme, Juninho, Gabriel, Beatriz e Victor pelo carinho.

Ao Marcelo Serroni Persike pelo amor, paciência e a grande ajuda durante o trabalho de campo.

Ao Flávio de Paula e Silva pelas correções e ajuda durante esta pesquisa.

Aos colegas do Laboratório de Análises de Bacias – LEBAC, em especial Andresa, Fernando, Débora, Bruno, Didier, Dagmar, Eliana.

À Cristiane pelas incansáveis ajudas a qualquer hora.

Ao Laboratório de Hidrologia e Hidroquímica da UNESP, em especial ao químico Emílio C. B. Hespanhol.

Ao técnico Francisco Manoel Barrera (“Paco”) e aos colegas Davi e Elias pela ajuda durante trabalho de campo.

As equipes dos laboratórios do Departamento de Petrologia e Metalogenia do IGCE/UNESP de Rio Claro.

À Maíra Tozzi Cardinali e ao Tiago Eloi S.S. Santos, amigos durante a graduação e pós-graduação.

À Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo-SABESP e Prefeituras Municipais da região sudoeste paulista.

Ao laboratório do Departamento de Engenharia do Petróleo da Faculdade de Engenharia Mecânica/Unicamp.

Às equipes dos Laboratórios de Microscopia Eletrônica do IG-UNICAMP e CCDM-UFSCAR/UNESP.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela bolsa de estudo concedida durante esta pesquisa.

Ao Departamento da pós-graduação em Geociências, IGCE-UNESP, pelo auxílio e esclarecimento das dúvidas durante o curso.

E a todos aqueles que em algum momento me ajudaram e apoiaram e não foram aqui citados.

## SUMÁRIO

ÍNDICE.....	I
ÍNDICE DE FIGURAS.....	III
ÍNDICE DE TABELAS .....	VII
RESUMO..	VIII
ABSTRACT .....	IX
1 - INTRODUÇÃO.....	1
2 - MATERIAIS E MÉTODOS .....	4
3 - GEOLOGIA DO GRUPO BAURU.....	15
4 - HIDROGEOLOGIA E HIDROGEOQUÍMICA DO SISTEMA AQUIFERO BAURU.....	25
5 - HIDROQUÍMICA .....	32
6 - CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E ASPECTOS DIAGENÉTICOS DOS ARENITOS DO GRUPO BAURU. ....	60
7 - CONCLUSÕES.....	91
8 - BIBLIOGRAFIA .....	94
ANEXOS.....	104

## ÍNDICE

<b>1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 - OBJETIVOS.....	2
1.2 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	2
<b>2 - MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>4</b>
2.1 - AMOSTRAGEM.....	4
2.2 - ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA.....	6
2.2.1 - ANÁLISE DE CÁTIONS.....	6
2.2.2 - ANÁLISE DE ÂNIONS.....	7
2.2.3 - PROCESSAMENTO DOS DADOS HIDROQUÍMICOS.....	9
2.3 - ANÁLISE PETROGRÁFICA.....	11
2.3.1 - MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV).....	11
2.3.2 - DIFRATOMETRIA DE RAIOS X.....	12
2.4 - POROSIDADE.....	13
<b>3 - GEOLOGIA DO GRUPO BAURU.....</b>	<b>15</b>
3.1 - LITOESTRATIGRAFIA DO GRUPO BAURU.....	15
3.1.1 - FORMAÇÃO CAIUÁ.....	18
3.1.2 - FORMAÇÃO PIRAPOZINHO.....	19
3.1.3 - FORMAÇÃO SANTO ANASTÁCIO.....	20
3.1.4 - FORMAÇÃO BIRIGUI.....	21
3.1.5 - FORMAÇÃO ARAÇATUBA.....	21
3.1.6 - FORMAÇÃO ADAMANTINA.....	22
3.1.7 - FORMAÇÃO MARÍLIA.....	23
<b>4 - HIDROGEOLOGIA E HIDROGEOQUÍMICA DO SISTEMA AQUÍFERO BAURU.....</b>	<b>25</b>
4.1 - ASPECTOS GERAIS DO SISTEMA AQUÍFERO BAURU.....	25
4.2 - HIDROGEOQUÍMICA.....	30
<b>5 - HIDROQUÍMICA .....</b>	<b>32</b>
5.1 - CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	32
5.2 - ANÁLISE DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.....	36
5.3 - CÁLCULO DE ESPECIAÇÃO QUÍMICA.....	52

5.4 - RELAÇÃO DE ESTABILIDADE .....	53
5.4.1 - DISSOLUÇÃO DE SILICATOS .....	54
5.4.2 - SUBSTITUIÇÃO DE SILICATOS-ARGILOMINERAIS .....	54
5.4.3 - CALCITA .....	56
5.4.4 - QUARTZO .....	57
5.4.5 - FERRO .....	58
5.4.6 - ZEÓLITAS .....	58
<b>6 - CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E ASPECTOS DIAGENÉTICOS DOS ARENITOS DO GRUPO BAURU. ....</b>	<b>60</b>
6.1 - COMPOSIÇÃO E TEXTURA DAS AMOSTRAS .....	60
6.1.1 - FORMAÇÕES ADAMANTINA E ARAÇATUBA .....	62
6.1.2 - FORMAÇÃO SANTO ANASTÁCIO .....	63
6.1.3 - FORMAÇÃO CAIUÁ .....	64
6.2 - POROSIDADE .....	65
6.3 - ARCABOUÇO MINERALÓGICO DOS ARENITOS DO GRUPO BAURU .....	67
6.3.1 - QUARTZO .....	67
6.3.2 - FELDSPATOS .....	67
6.3.3 - FRAGMENTOS LÍTICOS .....	69
6.3.4 - MINERAIS ACESSÓRIOS .....	70
6.3.5 - MATRIZ .....	73
6.4 - PROCESSOS DIAGENÉTICOS .....	77
6.4.1 - DISSOLUÇÃO DE ALUMINOSSILICATOS, MINERAIS PESADOS E FRAGMENTOS LÍTICOS .....	77
6.4.2 - PRECIPITAÇÃO DE CIMENTO FERRUGINOSO .....	79
6.4.3 - ARGILOMINERAIS .....	80
6.4.4 - COMPACTAÇÃO MECÂNICA .....	82
6.4.5 - CALCITA .....	82
6.4.6 - ZEÓLITAS .....	87
6.5 - SEQUÊNCIA DIAGENÉTICA .....	90
<b>7 - CONCLUSÕES .....</b>	<b>91</b>
<b>8 - BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>94</b>



**INDICE DE FIGURAS**

Figura 01: Mapa de localização da área de estudo.....	3
Figura 02: Fotos de testemunhos de sondagem e do poço perfurado em Pirapozinho-SP.....	5
Figura 03: Foto da coleta de água em poço da Sabesp, na área de pesquisa.....	5
Figura 04: Diagrama de STIFF.....	9
Figura 05: Diagrama de PIPER com classificação dos tipos hidroquímicos.....	10
Figura 06: Difração de um feixe de raios-x sobre um plano de átomos.....	12
Figura 07: Mapa Geológico da área de estudo.....	16
Figura 08: Relações entre as unidades estratigráficas do Grupo Bauru no Estado de São Paulo.....	17
Figura 09: Subdivisão hidroestratigráfica do Sistema Aquífero Bauru.....	28
Figura 10: Distribuição dos tipos hidroquímicos na área de estudo.....	33
Figura 11: Classificação das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru na região sudoeste do Estado de São Paulo.....	34
Figura 12: Relação entre valores de pH de campo e de laboratório das amostras de águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru.....	35
Figura 13: Relação entre valores de condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) de campo e de laboratório das amostras de águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru.....	35
Figura 14: Mapa de isovalores de pH do Sistema Aquífero Bauru no sudoeste do Estado de São Paulo.....	38
Figura 15: Mapa de isovalores de Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) do Sistema Aquífero Bauru no sudoeste do Estado de São Paulo.....	39
Figura 16: Mapa de isovalores de Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L) do Sistema Aquífero Bauru no sudoeste do Estado de São Paulo.....	40
Figura 17: Mapa de isovalores de Cálcio (mg/L) do Sistema Aquífero Bauru no sudoeste do Estado de São Paulo.....	41
Figura 18: Mapa de isovalores de Magnésio (mg/L) do Sistema Aquífero Bauru no sudoeste do Estado de São Paulo.....	43

Figura 19: Mapa de isovalores de Sódio (mg/L) do Sistema Aquífero Bauru no sudoeste do Estado de São Paulo .....	44
Figura 20: Mapa de isovalores de Potássio (mg/L) do Sistema Aquífero Bauru no sudoeste do Estado de São Paulo. ....	45
Figura 21: Mapa de isovalores de Alcalinidade (mg/L) do Sistema Aquífero Bauru no sudoeste do Estado de São Paulo.....	46
Figura 22: Mapa de isovalores de Cloreto (mg/L) do Sistema Aquífero Bauru no sudoeste do Estado de São Paulo .....	47
Figura 23: Mapa de isovalores de Nitrato (mg/L) do Sistema Aquífero Bauru no sudoeste do Estado de São Paulo .....	49
Figura 24: Mapa de isovalores de Fluoreto (mg/L) do Sistema Aquífero Bauru no sudoeste do Estado de São Paulo .....	50
Figura 25: Mapa de isovalores de Sílica (mg/L) do Sistema Aquífero Bauru no sudoeste do Estado de São Paulo .....	51
Figura 26: Diagrama de estabilidade do $\log a(\text{Na}^+/\text{H}^+)$ versus $\log a(\text{H}_4\text{SiO}_4)$ para as amostras de água do Sistema Aquífero Bauru. ....	55
Figura 27: Diagrama de estabilidade do $\log a(\text{Ca}^{2+}/(\text{H}^+)^2)$ versus $\log a(\text{H}_4\text{SiO}_4)$ para as amostras de água do Sistema Aquífero Bauru.....	56
Figura 28: Gráfico do índice de saturação em relação à calcita.....	57
Figura 29: Gráfico do índice de saturação em relação ao quartzo.....	58
Figura 30: Diagrama de estabilidade de $\log ([\text{Na}^+]/[\text{H}^+])$ versus $\log [\text{H}_4\text{SiO}_4]$ a 25°C, para as amostras de água do Sistema Aquífero Bauru.....	59
Figura 31: Perfil do poço perfurado no município de Pirapozinho-SP .....	61
Figura 32: Composição dos arenitos representativos das formações Adamantina e Araçatuba, extraídos de poço perfurado em Pirapozinho-SP, em Diagrama de Folk (1968). ....	62
Figura 33: Composição dos arenitos representativos da Formação Santo Anastácio, extraídos de poço perfurado em Pirapozinho-SP, em Diagrama de Folk (1968). ....	63
Figura 34: Composição dos arenitos representativos da Formação Caiuá, extraídos de poço perfurado em Pirapozinho-SP, em Diagrama de Folk (1968). ....	64
Figura 35: Gráfico da porosidade <i>versus</i> profundidade de amostras extraídos de poço perfurado em Pirapozinho-SP (azul = porosidade). ....	66
Figura 36: Grãos de feldspatos (nicóis cruzados - aumento 10x) A = Formação Adamantina: Plagioclásio (amostra n°03); B = Formação Araçatuba: Microclínio (amostra n°09); C =	

Formação Sto Anastácio: Microclínio (amostra n°44); D = Formação Caiuá: Microclínio (amostra n°77) (F=feldspato, Q= quartzo). .....	68
Figura 37: Fragmentos líticos encontrados nas amostras (nicóis cruzados - aumento 10x). A = Fragmentos líticos da Formação Adamantina (amostra n°04); B = Fragmento lítico da Formação Sto Anastácio (amostra n°18); C = Fragmento líticos da Formação Caiuá (amostra n°72) (F=feldspato, Q= quartzo, Frag. =fragmento lítico). .....	69
Figura 38: Augita na Formação Caiuá – amostra n°77 (nicóis cruzados-aumento 10x) (A= augita; F=feldspato, Q= quartzo). .....	70
Figura 39: Fotomicrografia de Zircão (Z), em lâmina, observado por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Amostra n° 10 (Formação Sto Anastácio) de testemunho de sondagem do poço de Pirapozinho-SP. ....	71
Figura 40: Fotomicrografia da Ilmenita (I) e Calcita (C), em lâmina, observado por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Amostra n° 58 (Formação Sto Anastácio) de testemunho de sondagem do poço de Pirapozinho-SP. ....	71
Figura 41: Fotomicrografia da augita (A) envolvida por esmectitas (E), em fragmento de rocha, observado por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Amostra n° 2/4 (Formação Caiuá) de testemunho de sondagem do poço de Pirapozinho-SP. ....	72
Figura 42: Fotomicrografia da apatita (A) envolvida por esmectitas, em fragmento de rocha, observado por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Amostra n° 120/1 (Formação Araçatuba) de testemunho de sondagem do poço de Pirapozinho-SP. ....	72
Figura 43: Fotomicrografia da cromita (Cr) em fragmento de rocha, observado por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Amostra n° 138/2 (Formação Adamantina) de testemunho de sondagem do poço de Pirapozinho-SP. ....	73
Figura 44: Difratoograma dos argilominerais montmorilonita e illita obtido da fração <math><2\mu</math> (amostra 16/15) da Formação Caiuá no poço de Pirapozinho (SP) (azul = amostra normal; vermelho = amostra glicolada; preto = amostra queimada). ....	74
Figura 45: Montmorilonita (M) envolvendo grãos de feldspatos (F) e quartzos (Q) (Fotomicrografia de MEV, em fragmento de rocha). Amostra (84/10) de testemunho de sondagem da Formação Sto Anastácio, poço de Pirapozinho (SP). ....	74
Figura 46: Difratoograma da caulinita obtido da fração <math><2\mu</math> (amostra 138/2) da Formação Caiuá no poço de Pirapozinho (SP) (azul = amostra normal; vermelho = amostra glicolada; preto = amostra queimada). ....	75
Figura 47: Caulinita vermiforme (Fotomicrografia de MEV, em fragmento de rocha). Amostra (138/2) de testemunho de sondagem da Formação Caiuá, poço de Pirapozinho (SP). ....	75
Figura 48: Gráfico de matriz versus profundidade das amostras do poço de Pirapozinho (SP). .....	76

- Figura 49: Dissolução de feldspato na Formação Caiuá – amostra n°74 (nicóis cruzados-aumento 10x) (F=feldspato, Q= quartzo, Frag= Fragmento de lítico). ..... 78
- Figura 50: Dissolução de feldspato na Formação Caiuá – amostra n°6/23 observado em microscopia eletrônica de varredura - MEV (F=feldspato, Q= quartzo, A= analcima)... 79
- Figura 51: Cimentação ferruginosa (nicóis paralelos - aumento 10x); A = Formação Adamantina (amostra n°01); B = Formação Araçatuba (amostra n°13); C = Formação Sto Anastácio (amostra n°87); D = Formação Caiuá (amostra n°18) (F=feldspato, Q= quartzo, C.Fer.= cimentação ferruginosa). ..... 80
- Figura 52: Iilita/montmorilonita (I/M) envolvendo grãos de analcima (A) e feldspato (F) (Fotomicrografia de MEV, em fragmento de rocha). Amostra (65/13) de testemunho de sondagem da Formação Santo Anastácio, poço de Pirapozinho (SP). ..... 81
- Figura 53: Difratoograma dos argilominerais montmorilonita e ilita obtido da fração <math><2\mu</math> (amostra 65/13) da Formação Santo Anastácio no poço de Pirapozinho (SP) (azul = amostra normal; vermelho = amostra glicolada; preto = amostra queimada). ..... 82
- Figura 54: Cimentação carbonática envolvendo os grãos (nicóis cruzados - aumento 10x); A = Formação Adamantina (amostra n° 04); B = Formação Araçatuba (amostra n°07); C = Formação Sto Anastácio (amostra n°18); D = Formação Caiuá (amostra n°67) (F=feldspato, Q= quartzo, C.Carb.= cimentação carbonática)..... 84
- Figura 55: Difratoograma da calcita obtida da fração <math><2\mu</math> (amostra 5/27) da Formação Caiuá, poço de Pirapozinho (SP) (azul = amostra normal; vermelho = amostra glicolada; preto = amostra queimada)..... 85
- Figura 56: Cimentação carbonática micrítica (CM) envolvendo grão de quartzo (Q) e Analcima (A).(Fotomicrografia de MEV, em fragmento de rocha). Amostra (5/27) de testemunho de sondagem da Formação Caiuá, poço de Pirapozinho (SP)..... 85
- Figura 57: Arenito com calcretes. Amostra (5/27) de testemunho de sondagem da Formação Caiuá, poço de Pirapozinho (SP)..... 86
- Figura 58: Grão de calcita (C) e zeólita (A).(Fotomicrografia de MEV, em fragmento de rocha). Amostra (5/27) de testemunho de sondagem da Formação Caiuá, poço de Pirapozinho (SP)..... 86
- Figura 59: Cristais de analcima (A) preenchendo os poros (Fotomicrografia de MEV, em fragmento de rocha). Amostra (18/1) de testemunho de sondagem da Formação Caiuá. 88
- Figura 60: Difratoograma da Analcima obtida da fração <math><2\mu</math> (amostra 18/1), Formação Caiuá, poço de Pirapozinho (SP) (azul = amostra normal; vermelho = amostra glicolada; preto = amostra queimada)..... 88
- Figura 61: Natrolita (N) em cavidade (Fotomicrografia de MEV, em fragmento de rocha). Amostra (65/13B) de testemunho de sondagem da Formação Santo Anastácio..... 89

Figura 62: Difratoograma da natrolita obtida da fração  $<2\mu$  (amostra 65/13), Formação Santo Anastácio, poço de Pirapozinho (SP) (azul = amostra normal; vermelho = amostra glicolada; preto = amostra queimada). ..... 89

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 01 - Dados estatísticos de parâmetros físico-químicos analisados de amostras de água do Sistema Aquífero Bauru.....	36
Tabela 02 – Porosidade das amostras do poço perfurado no município de Pirapozinho-SP....	65
Tabela 03– Fases diagenéticas identificadas nas amostras dos arenitos extraídas do poço no município de Pirapozinho-SP, referente ao Grupo Bauru.....	90

## Anexos

Anexo 1 – Composição química das águas subterrâneas	
Anexo 2 – Mapa de localização de coletas de amostras de água	
Anexo 3 – Resultados das análises de difratometria de raios-X	
Anexo 4 – Diagramas de Stiff	
Anexo 5 – Mapa de distribuição dos diagramas de Stiff	
Anexo 6 – Descrição das análises petrográficas.	

## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivos estudos petrológicos e hidroquímicos em área de ocorrência dos sedimentos do Grupo Bauru, na região sudoeste paulista. A análise petrográfica e a evolução diagenética foram realizadas com a utilização de microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura e difratometria de Raios X. Para caracterização hidroquímica foram realizadas análises físico-químicas. A análise hidroquímica apontou o predomínio das águas bicarbonatadas cálcicas e sódicas e, secundariamente aparecem as clorosulfatadas cálcicas e as cloretadas sódicas. As águas bicarbonatadas sódicas concentram-se na porção leste, nordeste e central da área, enquanto as bicarbonatadas cálcicas distribuem-se por toda a área, com discreto predomínio na porção central. Quanto à composição detrítica, os arenitos do Grupo Bauru são constituídos essencialmente por quartzo e feldspatos e em menor quantidades aparecem os fragmentos líticos e os minerais acessórios. Os principais processos diagenéticos identificados nos arenitos analisados foram dissoluções de minerais pesados, fragmentos líticos e aluminossilicatos; cimentação por calcita microcristalina, formação de argilominerais, cimentação por calcita em mosaico e tardia e cimentação por zeólitas.

**Palavras chaves:** águas subterrâneas, Sistema Aquífero Bauru, hidroquímica, diagênese.

## ABSTRACT

The present research has as objective petrologic and hydrochemical studies in area of occurrence of the sediments of the Bauru Group, in the São Paulo southwestern region. Optical microscopy, scanning electron microscopy and X-ray diffraction were applied in the petrographic analysis and the diagenetic evolution. To the hydrochemical characterization was used physical-chemical analyses. The hydrochemical analysis revealed the predominance of bicarbonated calcic and sodic waters and secundarily appear chlorosulphated calcic and the sodic chlorinated. The bicarbonated sodic waters concentrate in the east, northeast and central portion of the area, while the bicarbonated calcic are distribute for all the area, with discrete predominance in the central portion. How much to the detritic composition, the sandstone of Bauru Group are constituted essentially by quartz and feldspars and in minor amounts appear the lytic fragments and the accessory minerals. The main diagenetic processes identified in the sandstone analyzed had been heavy mineral, lytic fragments and aluminossilicate dissolutions, cementation by microcrystalline calcite, formation by clay mineraais, cimentation by recrystallized calcite and cimentation by zeolite.

**Keywords:** groundwater, Bauru Aquifer System, hydrochemical, diagenesis.

## 1 - INTRODUÇÃO

O Sistema Aquífero Bauru representa uma das principais fontes de exploração de águas subterrâneas no Estado de São Paulo. Entre os 462 municípios paulistas que são abastecidos, parcial ou integralmente, por água subterrânea, aproximadamente 59% captam água do Sistema Aquífero Bauru, sendo que em 88% deles o abastecimento é feito exclusivamente por água subterrânea (CETESB, 1997).

A área de pesquisa compreende a região sudoeste do Estado de São Paulo, com aproximadamente 17.500 km<sup>2</sup>, onde estão localizados municípios de Presidente Prudente, Álvares Machado, Presidente Bernardes, Regente Feijó, Pirapozinho, entre outros.

O reservatório natural subterrâneo formado por rochas predominantemente siliciclásticas, enquadradas formalmente na coluna estratigráfica da Bacia do Paraná como Grupo Bauru, no sentido de Soares *et al.* (1980), ou Grupos Caiuá e Bauru, segundo Fernandes (1998), foi designado Sistema Aquífero Bauru pelo DAEE (1976, 1979), que definiu como uma unidade hidrogeológica de extensão regional, contínua, livre a semiconfinada, com espessura média de 100m, mas que pode alcançar 300m.

As vazões obtidas em perfurações no Aquífero Bauru são extremamente variáveis, em virtude da diversidade litofaciológica existente, que coloca em contato lateral e vertical sedimentos com diferentes características de porosidades e permeabilidades (PAULA e SILVA 2003).

Estudos hidrogeoquímicos do Grupo Bauru no Estado de São Paulo, realizados por Campos (1987), concluíram que suas águas subterrâneas apresentam-se em dois tipos dominantes: bicarbonatadas cálcicas e calcomagnesianas. Os principais íons responsáveis pelo processo de enriquecimento salino das águas subterrâneas da unidade são HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup> e apresentam baixa salinidade, que varia em geral de 100 a 200 mg/l.



Por ser um dos aquíferos mais explorados, no Estado de São Paulo, são vários os trabalhos publicados sobre o Grupo Bauru. Neste sentido, a presente pesquisa vem fortalecer o estudo hidroquímico e diagenético da unidade.

### **1.1 - OBJETIVOS**

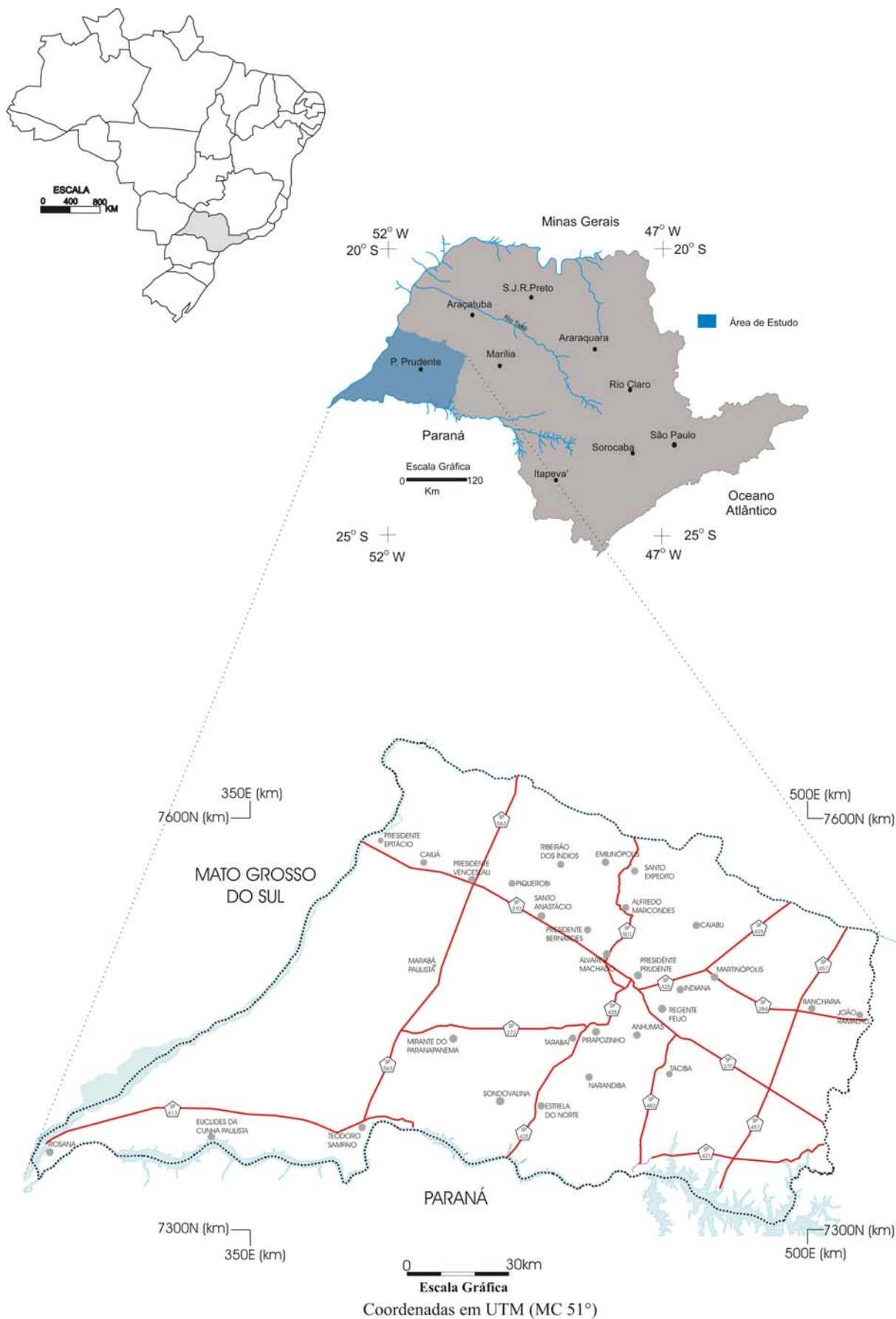
O objetivo desta dissertação foi realizar estudos petrológicos e hidroquímicos em área de ocorrência dos sedimentos do Grupo Bauru, na região sudoeste paulista, tendo como enfoques principais:

- ✓ Estudos hidroquímicos para caracterização das águas subterrâneas e sua distribuição em área;
- ✓ Estudos petrográficos e diagenéticos dos arenitos do Grupo Bauru, para compreender a interação rocha-fluido e relacionar os processos diagenéticos com a diferenciação dos tipos hidroquímicos.

### **1.2 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

A área selecionada compreende a região sudoeste do Estado de São Paulo, abrangendo em seu domínio municípios como Presidente Prudente, Álvares Machado, Presidente Bernardes, Regente Feijó, Pirapozinho, Santo Anastácio, Presidente Venceslau, entre outros (Figura 01).

Com área aproximada de 17.500 km<sup>2</sup> e população estimada em cerca de 540.000 habitantes (densidade demográfica de 30,76 hab/km<sup>2</sup>), onde se destaca como grande pólo econômico regional o município de Presidente Prudente, a economia da região é baseada na agricultura, pecuária, indústria e comércio.



**Figura 01:** Mapa de localização da área de estudo.

## **2 - MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 - AMOSTRAGEM**

Foram extraídos testemunhos de sondagens de um poço perfurado no município de Pirapozinho (Figura 02). Nestes testemunhos, foram selecionadas amostras para a análise de Difração de Raios X (Anexo 3) e caracterização petrográfica (Anexo 6).

No trabalho de campo realizado na área de pesquisa, foram coletadas 66 amostras de águas subterrâneas (Anexo 1). Estas amostras foram submetidas a análises físico-químicas. O mapa do anexo 2 apresenta a distribuição destes pontos de coleta, cujo posicionamento geográfico foi obtido com auxílio de GPS.

As águas foram coletadas diretamente da boca do poço, após um período de bombeamento (Figura 03). Todos frascos, antes da coleta, foram lavados com água do próprio poço. Foi coletado 1 litro de água de cada amostra, em vasilhames de polietileno de 500, 300 e 200 mL.

O pH de campo, a condutividade elétrica e a temperatura foram medidas na hora da coleta.



**Figura 02:** Fotos de testemunhos de sondagem e do poço perfurado em Pirapozinho-SP.



**Figura 03:** Foto da coleta de água em poço da Sabesp, na área de pesquisa.

## 2.2 - ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA

Ainda em campo, as amostras de água foram filtradas em um conjunto Millipore, utilizando filtros de 0,45 µm. As amostras encaminhadas para análise de cátions foram acidificadas com ácido nítrico concentrado (14,4 molar), com 2 gotas para cada 100 mL de amostra. Em seguida, os frascos foram fechados e conservados gelados até serem descarregados no laboratório de Hidrogeologia e Hidroquímica, do Departamento de Geologia Aplicada do IGCE/UNESP, Campus de Rio Claro.

### 2.2.1 - ANÁLISE DE CÁTIONS

Os cátions metálicos  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  foram analisados por Espectrometria de Absorção Atômica, empregando-se espectrômetro marca GBC, modelo 906 AA.

Os demais cátions metálicos,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Si}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{P}$  e  $\text{Cd}^{2+}$ , foram analisados por Espectrometria de Emissão Atômica com Fonte de Plasma de Argônio Induzido (ICP-AES marca ARL, modelo 3410, com sistema de mini tocha e nebulização ultrassônica, marca CETAC, modelo U5000AT+).

As determinações dos cátions metálicos foram efetuadas no laboratório de Geoquímica do Departamento de Petrologia e Metalogenia do IGCE/UNESP, Campus de Rio Claro.

#### *Espectrometria de Absorção Atômica ( $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ )*

Este método baseia-se na pulverização da solução da amostra a ser analisada por um nebulizador, transformando a amostra em aerossol que é misturada com ar e gás acetileno, presentes na chama em combustão.

Uma lâmpada de cátodo oco, recoberta pelo elemento de interesse, emite uma radiação característica, a qual passa através da chama, sendo parcialmente absorvida pelo elemento sob análise. A intensidade da radiação absorvida é detectada e o sinal recebido é proporcional à concentração da espécie química presente na amostra.

### *Espectrometria de Emissão Atômica com fonte de Plasma de Argônio Induzido (ICP-AES)*

O plasma é produzido pela transferência de energia elétrica para o fluxo de gás. No caso de um plasma acoplado indutivamente, é utilizado um gerador de alta frequência, com indução em espiral, para suprir energia para a ionização potencial. Com a ionização do gás, é produzido o plasma de alta temperatura.

Assim, as partículas pulverizadas da solução da amostra são alimentadas por um canal que chega até o centro do plasma, registrando o tempo de residência das partículas dos elementos da solução no plasma. Os elementos emitem um espectro no qual podem ser registrados quantitativamente e qualitativamente em sistemas espectrométricos.

### **2.2.2 - ANÁLISE DE ÂNIONS**

A análise da alcalinidade compreende a determinação de carbonatos, bicarbonatos e hidroxila ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{OH}^-$ ). A amostra para este tipo de análise é de difícil preservação, devendo ser efetuada de imediato. Estas espécies químicas são de fundamental importância, pois determinam reações de equilíbrio que envolvem espécies carbonáticas, ácidos orgânicos e reações bioquímicas.

A determinação de pH, a exemplo da alcalinidade, necessita também de uma pronta medição, pois as espécies químicas mencionadas afetam o pH.

Para efetuar estas análises, foi utilizado o titulador automático modelo 960/940 ORION. O método para determinação da alcalinidade, por meio deste titulador, consiste na titulação de um volume de amostra, variando geralmente entre 10 e 100 mL, dependendo do teor de alcalinidade da amostra de água. O titulante (HCl) padronizado é adicionado à amostra de água até atingir o ponto de equivalência, que ocorre em  $\text{pH} \sim 4,6$ . O ponto final da titulação é determinado pela inflexão da curva de titulação. A curva de titulação é obtida a partir do volume do titulante adicionado e da medida do 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 da alcalinidade referente à concentração de bicarbonatos em mg/L é dado pela fórmula:

$$C_{HCO_3^-} = \frac{N_t \times V_t}{V_s} \times 61,016 \times 1000$$

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)

Os valores 1000 e 61,016 representam, respectivamente, a conversão de grama para miligrama e o peso molecular do bicarbonato.

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

Para as análises de cloreto das amostras de águas, foi utilizado o método potenciométrico por meio de uma curva de calibração com eletrodo seletivo para cloreto ORION modelo 9417BN juntamente com eletrodo de referência de junção dupla ORION modelo 900200, empregando-se o titulador automático ORION modelo 960/940.

Para determinação do fluoreto, foram utilizados o método potenciométrico, empregando-se o titulador automático ORION, modelo 960/940, e a técnica de curva de calibração com eletrodo seletivo a fluoreto ORION, modelo 9409BN, e um eletrodo de referência de junção simples ORION, modelo 900100.

O Nitrato ( $NO_3^-$ ) foi determinado por colorimetria na faixa visível (570nm), empregando-se o Kit (Palintest) e o programa “Phot 63 Nitrate” com o fotômetro da Yellow Spring Instruments (YSI), modelo 9100.

Para análise do sulfato ( $SO_4^{2-}$ ) foi utilizado o método turbidimétrico, empregando-se o Kit (Palintest) e o programa “YSIP 32 Sulphate”, com o fotômetro YSI, modelo 9100.

As determinações dos ânions foram efetuadas no laboratório de Hidrogeologia e Hidroquímica do Departamento de Geologia Aplicada do IGCE/UNESP, Campus de Rio Claro.

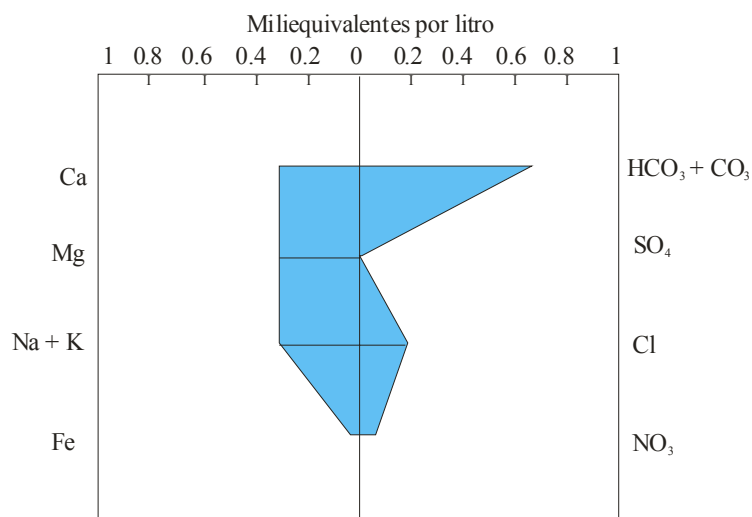
### 2.2.3 - PROCESSAMENTO DOS DADOS HIDROQUÍMICOS

A determinação dos tipos hidroquímicos foi realizada por meio dos diagramas de Piper e Stiff, utilizando o *software RockWorks 1999*.

Para visualização da distribuição espacial dos principais cátions, ânions, pH e condutividade elétrica, foram gerados mapas de isovalores com interpolação pelo método geostatístico de *krigagem*, com auxílio do *software sufer 8.0*.

O Diagrama de Stiff baseia-se na representação gráfica contendo linhas dispostas à esquerda e à direita de uma linha vertical que representa o valor zero. Os cátions ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ) são plotados à esquerda, enquanto os ânions ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ) são plotados à direita. As concentrações iônicas são expressas em miliequivalentes por litro (meq/L).

Os pontos gerados são interligados por linhas como mostrado na figura 04, originando um polígono. As variedades de formas e tamanhos gerados correspondem às características de determinadas águas e permitem a classificação e a correlação dos resultados de suas análises químicas.



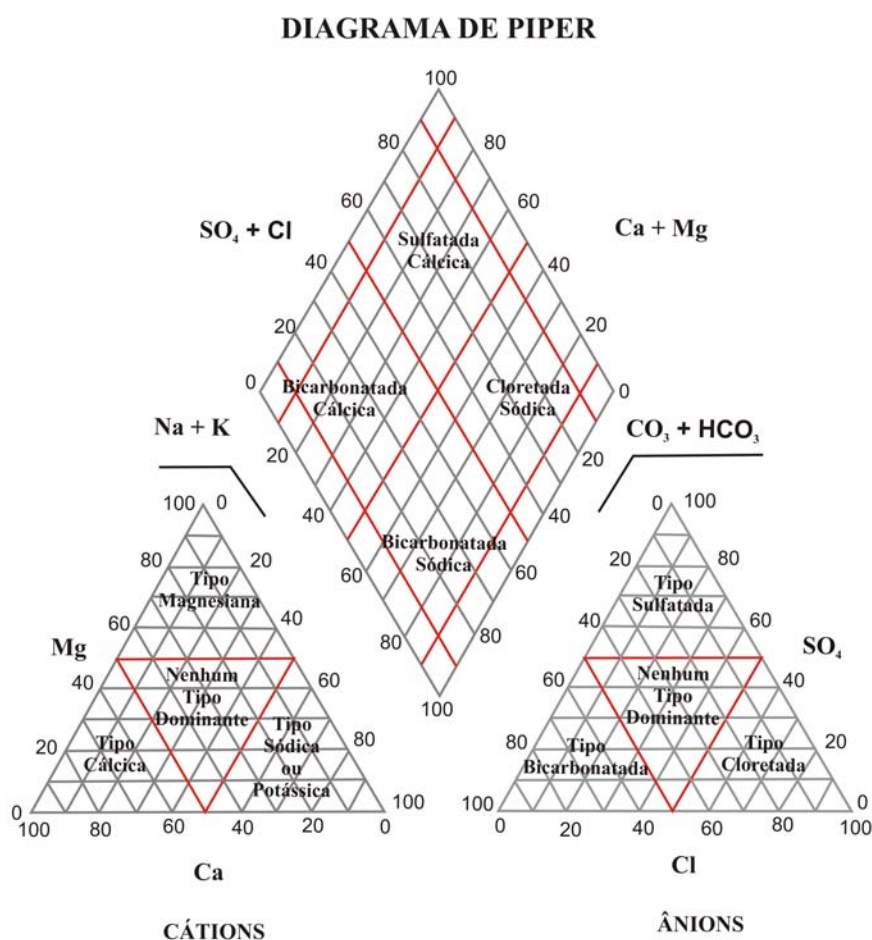
**Figura 04:** Diagrama de STIFF

O Diagrama de Piper, proposto por Piper (1944), é utilizado frequentemente quando se trabalha com grande número de análises químicas de água, servindo para classificar e comparar os distintos grupos de água quanto aos íons dominantes.



Este diagrama combina três diferentes campos para a plotagem, sendo dois campos triangulares e um romboédrico. Os triangulares estão situados na parte inferior, onde são plotados os cátions, à esquerda, e os ânions, à direita. Os resultados das análises são plotados em porcentagem. Os pontos são marcados nos triângulos, indicando as concentrações relativas dos diversos constituintes dissolvidos na amostra de água.

O campo romboidal central, localizado entre os dois triângulos, é utilizado para representar o caráter químico total da água. Esta determinação é feita projetando-se o ponto do cátion à linha identificada com  $Mg^{2+}$ , e o ponto do ânion paralelo à linha do  $SO_4^{2-}$ . A intersecção das duas linhas originará um ponto no campo romboidal (Figura 05). A posição deste ponto obtido indicará a composição química relativa da água.



**Figura 05:** Diagrama de PIPER com classificação dos tipos hidroquímicos.

## 2.3 - ANÁLISE PETROGRÁFICA

As amostras selecionadas de testemunhos de sondagem foram encaminhadas para confecção de lâminas delgadas. A análise petrográfica tem como objetivo o reconhecimento da mineralogia do arcabouço e das fases autigênicas e, com isso, definir as relações paragenéticas e a história diagenética da rocha, bem como a caracterização de sua porosidade.

Para realização deste estudo foram utilizadas as técnicas de microscopia óptica e eletrônica de varredura.

A análise de microscopia eletrônica foi efetuada no ED - SEM Energy Dispersive Scanning Electron Microscope, Modelo LEO 430, juntamente com um analisador de energia dispersiva (EDS) e detectores de elétrons secundários e retroespalhados (*Backscattered*), no laboratório do IG-UNICAMP e, no Environmental Electron Microscope (ESEM, Eletroscan) e no Stereoscan 444 (LEO), no laboratório do CCDM-UFSCAR/UNESP.

Do testemunho de sondagem foram coletadas 49 amostras que foram submetidas à análise de difração de Raios X efetuadas no laboratório do Departamento de Petrologia e Metalogenia do IGCE/UNESP, Campus de Rio Claro, em seguida, interpretadas com o uso do *software Siemens Diffracplus D-5000-1997*.

### 2.3.1 - MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

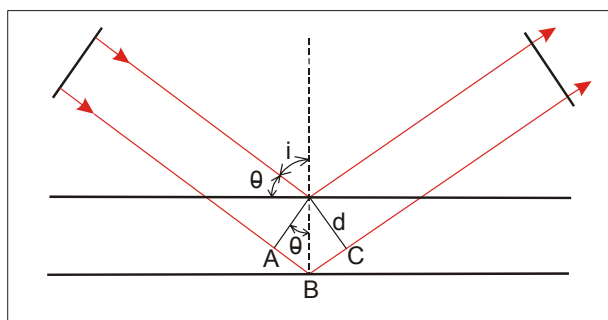
Uma das propriedades do microscópio eletrônico de varredura é sua capacidade de aumentar uma imagem em milhares de vezes, como também sua elevada resolução, facilitando a análise de detalhes da composição mineralógica das rochas, bem como da morfologia dos grãos, dos poros e suas interações.

O funcionamento do MEV consiste de uma coluna óptica - eletrônica, uma câmara para amostra, sistema de vácuo, sistema de controle eletrônico e sistema de obtenção de imagens. Um canhão gera um feixe de elétrons de 20 keV, que passa por um conjunto de lentes eletromagnéticas que agem como condensadores. Este feixe incide sobre a amostra e, por meio de bobinas deflectoras, percorre uma varredura sobre uma pequena região da amostra.

### 2.3.2 - DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

A difração de raios X pelos cristais resulta de um processo em que estes raios são dispersos pelos elétrons dos átomos, sem mudança de comprimento de onda. Esta difração resultante é uma propriedade física fundamental da substância, servindo à identificação e ao estudo de sua estrutura (FORMOSO, 1985).

O feixe de raios X que atinge um plano de átomos sofre difração em duas direções principais. Estas direções são a do prolongamento do feixe incidente e a da reflexão pelo plano. Sendo considerados dois ou mais planos, as condições para a difração em fase (interferência com reforço) dependerão da diferença de caminho percorrido pelo feixe de raios X (Figura 06).



**Figura 06:** Difração de um feixe de raios-x sobre um plano de átomos (FORMOSO, 1985).

Nesta figura, observa-se que a diferença de caminho é  $\Delta = ABC = 2AB$ , sendo:

$$AB = d \cdot \sin \theta, \text{ onde:}$$

$d$  = distância interplanar para o conjunto de planos reticulares,

$\theta$  = ângulo de Bragg entre o feixe incidente e os planos reticulares.

Tem-se então:

$$\Delta = 2AB = 2d \sin \theta$$

Se os planos difratam em fase, a diferença de caminho  $\Delta$  deve ser um número inteiro de comprimento de onda, ou seja,  $n\lambda$ , em que  $n$  é um número inteiro e a condição de difração em fase será:

$$n\lambda = 2d \sin \theta \text{ (Lei de Bragg), onde:}$$

$\lambda$  = comprimento de onda dos raios X.

## 2.4 - POROSIDADE

Neste estudo, foram determinadas as porosidades para 89 amostras selecionadas de testemunho de sondagem de um poço perfurado no município de Pirapozinho-SP.

As medidas de porosidade foram realizadas no laboratório do Departamento de Engenharia do Petróleo da Faculdade de Engenharia Mecânica/Unicamp, utilizando o porosímetro da *Core Laboratories*.

As amostras foram retiradas na forma de cilindro, com aproximadamente 2,5 cm de diâmetro, e cortadas em um comprimento de aproximadamente 3 cm. Em seguida, foram lavadas e colocadas na estufa, onde permaneceram por um dia até a secagem completa.

Com um paquímetro, foram medidas as dimensões das amostras em diferentes posições, sendo três de diâmetro e três de comprimento. Com esses valores, foram definidas as dimensões médias das amostras e calculados os respectivos volumes. O peso das amostras foi medido em uma balança eletrônica.

Em seguida, estas amostras foram submetidas a medidas de porosidade.

A porosidade é uma importante propriedade da rocha, pois corresponde à capacidade de armazenamento de fluidos. É definida como a relação entre o volume de vazios de uma rocha e o volume total da mesma.

A equação é:

$$\Phi = \frac{V_v}{V_t}$$

onde:  $\Phi$  = porosidade

$V_v$  = volume de vazios

$V_t$  = volume total

A porosidade pode ser absoluta, que representa o volume total poroso, ou efetiva, que é a relação entre os espaços vazios interconectados de uma rocha e seu volume total.

A porosidade efetiva, medida nas amostras, foi determinada por meio de um porosímetro, que calcula o volume de grãos ou de poros de uma amostra, utilizando o princípio da expansão de gás, como descrito pela lei de Boyle.

O porosímetro trabalha com um volume pré-determinado de gás (célula de referência) que, em determinado momento, é isotermicamente expandido em um volume poroso

desconhecido. Após a expansão, mede-se o resultado da pressão de equilíbrio, valor este dependente da magnitude do volume poroso desconhecido, que pode ser calculado usando-se a lei de Boyle.

$$\frac{p_1 V_R}{T_1} + \frac{p_2 V}{T_2} = \frac{p_3 (V_R + V)}{T_3}$$

onde:  $p_1$  = pressão no aparelho;

$V_R$  = volume de referência;

$p_2$  = pressão na amostra;

$V$  = volume da amostra;

$p_3$  = pressão resultante após a abertura das válvulas;

$T_1$  = temperatura no aparelho;

$T_2$  = temperatura na amostra;

$T_3$  = temperatura no sistema após a abertura das válvulas.

Como padrão é assumido  $p_1$  de 100 psig,  $p_2$  com valor zero e temperatura constante. Assim, para obter o volume tem-se a equação:

$$V_{med} = V_R \left( \frac{100}{P_3} - 1 \right)$$

E, a porosidade efetiva da amostra é definida por:

$$V_{gr} = C - V_{med}$$

$$\Phi = \frac{V_b - V_{gr}}{V_b}$$

onde:  $V_b$  = volume total do *plugue*;

$V_{gr}$  = volume de grão;

$C$  = volume do *core* vazio;

$V_{med}$  = volume medido;

$\Phi$  = porosidade efetiva da amostra.

### 3 - GEOLOGIA DO GRUPO BAURU

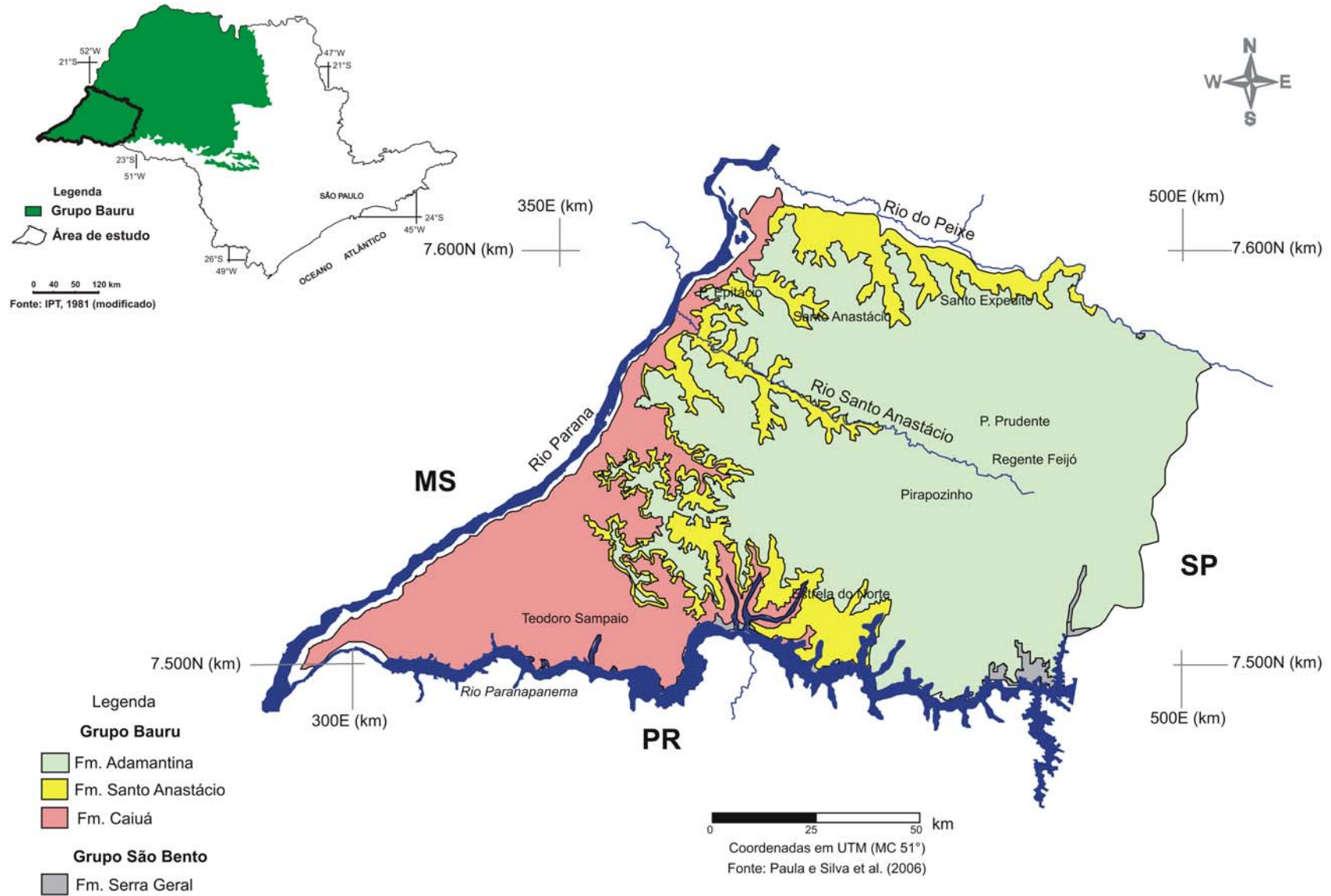
#### 3.1 - LITOESTRATIGRAFIA DO GRUPO BAURU

O Grupo Bauru se estende por área de aproximadamente 117.000 km<sup>2</sup>, na maior parte do Planalto Ocidental de São Paulo; ocupa cerca de 47% do território paulista, do total de 370.000km<sup>2</sup> distribuídos pelo triângulo mineiro, noroeste do Paraná, sudeste do Mato Grosso do Sul e sul de Goiás.

Em São Paulo, os sedimentos do Grupo Bauru repousam sobre os basaltos da Formação Serra Geral, por meio de discordância erosiva (BRANDT NETO *et al.*, 1977; SOARES *et al.*, 1980; ALMEIDA *et al.*, 1981; RICOMINI *et al.*, 1981), e localmente sobre sedimentos das formações Botucatu e Pirambóia, como na região de Bauru (SP) (SUGUIO *et al.*, 1977; PAULA e SILVA & CAVAGUTTI 1992, 1994). Sua espessura média é de 100 metros e as maiores espessuras preservadas ultrapassam 300 metros na região de Marília (SP) (Figura 07).

As rochas do Grupo Bauru são constituídas predominantemente por sedimentos siliciclásticos continentais que foram depositados na porção centro-sul da Plataforma Sul-Americana, durante o último episódio significativo de sedimentação desta unidade geotectônica, acompanhadas de magmatismo alcalino em pontos dispersos da Bacia do Paraná, como Lajes (SC), Iporá (GO) e Taiúva (SP). Litologicamente, esta sucessão é caracterizada por arenitos, arenitos argilosos, carbonáticos ou não, siltitos, lamitos e argilitos, apresentando localmente conglomerados e camadas calcárias (DAEE, 1976).

Coube a Soares *et al.* (1980) a primeira subdivisão estratigráfica formal do Grupo Bauru, que distinguiu as formações Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília, com base em suas características litológicas e genéticas.

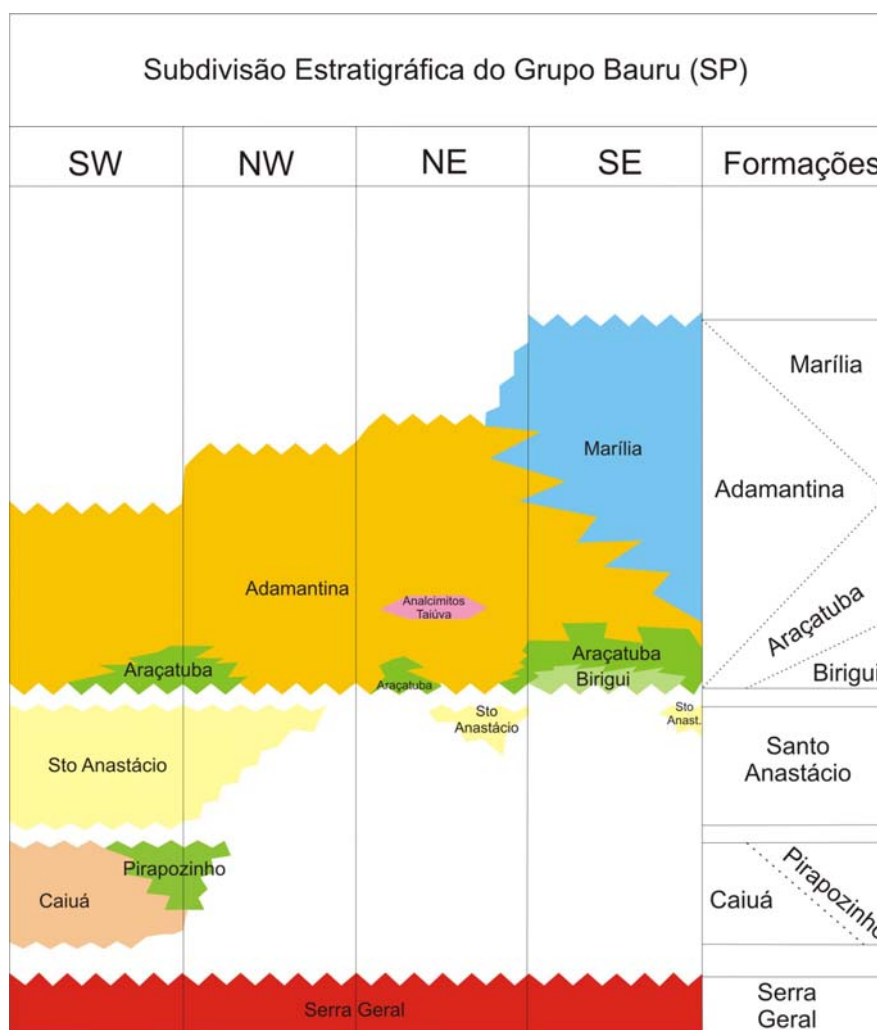


**Figura 07:** Mapa Geológico da área de estudo

A litofácies Araçatuba, inicialmente reconhecida por Suguio *et al.* (1977) e elevada posteriormente à categoria de formação por Suguio (1981), foi redefinida e incorporada definitivamente ao Grupo Bauru por Batezelli *et al.* (1999).

Fernandes & Coimbra (1994) apresentaram uma revisão estratigráfica da cobertura neocretácea suprabasáltica, com a separação dos grupos Bauru e Caiuá na “Bacia Bauru”.

Mais recentemente, Fernandes (1998) definiu novas unidades para esta bacia: Em São Paulo, o Grupo Caiuá passou a ser composto pelas formações Rio Paraná e Santo Anastácio, e o Grupo Bauru, pelas formações Vale do Rio do Peixe, Presidente Prudente, São José do Rio Preto, Araçatuba e Echaporã. Estudos de subsuperfície realizados por Paula e Silva (2003) e Paula e Silva *et al.* (2005) mantiveram a subdivisão proposta por Soares *et al.* (1980), com inclusão da Formação Araçatuba, e acrescentaram, ainda, as formações Pirapozinho e Birigui, identificadas com base em perfis geofísicos e descrição de amostras de calhas (Figura 08).



**Figura 08:** Relações entre as unidades estratigráficas do Grupo Bauru no Estado de São Paulo (PAULA e SILVA, 2003).



### 3.1.1 - FORMAÇÃO CAIUÁ

A Formação Caiuá representa o início da deposição dos sedimentos do Grupo Bauru. O contato basal desta formação se faz com os basaltos da Formação Serra Geral por discordância erosiva (SOARES *et al.*, 1980; ALMEIDA *et al.*, 1981; e MELO, STEIN & ALMEIDA, 1982).

A principal característica da Formação Caiuá é sua grande uniformidade litológica consistida, predominantemente, por arenitos finos a médios, cores vermelho-escura a arroxeadas, estratificações cruzadas de grande porte, matriz inferior a 5%, grãos subarredondados a arredondados (SOARES *et al.*, 1980). Para Soares *et al.* (1980), a unidade é constituída predominantemente por quartzo-arenitos, enquanto outros autores os classificaram como subarcóseos (MELO, STEIN & ALMEIDA, 1982 e RICCOMINI *et al.*, 1981). Apresentam cimentação argilosa e ferruginosa e, localmente, carbonática. A silicificação ocorre mais comumente na porção basal e promove uma maior resistência mecânica à rocha (LANDIM & SOARES, 1976; MELO, STEIN & ALMEIDA, 1982; CAMPOS, BLAKE & ROMANO, 1982; RICCOMINI *et al.*, 1981). Segundo Landim & Soares (1976), estes arenitos possuem fácil desagregação devido à elevada porosidade e pouco cimento.

Em subsuperfície, a Formação Caiuá, caracteriza-se pela presença de um pacote predominantemente psamítico, constituído de arenitos vermelho-vinho à marrom acastanhado, de granulometria variando de muito fina a média, grãos com boa esfericidade e cobertos por película ferruginosa, subarredondados, em geral pouco argiloso, localmente calcíferos podendo apresentar em sua porção basal, próximo ao contato com os basaltos da Serra Geral, arenitos sílticos, marrom avermelhados, médios, calcíferos (PAULA E SILVA *et al.*, 2006).

No estado de São Paulo, a espessura máxima conhecida do Arenito Caiuá é de aproximadamente 200 metros no Morro do Diabo (LANDIM & SOARES, 1976; ALMEIDA *et al.*, 1981).

Soares *et al.* (1980) consideraram que o ambiente de deposição da Formação Caiuá é eólico, devido à homogeneidade textural e às estratificações cruzadas de grande porte, com ausência de outras litofácies, além de outras feições de estruturas deformacionais por rompimento de camadas e níveis de deflação. Fernandes & Coimbra (1996) também atribuíram à sedimentação da Formação Caiuá origem eólica, em que as estratificações cruzadas de grande porte indicariam uma provável área de paleodeserto.

Salamuni *et al.* (1981) e Saad *et al.* (1988) atribuíram um ambiente aquoso a esta

formação. Outros autores consideraram um ambiente deposicional misto, alternando entre aquoso e eólico (SALAMUNI *et al.*, 1981; RICCOMINI *et al.*, 1981).

Conforme estudos realizados por Paula e Silva *et al.* (2006), avaliando isoladamente as características litológicas e as sucessões de fácies geofísicas, organizadas em padrões de *fining upward* pode-se inferir deposição subaquosa para a Formação Caiuá, em sistemas fluviais, com distribuição granulométrica governada pelas variações de velocidade do fluxo aquoso.

### 3.1.2 - FORMAÇÃO PIRAPOZINHO

A Formação Pirapozinho constitui uma variação lateral de fácies da Formação Caiuá, enquadrando-se assim nos mesmos limites (intervalos estratigráficos), ou seja, na base é delimitada pelo assoalho basáltico da Formação Serra Geral e no topo pela Formação Santo Anastácio (PAULA e SILVA, 2003).

Paula e Silva *et al.* (1992, 1994) reconheceram esta unidade geofísica em perfis de poços perfurados para captação de água na região de Presidente Prudente (SP) e, informalmente designaram-na “Litofácies C”, que constituiria variação lateral da Formação Caiuá para termos predominantemente silto-argilosos.

A Formação Pirapozinho é constituída por uma sucessão clástica com predomínio das fácies pelíticas sobre as fácies arenosas, de ocorrência restrita à subsuperfície. Caracteriza-se por uma sucessão sedimentar composta, preponderantemente, por espessos pacotes de siltitos, lamitos arenosos e argilitos, de cores vermelha e castanha e tons acinzentados a esverdeados, em geral carbonáticos. Esta formação também apresenta, em menor quantidade, intercalações de camadas lenticulares de arenitos finos, raramente médios a grossos, em parte sílticos, marrom-acastanhados a vermelhos, argilosos, compondo padrões granulométricos do tipo *fining upward*, indicativos de depósitos de transbordamento de pequenos canais ou de rompimento de diques marginais (PAULA e SILVA *et al.*, 1992, 1994).

As maiores espessuras preservadas do conjunto Caiuá / Pirapozinho, em subsuperfície, localizam-se nas cidades de Estrela do Norte, Pirapozinho, Tarabai e Presidente Bernardes, com aproximadamente 104, 100, 98 e 92 metros, respectivamente (PAULA e SILVA, 2003).

### 3.1.3 - FORMAÇÃO SANTO ANASTÁCIO

No estado de São Paulo, os arenitos desta formação afloram em áreas de cotas mais baixas nos vales dos rios afluentes do Paraná. O contato basal se faz com os arenitos da Formação Caiuá ou diretamente sobre o embasamento basáltico (SOARES *et al.*, 1980; ALMEIDA *et al.*, 1981).

A Formação Santo Anastácio é constituída predominantemente de arenitos de granulação muito fina a média, com pouca matriz (inferior a 15%), grãos arredondados a subangulares, cor marrom-avermelhada, cimentação ferruginosa e localmente carbonática. A seleção dos arenitos é de regular a boa, com pouca variação textural. São pobres em estruturas sedimentares, predominando estratos maciços com espessuras métricas a decimétricas, com incipiente estratificação plano-paralela ou cruzada de baixo ângulo (5° a 10°), planar tangencial na base (SOARES *et al.*, 1980, ALMEIDA *et al.*, 1980 e FERNANDES & COIMBRA, 1994).

Segundo Paula e Silva *et al.* (2006), a Formação Santo Anastácio é formada por 3 sucessões: superior, intermediária e inferior. Na sucessão inferior, destacam-se arenitos com granulometria variando de fina a média, com estrutura geralmente maciça e intensa bioturbação, na sucessão intermediária distingue-se pelas intercalações de arenitos lamosos gradando a arenitos pouco argiloso em direção ao topo, e na sucessão superior os arenitos possuem texturas e cor similares pacotes inferior.

A Formação Santo Anastácio ocorre, em superfície, em estreita faixa no flanco norte do rio Paranapanema, contornando a região do Pontal do Paranapanema, com maior expressão no vale do Rio Santo Anastácio e no vale do Rio do Peixe e afluentes da margem sul. Apresenta espessura máxima em torno de 80 metros na região dos vales dos rios Santo Anastácio e Pirapozinho, no oeste do Estado, próximo ao Pontal do Paranapanema. Em subsuperfície, sua ocorrência está limitada à oeste de Pirapozinho, Paraguaçu Paulista e Osvaldo Cruz (SOARES *et al.*, 1980 e FERNANDES & COIMBRA, 1994).

As características litológicas destes arenitos sugerem um modelo fluvial essencialmente psamítico, com canais meandranes a retilíneos, com pequena profundidade e, em planícies de transbordamento arenosas, de transicional para anastomosado (SOARES *et al.* 1980).

Suguiu & Barcelos (1983b) sugeriram um paleoclima quente e seco, provavelmente semi-árido, para a deposição desta unidade.

Analisando os padrões de variação granulométrica, registrados pelos perfis

geofísicos, Paula e Silva (2003) e Paula e Silva *et al.* (2005) sugerem que a unidade Santo Anastácio foi depositada em ambiente fluvial, inicialmente do tipo meandrante, com fácies de canal e de transbordamento bem delineadas, evoluindo para modelo entrelaçado com carga psamítica dominante e escassez de fácies pelíticas, menos organizada.

### 3.1.4 - FORMAÇÃO BIRIGUI

A Formação Birigui ocupa posição estratigráfica bem definida, localizada sobre os derrames basálticos da Formação Serra Geral, em contato discordante erosivo, e sotopõe-se à Formação Araçatuba em contato concordante. A Formação Birigui tem ocorrência exclusiva em subsuperfície (PAULA e SILVA, 2003).

Os corpos arenosos são predominantes nesta formação, com cores variando de cinza-esverdeados a esbranquiçados, bege-amarelados e marrom-acastanhados; possuem granulometria normalmente de fina a média e, localmente, grossa a conglomerática. Intercalações de pelitos são pouco freqüentes. A espessura máxima desta unidade é de aproximadamente 50 metros, no Distrito de Taquari, município de Birigui (PAULA e SILVA, 2003).

Barcha (1980), analisando testemunhos de sondagens de uma propriedade rural próxima a Avandava, descreveu um pacote de arenitos finos a médios, maciços, apresentando níveis e concreções carbonáticas. Descreveu também amostras de um arenito cinza-escuro a amarelado, compacto, fino, podendo apresentar granulometria mais grossa em certos intervalos e nódulos de calcita em forma estrelada, localizado no município de Penápolis.

Segundo Paula e Silva (2003), as características granulométricas desta formação sugerem deposição por correntes de alta energia, em sistemas fluviais predominantemente entrelaçados.

### 3.1.5 - FORMAÇÃO ARAÇATUBA

A Formação Araçatuba faz contato inferior com diversas unidades estratigráficas. Com a Formação Serra Geral o contato é feito de modo discordante; com a Formação Birigui, o contato é transicional, com passagem de sedimentos predominantemente arenosos desta,

para sedimentos pelíticos da Formação Araçatuba; com a Formação Santo Anastácio possui contato discordante. O contato superior da Formação Araçatuba com a Formação Adamantina é transicional (PAULA e SILVA, 2003).

Em subsuperfície, Paula e Silva (2003) descreve esta formação como uma sucessão predominantemente pelítica, com eventuais intercalações de delgados corpos arenosos.

Soares *et al.* (1979, 1980) referem-se esta unidade como um corpo com espessura de até 15 metros, de lamitos, lamitos arenosos e siltitos de cor castanho-claro-acinzentado; Mezzalira (1974) descreve-a como siltitos avermelhados, marrom-acinzentados e esverdeados, argilosos e calcíferos; Fernandes (1998) cita a exposição de siltitos esverdeados na região de Tarabai e Itajobi, correspondentes à esta unidade.

### 3.1.6 - FORMAÇÃO ADAMANTINA

A Formação Adamantina assenta-se discordantemente sobre os basaltos da Formação Serra Geral e aflora na borda oriental da bacia; com a Formação Santo Anastácio, apresenta relações discordantes na região das depressões de Rio Preto, Presidente Bernardes, Dracena; com a Formação Araçatuba, seu contato é concordante transicional nas áreas de ocorrência situadas principalmente nas regiões sudoeste e centro-oriental da bacia; com a Formação Birigui, o contato é transicional em porções restritas da bacia. O contato superior da Formação Adamantina é concordante transicional a interdigitado com a Formação Marília, com ocorrência na região sudoeste da bacia e na região de Monte Alto (PAULA e SILVA, 2003).

No oeste do estado de São Paulo, esta formação se estende por vasta área, constituindo os terrenos de maior parte do Planalto Ocidental (ALMEIDA *et al.*, 1981 e MELO, STEIN & ALMEIDA, 1982).

A Formação Adamantina é constituída por arenitos de granulometria fina a muito fina, cor rósea a castanha, portando estratificações cruzadas, alternadas com lamitos, siltitos e arenitos lamíticos, de cor castanho-avermelhado a cinza-castanho, maciços ou com acamamento plano-paralelo grosseiro, freqüentemente com marcas de onda e microestratificações cruzadas e ocorrências de seixos de argilito, cimento e nódulos carbonáticos (SOARES *et al.* 1980).

Em subsuperfície, conforme descrição realizada por Paula e Silva *et al* (1994), esta Formação caracteriza-se pela presença de arenitos avermelhados a acastanhados, finos a

muito finos, argilosos, carbonáticos, quartzosos, intercaladas por camadas de lamito marrom a avermelhado, arenoso, carbonáticos.

Segundo Soares *et al.* (1980), nas porções ocidentais dos espigões entre os grandes rios estão as maiores espessuras da Formação Adamantina: atinge 160 metros entre os rios São José dos Dourados e Peixe, 190 metros entre os rios Santo Anastácio e Paranapanema, e 100 a 150 metros entre os rios Peixe e Turvo, adelgaçando-se dessas regiões em direção à leste e nordeste.

Vários ambientes de deposição foram atribuídos a esta unidade. Segundo Soares *et al.* (1980), o ambiente deposicional é compreendido por um sistema fluvial meandrante pelítico, a sul, gradando para psamítico, a leste e norte e, parcialmente nessas regiões, com transição para entrelaçado.

Fernandes & Coimbra (1996) sugerem que a deposição da Formação Adamantina ocorreu em sistema fluvial entrelaçado (*braided*), em extensa planície aluvial com lagoas efêmeras. Segundo Paula e Silva (2003), a Formação Adamantina, em perfis, é composta de fácies com padrão típico de *fining upward* que sugerem depósitos em canais meandantes, com pequena presença de material pelítico. Em direção ao topo da unidade, há um enriquecimento arenoso indicando progradação fluvial e assoreamento do sítio deposicional.

### 3.1.7 - FORMAÇÃO MARÍLIA

A Formação Marília é composta por arenitos grossos a conglomeráticos, com grãos angulosos, teor de matriz variável, seleção pobre, ricos em feldspatos, minerais pesados e minerais instáveis. Ocorre em camadas com espessura média de 1 a 2 metros, maciços ou com acamamento incipiente, subparalelo e descontínuo, raramente apresentando estratificação cruzada de médio porte, com seixos concentrados nos estratos cruzados. Raras são as camadas descontínuas de lamitos vermelhos e de calcários. Ocorre, também, freqüente afinamento ascendente da granulometria, com arenitos finos lamíticos vermelhos e maciços, lembrando regolito fóssil, no topo dos bancos (SOARES *et al.* 1980).

O cimento e os nódulos carbonáticos, disseminados nos sedimentos ou concentrados em níveis ou zonas, são característicos e muito freqüentes. A matriz argilo-siltosa aparece em pequena quantidade (ALMEIDA *et al.*, 1981 e SUGUIO & BARCELOS, 1983a).

A Formação Marília aflora na porção centro-sul do Estado de São Paulo, entre os médios vales dos rios Tietê e Paranapanema, e tem ocorrência restrita, relativamente, às

demais formações do Grupo Bauru (MELO, STEIN & ALMEIDA, 1982).

Esta unidade apresenta contato inferior discordante com as rochas basálticas na borda oriental da bacia. Em relação à Formação Adamantina, apresenta contato concordante interdigitado na maior parte de sua área de ocorrência, sugerindo contemporaneidade na sedimentação destas unidades (PAULA e SILVA, 2003).

A espessura do pacote de sedimentos da Formação Marília apresenta redução no sentido de norte para sul (IPT, 1981). Em Marília, atinge a espessura máxima de 160 metros e, em Monte Alto, a espessura de aproximadamente 150 metros que, em ambos os casos, são recobertos por sedimentos cenozóicos (SOARES *et al.*, 1980).

A Formação Marília desenvolveu-se em embaciamento restrito, em regimes torrenciais característicos de leques aluviais, e com deposição de detritos em clima semi-árido (SOARES *et al.*, 1980 e FERNANDES & COIMBRA, 1996).

Paula e Silva (2003), por meio de análise de perfis geofísicos, identifica nesta unidade depósitos predominantemente arenosos, com delgadas intercalações de material pelíticos e baixo conteúdo argiloso, e trechos localizados com padrões sutis de *fining upward* e *coarsening upward*. Destaca, ainda, que em termos paleoambientais, essas características se harmonizam com as interferências de um ambiente deposicional em leque aluvial.

## **4 - HIDROGEOLOGIA E HIDROGEOQUÍMICA DO SISTEMA AQUÍFERO BAURU**

### **4.1 - ASPECTOS GERAIS DO SISTEMA AQUÍFERO BAURU**

O Sistema Aquífero Bauru comporta-se como unidade hidrogeológica de extensão regional, contínua, livre a semiconfinada, com espessura média de 100 metros, mas podendo alcançar mais de 300 metros. Constituído de pacote de sedimentos cretáceos, assenta-se predominantemente sobre substrato impermeável formado pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral (DAEE, 1974; DAEE, 1976, 1979).

Com base em subdivisão proposta por Paula e Silva (2003), o Sistema Aquífero Bauru foi dividido em unidades hidroestratigráficas representadas pelos aquíferos Caiuá, Santo Anastácio, Birigüi, Adamantina e Marília, e os aquíferos Pirapozinho e Araçatuba (Figura 09).

No estado de São Paulo, o Sistema Aquífero Bauru assenta-se normalmente sobre o embasamento basáltico, de caráter impermeável, fisiografia muito irregular e com caimento geral para sudoeste. Localmente, tem como substratos rochas pertencentes às formações Botucatu e Pirambóia, como nas regiões de Bauru e Agudos (PAULA E SILVA & CAVAGUTI, 1992, 1994).

A superfície piezométrica do Sistema Aquífero Bauru pode ser representada pelos níveis de água mais superficiais do terreno e que acompanham ligeiramente a configuração da superfície topográfica, conforme observado nos estudos realizados pelo DAEE (1976, 1979). Por outro lado, registros de níveis em diferentes unidades aquíferas exploradas podem refletir situações particulares de confinamento, como por exemplo, na região de Presidente Prudente,



onde o Aquífero Santo Anastácio está isolado do Aquífero Adamantina pelo Aquitardo Araçatuba (PAULA E SILVA, 2003).

As vazões obtidas em perfurações no Aquífero Bauru são extremamente variáveis, em virtude da diversidade litofaciológica existente, que coloca em contato lateral e vertical sedimentos com diferentes características de porosidades e permeabilidades (PAULA e SILVA 2003). Esses aspectos foram observados por Vieira (1981) ao destacar que a utilização da expressão “Aquífero Bauru” nem sempre é adequada, já que apresenta mais de um aquífero ou autênticos aquícludes.

O Aquífero Bauru é considerado moderadamente permeável, devido ao teor relativamente alto de material argiloso e siltoso e às intercalações de camadas permeáveis e impermeáveis (DAEE, 1976).

Em estudos pioneiros realizados nas regiões administrativas de Presidente Prudente e Marília, no Estado de São Paulo, o DAEE (1979) distinguiu o Sistema Aquífero Bauru em duas unidades. O Aquífero Bauru Inferior/ Caiuá, abrangendo as formações Caiuá e Santo Anastácio, foi caracterizado como livre e localmente semiconfinado, de porosidade granular, contínuo e homogêneo, com condutividade hidráulica variando entre 1 a 3 m/dia e transmissividade aparente entre 100 e 300 m<sup>2</sup>/dia. O Aquífero Bauru Médio e Superior, representado pelas formações Adamantina e Marília, foi caracterizado como livre a localmente confinado, com porosidade granular, contínuo e heterogêneo, com condutividade hidráulica variando de 0,1 a 0,4 m/dia e transmissividade aparente entre 10 e 50 m<sup>2</sup>/dia.

Na área mais extensa de ocorrência da unidade Bauru, onde predominam sedimentos das formações Marília e Adamantina, o Sistema Aquífero Bauru apresenta vazões variando de 3 a 20 m<sup>3</sup>/h; nas áreas mais restritas, onde predominam os sedimentos da Formação Santo Anastácio, as vazões deste sistema atingem valores mais significativos, variando de 20 a 50 m<sup>3</sup>/h; já na área de ocorrência da Formação Caiuá, as vazões dos poços variam entre 20 a 200 m<sup>3</sup>/h. Este possível zoneamento do potencial exploratório por poços foi destacado pelo DAEE (1990), a partir das espessuras do aquífero e de suas características litológicas.

Barcha (1980) e Barcha *et al.* (1981) destacaram que a produtividade heterogênea deste sistema aquífero é o resultado da combinação da textura, do teor de cimento, da porosidade e da permeabilidade da rocha, muito mais que das condições técnicas e construtivas dos poços.

Porcentagens de silte e argila acima de 10% são suficientes para reduzir a permeabilidade das rochas, tornando-as impermeáveis do ponto de vista prático. De modo semelhante, o cimento carbonático exerce influência sobre a permeabilidade, sendo que,

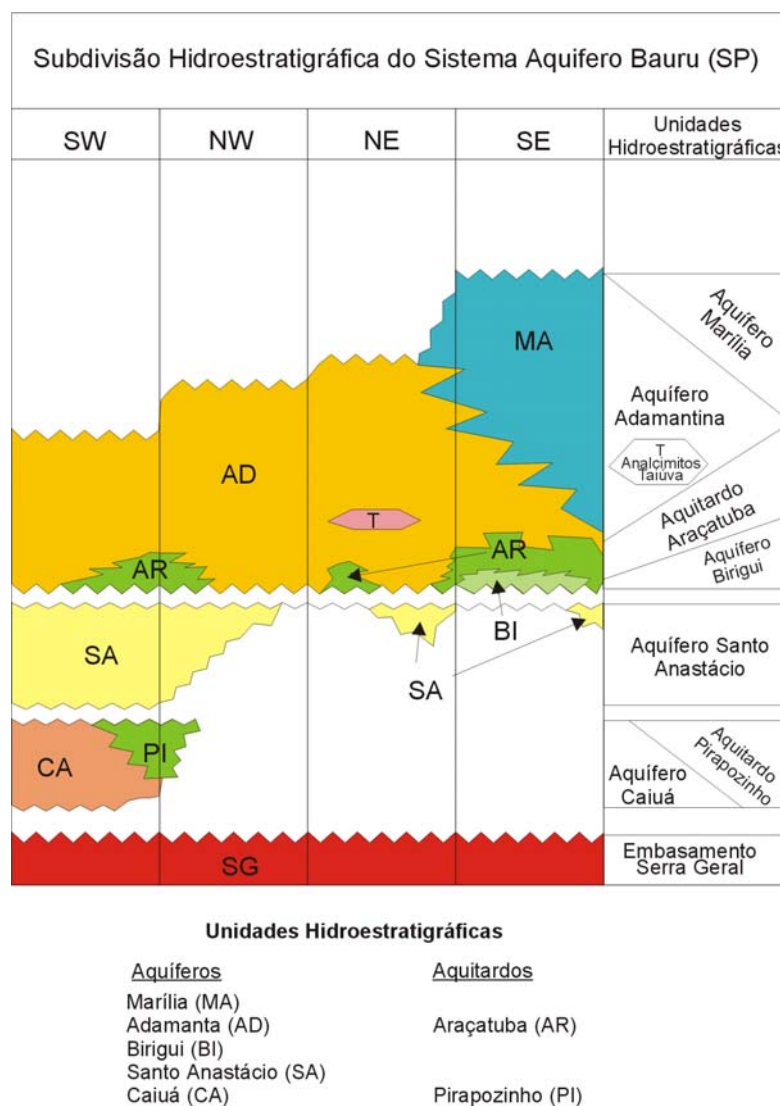
concentrações acima de 10% podem representar uma eficaz barreira à movimentação da água (BARCHA *et al.* 1981). Denson, Shindale e Fenn (1968, *in* Custódio & Llamas, 1983) ressaltam que um teor de apenas 3% de argila montmorilonítica pode reduzir em 50% a permeabilidade de um arenito.

A grande extensão aflorante do Sistema Aquífero Bauru permite recarga direta das precipitações anuais, da ordem de 1.300mm (DAEE, 2000). Com base nas estimativas do DAEE, somente 3% da precipitação, ou seja, 39 mm/ano constituem a reserva explotável do aquífero, correspondente a uma extração de 136 m<sup>3</sup>/s ou o equivalente a 48.960 poços operando continuamente com vazão de 10 m<sup>3</sup>/h (PAULA e SILVA, 2003).

Paula e Silva (2003) e Paula e Silva *et al.* (2006) subdividiu o Sistema Aquífero Bauru em unidades hidroestratigráficas regionais, distinguidas em perfis geofísicos de poços tubulares profundos perfurados para captação de água subterrânea no estado de São Paulo. De acordo com os referidos autores, esta subdivisão hidroestratigráfica, fundamentada na litoestratigrafia de subsuperfície, justifica-se em razão das particularidades litológicas presentes em cada formação, as quais, por sua vez, governam as propriedades hidráulicas dessas unidades; com isso, admitiu uma correspondência entre unidades litoestratigráficas e hidroestratigráficas, na partição do Sistema Aquífero Bauru. Sendo assim, subdividiu o Sistema Aquífero Bauru nos aquíferos Marília, Adamantina, Birigui, Santo Anastácio e Caiuá, e aquíferos Araçatuba e Pirapozinho (Figura 09).

Segundo Paula e Silva (2003) e Paula e Silva *et al.* (2002, 2003), o Aquífero Caiuá e o Aquífero Pirapozinho são representados por sedimentos atribuídos às formações homônimas. As fácies psamíticas e pelíticas compreendem um inter-relacionamento cíclico, que são retratadas respectivamente por pacotes de arenitos depositados em ambiente fluvial, com eventuais interações eólicas, mais proeminentes em direção ao topo da sucessão, e pacotes argilo-siltosos, depositados em ambiente lacustre, aflorando em pequena extensão na região do Pontal do Paranapanema e nas proximidades do Rio Paraná. Estas unidades hidroestratigráficas estão encobertas por unidades aquíferas mais jovens no restante dos 31.000km<sup>2</sup> de sua área de ocorrência.

O Aquífero Caiuá é considerado de extensão regional livre a semiconfinada e contínuo. Condições de semiconfinamento são observadas nas porções onde a Formação Pirapozinho intercala-se com a Formação Caiuá, ou onde esta última encontra-se encimada por outras unidades aquíferas do Sistema Bauru. O inter-relacionamento entre fácies arenosas e fácies pelíticas, observado nos perfis geofísicos, torna o aquífero Caiuá heterogêneo e anisotrópico (PAULA e SILVA, 2003).



**Figura 09:** Subdivisão hidroestratigráfica do Sistema Aquífero Bauru (PAULA e SILVA, 2003).

O Aquífero Santo Anastácio possui área de afloramentos que se estende em estreita faixa paralela ao rio Paraná, mas em subsuperfície avança na direção oriental até os limites do Alto de Tanabi, e sobre as regiões que constituem o Alto de Paraguaçu Paulista e a Depressão de Rio Preto, com uma área de aproximadamente 67.000 km<sup>2</sup>. É representado pelos sedimentos preponderadamente arenosos da formação homônima, depositados por um sistema fluvial entrelaçado, com variações para meandrante, geralmente com raras intercalações pelíticas (PAULA e SILVA, 2003).

O Aquífero Santo Anastácio foi considerado de extensão regional, livre a semiconfinado e contínuo. Este aquífero possui condições de semiconfinamento nas porções onde está recoberto pelo Aquitardo Araçatuba ou camadas pelíticas atribuídas ao Aquífero

Adamantina. O melhor potencial hídrico exploratório do Aquífero Santo Anastácio, a exemplo do Aquífero Caiuá, ocorre na região sudoeste paulista (PAULA e SILVA, 2003).

O Aquífero Birigui é representado por sedimentos arenosos de granulometria desde fina até conglomerática, depositadas em ambientes fluvial de elevada energia, do tipo entrelaçado, atribuído à Formação Birigui (PAULA e SILVA, 2003). Este aquífero é considerado como de extensão local, confinado e contínuo, com variações em suas características granulométricas, conferindo, assim, heterogeneidade e anisotropia aos parâmetros hidrodinâmicos desta unidade hidroestratigráfica. O melhor potencial hídrico concentra-se em faixa alongada na região central, onde ocorre esta unidade hidroestratigráfica.

Ocupando uma área de aproximadamente 54.600 km<sup>2</sup> do estado de São Paulo, o Aquífero Araçatuba constitui uma barreira de permeabilidade negativa que isola as unidades hidroestratigráficas subjacentes. Na região sudoeste, isola os aquíferos Caiuá e Santo Anastácio; na região central da bacia confina os sedimentos do Aquífero Birigui; nas demais áreas, assenta-se sobre o embasamento basáltico ou cobre esporadicamente o Aquífero Santo Anastácio (PAULA e SILVA, 2003).

O Aquífero Adamantina ocorre extensivamente em superfície, ocupando uma área de aproximadamente 99.600 km<sup>2</sup>, estando coberto apenas localmente pela Formação Marília e ausente, por erosão, no extremo sudoeste paulista. Os depósitos arenosos em *fining upward* com terminações em pelitos, indicativos de sedimentação em canais fluviais meandrantés, são característicos deste aquífero considerado de extensão regional, livre a semiconfinado e contínuo. O semiconfinamento é decorrente principalmente das variações de permeabilidade dos sedimentos, em função de maior ou menor teor de argila da matriz, ou de camadas pelíticas que se intercalam aos corpos arenosos (PAULA e SILVA, 2003).

O Aquífero Marília com área de aproximadamente 15.000 km<sup>2</sup>, situa-se na porção centro-oriental da bacia, entre os rios Tietê e Paranapanema. É representado por sucessão bastante homogênea, predominantemente arenosa, de granulometria fina a grossa, com baixo conteúdo argiloso, intercalações delgadas de material pelítico e zonas bastantes carbonáticas, sendo considerado de extensão regional, livre a semiconfinado e contínuo. Frequentemente, nesta sucessão, há formação de aquíferos suspensos nas zonas de alteração superficiais da unidade, devido à presença de estratos subjacentes, relativamente impermeáveis, isolando o corpo aquoso principal (PAULA e SILVA, 2003).

## 4.2 - HIDROGEOQUÍMICA

Segundo Rocha *et al.* (1979), no Sistema Aquífero Bauru predominam dois grupos hidrogeoquímicos. Um grupo constituído por águas fortemente bicarbonatadas cálcicas e calcomagnesianas, e outro por águas fracamente bicarbonatadas calco-magnesianas.

Rocha *et al.* (1982), sugeriram uma subdivisão no sistema aquífero Bauru em duas unidades hidrogeológicas distintas, em função das diferentes litofácies, geomorfologia e parâmetros hidráulicos e hidroquímicos. A unidade I corresponderia à área de ocorrência das formações Marília e Adamantina. A unidade II seria formada pelas formações Santo Anastácio e Caiuá. A unidade I apresentou águas relativamente mais salinizadas, fortemente bicarbonatadas cálcicas, potencialmente incrustantes ou corrosivas. A unidade II mostrou águas com teores salinos muito baixos, com características bicarbonatadas calco-magnesianas e potencialmente corrosivas.

O processo de incrustação em poços tubulares profundos pode ser definido como a deposição de materiais, mais ou menos aderentes, nas diversas partes constituintes da captação, enquanto a corrosão representa um conjunto de reações químicas que conduzem à destruição dos materiais por desagregação ou solubilização, que pode ser auxiliado pela ação de microorganismos (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1996). Os materiais das incrustações são constituídos principalmente por carbonatos de cálcio, acompanhados de silicato de alumínio, sulfato de ferro e outros materiais dissolvidos nas águas dos aquíferos. A corrosão está relacionada à presença de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , ácidos orgânicos e  $\text{FeSO}_4$  na água.

Estudos hidrogeoquímicos do Grupo Bauru no Estado de São Paulo, realizados por Campos (1987), concluíram que suas águas apresentam-se em dois tipos dominantes: águas bicarbonatos cálcicas e cálcico magnesianas. As águas do Aquífero Caiuá, ao contrário das demais unidades aquíferas do Grupo Bauru, apresentam salinidade mais baixa e são fracamente bicarbonatadas. Os principais íons responsáveis pelo processo de enriquecimento salino das águas subterrâneas da unidade são  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  e apresentam baixa salinidade, que varia em geral de 100 a 200 mg/L.

Segundo Coelho (1996), as águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru são classificadas como fracamente mineralizadas, predominando as bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas e eventualmente as bicarbonatadas sódicas, com condutividade elétrica inferior a 360  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Nos estudos hidroquímicos realizados por Coelho (1996), verificou-se que o pH das águas amostradas variou entre 5,84 e 10,05; as alcalinidades variaram de 54,9 a 311,1 mg/L.

Em Marília e Tupã, os teores de cálcio e de magnésio encontrados foram mais elevados que no restante da área. O teor de cálcio na região de Marília situou-se entre 10,4 e 36,3 mg/L e em Tupã, entre 11,7 e 19,5 mg/L; o potássio apareceu em pequenos teores, tanto em Marília quando em Tupã, entre 0,3 e 3,1 mg/L e 0,1 e 4,1 mg/L, respectivamente; o sódio apresentou maior quantidade na região de Marília (valores entre 16,0 e 73,3 mg/L). Os teores de metais encontrados foram baixos, dentro dos padrões estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde – OMS.

Nas regiões norte e noroeste do Paraná, estudadas por Celligoi & Duarte (1998 e 2002), as águas subterrâneas do Aquífero Caiuá foram classificadas como bicarbonatadas cálcicas ou cálcio-magnesianas e raramente sódicas. Os valores médios dos íons principais demonstraram que as águas pertencentes a este aquífero são menos mineralizadas que as águas do Aquífero Serra Geral. Celligoi & Duarte (2002) também verificaram que os diferentes parâmetros químicos demonstraram variações algumas vezes significativas de uma área para outra, devido à variação litológica.

Em aquíferos pouco profundos, como ocorre com o Sistema Aquífero Bauru, a susceptibilidade à contaminação por nitratos é elevada, principalmente em regiões com maior densidade demográfica. No município de São José de Rio Preto, Castro *et al.* (1992), observaram em algumas amostras coletadas em poços tubulares, altos teores de nitrato, tornando as águas não potáveis. Barcha (1992) observou teores de nitrato acima dos limites máximos recomendados pela OMS em águas do Grupo Bauru destinadas ao abastecimento público dos municípios de São José do Rio Preto, Catanduva e Mirassol, principalmente nas áreas centrais dessas cidades.

As águas do Aquífero Bauru, segundo Barison (2003), são predominantemente bicarbonatadas cálcicas e calco-magnesianas. Na Formação Adamantina, as águas foram classificadas principalmente como bicarbonatadas cálcicas e calco-magnesianas, e em menor proporção, em bicarbonatadas sódicas. As formações Marília e Santo Anastácio apresentaram águas bicarbonatadas cálcicas e calco-magnesianas. Na Formação Caiuá foram encontradas águas calco-magnesianas e sódicas. Barison (2003) também encontrou, em algumas amostras de águas, elevados teores de nitratos que podem estar associados à contaminação.

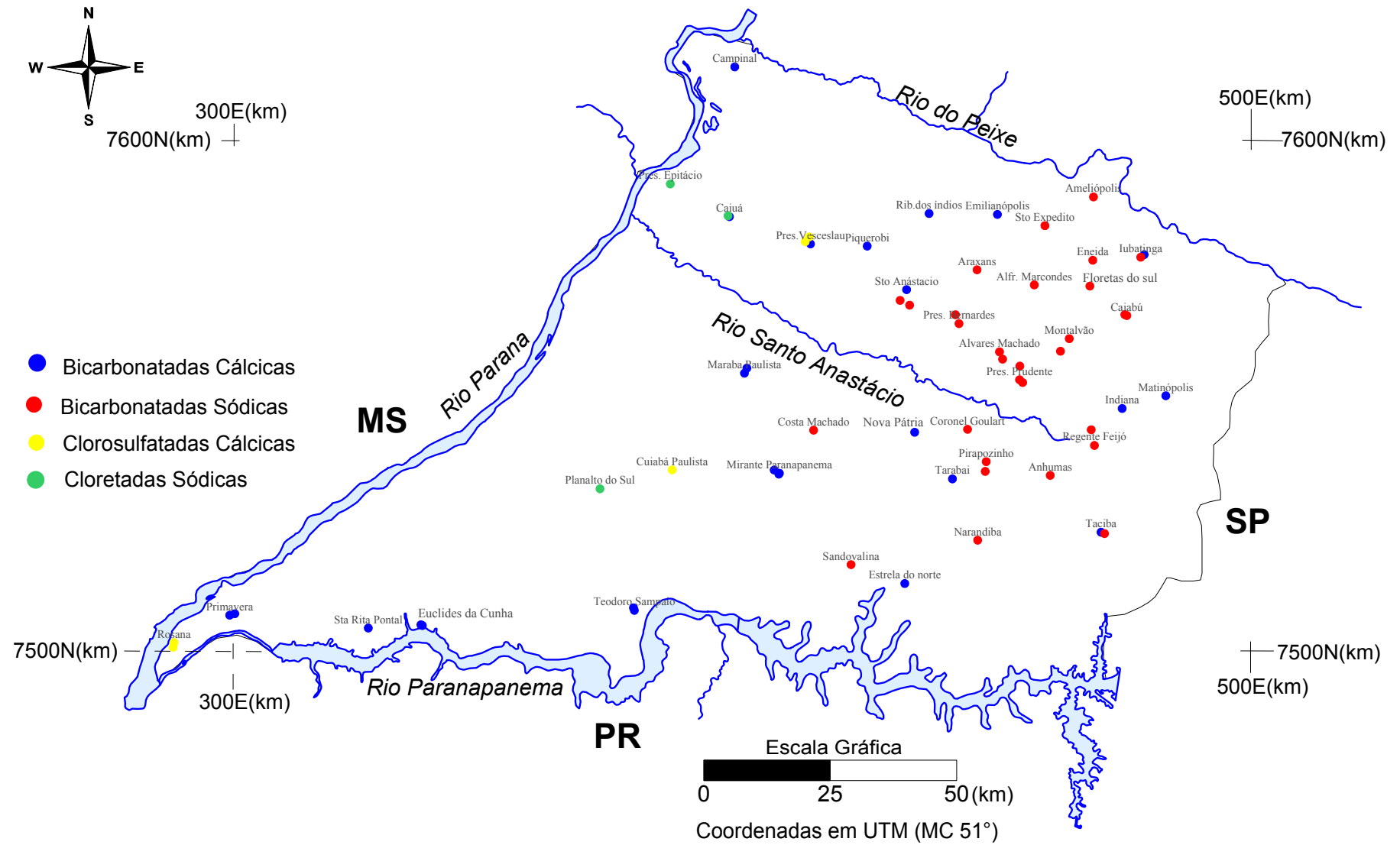
## **5 - HIDROQUÍMICA**

### **5.1 - CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

Para a classificação das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru foram utilizadas 66 amostras (Anexo 1), distribuídas na área de pesquisa conforme o mapa da figura 10 e anexo 2. A classificação hidroquímica foi feita com auxílio do diagrama de Piper (Figura 11), admitindo-se valor zero para íons que ficaram com teor abaixo do limite de detecção do método de análise empregado.

Conforme o diagrama da figura 11, as águas predominantes na área de pesquisa são as bicarbonatadas sódicas (47%) e bicarbonatadas cálcicas (40%); secundariamente, aparecem as clorosulfatadas cálcicas e as cloretadas sódicas, respectivamente em 8% e 5% das amostras.

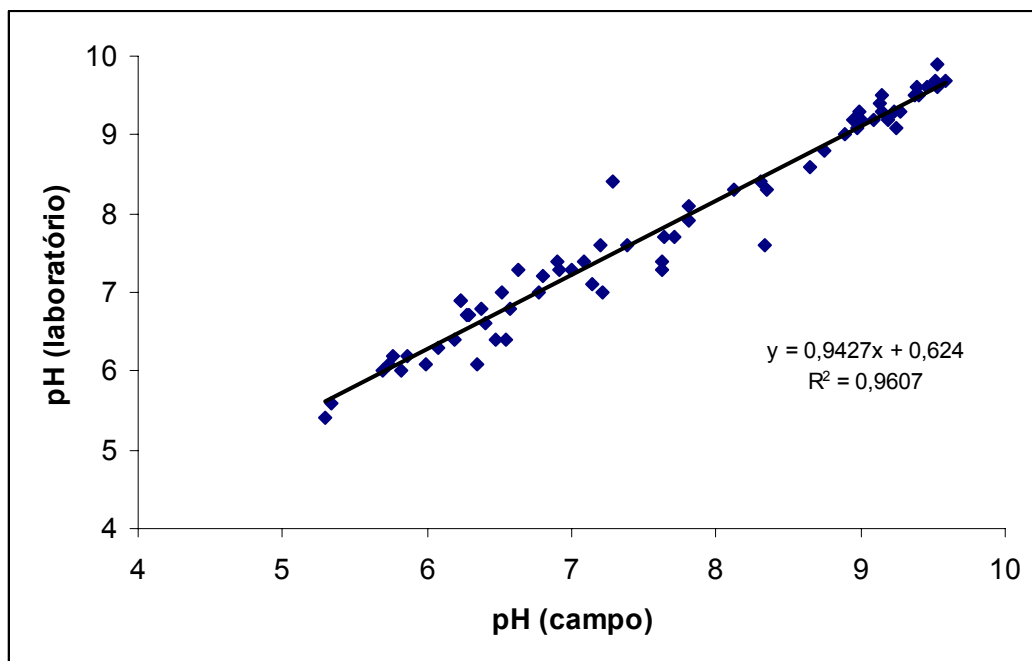
As águas bicarbonatadas sódicas concentram-se na porção leste, nordeste e central da área, enquanto as bicarbonatadas cálcicas distribuem-se por toda a área, com discreto predomínio na porção central (Figura 10). Os demais tipos hidroquímicos ocorrem nas porções ocidentais da área.



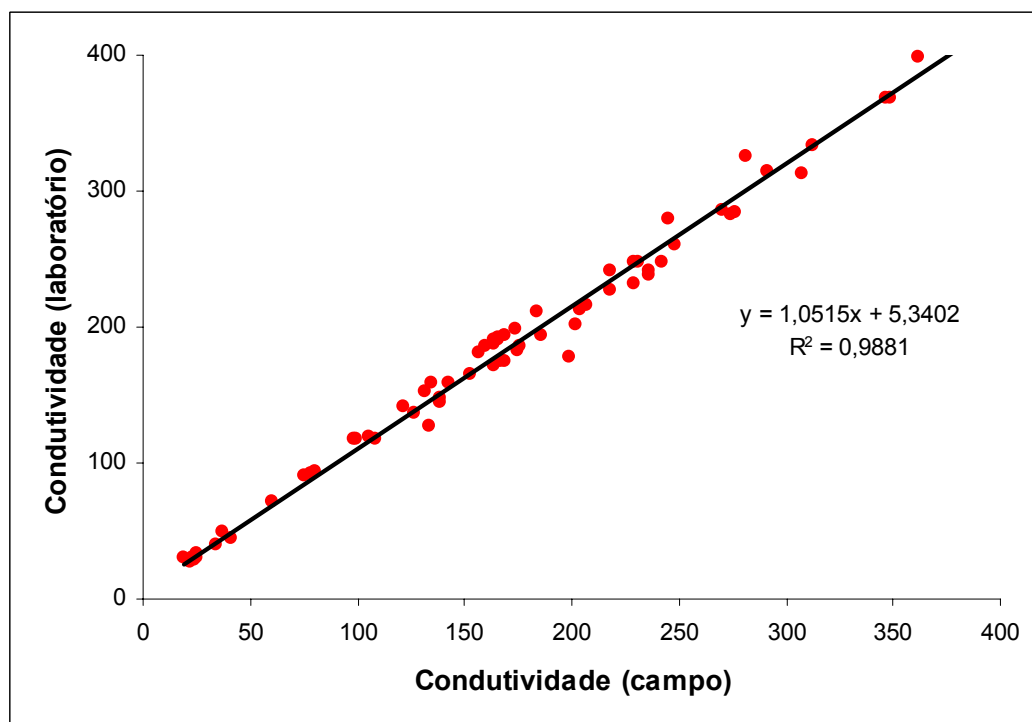
**Figura 10:** Distribuição dos tipos hidroquímicos na área de estudo.







**Figura 12:** Relação entre valores de pH de campo e de laboratório das amostras de águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru.



**Figura 13:** Relação entre valores de condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) de campo e de laboratório das amostras de águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru.

A tabela 01 apresenta um resumo de dados estatísticos de parâmetros físico-químicos analisados de amostras de água do Sistema Aquífero Bauru. Alguns parâmetros, como o sulfato ( $\text{SO}_4$ ), não foram reportados em razão de apresentarem valores abaixo do limite de detecção do método de análise empregado (Anexo 1).

**Tabela 01** - Dados estatísticos de parâmetros físico-químicos analisados de amostras de água do Sistema Aquífero Bauru.

	N AMOSTRAS	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESV. P
CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	64	182,63	26,50	399,00	91,76
pH	64	7,80	5,40	9,90	1,30
Na (mg/L)	64	24,44	0,89	74,60	22,84
K (mg/L)	64	2,43	0,08	10,60	2,22
Ca (mg/L)	64	9,16	0,16	41,20	8,91
Mg (mg/L)	64	2,63	0,05	13,10	2,91
Fe (mg/L)	19	0,15	0,01	2,70	0,62
Alc. Tot. (mg/L)	64	90,92	3,00	265,00	58,57
$\text{HCO}_3$ (mg/L)	64	83,05	3,00	265,00	53,88
$\text{CO}_3$ (mg/L)	22	22,88	3,80	52,70	12,60
Cl (mg/L)	38	6,86	3,00	22,80	4,30
$\text{NO}_3$ (mg/L)	63	11,68	0,12	139,00	23,24
F (mg/L)	64	0,16	0,03	0,54	0,11
$\text{SiO}_2$ (mg/L)	64	34,82	16,69	68,46	10,73
Ba (mg/L)	64	0,19	0,01	1,10	0,24
Sr (mg/L)	64	0,23	0,01	2,40	0,38
Al (mg/L)	46	0,03	0,00	0,08	0,02
Zn (mg/L)	51	0,12	0,01	0,63	0,14
Cr (mg/L)	38	0,03	0,00	0,08	0,02

## 5.2 - ANÁLISE DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Os principais parâmetros físico-químicos considerados neste estudo foram analisados em termos de valores máximos, médios e mínimos, e de distribuição espacial com auxílio de mapas de isovalores gerados pelo programa *Surfer* 8.0. O método geoestatístico utilizado para a confecção dos mapas de isovalores foi a krigagem. As concentrações iônicas e de sólidos totais dissolvidos foram expressas em mg/L, e a condutividade elétrica em  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Foram utilizadas 66 amostras de águas subterrâneas do Aquífero Bauru, coletadas de poços profundos utilizados para abastecimento público. As amostras são provenientes da

mistura de águas de mais de uma unidade hidroestratigráfica. Para confecção do mapa de isovalores de teores de nitrato foram usadas apenas 62 amostras; as amostras 26, 28, 37 e 38 foram descartadas por apresentarem teores extremamente elevados, provavelmente devido a contaminações antrópicas. As amostras 10 e 40 não foram incluídas na análise, pois são representativas do Aquífero Serra Geral.

O pH médio das amostras foi de 7,80, sendo que o maior valor registrado foi de 9,9 no município de Alfredo Marcondes.

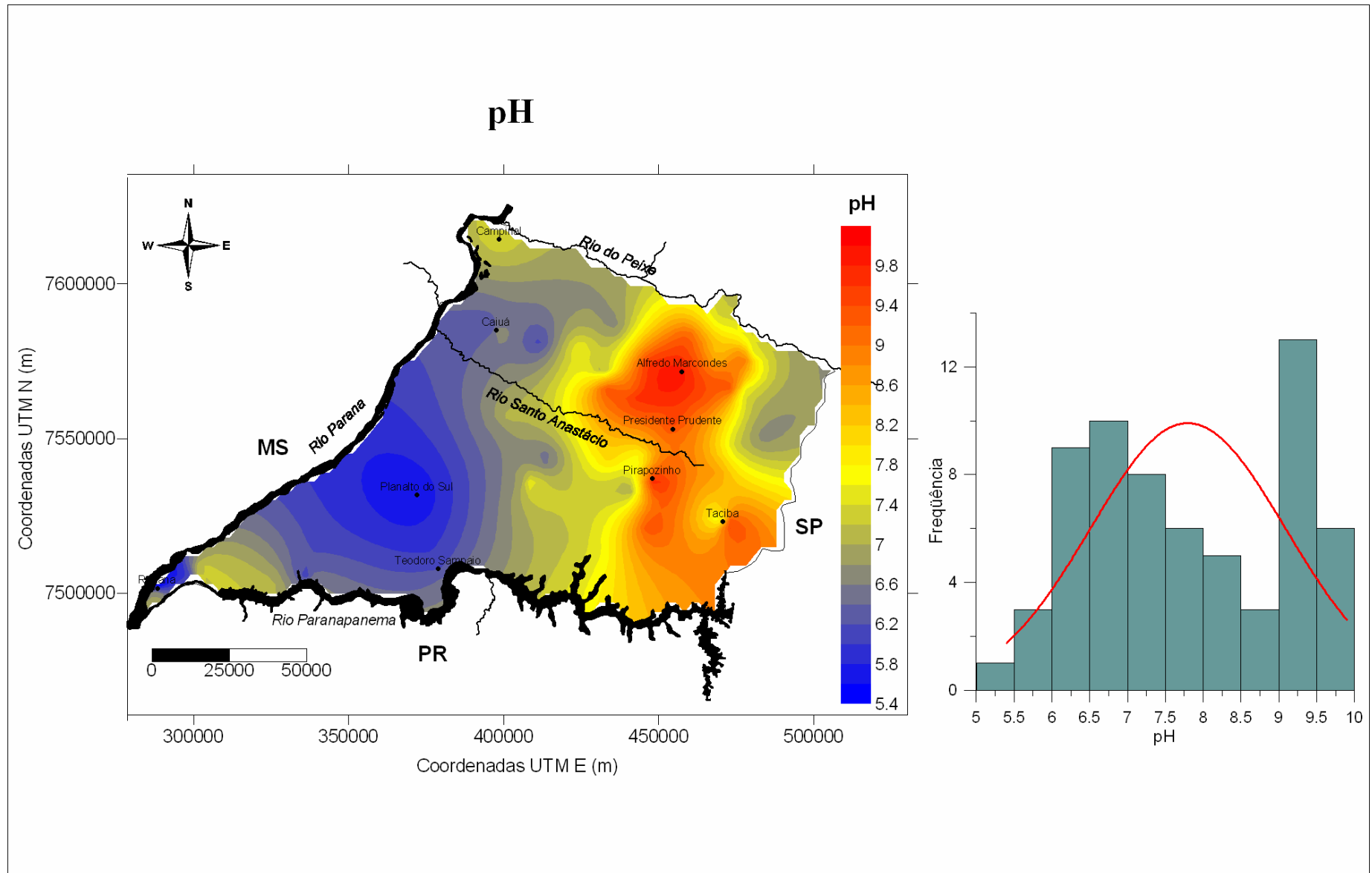
O mapa de isovalores de pH mostra que os maiores valores estão localizados na borda leste e em direção ao centro da área estudada; já os menores valores situam-se na porção sudoeste da área, com discreto aumento de valor próximo ao município de Rosana (Figura 14).

O valor médio registrado de condutividade elétrica foi de 182,63  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; os maiores valores encontrados foram nos municípios de Eneida (399 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), Taciba (369 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), Emilianópolis (368 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), Santo Expedito (334 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), Presidente Prudente (314 e 312 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), e no distrito Iubatinga (325 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Os maiores valores de condutividade elétrica estão distribuídos na porção sudeste e norte, seguindo em direção ao centro da área (Figura 15); estas águas contêm salinidades relativas maiores, conforme observado nos diagramas de Stiff (Anexo 5). Os menores valores estão situados na região oeste, excetuando-se pequeno aumento verificado no município de Rosana (Figura 15).

Os isovalores de sólidos totais dissolvidos (STD) distribuem-se de forma semelhante aos de condutividade elétrica, em razão da relação direta entre estes parâmetros (Figura 16). Os maiores valores de STD estão localizados na borda sudeste e norte, seguindo em direção ao centro, e os menores, na porção oeste da área. O valor médio encontrado neste estudo foi de 162,42mg/L, sendo que os maiores valores foram registrados nos municípios de Emilianópolis (391mg/L), Eneida (377mg/L) e Taciba (295mg/L), e no distrito de Iubatinga (308mg/L).

O valor médio de cálcio encontrado na área foi de 9,16mg/L, e os maiores valores foram observados no município de Emilianópolis e no distrito Iubatinga, cujos teores foram, respectivamente, de 41,2 e 34,2mg/L. O mapa de isovalores de cálcio (Figura 17) mostra que os maiores teores estão concentrados na borda norte e nordeste da área, com alguns pontos isolados na porção central da área. Os menores valores de cálcio estão situados na porção oeste, onde o município de Caiuá e o distrito de Planalto do Sul apresentam os menores teores, respectivamente, de 0,16 e 0,17 mg/L.



**Figura 14:** Mapa de isovalores de pH do Sistema Aquífero Bauru no sudoeste do Estado de São Paulo

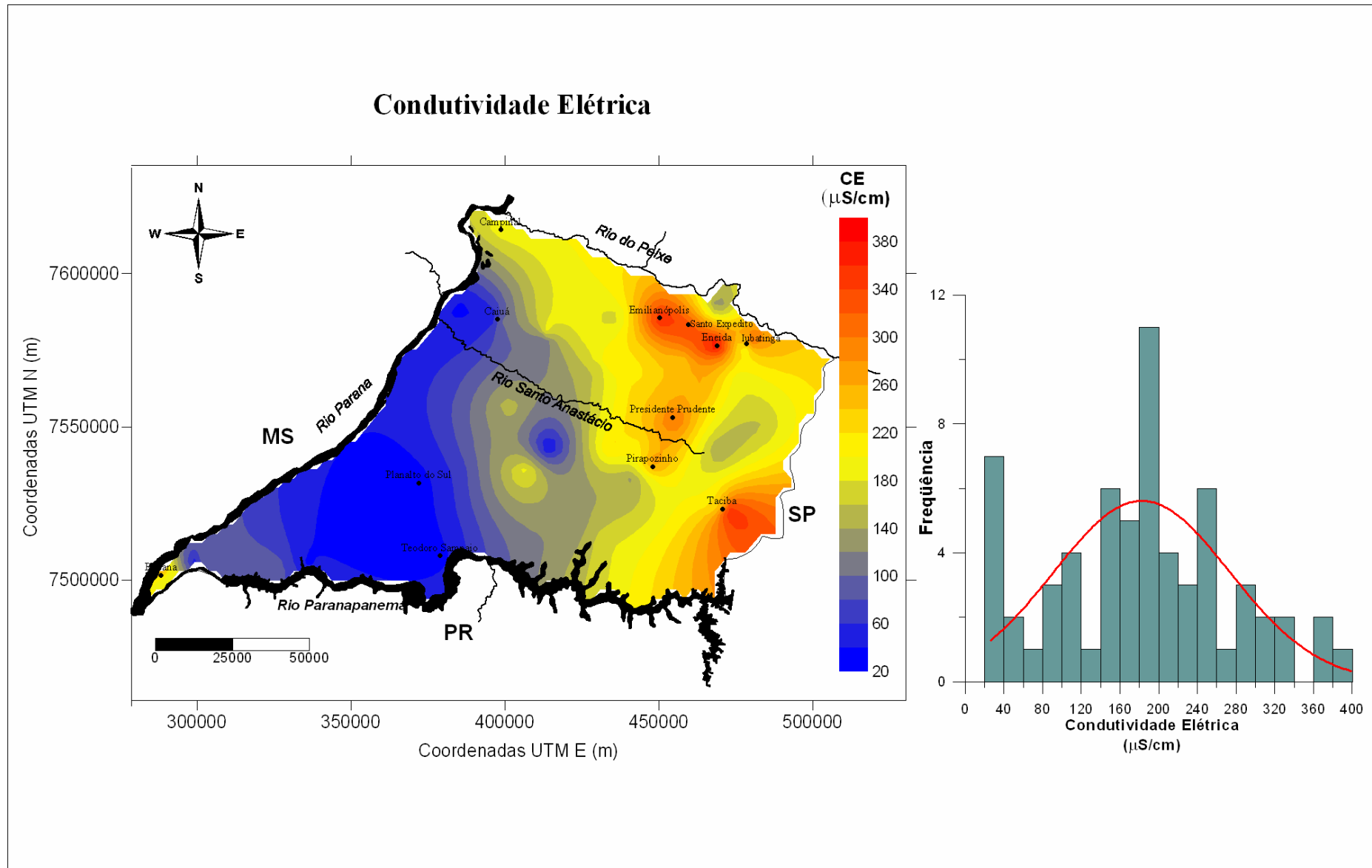
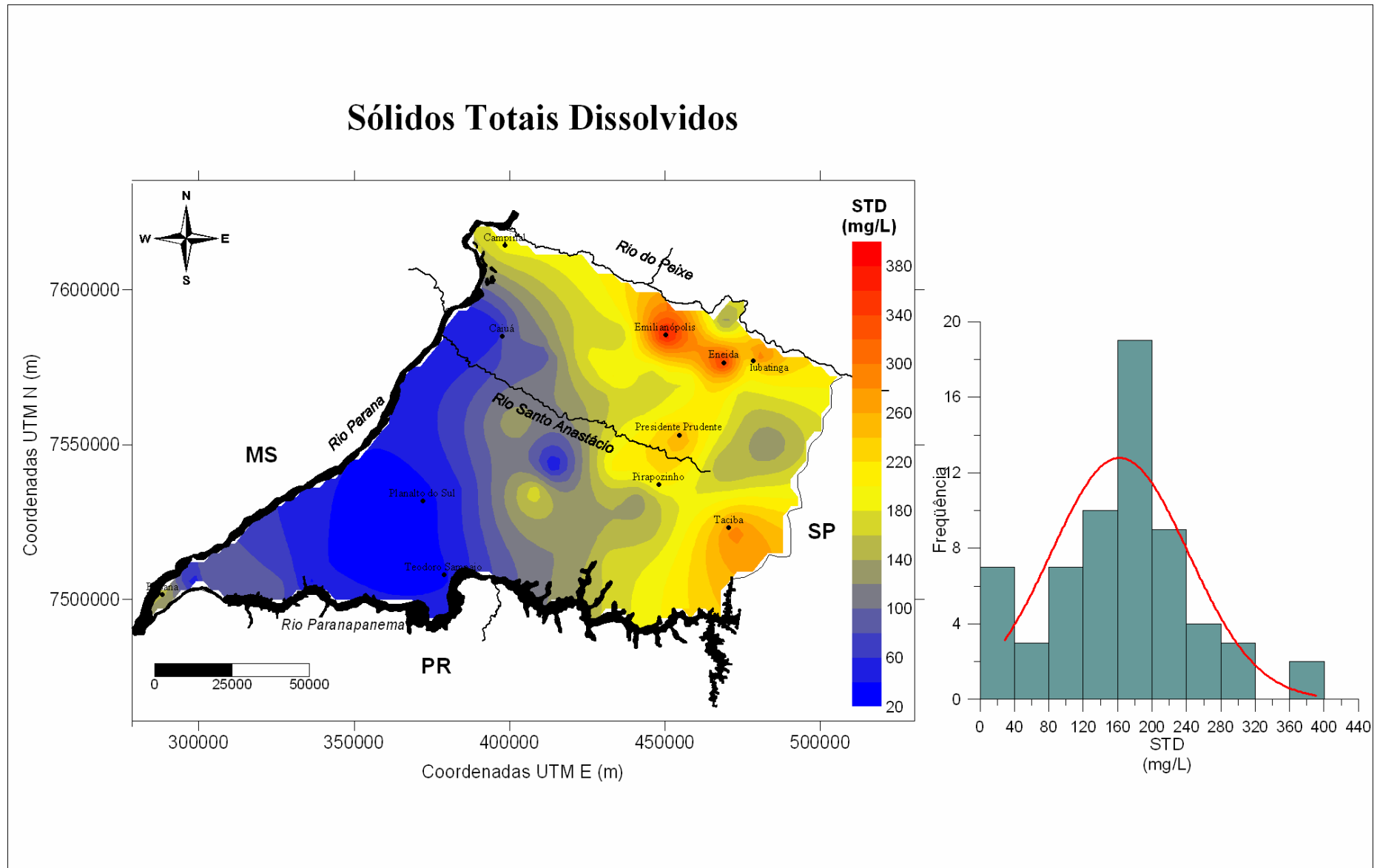


Figura 15: Mapa de isovalores de Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S/cm}$ ) do Sistema Aquífero Bauru no sudoeste do Estado de São Paulo



**Figura 16:** Mapa de isovalores de Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L) do Sistema Aquífero Bauru no sudoeste do Estado de São Paulo

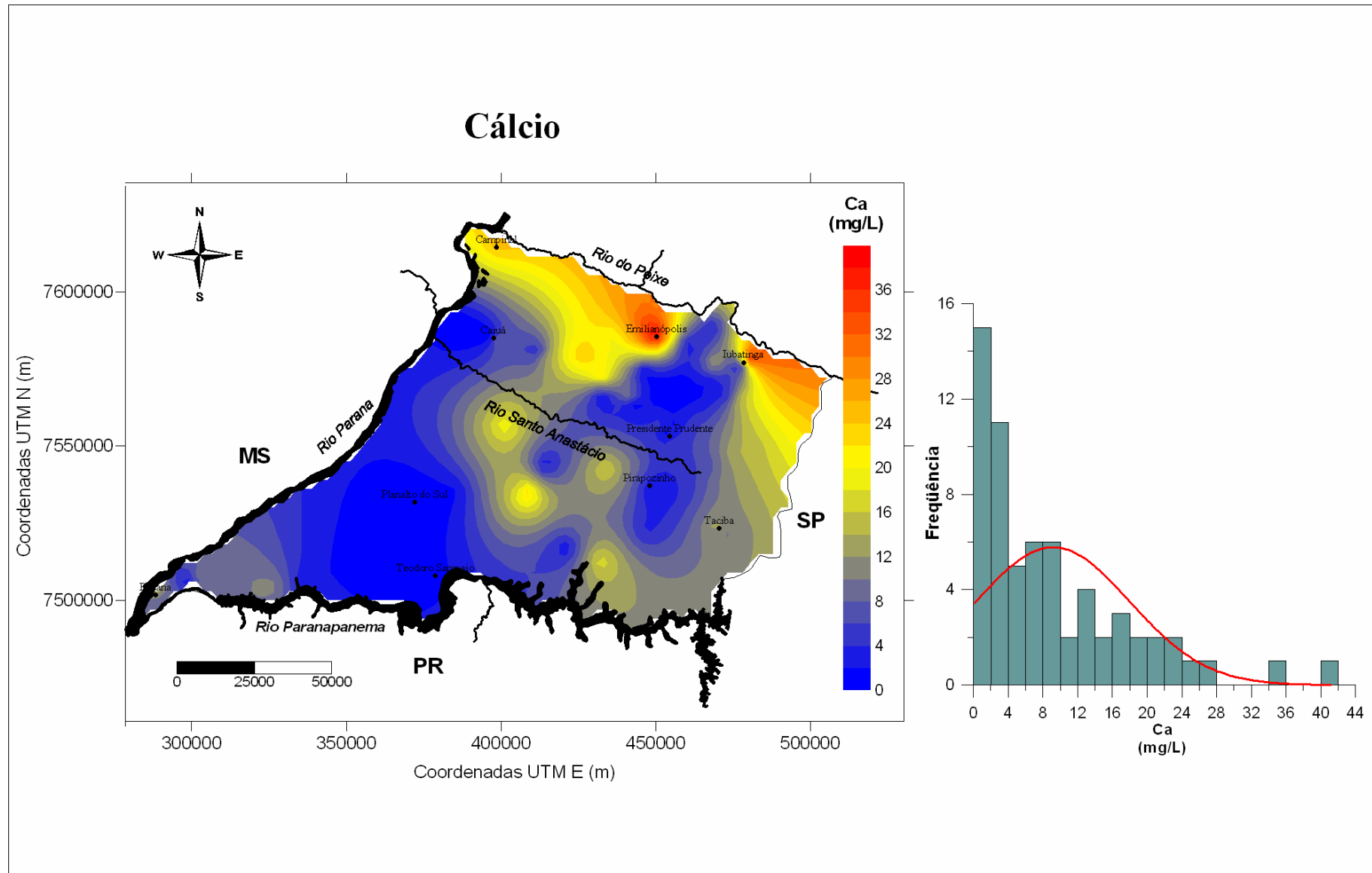


Figura 17: Mapa de isovalores de Cálcio (mg/L) do Sistema Aquífero Bauru no sudoeste do Estado de São Paulo.



A distribuição dos teores de magnésio é semelhante à do cálcio, sendo que os maiores valores estão localizados na parte norte e nordeste da área (Figura 18). O valor médio de magnésio encontrado foi de 2,63mg/L.

Os maiores valores de magnésio encontrados foram de 13,1, 12,6 e 10,9mg/L, respectivamente, no distrito de Iubatinga e municípios Emilianópolis e Taciba. O menor teor foi de 0,053mg/L, encontrado no município de Alfredo Marcondes.

O mapa de isovalores de sódio (Figura 19) mostra maiores teores na região nordeste e menores na região sudoeste da área pesquisada. O valor médio encontrado foi de 24,44mg/L. O maior valor, de 74,6mg/L, foi observado no município de Presidente Prudente, enquanto o menor valor, de 0,89mg/L, foi registrado no município de Euclides da Cunha Paulista.

O valor médio de potássio observado neste estudo foi de 2,43mg/L, e os maiores valores foram observados nos municípios de Rosana (10,6 mg/L) e de Presidente Venceslau (8,9mg/L). O menor teor deste elemento foi de 0,083mg/L, observado no distrito de Araxãs. No mapa de isovalores de potássio (Figura 20), os maiores teores estão concentrados na porção noroeste e centro-oeste da área, enquanto nas porções sudoeste e centro-leste concentram-se os menores teores.

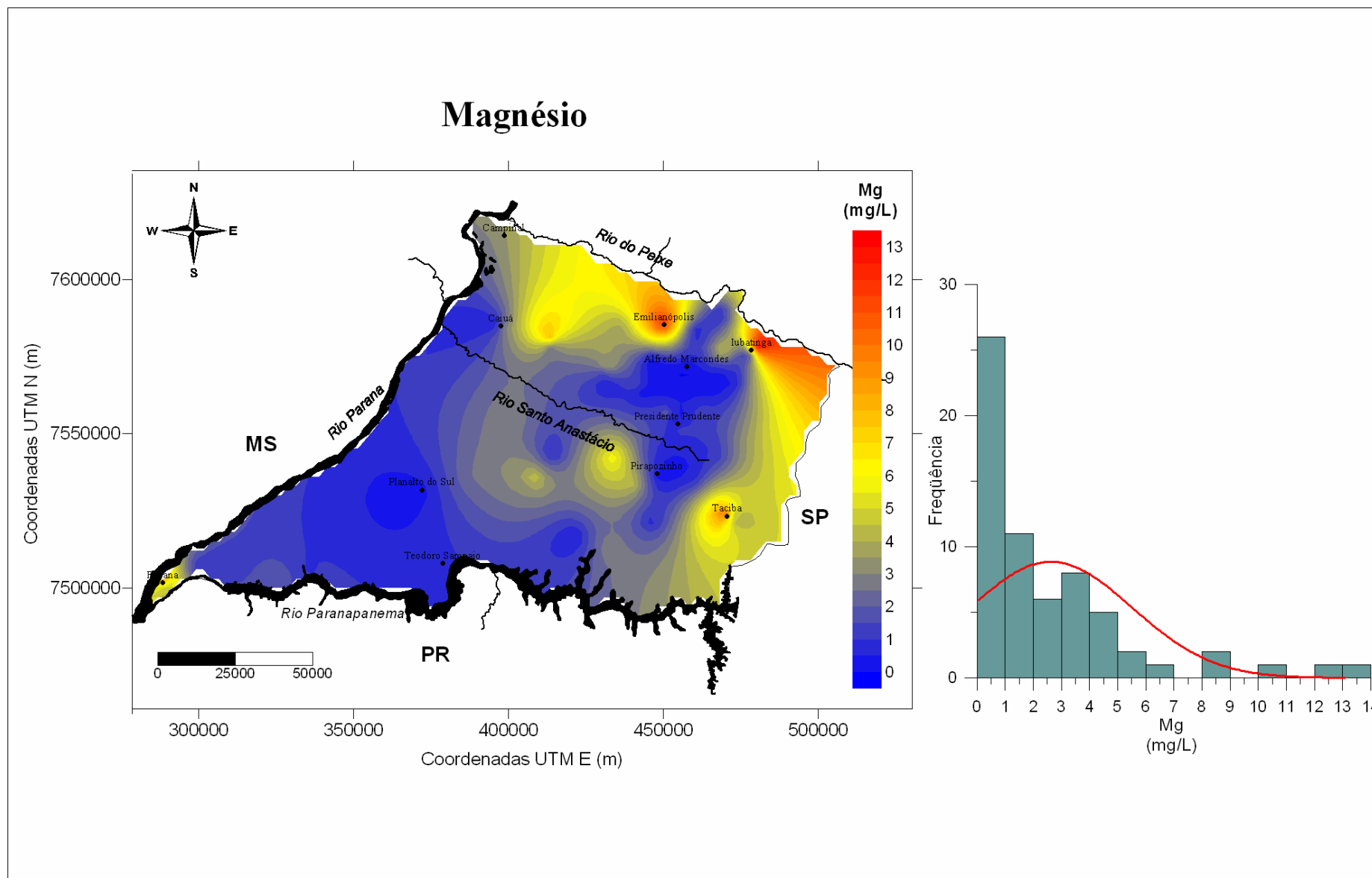
As águas do Sistema Aquífero Bauru, na área pesquisada, apresentam valor médio de 83,05 mg/L para alcalinidade ( $\text{HCO}_3$ ).

No mapa de isovalores de  $\text{HCO}_3$  (Figura 21), os maiores teores localizam-se nas porções nordeste e sudeste da área, com valores de 265, 210 e 192mg/L, respectivamente, para as localidades de Eneida, Iubatinga e Emilianópolis. Os menores valores, por sua vez, situam-se nas porções oeste e sudoeste da área, com destaque para amostra de água coletada no município de Rosana, cujo valor observado foi de 3mg/L. Nota-se que nas áreas onde há aumento do pH a alcalinidade também tendem ter valores maiores, isso é de se esperar, uma vez que, as águas mais alcalinas possuem maiores concentrações do íon  $\text{HCO}_3$ .

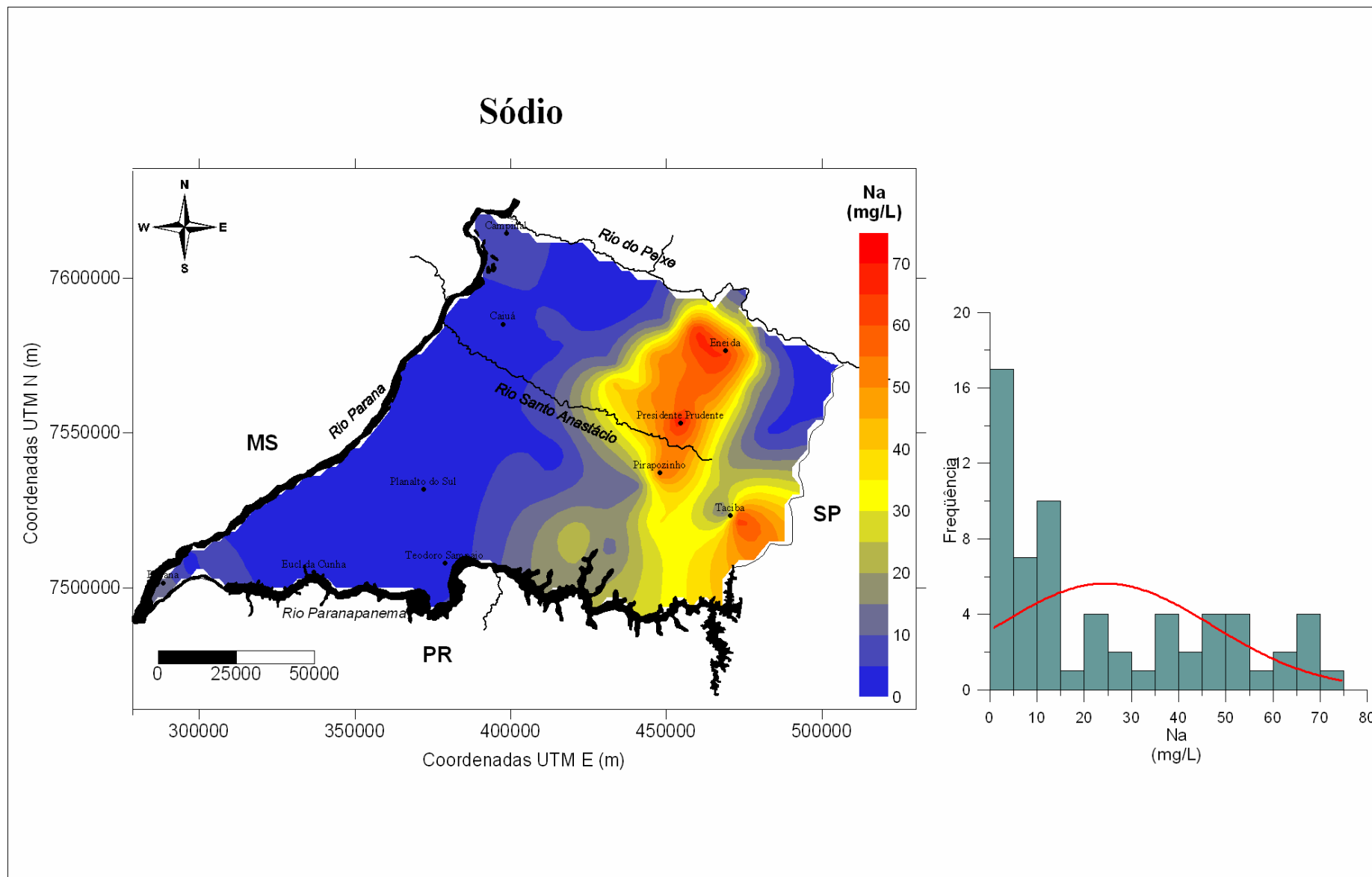
As águas amostradas nesta pesquisa apresentaram teor médio de 6,86mg/L de cloreto.

A distribuição de teores de cloreto mostra maiores concentrações nas porções nordeste, extremo sudoeste e noroeste, e menores concentrações na parte central da área de estudo (Figura 22). Os maiores valores foram registrados nos municípios de Rosana (22,80mg/L), Martinópolis (19,70mg/L) e Presidente Venceslau (16,70mg/L).

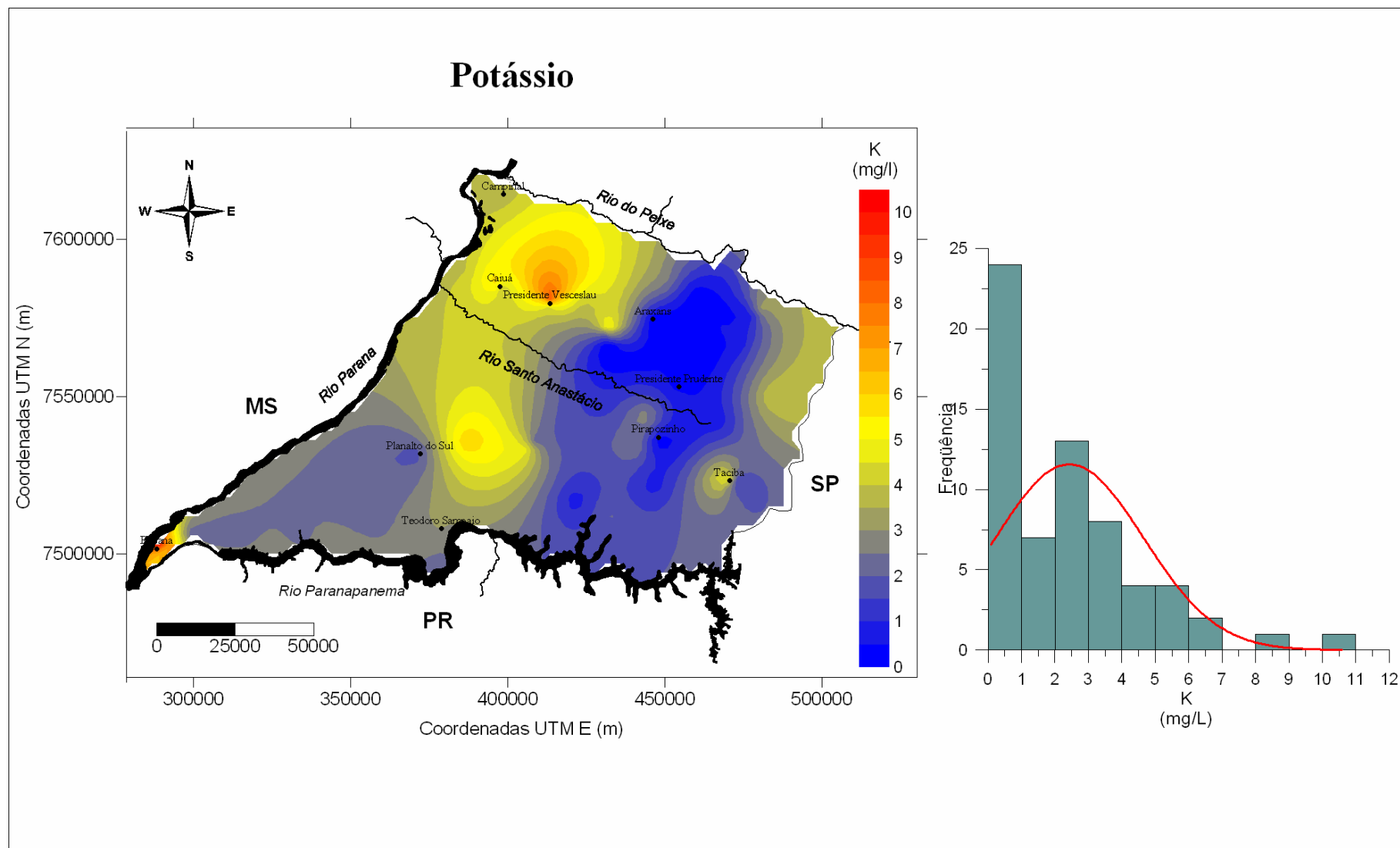
O teor médio de nitrato encontrado foi de 11,68mg/L. O mapa de isovalores de nitrato mostra concentrações anômalas em pontos isolados nas porções central, extremos sudoeste, noroeste e leste da área estudada (Figura 23).



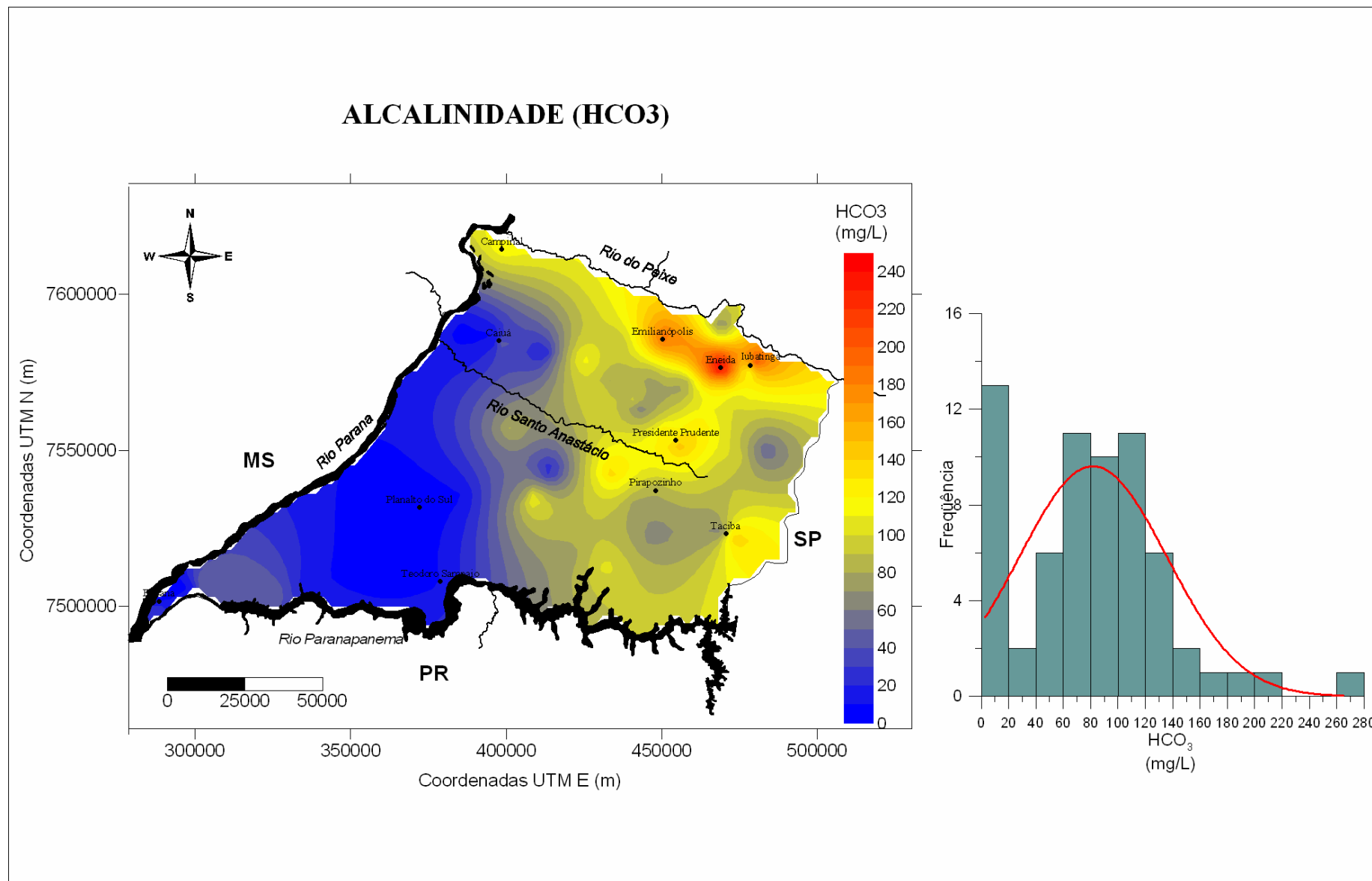
**Figura 18:** Mapa de isovalores de Magnésio (mg/L) do Sistema Aquífero Bauru no sudoeste do Estado de São Paulo



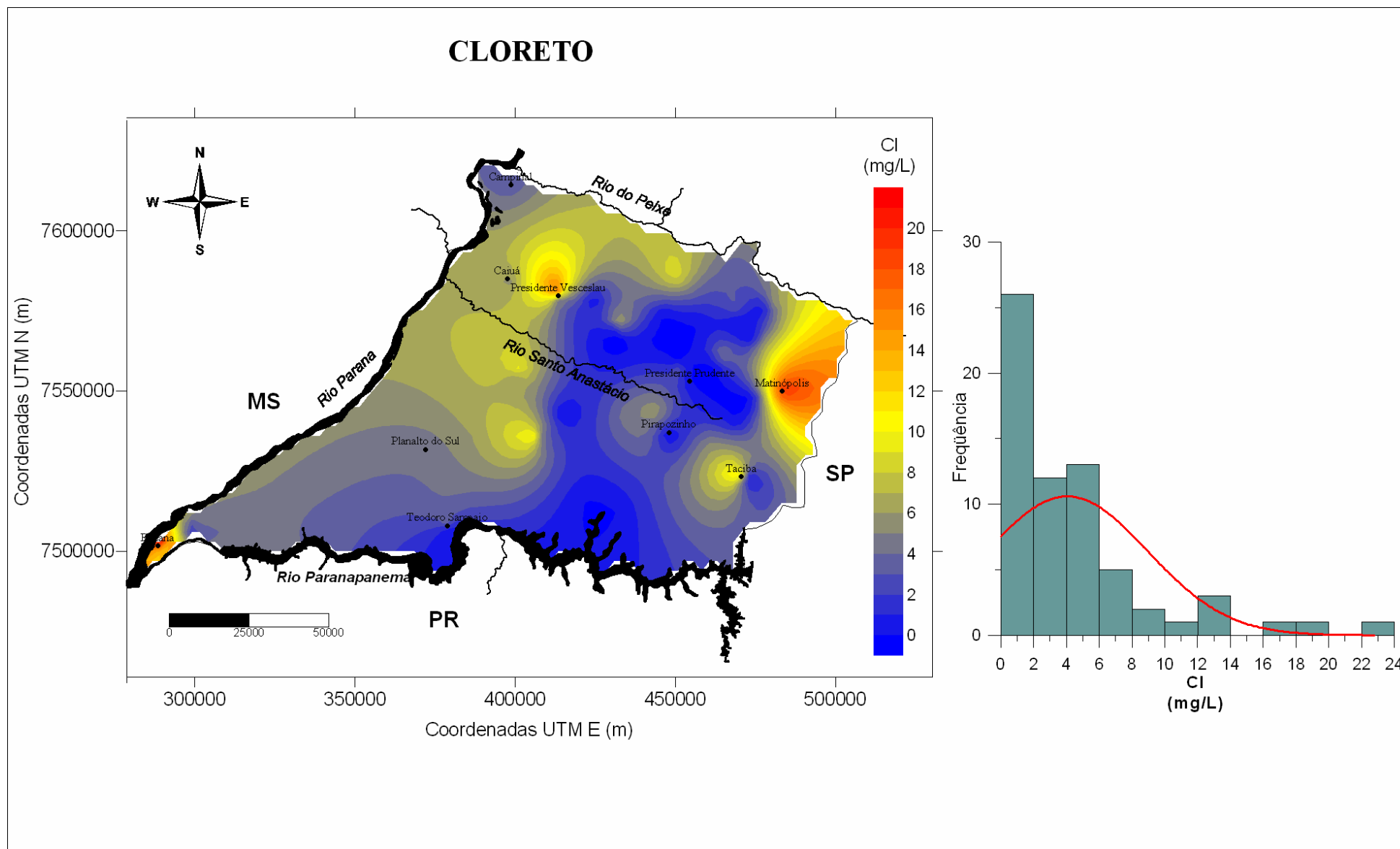
**Figura 19:** Mapa de isovalores de Sódio (mg/L) do Sistema Aquífero Bauru no sudoeste do Estado de São Paulo



**Figura 20:** Mapa de isovalores de Potássio (mg/L) do Sistema Aquífero Bauru no sudoeste do Estado de São Paulo.



**Figura 21:** Mapa de isovalores de Alcalinidade (mg/L) do Sistema Aquífero Bauru no sudoeste do Estado de São Paulo



**Figura 22:** Mapa de isovalores de Cloreto (mg/L) do Sistema Aquífero Bauru no sudoeste do Estado de São Paulo

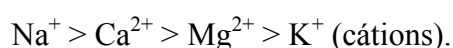
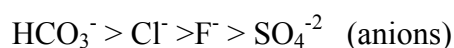
Os maiores valores de nitrato foram encontrados nos municípios de Presidente Venceslau (35,20mg/L) e Rosana (31mg/L), e no distrito de Coronel Goulart (34,80mg/L). Amostras referentes aos municípios de Taciba (n° 26), Santo Anastácio (n° 28), Emilianópolis (n° 37) e Rosana (n° 38) não foram utilizadas na confecção do mapa por apresentarem teores de nitrato muito elevados (Anexo 1), provavelmente associados a fontes de contaminação antrópica. Os menores teores de nitrato foram encontrados em Costa Machado (0,12mg/L) e Mirante do Paranapanema (0,12mg/L).

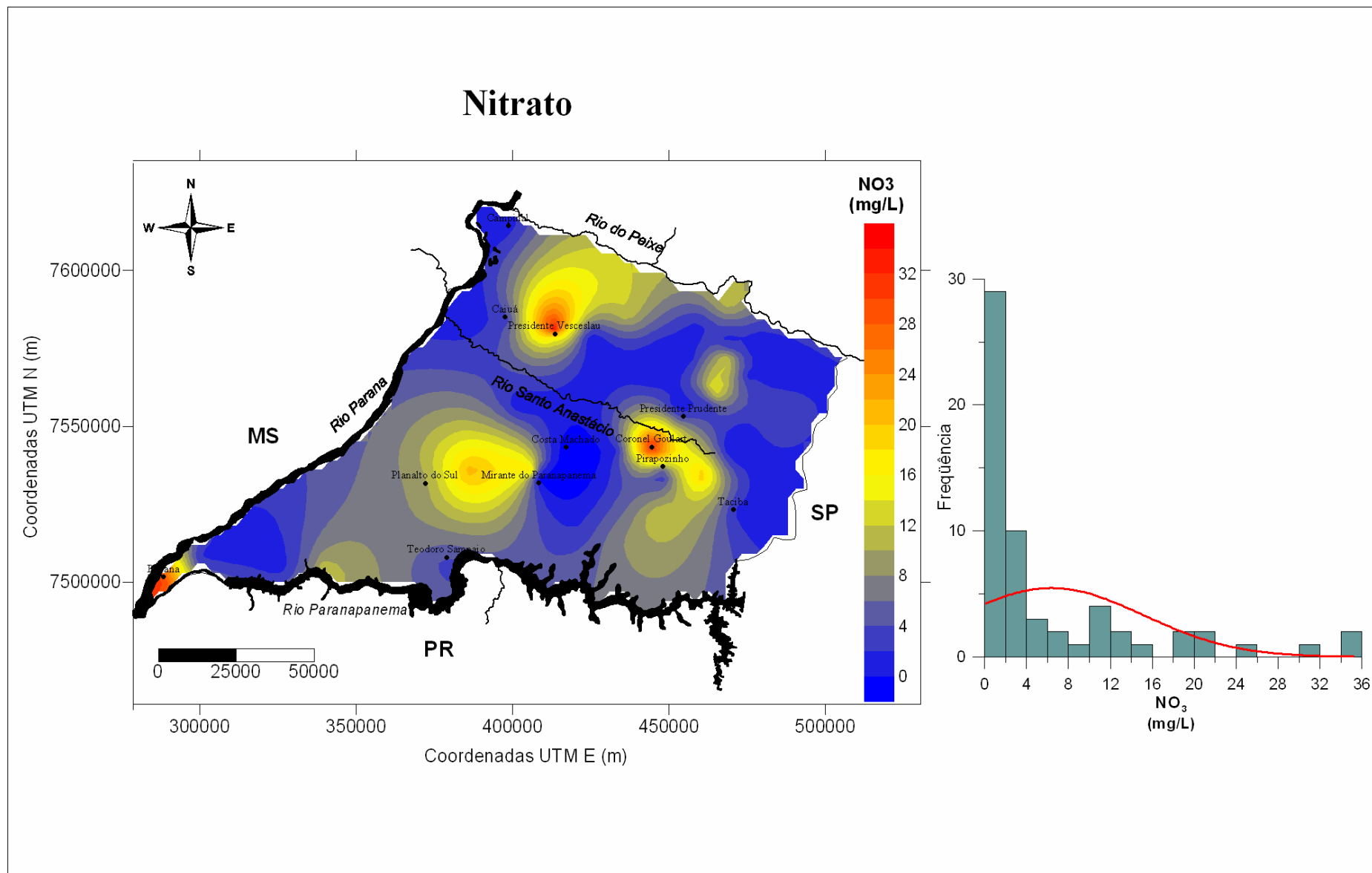
No mapa de isovalores de teores de fluoreto observa-se que os maiores valores estão localizados na porção central da área de estudo (Figura 24). Nos municípios de Marabá Paulista e Anhumas foram encontrados os maiores teores, respectivamente, de 0,54 e de 0,48mg/L. Os menores valores encontrados foram de 0,02637 e 0,03506mg/L, respectivamente, nos municípios de Rosana e Cuiabá Paulista. A média encontrada foi de 0,16mg/L.

O teor médio de sílica (SiO<sub>2</sub>) encontrado foi de 34,82mg/L. Os maiores valores foram encontrados nos municípios de Emilianópolis (68,46mg/L) e Piquerobi (58,83mg/L), e o menor valor foi de 16,69mg/L no distrito de Planalto do Sul. O mapa de isovalores de sílica apresenta maiores concentrações junto aos limites com o Rio do Peixe, porção leste e extremo sudoeste da área estudada (Figura 25).

Na área estudada, a maioria das amostras apresentou teores de sulfato abaixo do limite de detecção da técnica de análise empregada (< 3 mg/L), sendo assim, não foi gerado mapa de isovalores. Apenas as amostras 39 e 46 apresentaram valores de sulfato detectáveis. A amostra 40 apresentou elevado valor de sulfato, mas é referente a águas da Formação Serra Geral.

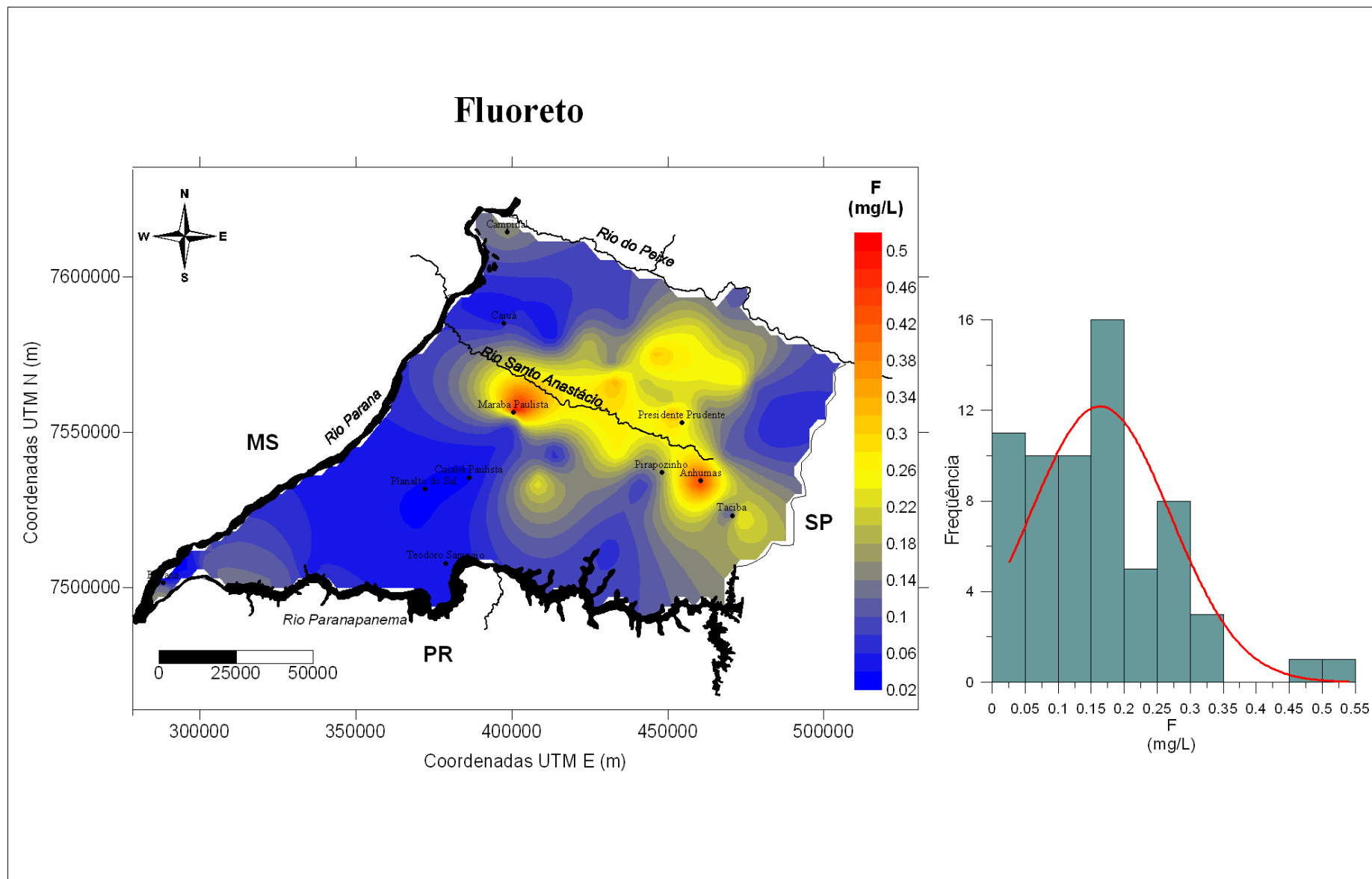
Os resultados das análises químicas das águas subterrâneas apresentaram a seguinte ordenação dos teores iônicos principais médios para o Aquífero Bauru:



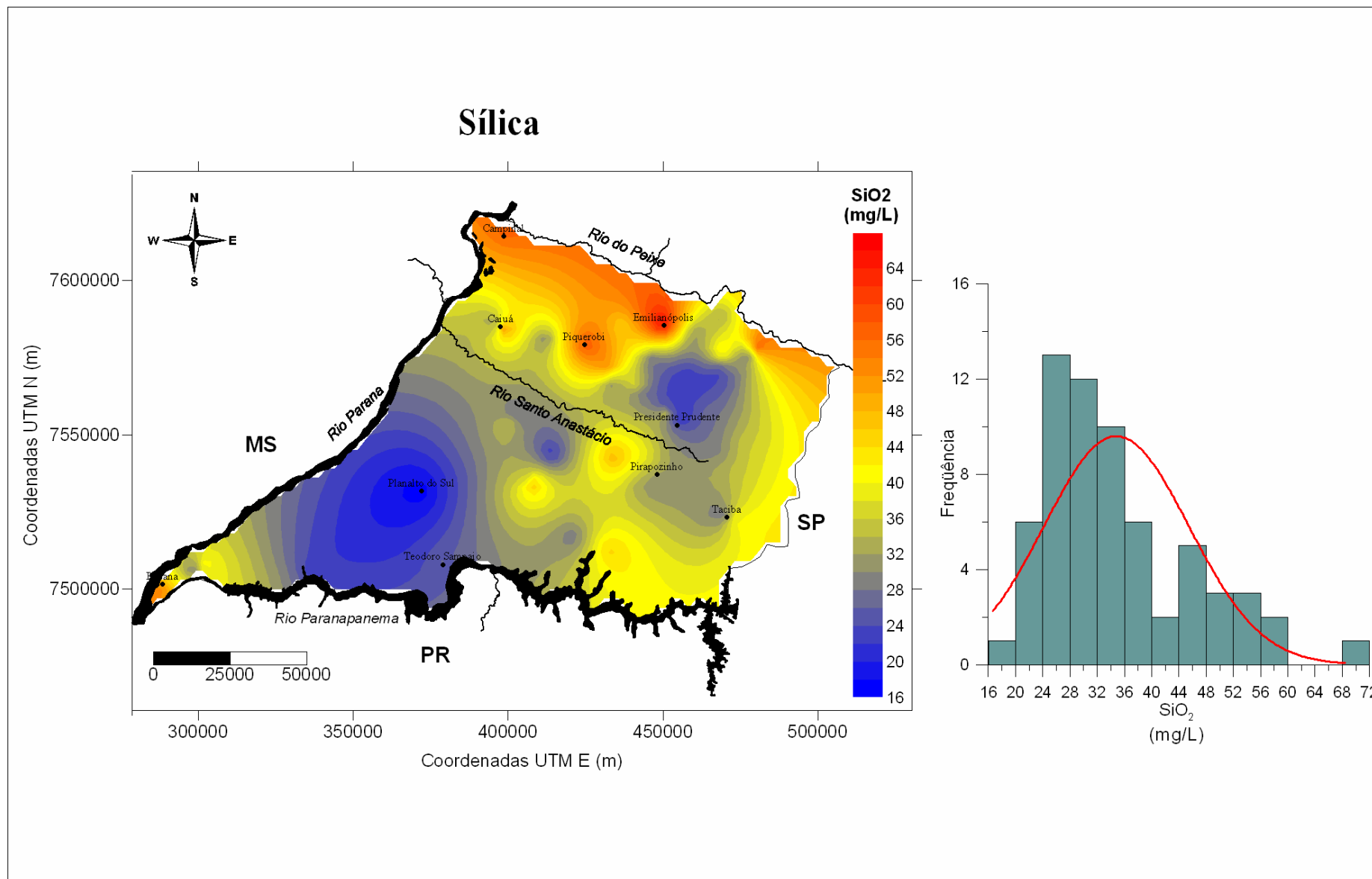


**Figura 23:** Mapa de isovalores de Nitrato (mg/L) do Sistema Aquífero Bauru no sudoeste do Estado de São Paulo





**Figura 24:** Mapa de isovalores de Fluoreto (mg/L) do Sistema Aquífero Bauru no sudoeste do Estado de São Paulo



**Figura 25:** Mapa de isovalores de Sílica (mg/L) do Sistema Aquífero Bauru no sudoeste do Estado de São Paulo

### 5.3 - CÁLCULO DE ESPECIAÇÃO QUÍMICA

Para execução dos cálculos de especiação das fases aquosas e do estado de saturação das fases minerais foram utilizados o programa *Solmineq88 pc/shell*, versão 0.85 (Perkins *et al.*, 1988) e *Phreeqc 2.13.2*. Estes programas contêm algoritmos que calculam o equilíbrio e a distribuição das espécies aquosas, orgânicas e inorgânicas, presentes em águas naturais. O processamento 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. As análises químicas foram inseridas como dados de entrada no programa, em condições de pressão de 1bar e à temperatura medida no campo.

Os programas foram utilizados para os cálculos das equações de ação e balanço de massas.

Para calcular a distribuição das espécies aquosas de uma dada amostra de água, a temperatura e pH específicos, são utilizadas as equações de ação e balanço de massas. Por exemplo, para a dissociação do carbonato de cálcio, a respectiva equação de ação de massas é:

$$K_{CaHCO_3^+} = \frac{m_{Ca^{2+}} \times \gamma_{Ca^{2+}} \times m_{CO_3^{2-}} \times \gamma_{CO_3^{2-}}}{m_{CaCO_3} \times \gamma_{CaCO_3}}$$

onde, o  $m$  e  $\gamma$  são, respectivamente, a molalidade e o coeficiente de atividade da espécie subscrita, e  $K$  é a constante de dissociação da espécie subscrita. A equação de balanço de massa é:

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

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

No cálculo de atividade das espécies dissolvidas, a atividade de cada elemento ( $a_i$ ) é determinada pelo cálculo da equação:

$$a_i = m_i \gamma_i$$

onde,  $m_i$  e  $\gamma_i$  são, respectivamente, molalidade e coeficiente de atividade da espécie  $i$ .

O cálculo do índice de saturação (ISat), é efetuado 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 que zero, a amostra é subsaturada na fase mineral escolhida. Se a razão for igual a zero, a amostra estará em equilíbrio e, se for maior, estará supersaturada na fase mineral escolhida (NORDSTROM, 1985).

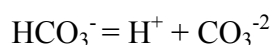
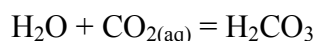
#### 5.4 - RELAÇÃO DE ESTABILIDADE

As profundidades de investigações não ultrapassaram 250m de profundidade, uma vez que as amostras de água coletadas na área de estudo, pertencentes ao Sistema Aquífero Bauru, não ultrapassam esta referida profundidade e, por se tratar de um aquífero livre a semi confinado em quase toda sua extensão, sofre influência das águas meteóricas.

Segundo Loughnan (1969), a interação entre a água meteórica e o tipo de rocha contribui para o intemperismo químico dos minerais instáveis em condições atmosféricas. A vulnerabilidade destes minerais aos ataques por água, oxigênio e dióxido de carbono, faz com que as reações ocorram espontaneamente. A água circula através dos poros, clivagens e outras pequenas aberturas nos minerais e os constituintes mais solúveis são dissolvidos.

Um dos principais processos que controlam o ciclo hidrogeoquímico global dos elementos é o intemperismo químico. Neste ciclo hidrogeoquímico, a água atua como reagente e agente transportador de componentes dissolvidos e particulados. A atmosfera se comporta como um reservatório de dióxido de carbono e oxidantes requeridos para a reação de intemperismo. A biota auxilia o processo de intemperismo, contribuindo com ácidos orgânicos e suprindo localmente, por decomposição, o aumento da concentração de  $CO_2$  (STUMM, 1992),

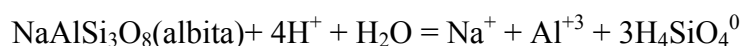
O ácido carbônico é formado pela reação do gás carbônico com as moléculas de água. A dissociação pode ocorrer em duas etapas, um próton é liberado em cada uma delas. O processo de dissociação fornece os prótons que agem nos processos de dissolução dos minerais. Nas reações onde há consumo de  $H^+$  e ao mesmo tempo concentração de  $CO_2$  são fundamentais no controle da alcalinidade da água.



#### 5.4.1 - DISSOLUÇÃO DE SILICATOS

Segundo Mathess (1982), a água meteórica circula nas áreas de recarga e propicia reações de hidrólise envolvendo água e ácido carbônico.

Reações de hidrólise é o principal responsável pela concentração de íons maiores nas águas subterrâneas (PARKHUST, 1995), tais como:

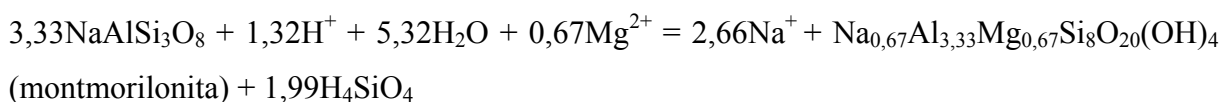
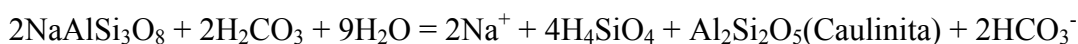


A solubilidade dos minerais silicáticos é influenciada diretamente pelo pH e a dissolução dos silicatos é influenciada pela concentração de alumínio, que inibe sua solubilidade (VELDE, 1992).

Neste estudo, pôde-se observar com freqüência a dissolução de silicatos, principalmente de feldspatos.

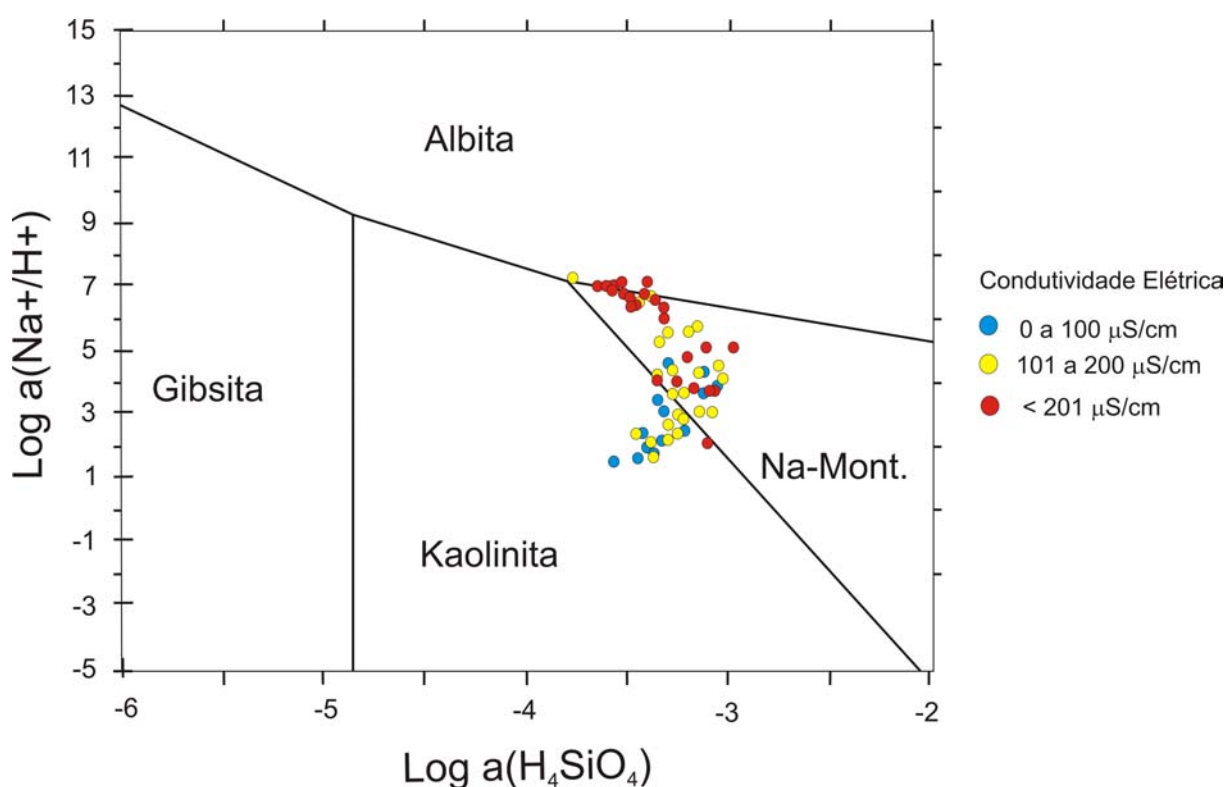
#### 5.4.2 - SUBSTITUIÇÃO DE SILICATOS-ARGILOMINERAIS

Nas reações de hidrólise em minerais silicáticos ocorrem a geração de argilominerais, com a liberação de espécies iônicas nas águas, tendo como principais reações de substituição os exemplos abaixo, envolvendo a albita.

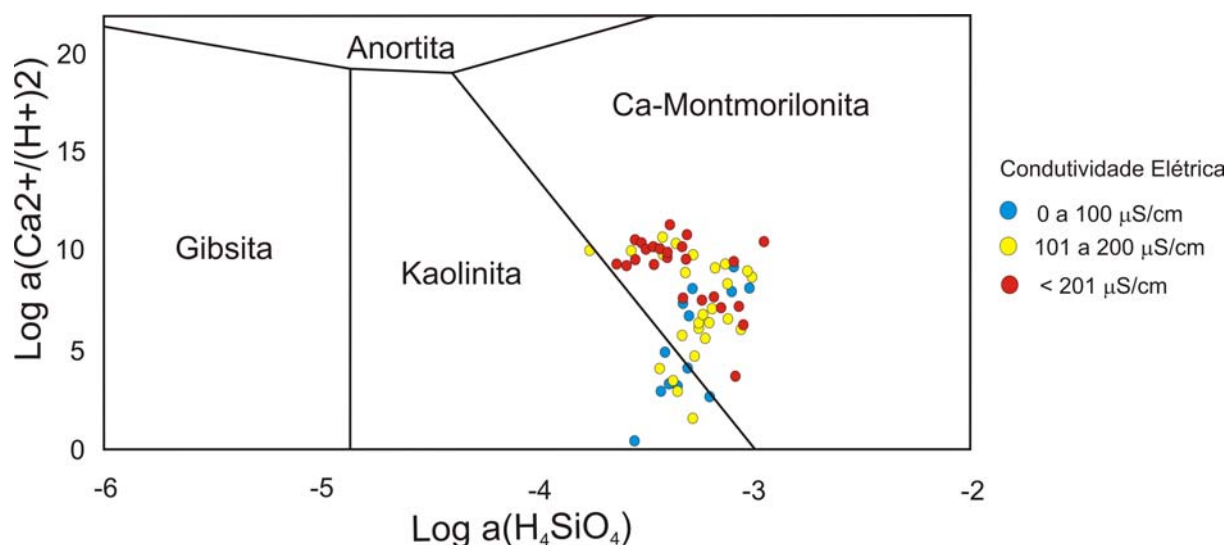


Os produtos destas reações de substituição, extraídas de Appelo & Postma (1996), são os argilominerais que na análise petrográfica aparecem freqüentemente como illita-esmectitas. As illita-esmectitas aparecem associadas com a substituição de silicatos e, como resultantes de precipitação autigênica, onde aparecem preenchendo os poros das rochas. Nas amostras estudadas, este processo foi freqüentemente observado em lâminas, nas análises petrográficas.

Os diagramas de estabilidade relacionando a razão  $\log a(\text{Na}^+/\text{H}^+)$  versus  $\log a(\text{H}_4\text{SiO}_4)$  (Figura 26) e do  $\log a(\text{Ca}^{+2}/(\text{H}^+)^2)$  versus  $\log a(\text{H}_4\text{SiO}_4)$  (Figura 27), indicam que a maioria das amostras de águas do Sistema Aquífero Bauru, na área de estudo, cai no campo da montmorilonita e, secundariamente, no campo da caulinita. Nota-se claramente na figura 26, que as amostras mais salinas concentram-se no campo de estabilidade da montmorilonita e junto ao limite albíta-montmorilonita. Estes resultados comprovam as informações obtidas na difratometria de Raios X das amostras de rochas analisadas (Anexo 3).



**Figura 26:** Diagrama de estabilidade do  $\log a(\text{Na}^+/\text{H}^+)$  versus  $\log a(\text{H}_4\text{SiO}_4)$  para as amostras de água do Sistema Aquífero Bauru.



**Figura 27:** Diagrama de estabilidade do  $\text{log } a(\text{Ca}^{2+}/(\text{H}^+)^2)$  versus  $\text{log } a(\text{H}_4\text{SiO}_4)$  para as amostras de água do Sistema Aquífero Bauru.

### 5.4.3 - CALCITA

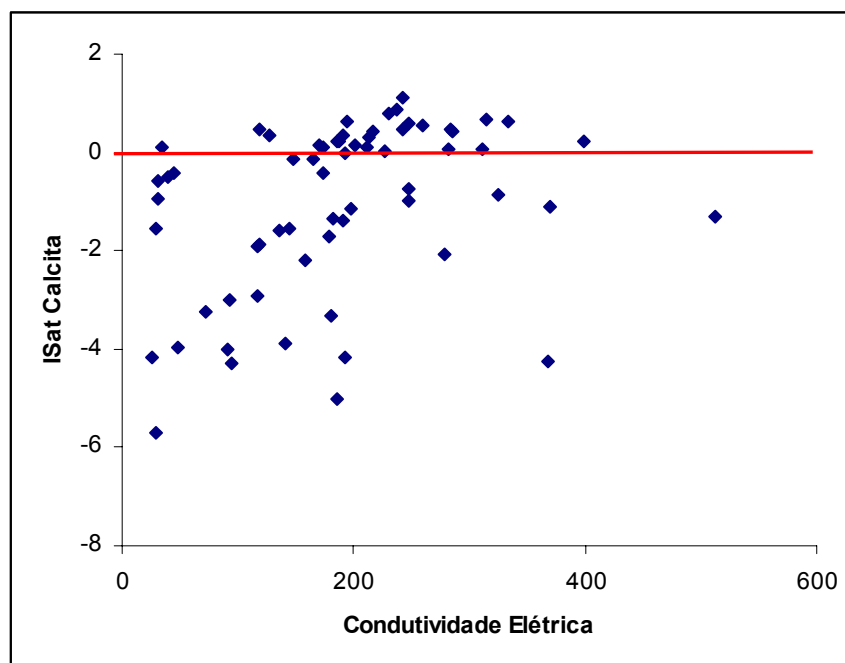
Nas amostras analisadas, neste estudo, a cimentação carbonática foi observada com frequência na maioria das lâminas através da microscopia óptica e eletrônica de varredura, estando presente em todas as formações (Caiuá, Santo Anastácio, Araçatuba e Adamantina).

O índice de saturação da calcita é determinado pela equação:

$$ISat_{CaCO_3} = \frac{a_{Ca^{2+}} a_{CO_3^{2-}}}{Ksp_{CaCO_3}}$$

onde o  $a_{Ca^{2+}}$  é a atividade do íon  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $a_{CO_3^{2-}}$  é atividade do íon  $\text{CO}_3^{2-}$  e  $Ksp_{CaCO_3}$  é a constante de equilíbrio da calcita.

Na figura 28, verifica-se que o índice de saturação da calcita, em relação à condutividade elétrica apresenta predominantemente condições de sub saturação para as amostras com baixa salinidade. Já para as águas com maior salinidade, predomina condição de equilíbrio ou supersaturação.



**Figura 28:** Gráfico do índice de saturação em relação à calcita.

#### 5.4.4 - QUARTZO

A solubilidade do quartzo é descrita pela equação (HITCHON *et al*, 1999):

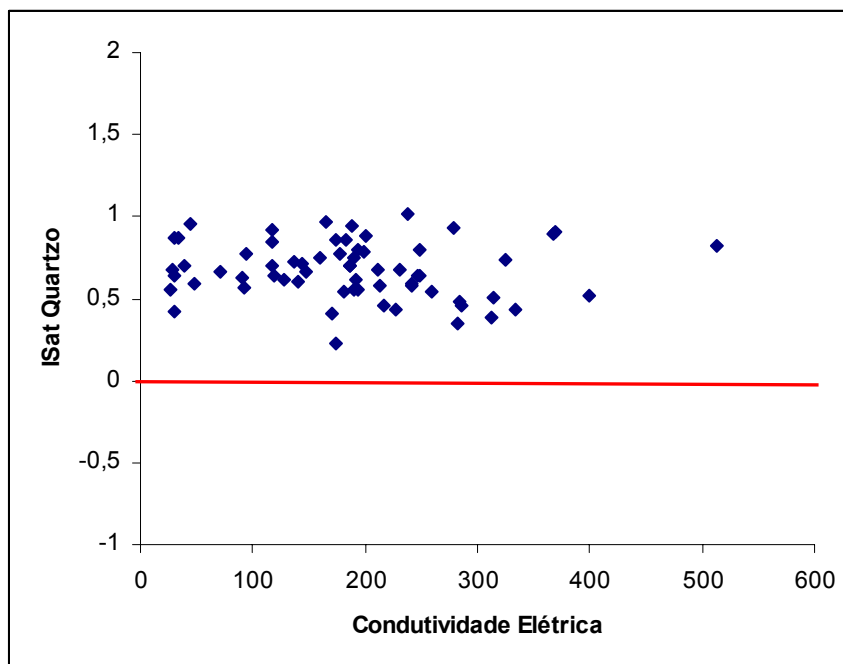


O  $\text{H}_4\text{SiO}_4^0$  é principal produto da interação do  $\text{SiO}_2$  com água, onde este se mantém indissociado a valores de pH abaixo de 9. Em elevados valores de pH, a sílica é dissolvida para formar  $\text{H}_3\text{SiO}_4^-$  (HITCHON *et al*, 1999).

Nas amostras de água analisadas neste estudo, pode-se observar que todas estão no estado de supersaturação em relação ao quartzo (Figura 29). Estas amostras apresentam baixa salinidade (Anexo 1), característica de águas superficiais do aquífero.

Em condições superficiais do aquífero, a supersaturação é freqüente, entretanto não ocorre precipitação devido às baixas temperaturas e ao fluxo contínuo de águas subterrâneas, ou seja, as condições de supersaturação das amostras, não implica na precipitação de sílica (BJORLYKKE & EGEBERG, 1993).





**Figura 29:** Gráfico do índice de saturação em relação ao quartzo.

#### 5.4.5 - FERRO

Em águas subterrâneas a espécie de ferro mais comum é o  $\text{Fe}^{2+}$ . Isso se deve a reações de intemperismo envolvendo minerais ferro-magnesianos. Muito do ferro é provavelmente redepositado como pirita, siderita ou hidróxido de ferro, dependendo das reações de óxi-redução e da presença de outros cátions e ânion (HITCHON *et al*, 1999). Quando as condições são redutoras, os íons são carregados como  $\text{Fe}^{2+}$ , os quais permanecem em solução e migram com o fluxo do aquífero. Em condições mais oxidantes a forma estável é o  $\text{Fe}^{3+}$ .

Na maioria das amostras observadas na análise petrográfica, a cimentação por óxido de ferro é muito freqüente e um dos principais processos diagenéticos atuantes.

A fonte de ferro presente nas águas subterrâneas e na cimentação dos arenitos são minerais provenientes do substrato basáltico na área de estudo.

#### 5.4.6 - ZEÓLITAS

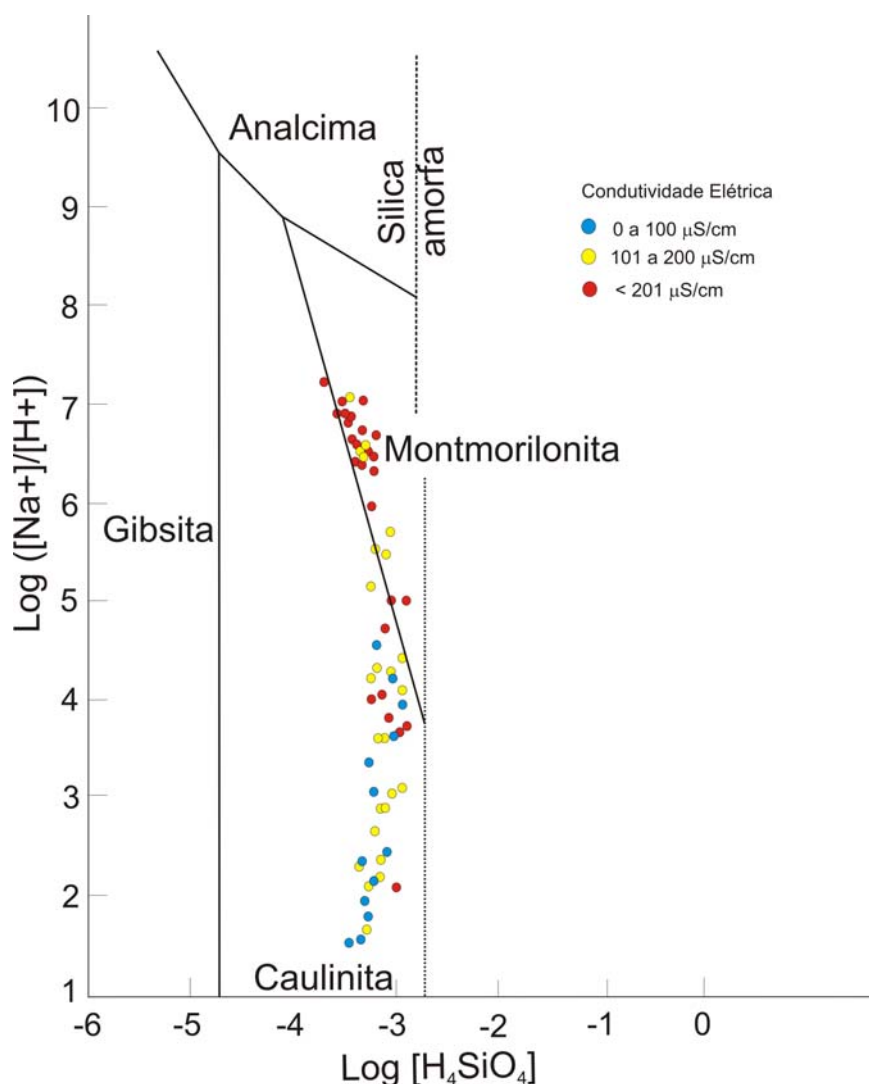
Conforme definido por Deer *et al*, 1996, as zeólitas são aluminossilicatos hidratados de metais alcalinos e alcalino-terrosos que ocorrem como amígdalas e nas cavidades de rochas vulcânicas básicas e em ambientes hidrotermais. As zeólitas de origem diagenética ou de baixo grau metamórfico são também muito comuns. Analcima, natrolita, heulandita e estilbita

são os mais abundantes membros do grupo. As zeólitas são particularmente vulneráveis às condições de intemperismo.

Na reação de dissolução que envolve a analcima, há consumo de  $H^+$  com liberação de cátions e sílica aquosa, aumentando, desta forma, o pH da solução:



No diagrama de estabilidade de  $\log ([Na^+]/[H^+])$  versus  $\log [H_4SiO_4]$  (Figura 30) observa-se que as amostras de águas estão em equilíbrio predominantemente nos campos da caulinita e montmorilonita. Apesar de ter sido identificado, em algumas lâminas, a presença de analcima, esta fase mineral não contribui significativamente na composição das águas subterrâneas. Uma possível explicação para algumas amostras de águas muito alcalinas ( $pH > 9$ ), é o equilíbrio desta com calcita e outras zeólitas, tais como, heulandita e natrolita, também encontradas em algumas amostras.



**Figura 30:** Diagrama de estabilidade de  $\log ([Na^+]/[H^+])$  versus  $\log [H_4SiO_4]$  a  $25^\circ C$ , para as amostras de água do Sistema Aquífero Bauru.

## **6 - CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E ASPECTOS DIAGENÉTICOS DOS ARENITOS DO GRUPO BAURU.**

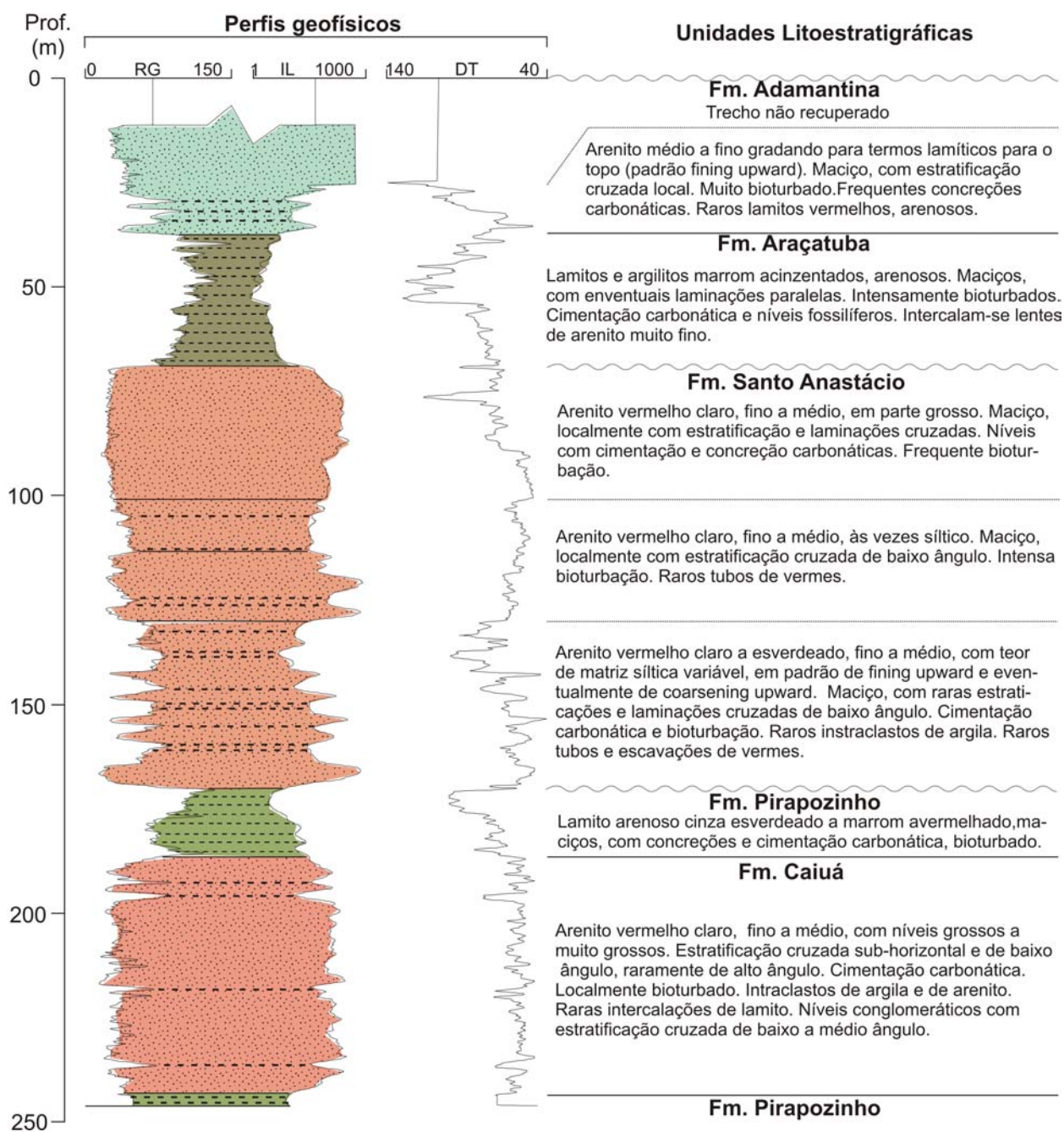
### **6.1 - COMPOSIÇÃO E TEXTURA DAS AMOSTRAS**

Foram preparadas 88 lâminas de amostras, extraídas de testemunhos de poço perfurado no município de Pirapozinho-SP (Figura 31), para a análise petrográfica em microscópio óptico e microscópio eletrônico de varredura (MEV). As amostras são representativas das formações Adamantina, Araçatuba, Santo Anastácio e Caiuá, do Grupo Bauru.

A microscopia objetivou, basicamente, a descrição da composição mineralógica e textural dos arenitos, e também das características e da composição mineralógica da matriz e dos cimentos que envolvem os grãos do arcabouço.

Os aspectos texturais analisados foram a granulometria, a forma, o arredondamento e a composição mineralógica dos grãos. Na análise petrográfica, foram efetuadas contagens de grãos do arcabouço, cimento, matriz e porosidade (Anexo 6).

Na análise da composição detrítica (arcabouço), apresenta-se a classificação dos arenitos em diagramas triangulares, segundo a classificação de Dott (1964) e Folk (1968), com base no conteúdo total de quartzo, feldspato e fragmentos líticos.



**Figura 31:** Perfil do poço perfurado no município de Pirapozinho-SP (fonte: Paula e Silva *et al*, 2006).

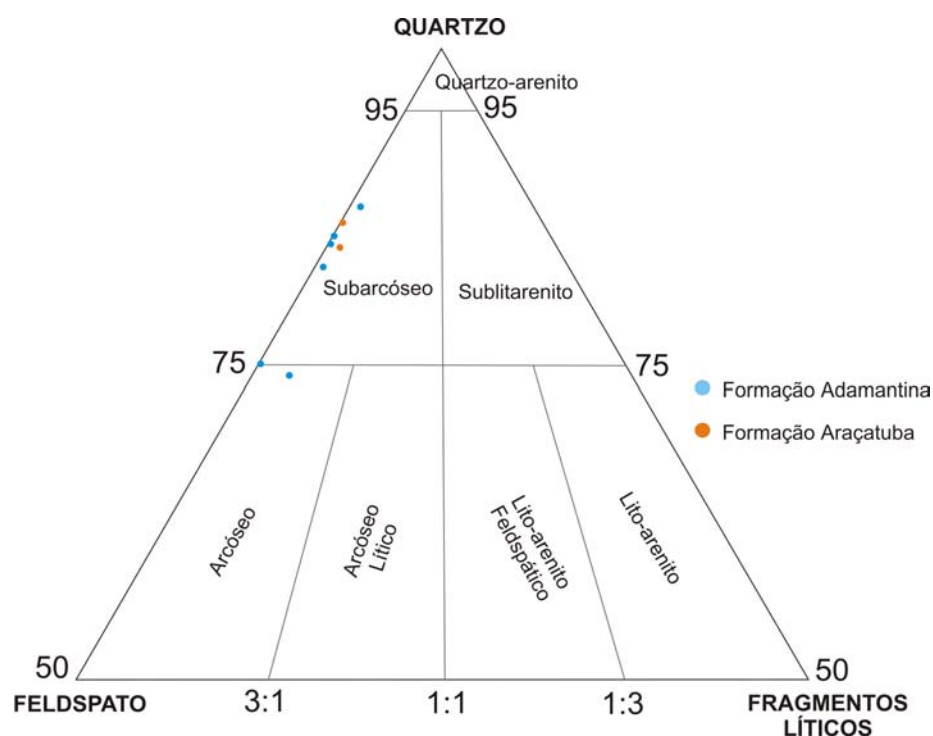
### 6.1.1 - FORMAÇÕES ADAMANTINA E ARAÇATUBA

Devido à baixa recuperação de testemunhos de sondagem no intervalo correspondente às formações Adamantina e Araçatuba, foram analisadas apenas 8 amostras de rochas desse trecho, sendo 6 da primeira e 2 da segunda unidade.

Os arenitos mostram granulometria com predomínio das classes fina e muito fina, e seleção média. Os grãos variam entre subarredondados e subangulares, com o arcabouço sedimentar apresentando pouca quantidade de matriz argilosa, inferior a 10% em todas as amostras. Do ponto de vista textural, os arenitos foram classificados como submaturos.

Em relação à análise do espaço poroso das amostras examinadas, a porosidade é do tipo intergranular, com raras ocorrências de porosidade intragranular nestas duas formações.

Os arenitos foram classificados, segundo o critério de Dott (1964), como feldspáticos e, de acordo com o de Folk (1968), como subarcóseo. Somente uma amostra da Formação Adamantina foi classificada como arcóseo (Figura 32).



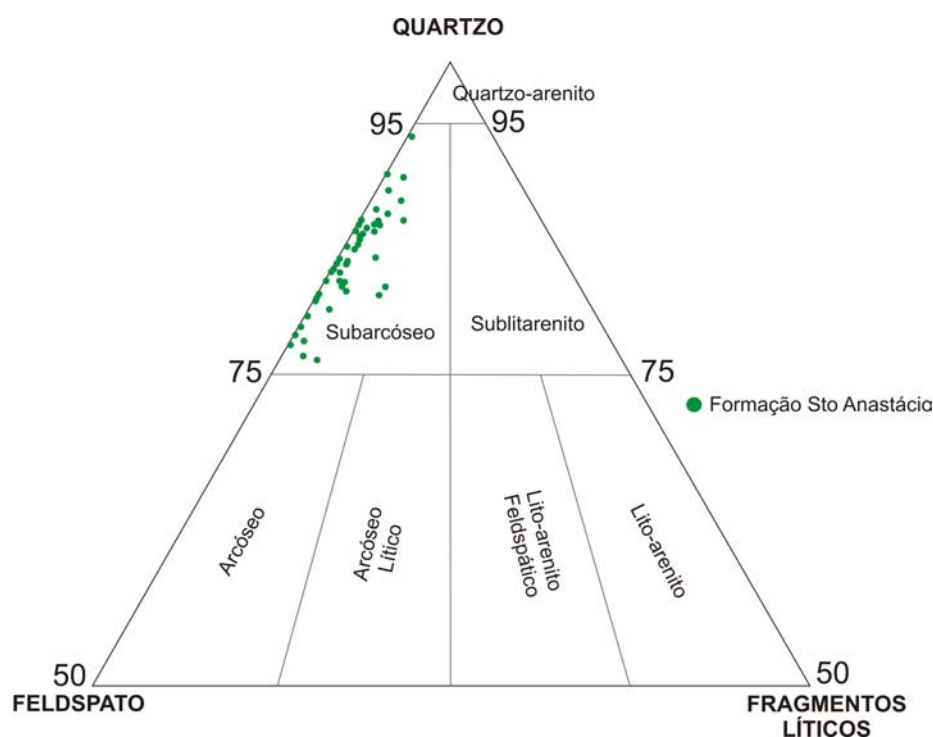
**Figura 32:** Composição dos arenitos representativos das formações Adamantina e Araçatuba, extraídos de poço perfurado em Pirapozinho-SP, em Diagrama de Folk (1968).

### 6.1.2 - FORMAÇÃO SANTO ANASTÁCIO

A boa recuperação de testemunhos do poço perfurado na Formação Santo Anastácio permitiu a seleção de 50 amostras de rochas entre as profundidades de 92 e 166 metros. Os arenitos desta unidade apresentaram granulometria variando de média a muito fina, com predomínio da classe fina, e seleção variando de boa a ruim. Os grãos variaram de subarredondados a subangulares, com o arcabouço sedimentar apresentando pouca quantidade de matriz argilosa, inferior a 10% em quase todas as amostras. Do ponto de vista textural, os arenitos foram classificados como submaturos.

A porosidade do tipo intergranular é a mais freqüente em todas as lâminas examinadas; secundariamente, ocorrem porosidades do tipo intragranular em menos de 10% das amostras desta formação.

Os arenitos foram classificados, segundo o critério de Dott (1964), preferencialmente como arenitos feldspáticos e, secundariamente, como quartzo-arenitos e conforme a classificação de Folk (1968), os arenitos foram classificados como subarcóseos (Figura 33).



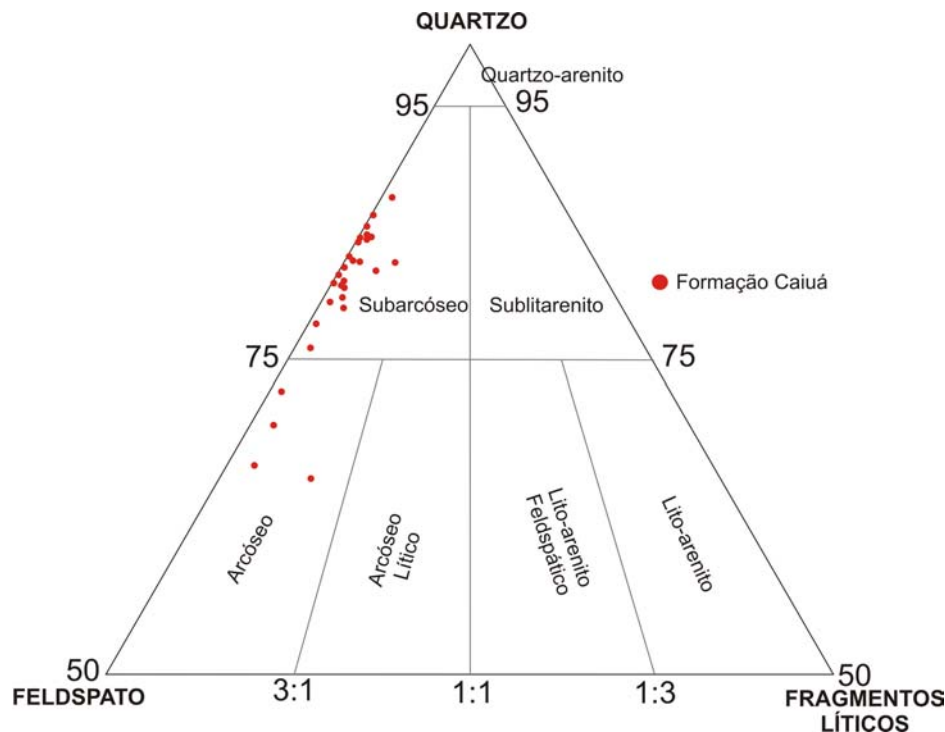
**Figura 33:** Composição dos arenitos representativos da Formação Santo Anastácio, extraídos de poço perfurado em Pirapozinho-SP, em Diagrama de Folk (1968).

### 6.1.3 - FORMAÇÃO CAIUÁ

Na Formação Caiuá, foram selecionadas 30 amostras de rochas, entre as profundidades de 188 e 242 metros. Os arenitos apresentaram granulometria variando de média a muito fina, com predomínio das classes fina e média, seleção variando de boa a média e grãos subarredondados a subangulares. Texturalmente, esses arenitos foram classificados como submaturos em razão da percentagem de matriz argilosa ser inferior a 10%.

A porosidade do tipo intergranular é mais freqüente em todas as lâminas, sendo que em 40% das amostras os arenitos da Formação Caiuá exibem porosidade intragranular.

Segundo a classificação de Dott (1964), os arenitos da Formação Caiuá correspondem a arenitos feldspáticos e de acordo com Folk (1968), os arenitos são classificados com subarcóseos (87%) e, secundariamente, arcóseo (13%) (Figura 34).



**Figura 34:** Composição dos arenitos representativos da Formação Caiuá, extraídos de poço perfurado em Pirapozinho-SP, em Diagrama de Folk (1968).

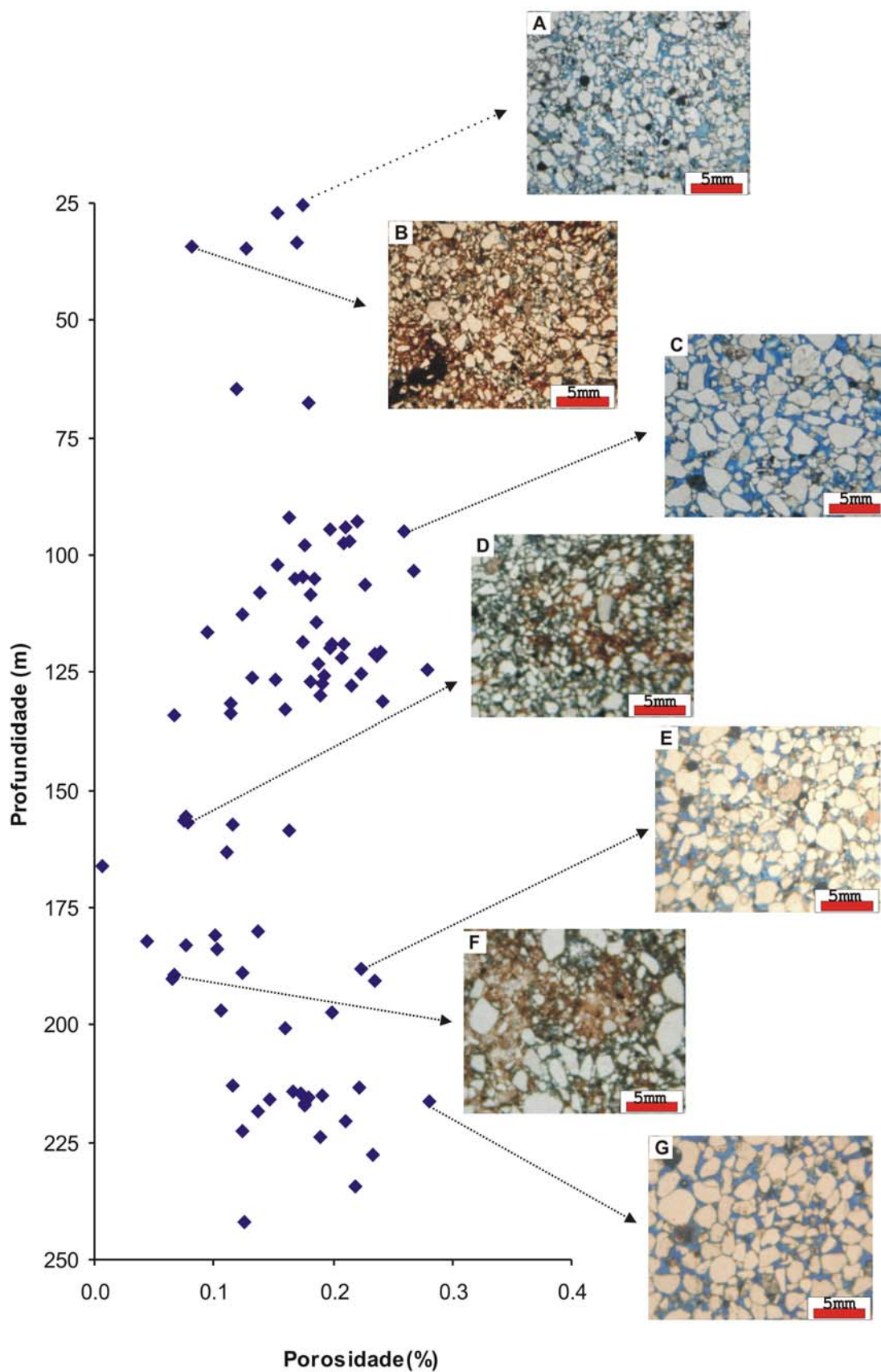
## 6.2 - POROSIDADE

Nas amostras analisadas (Tabela 2) não foi observada clara tendência no comportamento da porosidade com a profundidade. A variação da porosidade está associada à cimentação dos poros, que foi constatado com frequência nas lâminas petrográficas, conforme mostrados na figura 35, onde se observam amostras bastante porosas (foto A, C, E e G) e outras muito cimentadas (fotos B, D e F).

**Tabela 02** – Porosidade das amostras do poço perfurado no município de Pirapozinho-SP (ADA = Formação Adamantina, ARA = Formação Araçatuba, SA = Formação Santo Anastácio, CA= Formação Caiua).

Am	Lito	prof. (m)	Porosidade %	Am	Lito.	prof. (m)	Porosidade %	Am	Lito.	prof. (m)	Porosidade %
1	ADA	25.25	17,44	32	SA	119.20	20,96	62	CA	186.80	4,40
2	ADA	27.25	15,34	33	SA	120.90	19,83	63	CA	187.00	7,62
3	ADA	33.40	16,92	34	SA	121.50	24,07	64	CA	187.20	10,22
4	ADA	34.00	8,09	35	SA	122.00	23,43	65	CA	188.10	22,29
5	ADA	35.00	12,80	36	SA	122.50	23,64	66	CA	189.00	12,33
6	ADA	35.50	-1,05	37	SA	122.75	20,76	67	CA	189.50	6,67
7	ARA	66.20	11,91	38	SA	123.00	18,82	68	CA	190.00	6,53
9	ARA	67.70	17,96	39	SA	124.50	27,99	69	CA	190.50	23,54
10	SA	92.00	16,37	40	SA	125.70	22,43	70	CA	196.80	10,59
11	SA	93.00	22,11	41	SA	126.00	19,29	71	CA	197.50	19,90
12	SA	94.00	21,04	42	SA	126.30	13,15	72	CA	200.50	16,01
13	SA	94.50	19,74	43	SA	126.60	15,24	73	CA	212.70	11,55
14	SA	95.00	25,94	44	SA	127.10	18,07	74	CA	213.50	22,17
15	SA	97.00	21,39	45	SA	127.60	19,12	75	CA	214.00	16,70
16	SA	97.25	33,08	46	SA	128.20	21,63	76	CA	214.60	17,26
17	SA	97.50	20,89	47	SA	130.40	18,91	77	CA	215.00	19,11
18	SA	98.00	17,57	48	SA	130.80	24,22	78	CA	215.50	17,96
19	SA	102.00	15,39	49	SA	131.50	11,37	79	CA	216.00	14,67
20	SA	103.50	26,82	50	SA	133.00	15,96	80	CA	216.60	28,13
21	SA	104.50	17,48	51	SA	134.50	11,49	81	CA	217.80	17,67
22	SA	105.10	18,51	52	SA	135.20	6,72	82	CA	218.10	17,69
23	SA	105.30	16,76	53	SA	155.30	7,59	83	CA	218.40	13,78
24	SA	106.50	22,71	54	SA	156.00	7,46	84	CA	220.10	21,01
25	SA	108.00	13,94	55	SA	156.50	7,76	85	CA	222.50	12,44
26	SA	108.90	18,11	56	SA	159.00	11,65	86	CA	224.00	18,97
27	SA	113.10	12,49	57	SA	161.50	16,27	87	CA	227.60	23,32
28	SA	113.60	18,55	58	SA	162.40	11,03	88	CA	234.50	21,84
29	SA	116.50	9,48	59	SA	166.00	0,73	89	CA	242.00	12,58
30	SA	118.10	17,53	60	CA	186.40	13,77				
31	SA	118.70	19,95	61	CA	186.60	10,20				





**Figura 35:** Gráfico da porosidade *versus* profundidade de amostras extraídas de poço perfurado em Pirapozinho-SP (azul = porosidade).

## **6.3 - ARCABOUÇO MINERALÓGICO DOS ARENITOS DO GRUPO BAURU**

### **6.3.1 - QUARTZO**

O quartzo é o mineral mais abundante em arenitos, em função de suas características físicas e químicas, que lhe conferem grande estabilidade. Apresenta elevada resistência a ataques químicos, devido às fortes ligações entre os íons de silício e oxigênio e também contém cátions metálicos que podem ser realocados por íons de hidrogênio durante processos de alteração (BLATT, 1992).

Os arenitos do Grupo Bauru, na área de estudo, apresentam composição mineralógica rica em quartzo monocristalino. Nas lâminas examinadas apenas 5 apresentaram quartzo do tipo policristalino sendo, 2 lamina da Formação Santo Anastácio e 3 da Formação Caiuá, porém mesmo nestas lâminas sua ocorrência é rara.

A porcentagem média de quartzo entre os minerais identificados em lâminas petrográficas foi de 81,4% na Formação Adamantina, 85,4% na Formação Araçatuba, 84,3% na Formação Santo Anastácio e 80,8% na Formação Caiuá.

### **6.3.2 - FELDSPATOS**

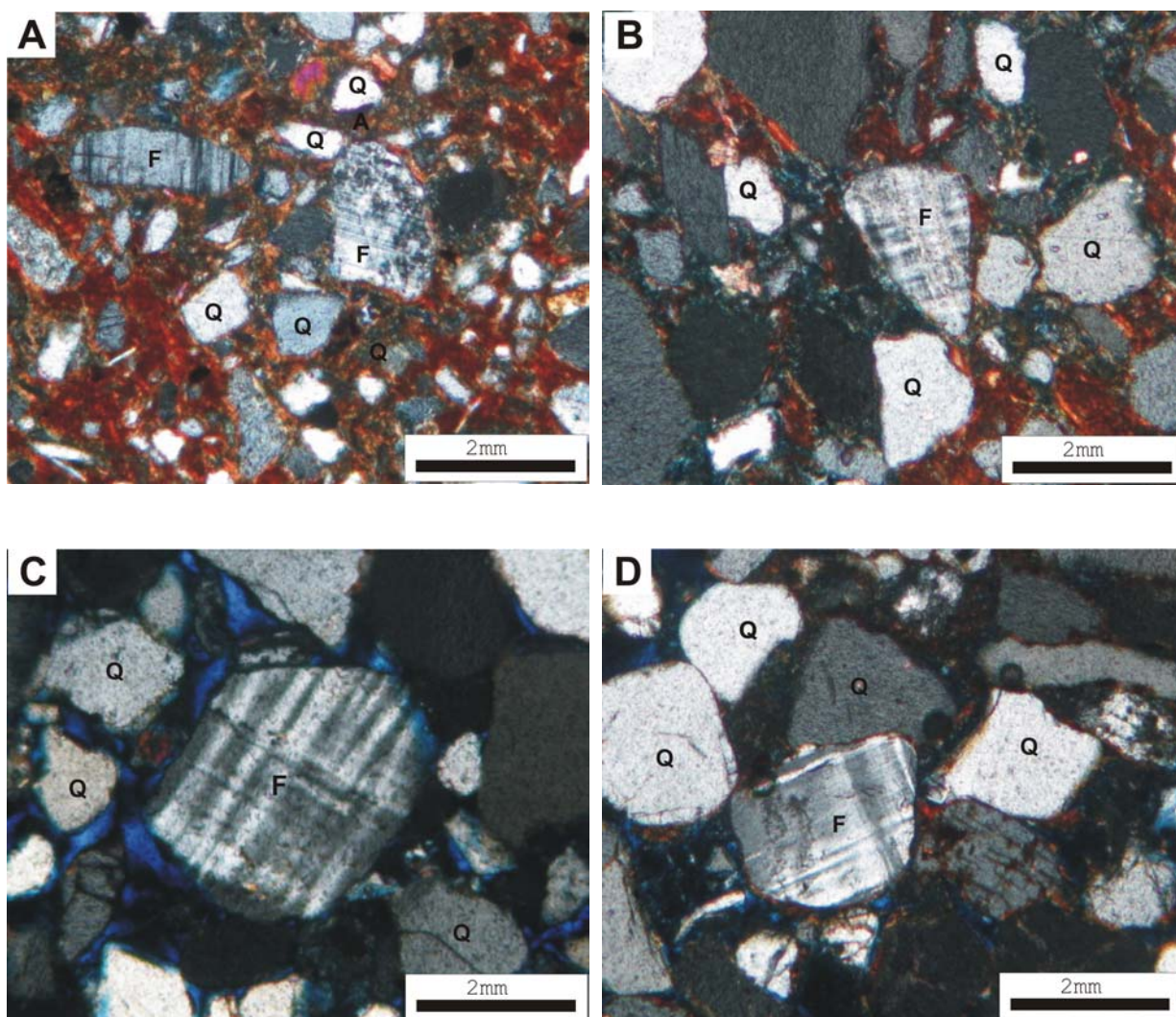
São bastante freqüentes, em todas as lâminas petrográficas examinadas, minerais do grupo dos feldspatos, representados principalmente por ortoclásio, microclina e plagioclásio.

A estabilidade dos feldspatos é mais baixa que a do quartzo, devido a menor dureza e a presença de clivagem (TUCKER, 1991). Os feldspatos potássicos, ortoclásio e microclina são mais comuns em arenitos do que os plagioclásios, devido à maior estabilidade química dos primeiros e à alteração mais intensa dos últimos na área fonte.

A alteração de feldspatos em arenitos pode ocorrer através da vacuolização, ilitização, montmorilonitização e caolinização (BLATT, 1992).

Na análise de lâminas ao microscópio óptico observou-se que os feldspatos são predominantemente potássicos e, secundariamente, plagioclásios (Figura 36). Em algumas amostras, estes minerais estão bastante alterados, apresentando porosidade intragranular.

A porcentagem média de feldspatos encontrada em amostras do poço de Pirapozinho é de 16,2%; a maior ocorrência foi registrada na Formação Caiuá (18,3%), seguida das formações Adamantina (18,0%) e Santo Anastácio (14,8%), e a menor ocorrência foi de 14,2%, na Formação Araçatuba.

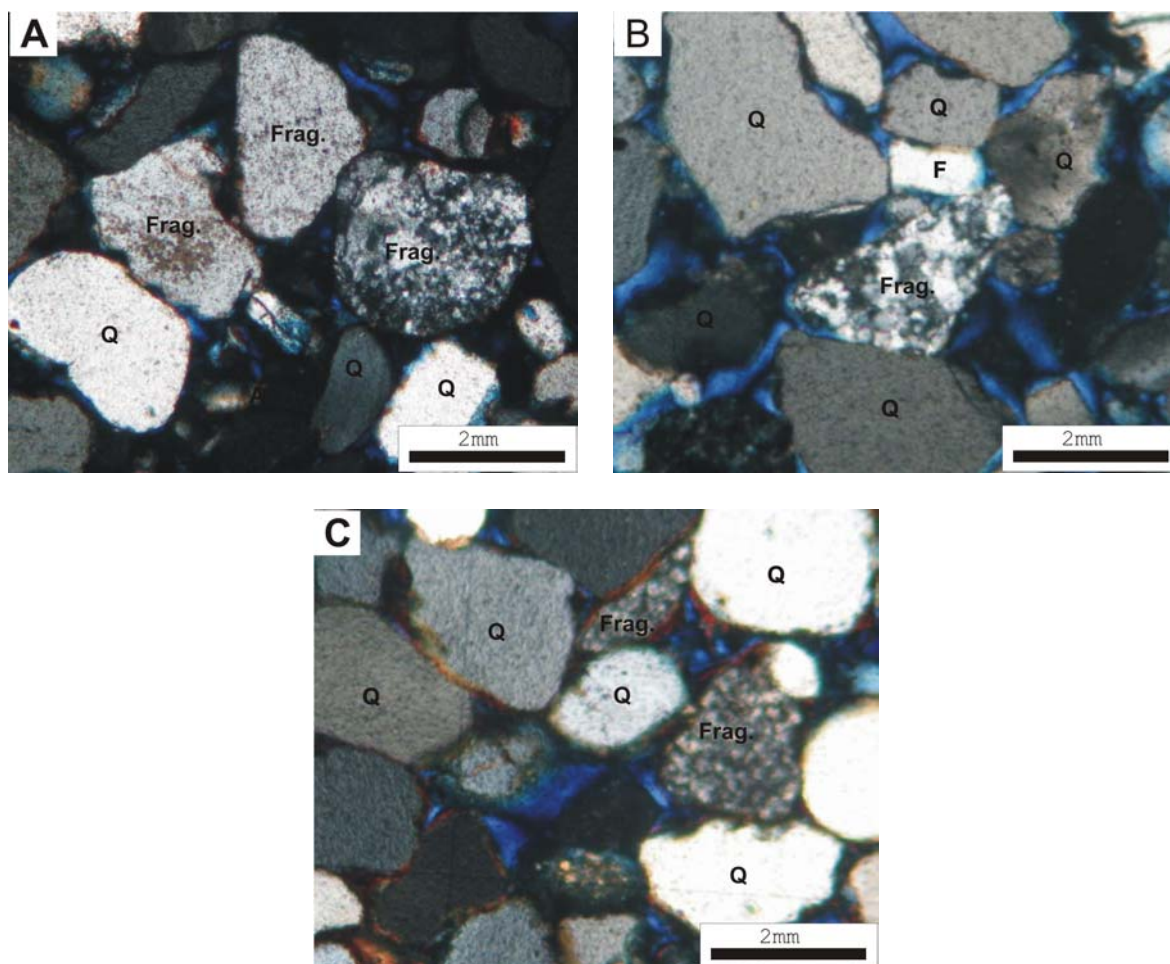


**Figura 36:** Grãos de feldspatos (nicóis cruzados - aumento 10x) A = Formação Adamantina: Plagioclásio (amostra n°03); B = Formação Araçatuba: Microclínio (amostra n°09); C = Formação Sto Anastácio: Microclínio (amostra n°44); D = Formação Caiuá: Microclínio (amostra n°77) (F=feldspato, Q= quartzo).

### 6.3.3 - FRAGMENTOS LÍTICOS.

Fragmentos líticos, compostos por clastos de argila a fragmentos de rochas ígneas, foram identificados em pequenas quantidades nas lâminas examinadas, perfazendo 0,90% dos constituintes da amostra (Figura 37). O percentual médio de líticos da Formação Adamantina foi de 0,60%, de 0,40% na Formação Araçatuba, de 0,90% na Formação Santo Anastácio e de 1,0 % na Formação Caiuá.

Barison (2003) encontrou média de 2,6% de fragmentos líticos nos arenitos do Grupo Bauru em sua área de estudo, sendo os mais freqüentes fragmentos de siltitos, lamitos e quartzitos.



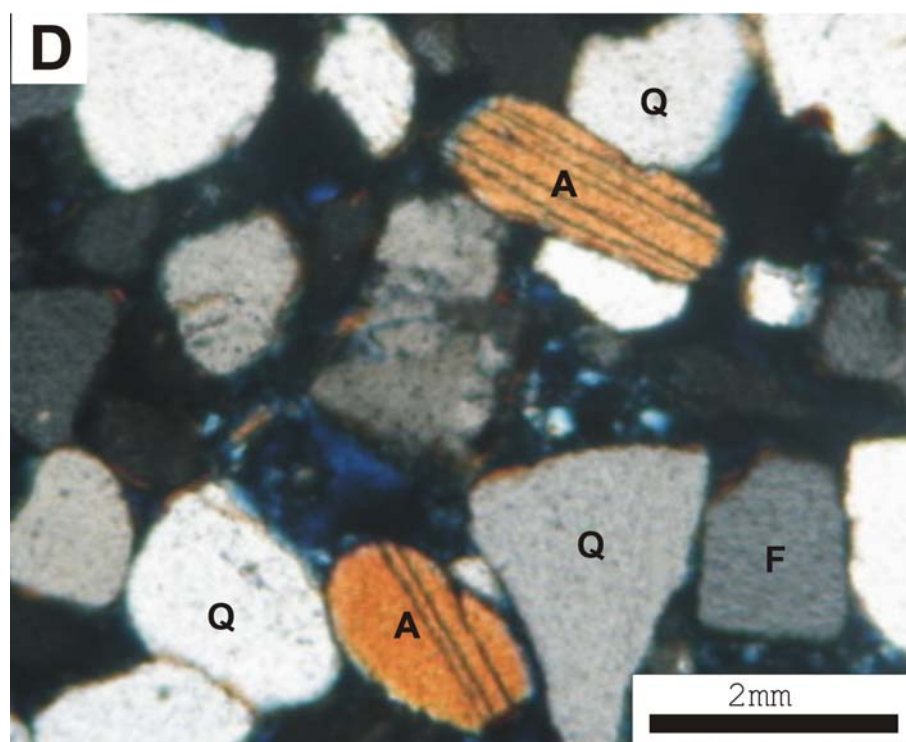
**Figura 37:** Fragmentos líticos encontrados nas amostras (nicóis cruzados - aumento 10x). A = Fragmentos líticos da Formação Adamantina (amostra n°04); B = Fragmento lítico da Formação Sto Anastácio (amostra n°18); C = Fragmento líticos da Formação Caiuá (amostra n°72) (F=feldspato, Q= quartzo, Frag. =fragmento lítico).

### 6.3.4 - MINERAIS ACESSÓRIOS

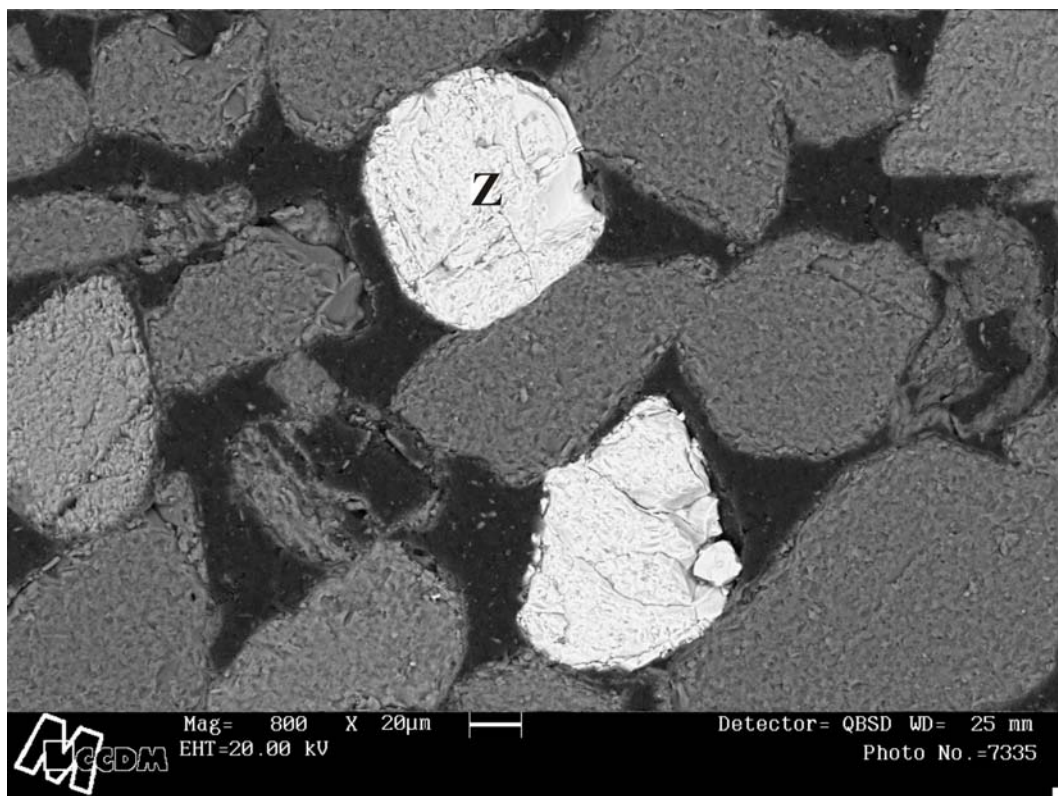
A quantidade de minerais acessórios nos arenitos depende da abundância de cada mineral na rocha fonte (BLATT, 1992).

Estudos realizados no Grupo Bauru por Brandt Neto (1977) registraram grande variedade de minerais acessórios, entre os quais, turmalina, estaurolita, granada, zircão, augita, perowskita e rutilo. Barison (2003) também registrou a ocorrência de minerais como zircão, turmalina e rutilo.

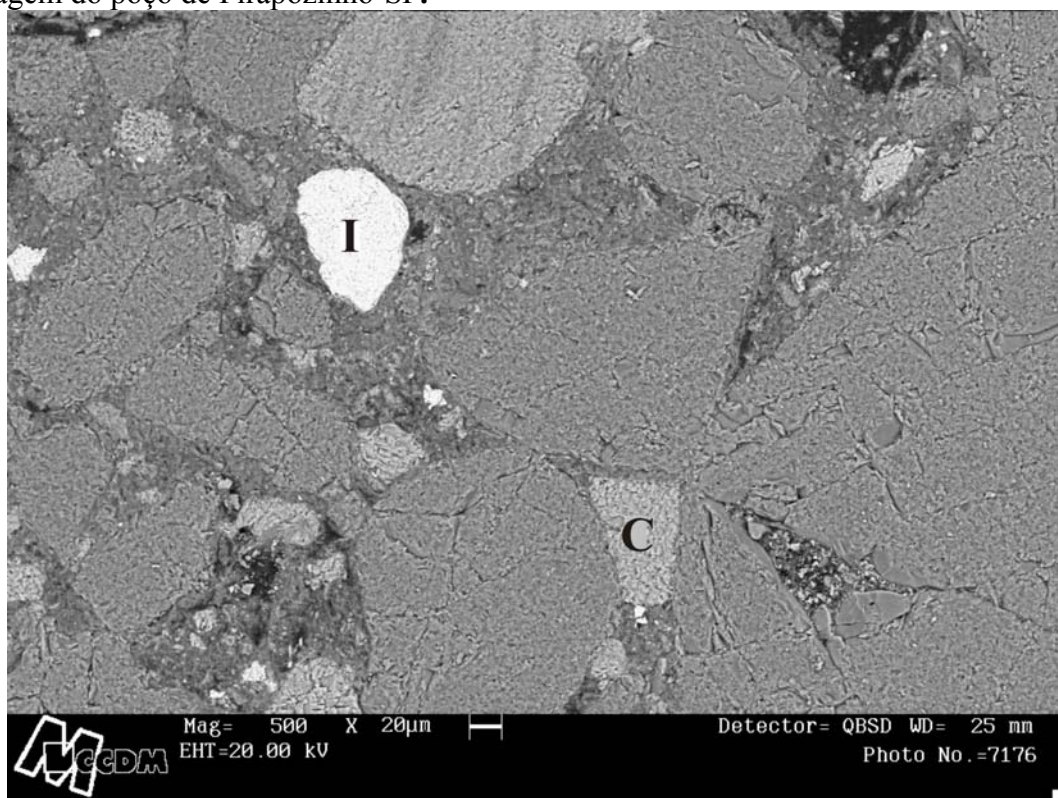
Na atual pesquisa, o percentual médio de ocorrência de minerais acessórios é de 1,78%. Os minerais mais comuns observados na análise de microscopia óptica foram zircão e augita, este último bastante alterado (Figura 38). Na microscopia eletrônica de varredura – MEV, foram identificados zircão (Figura 39), ilmenita (Figura 40), augita (Figura 41), apatita (Figura 42) e cromita (Figura 43).



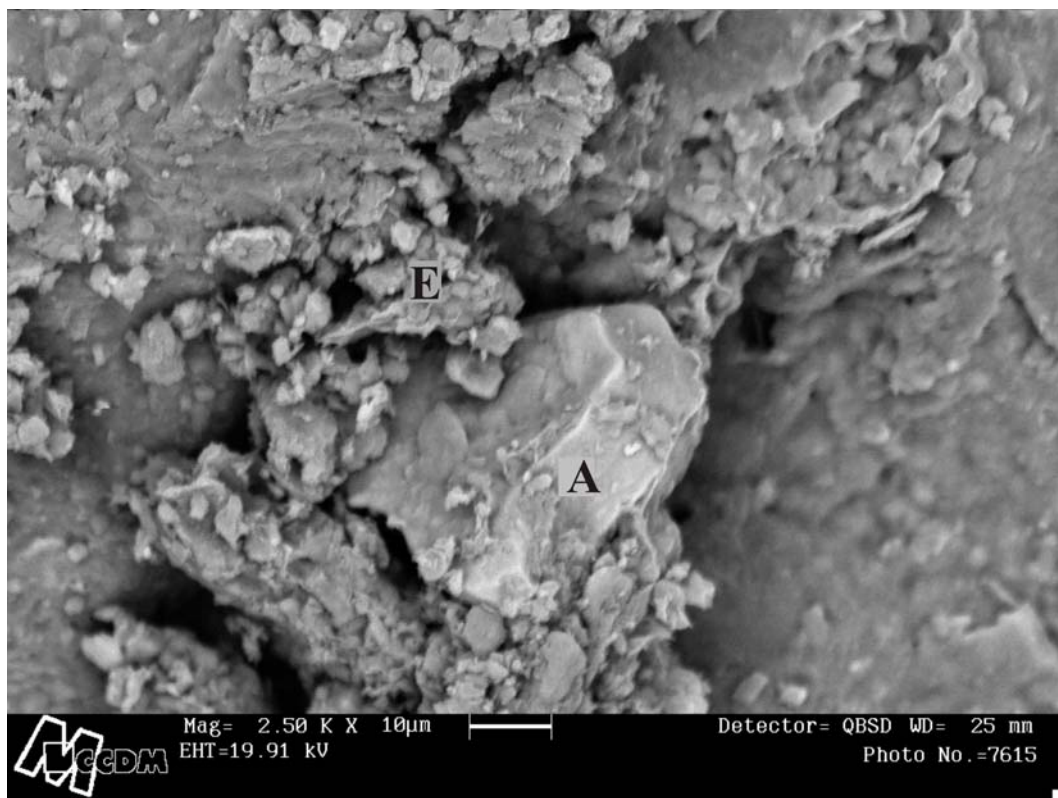
**Figura 38:** Augita na Formação Caiuá – amostra nº77 (nicóis cruzados-aumento 10x) (A= augita; F=feldspato, Q= quartzo).



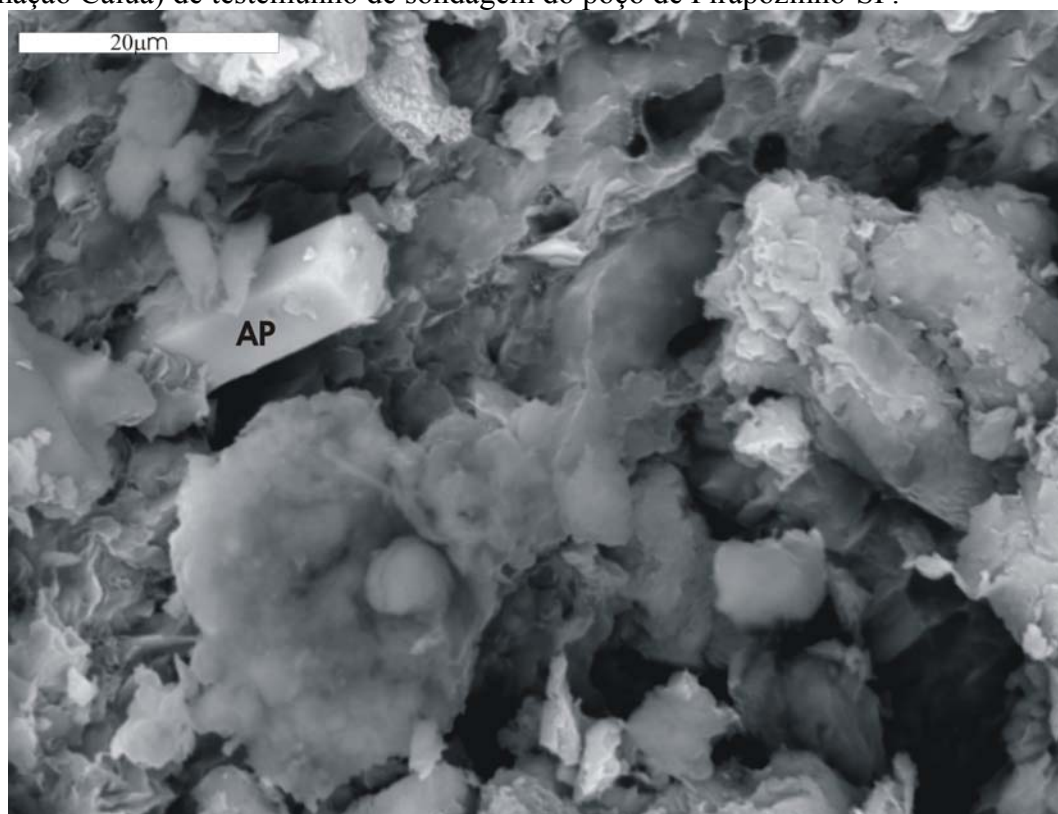
**Figura 39:** Fotomicrografia de Zircão (Z), em lâmina, observado por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Amostra n° 10 (Formação Sto Anastácio) de testemunho de sondagem do poço de Pirapozinho-SP.



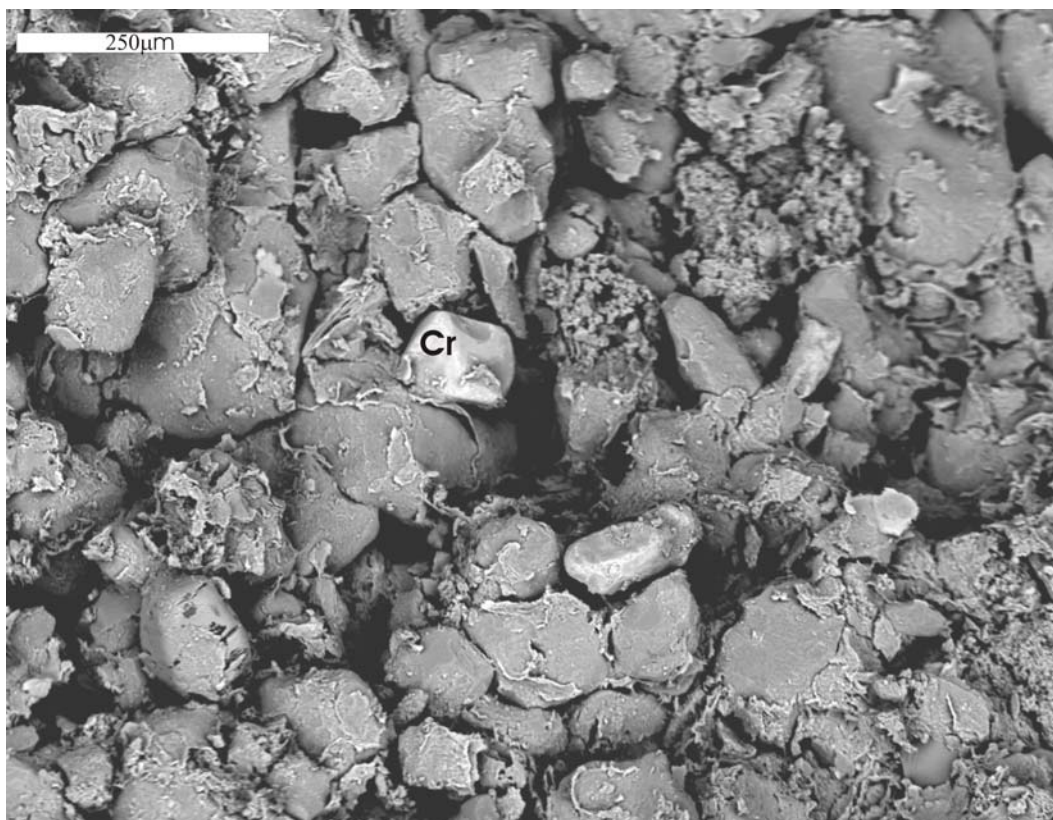
**Figura 40:** Fotomicrografia da Ilmenita (I) e Calcita (C), em lâmina, observado por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Amostra n° 58 (Formação Sto Anastácio) de testemunho de sondagem do poço de Pirapozinho-SP.



**Figura 41:** Fotomicrografia da augita (A) envolvida por esmectitas (E), em fragmento de rocha, observado por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Amostra n° 2/4 (Formação Caiuá) de testemunho de sondagem do poço de Pirapozinho-SP.



**Figura 42:** Fotomicrografia da apatita (A) envolvida por esmectitas, em fragmento de rocha, observado por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Amostra n° 120/1 (Formação Araçatuba) de testemunho de sondagem do poço de Pirapozinho-SP.



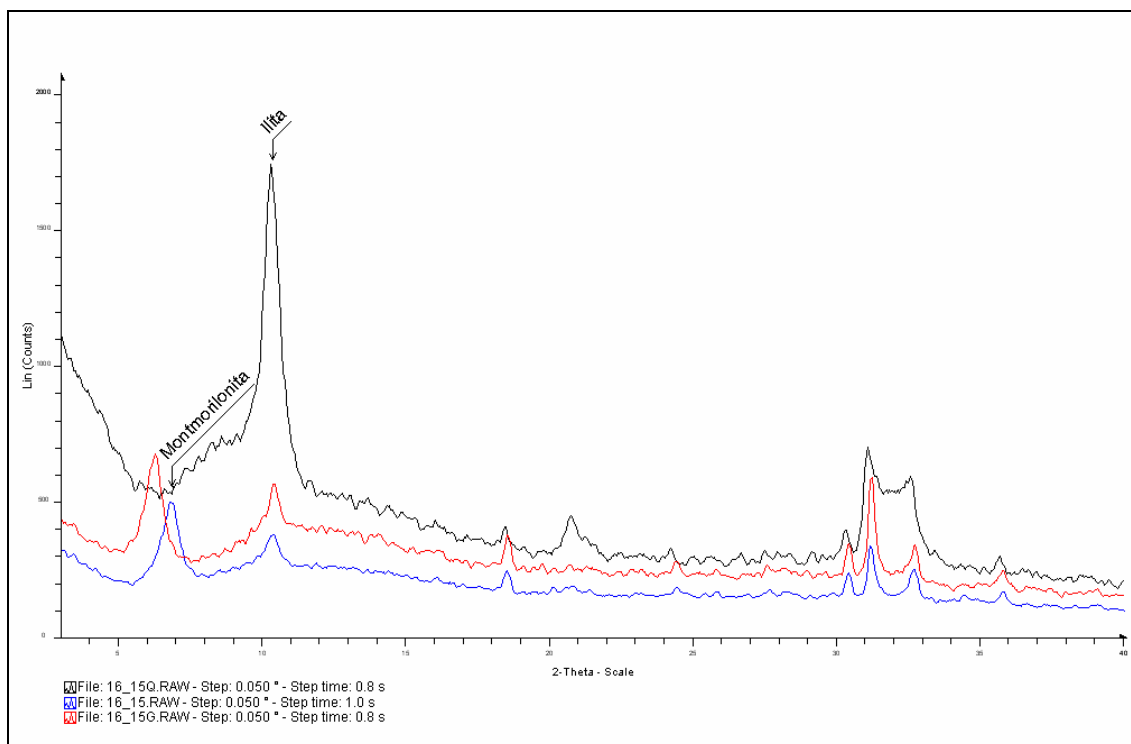
**Figura 43:** Fotomicrografia da cromita (Cr) em fragmento de rocha, observado por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Amostra n° 138/2 (Formação Adamantina) de testemunho de sondagem do poço de Pirapozinho-SP.

### 6.3.5 - MATRIZ

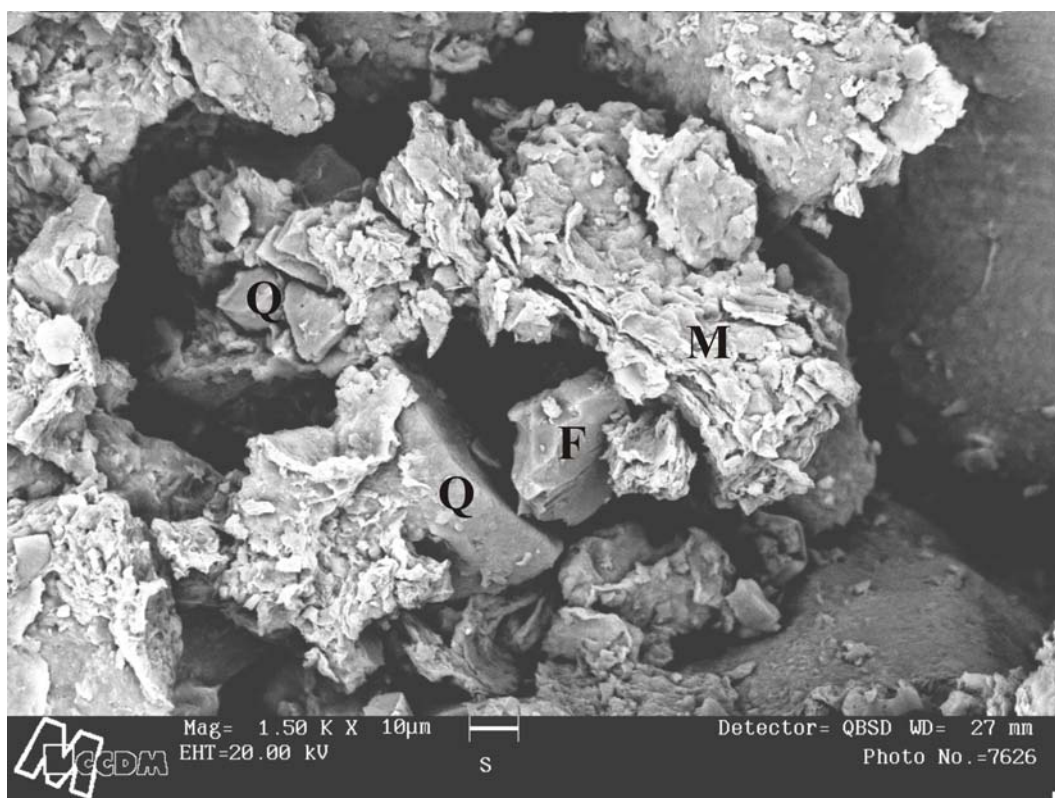
As amostras de rocha analisadas apresentam matriz constituída, predominantemente, por argilominerais do tipo illita e montmorilonita e em menor quantidade aparece a caulinita. Estas observações foram efetuadas através de difratometria de Raios X (Figura 44 e 46), microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura - MEV (Figura 45 e 47).

A Formação Adamantina apresentou em média 7,51% de matriz, a Formação Araçatuba apresentou uma média de 8,25%, a Formação Santo Anastácio apresentou em média 3,20% e Caiuá com 5,67%. Observa-se também que esta quantidade de matriz varia entre intervalos da mesma Formação (Figura 48), ou seja, aparecendo em grande quantidade em alguns locais e praticamente desaparecendo em outros.

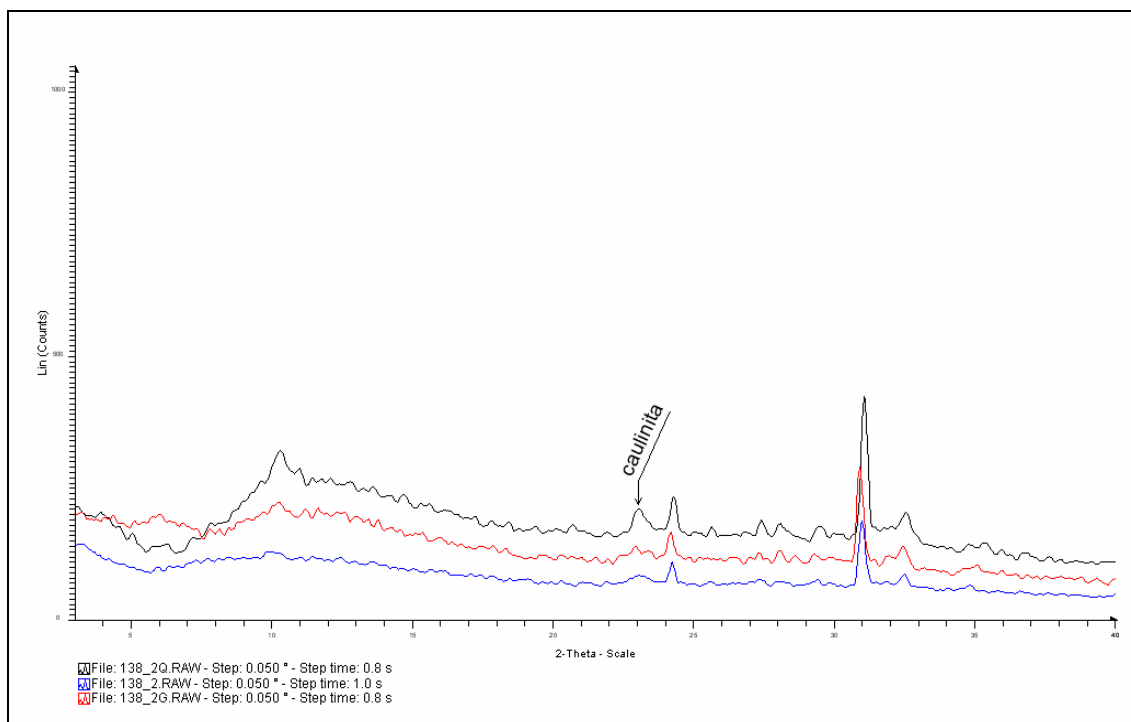




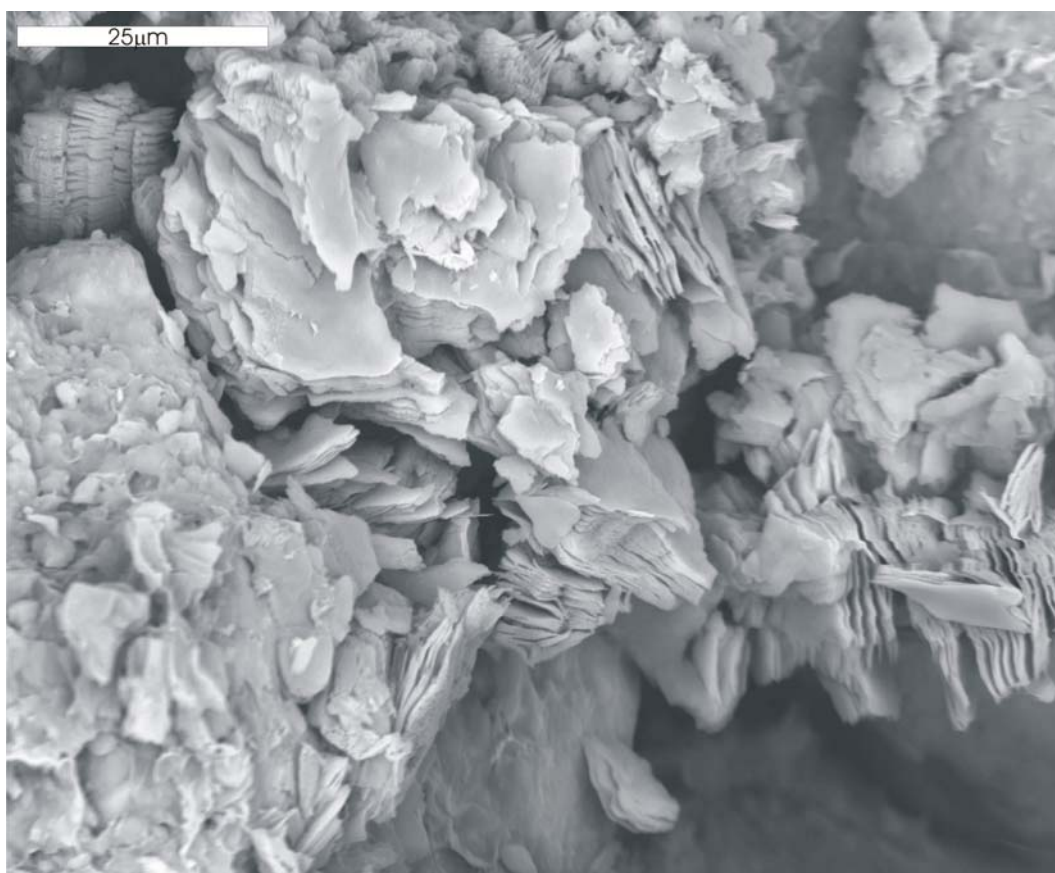
**Figura 44:** Difratoograma dos argilominerais montmorilonita e illita obtido da fração  $<2\mu$  (amostra 16/15) da Formação Caiuá no poço de Pirapozinho (SP) (azul = amostra normal; vermelho = amostra glicolada; preto = amostra queimada).



**Figura 45:** Montmorilonita (M) envolvendo grãos de feldspatos (F) e quartzos (Q) (Fotomicrografia de MEV, em fragmento de rocha). Amostra (84/10) de testemunho de sondagem da Formação Sto Anastácio, poço de Pirapozinho (SP).



**Figura 46:** Difratoograma da caulinita obtido da fração  $<2\mu$  (amostra 138/2) da Formação Caiuá no poço de Pirapozinho (SP) (azul = amostra normal; vermelho = amostra glicolada; preto = amostra queimada).



**Figura 47:** Caulinita vermiforme (Fotomicrografia de MEV, em fragmento de rocha). Amostra (138/2) de testemunho de sondagem da Formação Caiuá, poço de Pirapozinho (SP).

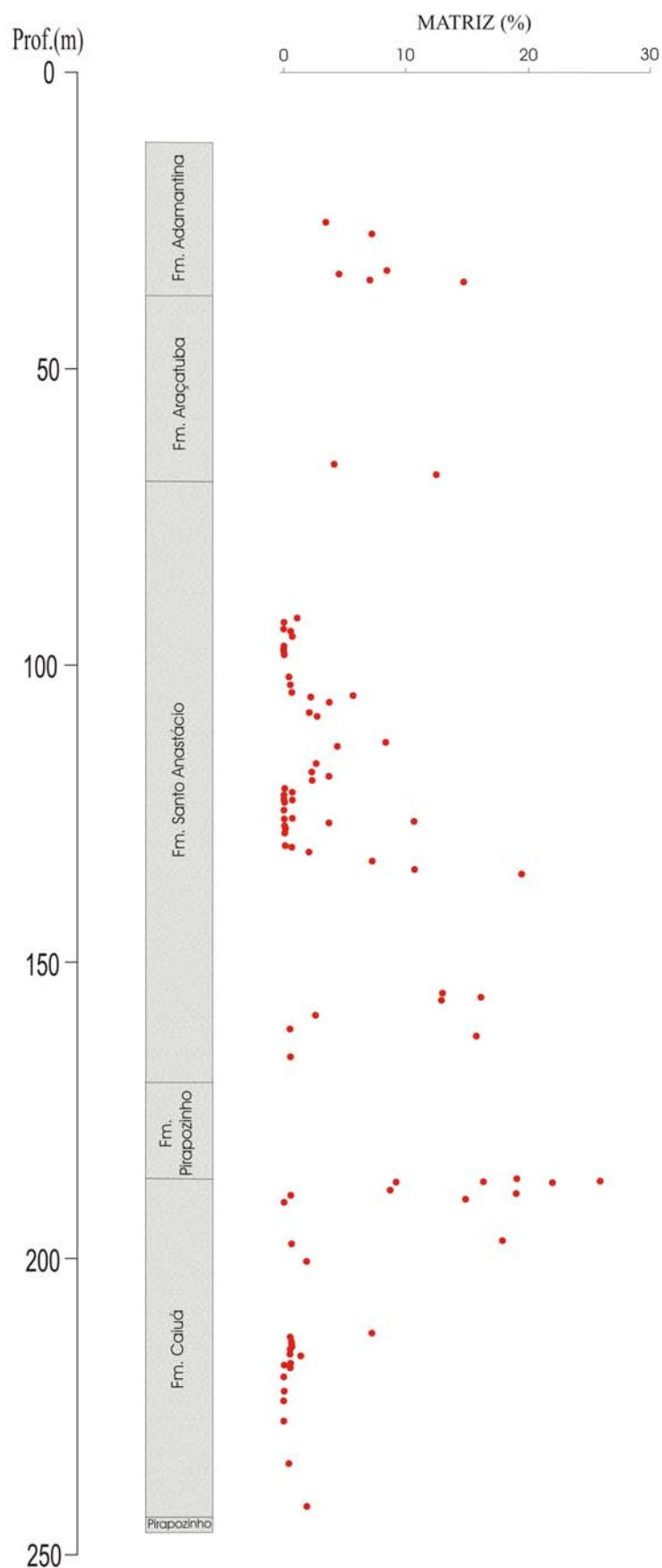


Figura 48: Gráfico de matriz versus profundidade das amostras do poço de Pirapozinho (SP).

## 6.4 - PROCESSOS DIAGENÉTICOS

A diagênese compreende os processos físicos, bioquímicos e químicos atuantes sobre os sedimentos após a deposição, bem como, durante e após a litificação destes, excluindo processos de alteração e metamorfismo (MORAD, 1991 e BLATT, 1992). O campo da diagênese estende-se desde a superfície até cerca de 5 a 7 km de profundidade, abrangendo variações de 21 a 200 °C de temperatura e 1 a 2000 atmosferas de pressão. Os campos diagenéticos são subdivididos em eodiagênese, mesodiagênese e telodiagênese (SCHMIDT & MCDONALD, 1979 *apud* WILSON, 1994).

A eodiagênese compreende os processos controlados pelo ambiente deposicional e estende-se desde próximo à superfície até aproximadamente 1 km de profundidade, com temperatura em torno de 50°C (WAHAB, 1998). Os processos eodiagenéticos são influenciados por mudanças relativas do nível do mar, fácies deposicionais e pela interação entre os fluidos (MORAD *et al.*, 2000).

A mesodiagênese refere-se às condições de soterramento efetivo, a partir de 1 km até cerca de 5 a 7 km de profundidade, abrangendo variações de 50°C a 200°C de temperatura, onde ocorrem as litificações através de compactação e cimentação dos grãos (DE ROS & MORAES, 1984).

A telodiagênese ocorre quando unidades sedimentares que foram submetidas a eodiagênese e mesodiagênese são soerguidas e sofrem influência de fluidos meteóricos.

Os sedimentos do Grupo Bauru, estudados em lâminas delgadas por microscopia óptica e por meio de microscopia eletrônica de varredura, foram submetidos a uma diagênese rasa e pouco intensa. A eodiagênese, única fase presente nestes arenitos estudados, foi caracterizada por pequena compactação mecânica; cimentação por óxido e hidróxido de ferro, por carbonatos, por zeólitas; dissolução de minerais detríticos e formação de argilominerais.

Os eventos diagenéticos a que foram submetidos os sedimentos do Grupo Bauru, são descritos a seguir.

### 6.4.1 - DISSOLUÇÃO DE ALUMINOSSILICATOS, MINERAIS PESADOS E FRAGMENTOS LÍTICOS.

As dissoluções de minerais pesados, aluminossilicatos e fragmentos líticos foram observadas em todas as formações, sendo que na Formação Caiuá, elas aparecem com maior

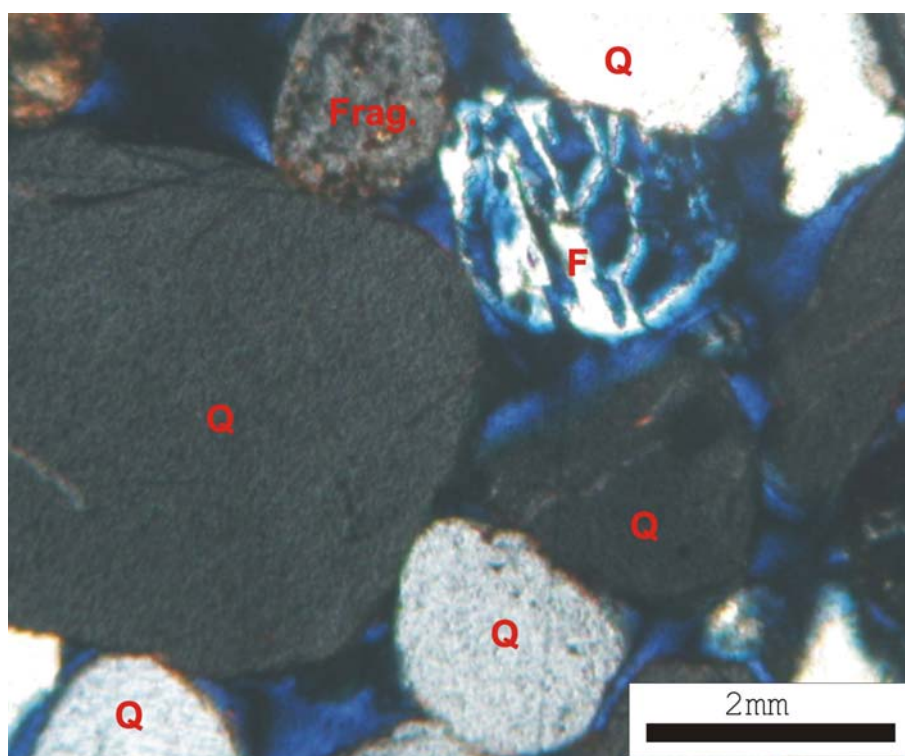
freqüência. Esse processo de dissolução foi observado nas amostras em lâminas através da análise por microscopia óptica (Figura 49) e na microscopia eletrônica de varredura–MEV (Figura 50).

Nos arenitos estudados, os minerais pesados, principalmente augita e ilmenita, aparecem em abundância e bastante alterados, esta quantidade de minerais é de se esperar devido composição da rocha fonte. A dissolução destes minerais ocorre de forma precoce nestes sedimentos, liberando principalmente íons de  $\text{Ca}^{2+}$  e Fe.

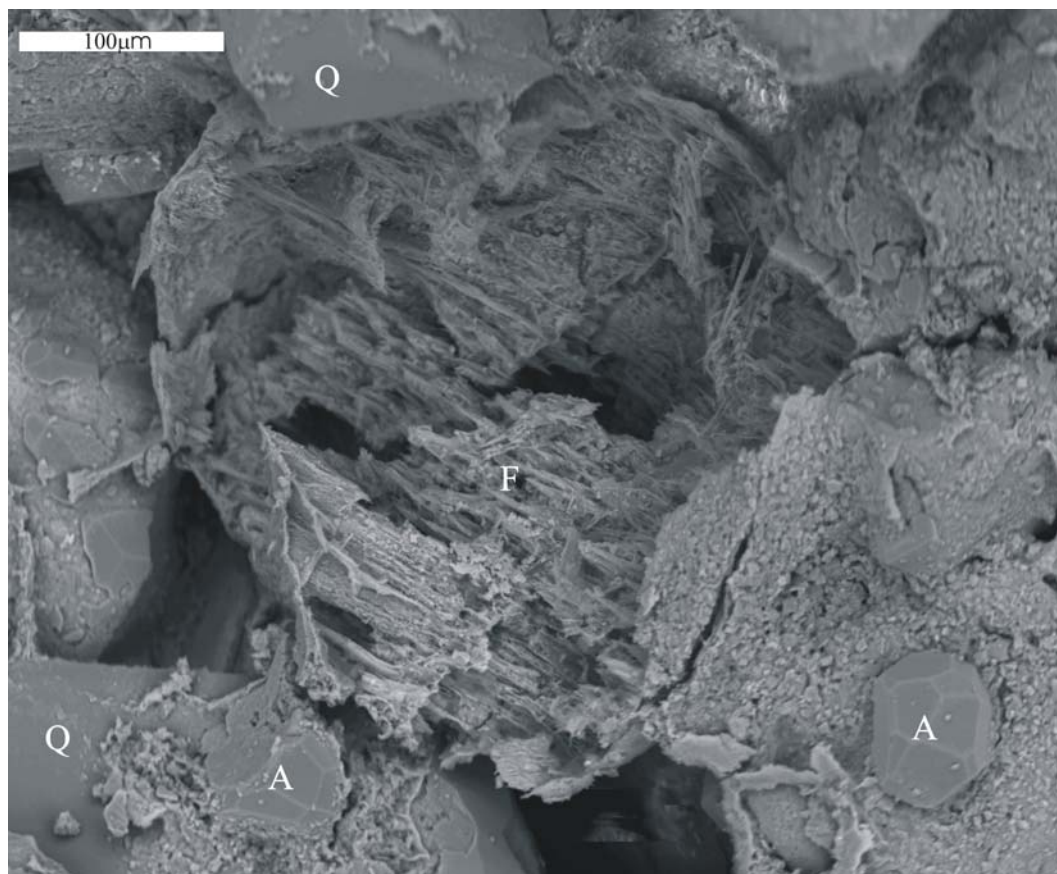
Os fragmentos líticos, embora em pequena quantidade, aparecem em todas as formações. A dissolução destes fragmentos, principalmente de origem vulcânica, contribui para a liberação de íons como Fe,  $\text{Na}^+$ .

A dissolução de silicatos, que ocorre com maior freqüência nos sedimentos estudados, aparece principalmente afetando os grãos de feldspatos. A dissolução destes minerais pode liberar quantidade significativa de  $\text{Si}^{4+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  nos fluidos dos poros.

Além da liberação de íons, a dissolução gera a porosidade secundária que foi encontrada com freqüência nas amostras estudadas.



**Figura 49:** Dissolução de feldspato na Formação Caiuá – amostra n°74 (nicóis cruzados-aumento 10x) (F=feldspato, Q= quartzo, Frag= Fragmento de lítico).



**Figura 50:** Dissolução de feldspato na Formação Caiuá – amostra nº6/23 observado em microscopia eletrônica de varredura - MEV (F=feldspato, Q= quartzo, A= analcima).

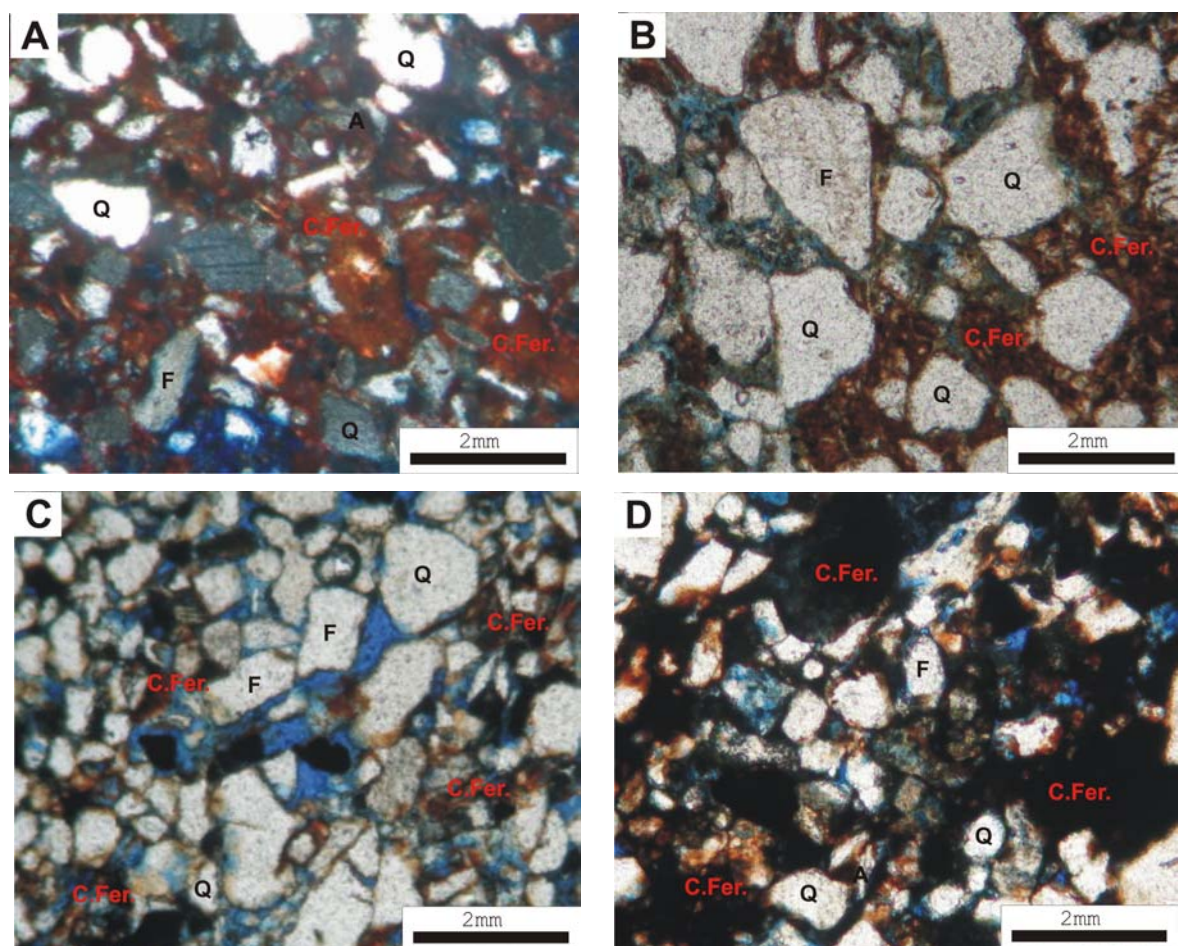
#### 6.4.2 - PRECIPITAÇÃO DE CIMENTO FERRUGINOSO

Na maioria das amostras foi constatada cimentação ferruginosa por goetita e/ou limonita, estando os grãos, às vezes, recobertos por uma fina película de coloração acastanhada (Figura 51). Esta cimentação aparece em todas as formações, porém nota-se que em alguns intervalos onde há grande concentração de matriz, esta cimentação torna-se menos expressiva.

Tucker (1991) sugere que o suprimento de ferro provém da dissolução de silicatos detríticos, tais como a hornblenda, augita, biotita e magnetita. Para Fernandes (1992), a formação de película de óxido de ferro envolvendo os grãos de arenitos do Grupo Bauru é um processo eodiagenético. Barison (2003), considerou que esse processo de cimentação foi desenvolvido nas fases eodiagenética e telodiagenética.

A dissolução de minerais pesados, descrito no item anterior, pode contribuir significativamente para a precipitação de óxidos e hidróxidos de ferro. Como também, para o

aumento da concentração de íons de Fe e Mg em solução. Segundo Walker (1976, *apud* MORAD, 1991) a maior parte dos cimentos ferruginosos em arenitos seria formada pela alteração diagenética de minerais detríticos portadores de ferro como piroxênios, anfibólios, biotita, magnetita e óxido de Fe-Ti.



**Figura 51:** Cimentação ferruginosa (nicóis paralelos - aumento 10x); A = Formação Adamantina (amostra n°01); B = Formação Araçatuba (amostra n°13); C = Formação Sto Anastácio (amostra n°87); D = Formação Caiuá (amostra n°18) (F=feldspato, Q= quartzo, C.Fer.= cimentação ferruginosa).

### 6.4.3 - ARGILOMINERAIS

Os argilominerais geralmente possuem uma estrutura cristalina complexa, pois além da interestificação de diversas esmectitas e outros filossilicatos, costumam ocorrer substituições isomórficas na rede, provocando grande variação na sua composição química (MORAD, 1991).

A montmorilonita pode ser gerada pelo processo de hidrólise dos silicatos em arenitos, onde grande parte dos íons liberados é constituída por alumínio, sílica e possivelmente íons de sódio, que podem ser reprecipitados inicialmente neste argilomineral. A ilita, bem como a caulinita, podem ser geradas pelo mesmo processo (WALKER *et al.*, 1978).

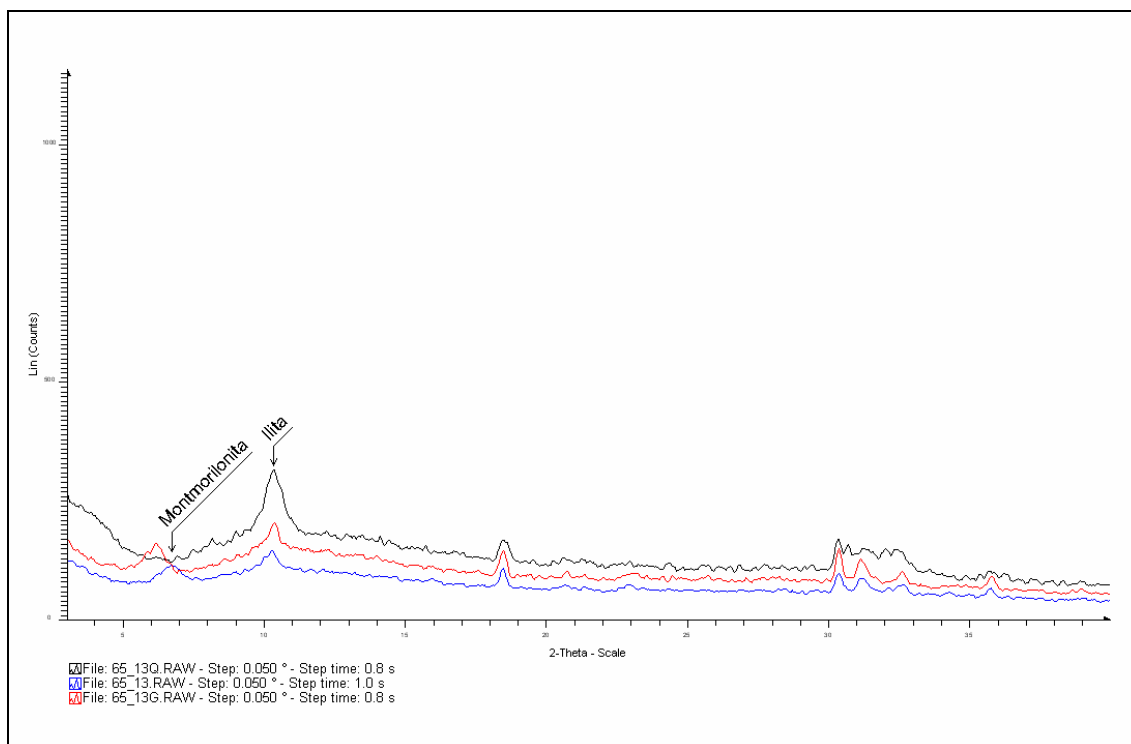
Nas lâminas analisadas, a ocorrência de argilominerais é comum em todas as profundidades representadas nas amostras estudadas, aparecendo em todas as formações. Na microscopia eletrônica de varredura - MEV (Figura 52) e na difratometria de Raios X (Figura 53), os argilominerais observados com maior frequência foram ilita e montmorilonita.

Nas amostras estudadas houve dificuldade em relação à origem destes argilominerais. Em alguns casos pode não ser de origem diagenéticas, mas de origem detrítica. Estes argilominerais aparecem muitas vezes preenchendo os poros e englobando os grãos do arcabouço (Figura 52).



**Figura 52:** Ilita/montmorilonita (I/M) envolvendo grãos de analcima (A) e feldspato (F) (Fotomicrografia de MEV, em fragmento de rocha). Amostra (65/13) de testemunho de sondagem da Formação Santo Anastácio, poço de Pirapozinho (SP).





**Figura 53:** Difratoograma dos argilominerais montmorilonita e illita obtido da fração  $<2\mu$  (amostra 65/13) da Formação Santo Anastácio no poço de Pirapozinho (SP) (azul = amostra normal; vermelho = amostra glicolada; preto = amostra queimada).

#### 6.4.4 - COMPACTAÇÃO MECÂNICA

A compactação mecânica nestes sedimentos é de baixa intensidade, uma vez que, os sedimentos foram submetidos a pequeno soterramento. Nas análises das lâminas de arenitos, são observados predominantemente contatos entre grãos do tipo pontual e, raramente se observam contatos planares.

#### 6.4.5 - CALCITA

Walker, Waugh & Grone (1978) descreveram que a calcita autigênica pode apresentar-se como grão cristalino ou, mais frequentemente, preenchendo poros e vazios oriundos de dissolução de minerais.

Barison (2003) encontrou em arenitos do Grupo Bauru cimentação carbonática, preenchendo os vazios inter granulares, formando franja carbonática sobre os grãos e substituindo parcialmente os feldspatos.

Segundo Tucker (1991) a cimentação carbonática é comum em quartzos arenitos, arcósios e litoarenitos. A precipitação deste tipo de cimento pode resultar na perda total da porosidade e permeabilidade do reservatório.

Morad (1991) descreve que a principal fonte de bicarbonatos cálcicos e magnesianos para a precipitação de cimento carbonático em sedimentos marinho são os carbonatos detríticos e a água marinha. Outras fontes de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  são argilominerais, plagioclásio e minerais pesados.

A cimentação carbonática aparece na maioria das lâminas analisadas, onde ocorrem preenchendo vazios intergranulares e também substituindo parcialmente os grãos dissolvidos (Figura 54). Esta cimentação carbonática foi visualizada em análise petrográfica através de microscopia óptica, em análise por microscopia eletrônica de varredura e difratometria de Raios X (Figura 55).

Neste presente estudo, foram identificados vários tipos de cimentos carbonáticos como calcita microcristalina (Figura 56), calcita em mosaico e poiquilotópica e calcita tardia.

Os cimentos microcristalinos ocorrem em uma fase mais precoce como cristais esféricos e micrométricos, possivelmente relacionados à geração de calcretes, onde aparecem como concreções esféricas, de dimensões milimétricas (Figura 57).

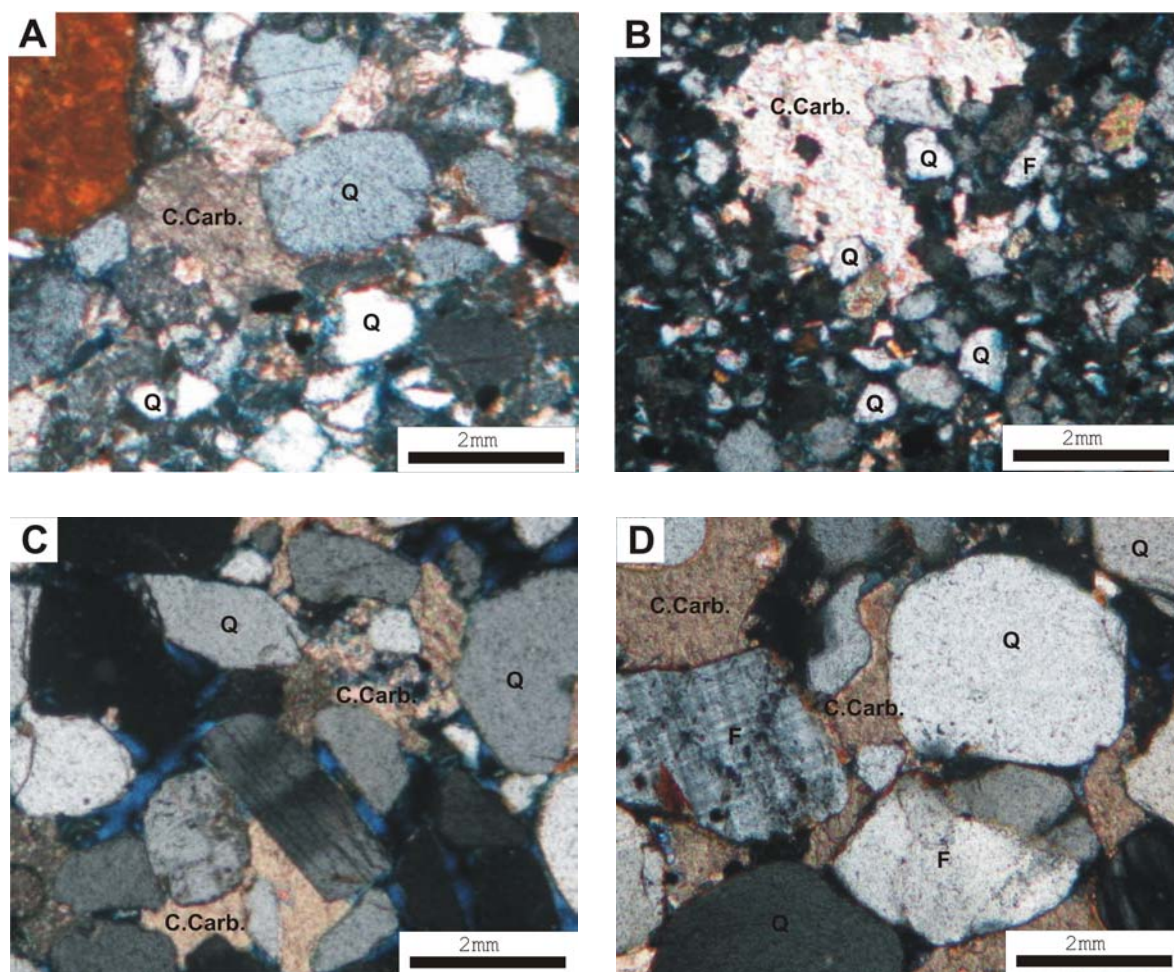
Segundo Batezelli et al (2005), a ocorrência de calcretes indica condições semi-áridas a áridas e sua formação ocorre pela acumulação de  $\text{CaCO}_3$  nos solos de regiões de climas áridos, devido à intensa evapotranspiração e mudança na pressão parcial do  $\text{CO}_2$ .

Esteban & Klappa (1983) sugere que a formação de calcretes é o resultado de processos pedogenéticos em um clima árido a semi-árido, sobre sedimentos siliciclásticos expostos subaereamente, nestas condições, águas supersaturadas em  $\text{Ca}^+$  e  $\text{CO}_2$ , concentrados nos períodos de intensa evapotranspiração, precipitam o carbonato com textura microcristalina ou criptocristalina. Para Leeder (1975) e Miall (1978), os calcretes são feições típicas do topo de ciclos fluviais.

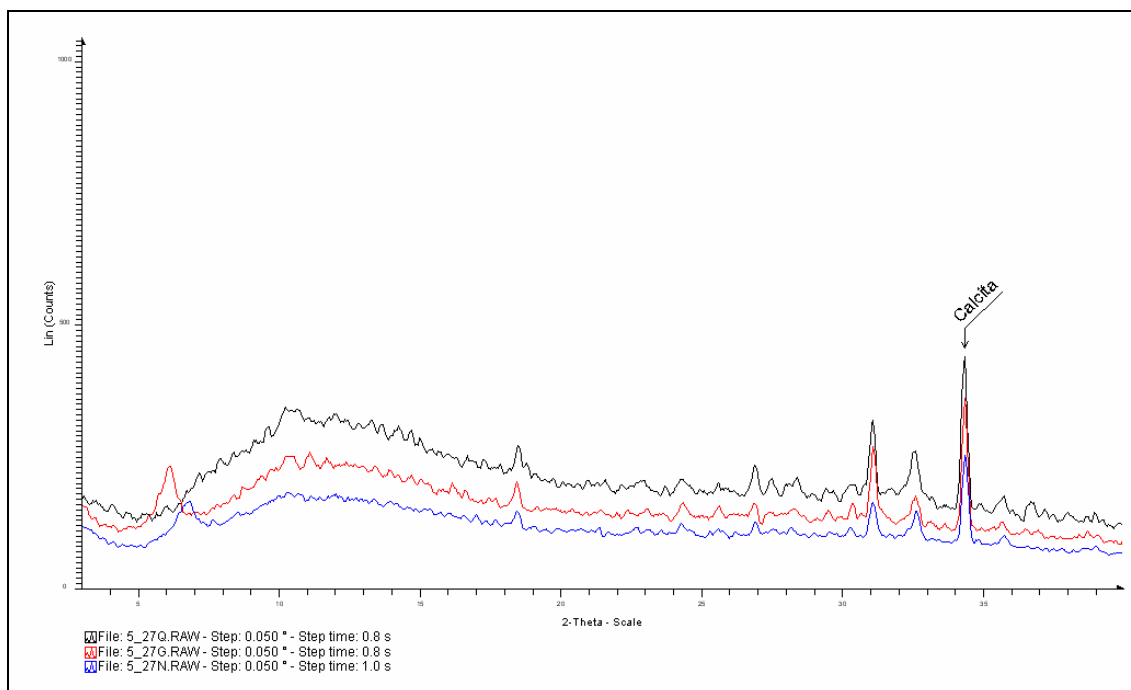
A textura microcristalina, em cimentos carbonáticos é o produto da rápida precipitação próximo à superfície, associada a processos orgânicos e reações químicas que causam rápida supersaturação e múltipla nucleação (MOORE, 1989).

Outra forma de cimento encontrada nestes arenitos foi calcita em mosaico ou poiquilotópica que ocorrem nos sedimentos preenchendo os poros e às vezes ocupando espaços de minerais dissolvidos. Esta fase é um pouco mais tardia em relação à calcita microcristalina. Também foi observada a cristalização de grãos de calcita, onde foram identificados minerais bem formados, muitas vezes associados a zeólitas (Figura 58).

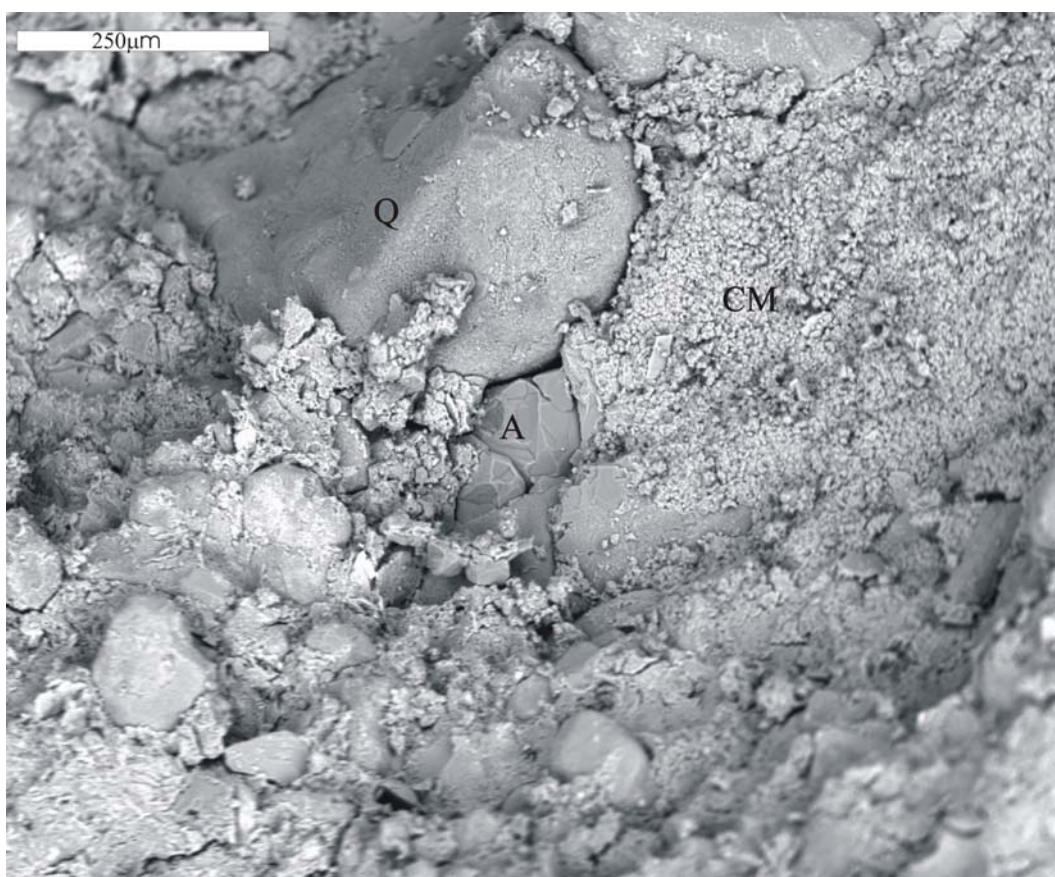
Segundo Hay (1966 apud MORAD, 1991) a analcima co-precipita com a calcita sob condições de alta pressão parcial de  $\text{CO}_2$  em um sistema que normalmente precipitaria analcima sódica-cálcica. Esta calcita pode ser formada pela supersaturação do local, causada por dissolução de cimentos carbonáticos anteriores.



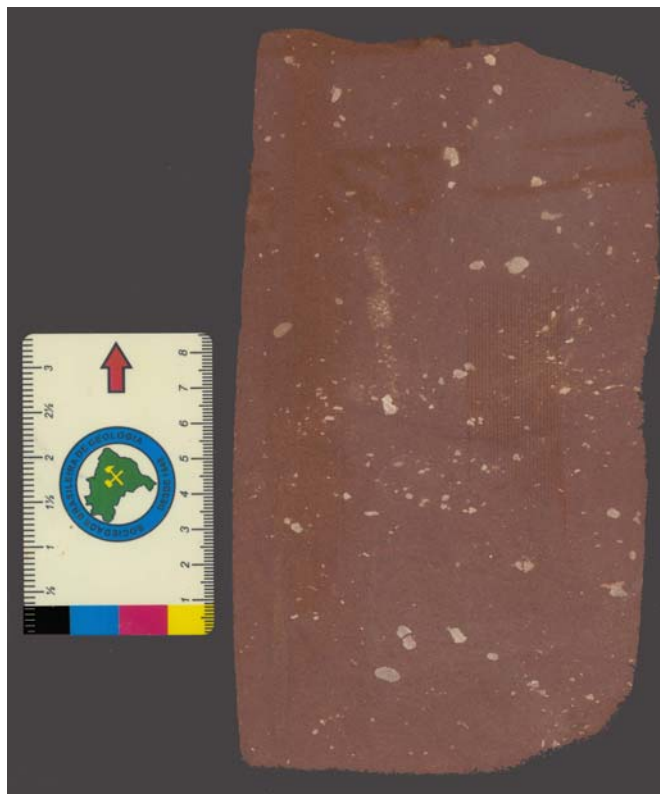
**Figura 54:** Cimentação carbonática envolvendo os grãos (nicóis cruzados - aumento 10x); A = Formação Adamantina (amostra n° 04); B = Formação Araçatuba (amostra n°07); C = Formação Sto Anastácio (amostra n°18); D = Formação Caiuá (amostra n°67) (F=feldspato, Q= quartzo, C.Carb.= cimentação carbonática)



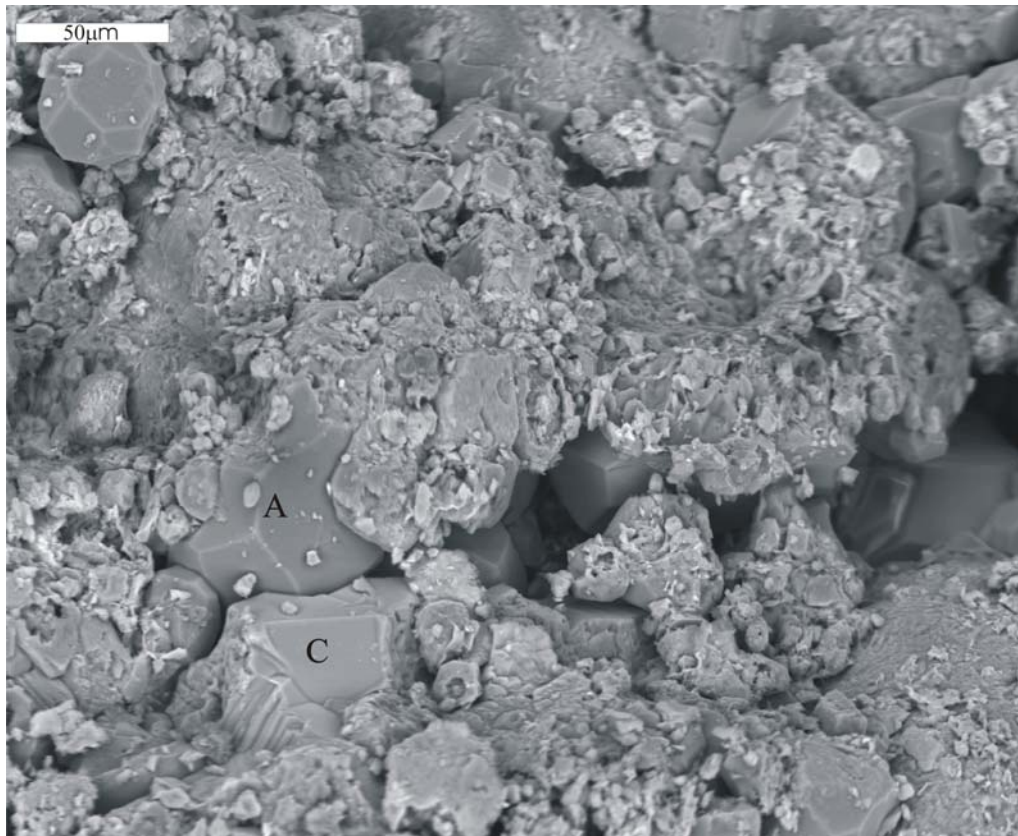
**Figura 55:** Difratoograma da calcita obtida da fração  $<2\mu$  (amostra 5/27) da Formação Caiuá, poço de Pirapozinho (SP) (azul = amostra normal; vermelho = amostra glicolada; preto = amostra queimada).



**Figura 56:** Cimentação carbonática micrítica (CM) envolvendo grão de quartzo (Q) e Analcima (A). (Fotomicrografia de MEV, em fragmento de rocha). Amostra (5/27) de testemunho de sondagem da Formação Caiuá, poço de Pirapozinho (SP).



**Figura 57:** Arenito com calcretes. Amostra (5/27) de testemunho de sondagem da Formação Caiuá, poço de Pirapozinho (SP).



**Figura 58:** Grão de calcita (C) e zeólita (A). (Fotomicrografia de MEV, em fragmento de rocha). Amostra (5/27) de testemunho de sondagem da Formação Caiuá, poço de Pirapozinho (SP).

#### 6.4.6 - ZEÓLITAS

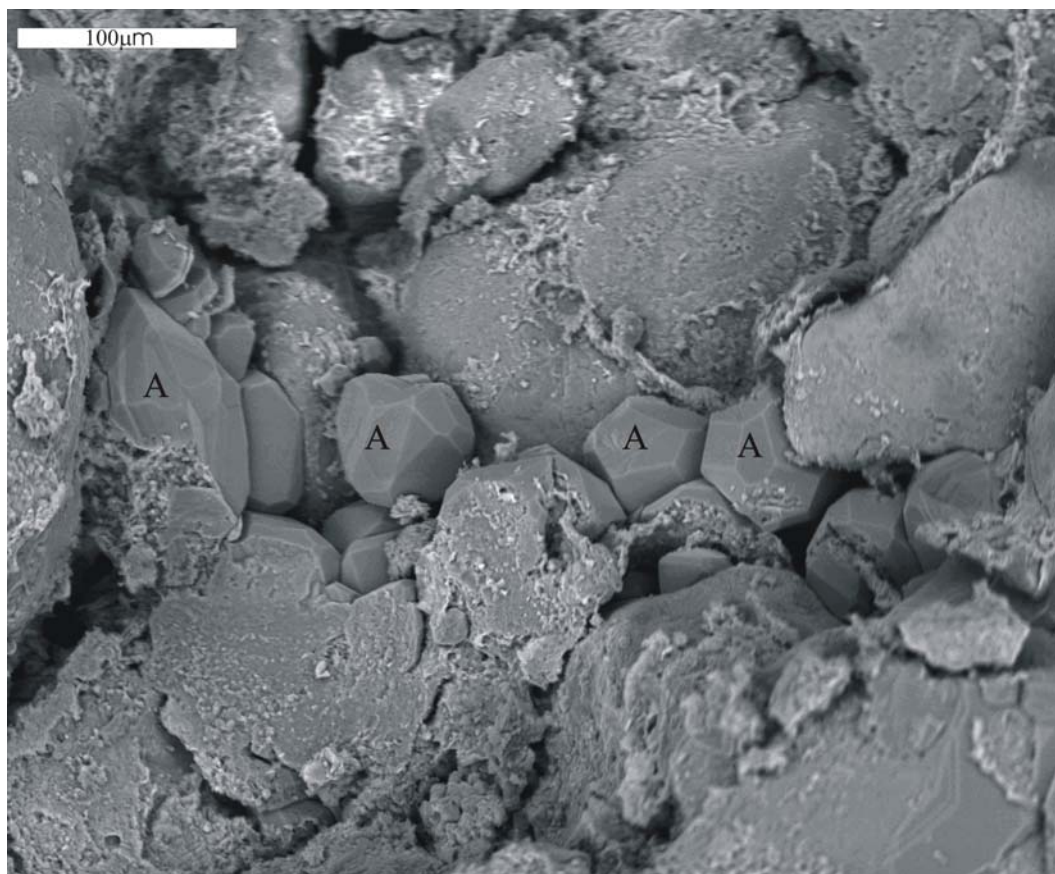
Em estudos das transformações diagenéticas de minerais de argila, silicáticos e de zeólitas (origem vulcânica) em rochas sedimentares argilosas do Cretáceo e Terciário no Japão, foi observado que a cinética de reação para a transformação de zeólitas durante a diagênese é consideravelmente mais rápido e as pressões envolvidas são também menores do que ocorrem com os argilominerais, sendo que a temperatura pode ser o fator mais importante para a transformação das zeólitas, ocorrendo a realocação de cátions,  $\text{SiO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  na sua estrutura inicial (AOYAGI & KAZAMA, 1980).

A precipitação de zeólitas nos arenitos é bastante significativa, pois pode interferir na permeabilidade e porosidade, e com isso reduzir o potencial de fluxo do reservatório (TUCKER, 1991). A analcima é uma zeólita rica em sódio, gerada principalmente por processos de hidrotermalismo com contribuição química de rochas basálticas (MOORE & REYNOLDS, 1997).

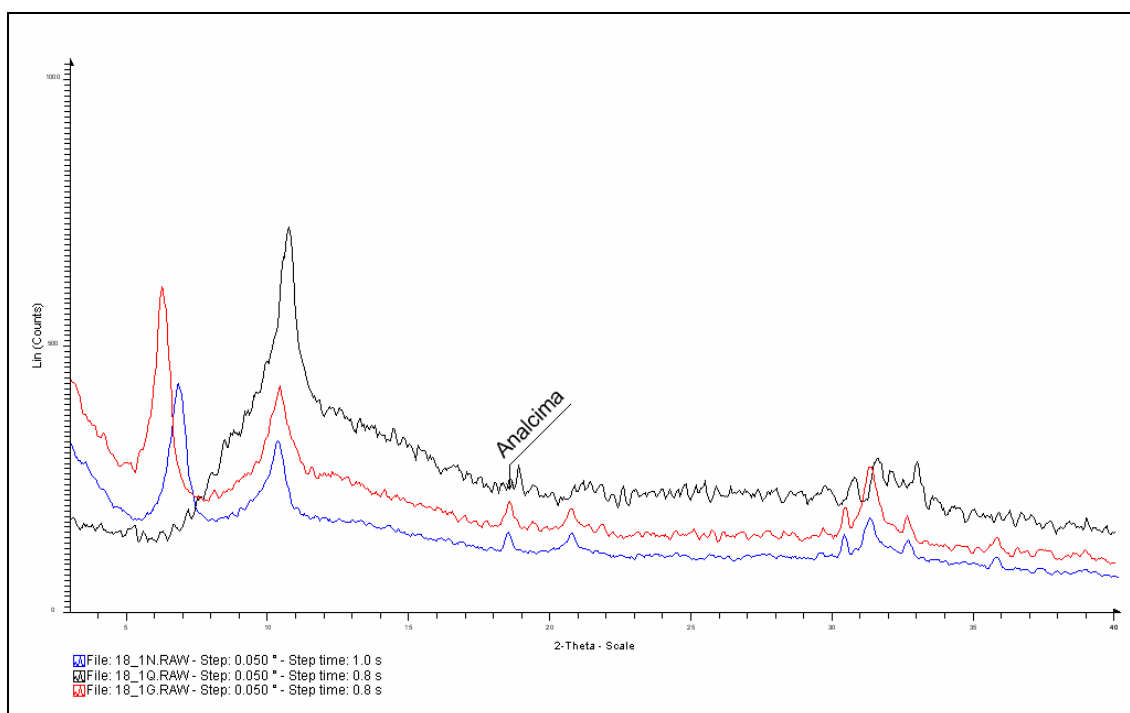
Morad (1991) sugere que as fontes de íons  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Si}^{4+}$  e  $\text{Al}^{3+}$ , necessárias para a formação deste cimento são alterações de plagioclásio e vidros vulcânicos.

Nos estudos efetuados em amostras retiradas do poço de Pirapozinho (SP), a analcima foi identificada pela microscopia eletrônica de varredura-MEV (Figura 59) e pela difratometria de Raios X (Figura 60). Este mineral foi encontrado nas formações Caiuá, Pirapozinho e Santo Anastácio, na maioria das amostras, todavia, não foi encontrada nas formações Araçatuba e Adamantina.

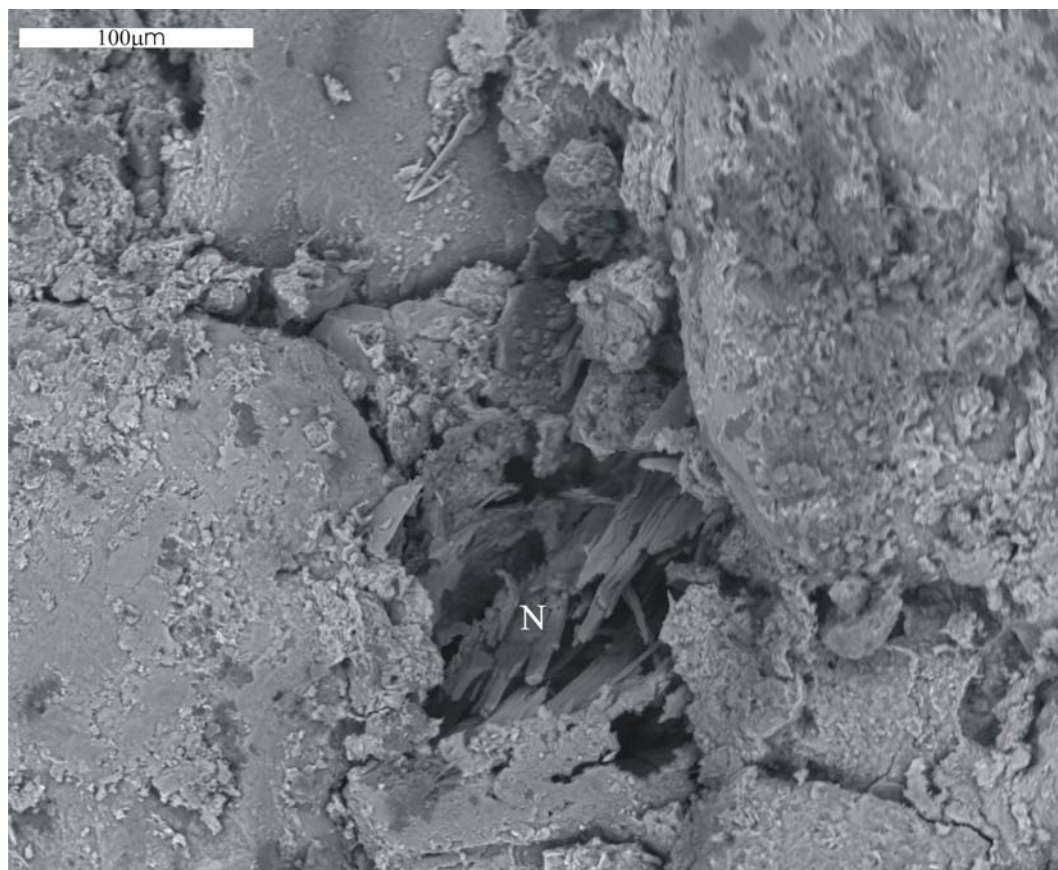
Através da microscopia eletrônica de varredura pode-se observar que este mineral aparece na forma de cristais preenchendo poros, como também, em cavidades. Um outro tipo de zeólita observado nas amostras analisadas foi a natrolita, que aparece com menor frequência, identificada por meio de MEV, com aspecto fibroso (Figura 61) e por difratometria de Raios X (Figura 62).



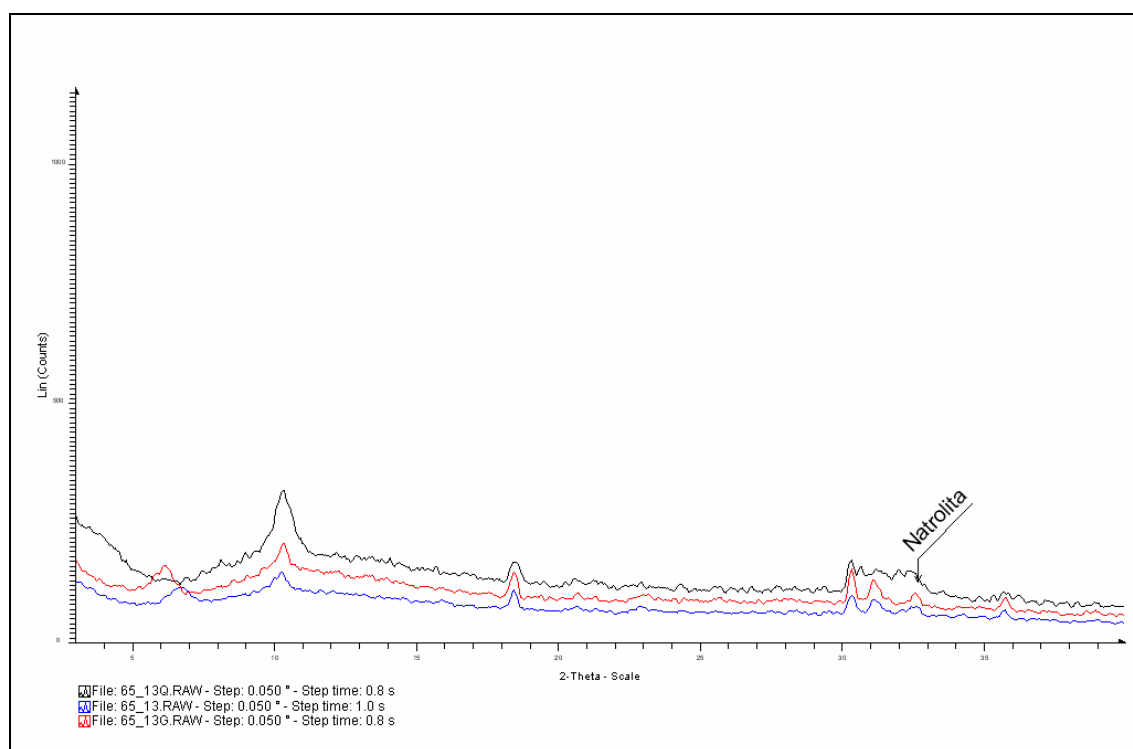
**Figura 59:** Cristais de analcima (A) preenchendo os poros (Fotomicrografia de MEV, em fragmento de rocha). Amostra (18/1) de testemunho de sondagem da Formação Caiuá.



**Figura 60:** Difratoograma da Analcima obtida da fração <math><2\mu</math> (amostra 18/1), Formação Caiuá, poço de Pirapozinho (SP) (azul = amostra normal; vermelho = amostra glicolada; preto = amostra queimada).



**Figura 61:** Natrolita (N) em cavidade (Fotomicrografia de MEV, em fragmento de rocha). Amostra (65/13B) de testemunho de sondagem da Formação Santo Anastácio.



**Figura 62:** Difratograma da natrolita obtida da fração  $<2\mu$  (amostra 65/13), Formação Santo Anastácio, poço de Pirapozinho (SP) (azul = amostra normal; vermelho = amostra glicolada; preto = amostra queimada).



## 6.5 – SEQUÊNCIA DIAGENÉTICA

Os eventos diagenéticos observados desenvolveram-se apenas no estágio eodiagenético, onde se destaca cimentação por óxidos e hidróxidos de ferro que ocorreu em uma fase precoce juntamente, com as dissoluções de minerais pesados, fragmentos líticos e cimentação de calcita microcristalina. A dissolução de aluminossilicatos ocorreu em seguida. As últimas fases foram formação de argilominerais, seguida da cimentação por calcita em mosaico e tardia (recristalização) e cimentação por zeólitas.

O resumo das fases diagenéticas prováveis em que foram submetidos os arenitos do Grupo Bauru estudados, constam da tabela 03.

**Tabela 03** – Fases diagenéticas identificadas nas amostras dos arenitos extraídas do poço no município de Pirapozinho-SP, referente ao Grupo Bauru.



## 7 - CONCLUSÕES

Na área de estudo, as águas pertencentes ao Aquífero Bauru foram classificadas como bicarbonatadas sódicas (47%) e bicarbonatadas cálcicas (40%); secundariamente, aparecem as clorosulfatadas cálcicas e as cloretadas sódicas, respectivamente em 8% e 5% das amostras.

As águas bicarbonatadas sódicas concentram-se na porção leste, nordeste e central da área, enquanto as bicarbonatadas cálcicas distribuem-se por toda a área, com discreto predomínio na porção central.

Em amostras de água das cidades de Taciba, Santo Anastácio, Emilianópolis, Rosana e Presidente Venceslau foram encontrados teores elevados de nitrato, provavelmente associados à contaminação antrópica.

Quanto à interação rocha-fluido analisada através de diagrama de estabilidade, foi constatado que as águas subterrâneas encontram-se em equilíbrio no campo das montmorilonita e secundariamente da caulinita. Observa-se também uma relação com a condutividade, ou seja, quanto maior a condutividade, as amostras se concentram no campo da montmorilonita e próximo ao campo da albita.

O índice de saturação da calcita em relação à condutividade apresenta condições de subsaturação para as amostras com baixa salinidade, enquanto para as águas com maior salinidade tem-se uma condição de equilíbrio ou supersaturação. Para as amostras com pH inferior a 7, o índice de saturação baixo de calcita está associado com as águas de baixa salinidade, o bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) é o anion que está em equilíbrio nesta situação. O curto tempo de residência do aquífero pode ser o responsável pela baixa salinidade das águas.

Nas amostras de água analisadas neste estudo, pode-se observar que todas estão no estado de supersaturação em relação ao quartzo. A baixa salinidade do aquífero, com isso a baixa condutividade, pode ser associada a esta supersaturação que por sua vez, pode estar

ligada à amostragem em poços poucos profundos do Sistema Aquífero Bauru. No diagrama de estabilidade de minerais observa-se que as amostras de águas estão em equilíbrio predominantemente nos campos da caulinita e montmorilonita.

Para a classificação petrográfica, as amostras foram divididas em formações e foram utilizadas as classificações de Dott (1964) e Folk (1968). Para as amostras das formações Adamantina e Araçatuba os arenitos foram distinguidos, segundo a classificação de Dott (1964), como feldspáticos, e de acordo com a classificação de Folk (1968), os arenitos foram classificados preferencialmente com subarcóseo e apenas uma amostra da Formação Adamantina foi classificada como arcóseo.

Os arenitos da Formação Santo Anastácio foram distinguidos, segundo a classificação de Dott (1964), preferencialmente como arenitos feldspáticos e, secundariamente, como quartzo-arenitos e conforme a classificação de Folk (1968), os arenitos foram classificados como subarcóseos.

Na Formação Caiuá, os arenitos foram classificados como feldspáticos, segundo a classificação de Dott (1964) e de acordo com Folk (1968), os arenitos são classificados com subarcóseos (87%) e secundariamente arcóseo (13%).

A porosidade das amostras analisadas não mostrou nenhuma relação com a profundidade, isso pode estar relacionado com a cimentação dos poros. Foi observado que alguns intervalos estão bastante cimentados.

O quartzo foi o mineral mais abundante nas amostras analisadas, suas porcentagens médias, identificadas em lâminas petrográficas, foram de 81,4% na Formação Adamantina, 85,4% na Formação Araçatuba, 84,3% na Formação Santo Anastácio e 80,8% na Formação Caiuá.

Na análise de lâminas por microscopia óptica observou-se que os feldspatos que ocorrem com maior frequência, na área de estudo, são os potássicos e, secundariamente, os plagioclásios. Em algumas amostras, estes minerais estão bastante alterados, apresentando porosidade intragranular.

Os fragmentos líticos foram identificados em pequenas quantidades nas lâminas examinadas, perfazendo 0,90% dos constituintes da amostra. O percentual médio de líticos da Formação Adamantina foi de 0,60%, de 0,40% na Formação Araçatuba, de 0,90% na Formação Santo Anastácio e de 1,0 % na Formação Caiuá.

Na atual pesquisa, o percentual médio de ocorrência de minerais acessórios é de 1,78%. Os minerais mais comuns observados foram zircão, augita e ilmenita.

A matriz é constituída predominantemente por argilominerais do tipo illita e montmorilonita.

Quanto à seqüência diagenética, para as amostras de arenitos observadas neste estudo, foi identificada apenas a fase eodiagenética. As seqüências observadas foram dissoluções de minerais pesados, fragmentos líticos e aluminossilicatos; cimentação por calcita microcristalina, formação de argilominerais, cimentação por calcita em mosaico e tardia (recristalização) e cimentação por zeólitas.

## 8 - BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, M. A.; FERNANDES, L. A.; DANTAS, A. S. L.; SAKATE, M. T.; GIMENEZ, A. F.; TEIXEIRA, A. L.; BISTRICHI, C. A. & ALMEIDA, F. F. M. Considerações sobre a estratigrafia do Grupo Bauru na região do Pontal do Paranapanema no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3, 1981, Curitiba, p. 77-89.
- ALMEIDA, M.A. Síntese sobre a Tectônica da Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3, 1980, Curitiba. Atas... Curitiba: SBG, 1980. v1, p. 01-20.
- APELO, C.A. J. & POSTMA, D. Geochemistry, groundwater and pollution. 2 ed. Amsterdam: Balkema Publishers, 2005. 650p.
- BARCELOS, J. H. & SUGUIO, K. Correlação e extensão das unidades estratigráficas do Grupo Bauru definidas em território paulista, nos estados de minas gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Paraná. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 6, 1987. Rio Claro - SP, Atas..., 1987, p.313-321.
- BARCHA, S.F. Aspectos geológicos e províncias hidrogeológicas da Formação Bauru na região Norte-Occidental do Estado de São Paulo, São José do Rio Preto. 1980.Tese (Livre Docência) — Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- BARCHA, S.F. Estratigrafia do Bauru na região norte-occidental do estado de São Paulo. In: Mesa Redonda: A Formação Bauru no Estado de São Paulo e regiões adjacentes, São Paulo, 1981, Sociedade Brasileira de Geologia, p.48-59.
- BARCHA, S.F. Nitratos em água subterrânea no meio urbano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, 1992, São Paulo. Anais... São Paulo: SBG, v.2, p. 200-201.
- BARCHA, S. F.; ARID, F. M. & MEZZALIRA, S. Sub-províncias hidrogeológicas do Grupo Bauru na região norte-occidental do Estado de São Paulo. Revista do Instituto Geológico-IG, São Paulo - SP. 2 (2): p.17-33, 1981.
- BARISON, M.R. Estudo Hidroquímico da Porção Meridional do Sistema Aquífero Bauru no Estado de São Paulo. 2003, 153p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) -

Instituto de Geociência e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro - SP, 2003.

BATEZELLI, A., GOMES, N.S.; PERINOTTO, J.A.J. Petrográfica e evolução diagenética dos arenitos da porção norte e nordeste da Bacia Bauru (Cretáceo Superior). *Revista Brasileira de Geociências*. São Paulo. v. 35 (n. 3): 311-322, 2005.

BATEZELLI, A., PERINOTTO, J.A.J.; ETCHEBEHERE, M.L.C.; FULFARO, V.J. & SAAD, A.R. Redefinição litoestratigráfica da unidade Araçatuba e da sua extensão regional na Bacia Bauru, estado de São Paulo, Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 5 e SIMPÓSIO SOBRE EL CRETÁCEO DE AMÉRICA DEL SUR, 1, 1999, Serra Negra- SP, Boletim...p.195-200.

BRANDT NETO, M., YAMAMOTO, J.K., TACHIBANA, J. & MATO, L.F. Sedimentos quaternários associados ao baixo vale do Rio Tietê. In: SIMPOSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 1, 1977, São Paulo. Atas...São Paulo: SBG/SP, 1977, p.248-266.

BLATT, H. *Sedimentary petrology*. San Francisco: W.H. Freeman, 1992, 564p.

BJORLYKKE, K. & EGEBERG, P. K. Quartz cementation in Sedimentary Basins. *AAPG Bulletin*, v.77, p.1538-1548, 1993.

CAMPOS, H.C.S.. Contribuição ao estudo hidrogeoquímico do Grupo Bauru no Estado de São Paulo. 158p. Dissertação (Mestrado em Geologia Geral e de Aplicação), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

CAMPOS, J.O., BLAKE, E.H.T. & ROMANO, O. Arenitos Caiuá: notas sobre as ocorrências. *Geociências*, São Paulo, v.1, p.29-47, 1982.

CASTRO, S.C.S., ARID, F.M., SANTOS, C.C.M., SILVA, R.A. & CUNHA, L.P. Contaminação na água subterrânea em São José do Rio Preto (SP) - contaminação por nitratos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGUAS SUBTERRANEAS, 7, 1992, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: ABAS, 1992. p. 103-106

CELLIGOI, A. & DUARTE, U. Considerações hidroquímicas da Formação Caiuá no Estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 10, 1998, São Paulo. Anais... São Paulo: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 1998. v.1, p. 7.

- CELLIGOI, A. & DUARTE, U. Hidrogeoquímica do Aquífero Caiua no Estado do Paraná. Boletim Paranaense de Geociências, n. 51, p. 19-32, 2002. Editora UFPR - 2002.
- COELHO, R.O.. Estudo hidroquímico e isotópico do Aquífero Bauru, Sudoeste do Estado de São Paulo. 1996, 103p. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.
- COUTINHO, J.M.C. COIMBRA, A.M., BRANDT NETO, M. & ROCHA, G.A. Lavas alcalinas analcímicas associadas ao Grupo Bauru (Kb) no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE GEOLOGIA, 5., 1982. Buenos Aires. Anais... Buenos Aires: editora, 1982. p. 185-195.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. Uso das águas subterrâneas para abastecimento público no Estado de São Paulo. São Paulo: 48, 1997.
- CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M.R. Hidrologia subterrânea. Barcelona - Espanha, Ediciones Omega S.A. -1996.
- DANA, J. D. Manual de Mineralogia. Rio de Janeiro. 1970, ed. Ao Livro Técnico S.A v1 e v2. 642p.
- DEER, W. A., HOWIE, R. A. & ZUSSMAN, J. – 1996 - An Introduction to the Rock-forming Minerals. Longman, 2a Edição, London. 696 p.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. Estudo de águas subterrâneas: região administrativa 6, Ribeirão Preto - SP, São Paulo: Geopesquisadora — Tahal, 2v., 1974.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. Estudo de águas subterrâneas, regiões administrativas 7, 8 e 9: Bauru, São José do Rio Preto e Araçatuba. São Paulo: v.1 e v.2., 1976.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. Estudo de águas subterrâneas, regiões administrativas 10 e 11: Presidente Prudente e Marília. São Paulo: v.1 e v.2, 1979.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. Sistema de informações para gerenciamento de recursos hídricos do Estado de São Paulo, São Paulo - SP, 2000.

DE ROS, L.F. & CESERO, P. Argila em arenito: bases para a interpretação petrogenética. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, 1986, Goiânia. Anais...Goiânia: SBG, 1986. v.4, p. 1663-1670.

DE ROS, L.F. & MORAES, M.A.S. Seqüência diagenética em arenitos: uma discussão. In: CONGRESSOS BRASILEIROS DE GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro: SBG, 1984. v.2, p. 894-904.

DE ROS, L.F., SGARBY, G.N.C. & MORAD, S. Multiple authigenesis of K-feldspar in sandstones: evidence from the cretaceous Areado Formation, São Francisco Basin, Central Brazil. *Journal of Sedimentary Research*, Tulsa, v.64, n.4, p.778-787, 1994.

DOTT, R.H. Jr. Wacke, Graywacke and matrix - What approach to immature sandstone classification? *Journal of Sedimentary Petr.*,34, p. 625-632, 1964.

ESTEBAN, M & KLAPPA, C.F. Subaerial exposure environment. In: Scholle, P.A.; Bebout, D.G.; Moore, C.H (eds.). *Carbonate depositional environments*. Tulsa, American Association of Petroleum Geologists, p. 1-95. (Memoir 33), 1983.

FERNANDES, L. A. A. Cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os grupos Bauru e Caiuá. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo - USP, São Paulo. 129p., 1992.

FERNANDES, L. A. Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil). Tese de Doutorado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo - USP, São Paulo. 216p., 1998.

FERNANDES, L. A. & COIMBRA, A. M. O Grupo Caiuá (Ks): revisão estratigráfica e contexto deposicional. *Revista Brasileira de Geociências*. São Paulo. v. 24 (n. 3), p.164-176, 1994.

FERNANDES, L. A. & COIMBRA, A. M. A Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. v. 68 (n. 2), p.195-205, 1996.



- FERNANDES, L. A. & COIMBRA, A. M. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). *Revista Brasileira de Geociências*. São Paulo. v. 30 (n. 4), p.717-728, 2000.
- FOLK, R.L. *Petrology of sedimentary rocks*. Austin: Hemphill's, 1968. 182p.
- FORMOSO, M.L.L.. Difractometria de raios X. In: GOMES, C.B. (Ed.). *Técnicas analíticas instrumentais aplicadas á geologia*. São Paulo: Secretaria do Estado da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia; Edgard Blücher. p. 01-43, 1985.
- FREITAS, R. O. Geologia e petrologia da Formação Caiuá no Estado de São Paulo. *Boletim do Instituto Geográfico e Geológico - IGG*. São Paulo. v. 50, 122p., 1973.
- HITCHON, B., PERKINS, E. H., GUNTER, W. D. *Introduction to ground water geochemistry*. Geoscience publishing, Alberta, Canadá, 1999.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000. São Paulo - SP, IPT: Vol. 1 e Vol. 2., 1981.
- LANDIM, P.M.B. & SOARES, P.C. Estratigrafia da Formação Caiuá. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29, 1976, Ouro Preto: Anais...Ouro Preto: SBG, v.2, p.195-206, 1976.
- LANGMUIR, D. *Aqueous Environmental Geochemistry*. New York: Prentice Hall Eds., 1997. 600p.
- LEDEER, M.R. Pedogenic carbonates and flood sediment accretion rates: a quantitative model for alluvial arid-zone lithofacies. *Geological Magazine*, 112(1 -3E): p.257-270, 1975.
- LOUGHNAN, F.C. *Chemical weathering of silicate minerals*. Am. Elsevier Company, New York, N.Y., 1969.
- MATHESS, G.. *The properties of groundwater*. New York, John Wiley & Sons. 1982.
- MEZZALIRA, S. Contribuição ao conhecimento da estratigrafia e paleontologia do arenito Bauru. In: *Boletim o Instituto Geográfico e Geológico - IGG*, São Paulo - SP. 51: 162p., 1974.

- MEZZALIRA, S. Aspectos paleoecológicos da Formação Bauru In: Mesa Redonda: A Formação Bauru no estado de São Paulo e regiões adjacentes, São Paulo, Sociedade Brasileira de Geologia. p.1-9, 1981.
- MEZZALIRA, S., & ARID, F.M. Contribuição preliminar a bioestratigrafia da Formação Bauru. In: Mesa Redonda: A Formação Bauru no estado de São Paulo e regiões adjacentes, São Paulo, Sociedade Brasileira de Geologia. p.116-127, 1981.
- MELO, M.S., STEIN, D.P. & ALMEIDA, M.A. Aspectos litoestratigráficos do Grupo Bauru. In: ENCONTRO DE GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA, 1982, São Paulo. Atas... São Paulo: SBG/ABAS, n°9, p. 01-19, 1982.
- MIALL, A.D. Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. In: Mial, A.D. (ed.). *Fluvial Sedimentology*. Canadian Society of Petroleum Geologists, p. 597-604. (Memoir 5), 1978.
- MOORE, D.M. & REYNOLDS JR., R.C. X-ray diffraction and identification and analysis of clay minerals. 2<sup>th</sup> ed., Oxford: Oxford University Press, 378p., 1997.
- MORAD, S. Diagenesis of clastic sedimentary rocks. Uppsala: Department of Mineralogy and Petrology. Institute of Geology, Uppsala University, 1991. 287p.
- MORAD, S., KETZER, J.M., DE ROS, L.F.. Spatial and temporal distribution of diagenetic alterations in siliciclastic rocks: implications for mass transfer in sedimentary basin. *Sedimentology*, 47, p.1-27, 2000.
- NOBREGA, C.A. Microscopia eletrônica de varredura (MEV) em geotecnia: novas perspectivas de utilização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE :ENGENHARIA 9, 1999, São Paulo. Anais... São Paulo: ABGE, 1999.
- NORDSTROM, D. K. & MUNOZ, J. L. Geochemical Thermodynamics. Menlo Park, California. The Benjamin/Cummings Co., Inc. 477p., 1985.
- OHLWEILER, O. A. Química Analítica Quantitativa. Rio de Janeiro, Ed Livros Técnicos e Científicos S.A., vol.3, 1974, p.534-856.

- PARKHURST, D. L.. User's guide to PHREEQC - A computer program for speciation, reaction-path, advective-transport, inverse geochemical calculations. Water Resources Investigations Report, p. 95-4227, 1995.
- PAULA E SILVA, F.; CHANG, H.K.; CAETANO-CHANG, M. R. & STRADIOTO, M. R. Sucessão Sedimentar do Grupo Bauru na Região de Pirapozinho (SP) . Revista Geociências. Rio Claro. v.25 (n.1), p.17-26, 2006.
- PAULA E SILVA, F.; CHANG, H.K.; CAETANO-CHANG, M.R. Estratigrafia de subsuperfície do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo. Revista Brasileira de Geociências, v. 35, n. 1, p. 77-88, 2005.
- PAULA E SILVA, F.; CHANG, H.K. & CAETANO-CHANG, M. R. Perfis de referência do Grupo Bauru no Estado de São Paulo. Revista Geociências. Rio Claro. v. 22 (n. 1), p.127-139, 2003.
- PAULA E SILVA, F. Geologia de subsuperfície e hidroestratigrafia do Grupo Bauru no Estado de São Paulo. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. UNESP (Tese de Doutorado). Rio Claro. 166 p., 2003.
- PAULA E SILVA, F.; CHANG, H. K. & CAETANO-CHANG, M. R. Caracterização das unidades neocretáceas da Bacia do Paraná na região de São José do Rio Preto (SP) com base na análise de perfis geofísicos e suas implicações estratigráficas. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 6; SIMPÓSIO SOBRE EL CRETÁCEO DE AMERICA DEL SUR, 2, 2002. São Pedro. *Boletim...*p. 345-349.
- PAULA E SILVA, F.; SAAD, A. R.; PERINOTTO, J. A. J. & FULFARO, V. J. Arquitetura deposicional do Grupo Bauru (Ks) na região sudoeste do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 5; SIMPÓSIO SOBRE EL CRETÁCICO DE AMERICA DEL SUR, 1, 1999. Serra Negra. *Boletim...*p. 45-49.
- PAULA E SILVA, F. & CAVAGUTI, N. Nova caracterização estratigráfica e tectônica do Mesozóico na cidade de Bauru - SP. In: Revista Geociências. UNESP. p.83-99, 1994.

- PAULA E SILVA, F. & CAVAGUTI, N. Nova caracterização estratigráfica e tectônica do Mesozóico na cidade de Bauru - SP. In: SIMPÓSIO SOBRE BACIAS CRETÁCIAS BRASILEIRAS, 2, 1992, p.141-144.
- PIPER, A. M. A. A Graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Reprinted: American Geophysical Union Transactions, v.25, p. 914-923,1944.
- RICOMINI, C., GIMENEZ FILHO, A., STEIN, D.P., ALMEIDA, F.F.M., PIRES NETO, A.G., DEHIRA, L.K., MELO, M.S. de, BRAGA, T.de O. & PONÇANO, W.L. Características da porção basal da Formação Caiuá no Noroeste do Paraná. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3., 1981, Curitiba. Atas... Curitiba: SBG/SP, v. 2, p. 34-48.
- ROCHA, G.A. & FERRER JORBA, J. Manual de operação e manutenção de poços. São Paulo: DAEE. 1980.
- ROCHA, G.A., BERTACHINI, C., CAMPOS, H.C.N.S. & CAIXETA, J.B. Tentativa de zoneamento das características hidráulicas e hidroquímicas do Aquífero Bauru. In: ENCONTRO DE GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA: O Grupo Bauru no Estado de São Paulo, 1., 1982. São Paulo. Atas... São Paulo: SBG/ABAS.
- ROCHA G.A., GIANCURSI, F.D., PERRONI, J.C.A., SOBREIRO NETO, A.F., BERTACHINI, A.C., CORREA, W.A.G., CAMPOS, H.C.N.S., DIOGO, A., ROSA, R.B.G.S & CASTRO, C.G.J. Hidrogeologia das bacias dos rios Aguapei, Peixe e Paranapanema no Estado de São Paulo. In: SIMPOSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2., 1979, Rio Claro. Atas... Rio Claro: SBG, v.2, p. 85-100.
- RUSSEL, W. R., HAMILL, W.H., COLIN, M. *Principles of Physical Chemistry*. 1982, 575p.
- SAAD, A.R. CAMPANHA, V.A., CABRAL JR., M., ETCHEBEHERE, M.L.C. & PULEGHINI FILHO, P. Cenários do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988. Belém. Anais... Belém: SBG, v.2, p. 894-904.
- SALAMUNI, K, LANDIM, P.M.B., SLONGO, T.T., SOBREIRO NETO, A.F. & PAIVA FILHO, A. Observações sobre o ambiente de deposição da Formação Caiuá no Nordeste do Estado do Paraná. In: SIMPOSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3., 1981. Curitiba. Atas...

Curitiba: SBG, 1981, v.2, p. 25-33.

SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B.; FÚLFARO, V. J. & SOBREIRO NETO, A. F. Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. Revista Brasileira de Geociências. São Paulo. v. 10 (n. 3): p.177-185, 1980.

SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B.; FÚLFARO, V. J., AMARAL, G.; SUGUIO, K.; COIMBRA, A. M.; SOBREIRO NETO, A. F.; GIANCURSI, F.; CORREA, W. A. G. & CASTRO, C.G.J. Geologia da região sudoeste do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2, 1979. Rio Claro - SP, Boletim de resumos. p. 307-319.

STUMM, W. Chemistry of the solid-water interface: processes at the mineral-water and particle-water interface in natural systems. Wiley-Interscience publication., 1992.

SUGUIO, K.; FULFARO, V. J.; AMARAL, G. & GUIDORZI, L. A. Comportamentos estratigráfico e estrutural da Formação Bauru nas regiões administrativas 7 (Bauru), 8 (São José do Rio Preto) e 9 (Araçatuba) no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 1, 1977. São Paulo. Atas...p. 231-247.

SUGUIO, K. & BARCELOS, J.H. Calcretes of the Bauru Group (Cretaceous), Brazil: Petrology and Geological Significance. Boletim. IG, São Paulo, v.14, p. 31-47, 1983a.

SUGUIO, K. & BARCELOS, J.H. Significado paleoambiental de estrutura “boudinóide” e outras feições presentes na Seção Tipo da Formação Santo Anastácio do Grupo Bauru, Estado de São Paulo. Boletim IG, São Paulo, v.14, p. 49-54, 1983b.

TUCKER, M. E. Sedimentary petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks. 2<sup>th</sup> ed., Oxford: Blackwell. 260 p, 1991.

VELDE, B. Introduction to clay minerals: Chemistry, origins, uses and environmental significance. London: Chapman & Hall, 1992. 198p.

VIDAL, A.C. Caracterização hidrogeoquímica dos compartimentos estruturais da Bacia Taubaté. Dissertação (Mestrado em Geociências), 1997, 101p. Instituto de Geociências, UNICAMP, Campinas - São Paulo.

VIDAL, A.C. Estudo hidrogeológico do Aquífero Tubarão no Estado de São Paulo. Tese

(Doutorado em Geociências), 2002, 109p. IGCE, UNESP, Rio Claro – São Paulo.

VIEIRA, P. C. Sugestão para estudo de captação de água subterrânea no Grupo Bauru: considerações tectônicas. In: Revista do Instituto Geológico – IG, São Paulo – SP. 2 (2): p 5-16, 1981.

WAHAB, A.A. Diagenetic history of Cambrian quartzarenites, Ras Dib-Zeit Bay area, Gulf of Suez, eastern desert, Egypt. *Sedimentary Geology*. 121: 121-140, 1998.

WALTER, T.R, WAUGH, B. & GRONE, A.J. Diagenesis in first-cycle desert alluvion of cenozoic age, Southwestern United States and NorthWestern Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, Boulder, v. 89, p.19-32, 1978.

WU, F. T.; SOARES, P. C.; MATTOS, J. T. Divisão faciológica do Grupo Itararé no sudeste do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, 1980. Camburiú, SBG Resumos, p. 364.

WU, F. T. Proveniência das rochas arenosas do Subgrupo Itararé no sul do Estado de São Paulo. Tese de Doutorado, 1989, 165p., IG/USP – São Paulo.

ZAINE, J. E. Geologia do Bloco 38: região de Araçatuba e Tupã. São Paulo, Paulipetro (Consórcio CESP/IPT): 2 vol.,1980.

## **ANEXO 1**

# **COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

Amostra	Municípios	Coordenada		Temperatura o C	Condutividade microS/cm	pH	CO <sub>3</sub> mg/L	HCO <sub>3</sub> mg/L	Cl mg/L	F mg /L	SO <sub>4</sub> mg/L	NO <sub>3</sub> mg/L
		x	y									
<b>Limite</b>							<b>3.0</b>	<b>3.0</b>	<b>3.0</b>	<b>0.20</b>	<b>3.00</b>	<b>0.05</b>
1	Presidente Prudente	454561	7553135	22.5	312	9.5	35.4	127	0	0.29	0	1.8
2	Presidente Prudente	455174	7552588	22.5	314	9.2	23.9	152	0	0.25	0	4.4
3	Presidente Prudente	454625	7555801	22.5	282	9.5	28.7	118	0	0.29	0	1.3
4	Pirapozinho	448011	7537092	22.0	285	9.7	44.1	79.9	0	0.1709	0	11.6
5	Pirapozinho	447814	7535180	22.5	216	9.6	27.8	80.8	0	0.1539	0	0.9
6	Tarabai	441373	7533711	22.5	136	6.9	0	76.9	3.8	0.0734	0	6.0
7	Sandovalina	421444	7516918	23.0	119	7.2	0	75.0	0	0.1045	0	2.2
9	Estrela do norte	432002	7513217	23.0	174	7.6	0	105	0	0.0713	0	7.2
10	Itororó	424167	7499047	22.0	127	7.3	0	75.0	3.1	0.0713	0	3.8
12	Narandiba	446334	7521702	23.0	174	9.4	15.3	66.2	3.0	0.1489	0	12.2
13	Alfredo Marcondes	457455	7571703	23.0	242	9.9	34.5	75.0	0	0.26	0	1.4
14	Santo Expedito	459551	7583315	23.0	334	9.3	19.2	174	3.7	0.23	0	1.4
15	Alvares Machado	450626	7558594	23.0	248	9.5	23.0	107	0	0.20	0	2.2
16	Alvares Machado	451231	7557165	22.5	248	9.2	15.3	130	3.0	0.33	0	1.2
17	Coronel Goulart	444347	7543422	23.0	211	7.6	0	109	6.1	0.1793	0	34.8
18	Anhumas	460595	7534402	23.5	186	8.8	4.8	87.6	5.0	0.48	0	20.8
19	Regente Feijó	469286	7540259	23.5	147	8.6	3.8	90.6	0	0.1600	0	1.4
20	Regente Feijó	468657	7543331	23.5	144	8.3	0	91.5	0	0.1083	0	0.5
21	Ameliópolis	469101	7588934	24.0	118	7.4	0	65.3	3.2	0.1204	0	11.8
22	Eneida	468960	7576534	24.0	399	8.3	0	265	3.3	0.20	0	0.7
23	Floresta do Sul	468393	7571477	24.0	284	9.0	12.5	149	0	0.26	0	13.4
24	Montalvão	464338	7561180	23.5	260	9.3	17.2	113	5.0	0.20	0	15.7
25	Km 07	462610	7558719	24.0	247	9.1	13.4	129	0.0	0.1428	0	3.0
26	Taciba	470585	7523261	24.0	242	7.4	0	66.2	12.5	0.0733	0	139
27	Taciba	471272	7523002	24.0	369	9.6	52.7	140	0	0.26	0	1.4
28	Santo Anástacio	432361	7570777	24.0	213	7.0	0	76.0	6.9	0.1445	0	55.6
29	Santo Anástacio	432958	7567733	24.0	193	9.3	15.3	92.5	0	0.35	0	1.0
30	Santo Anástacio	431085	7568677	24.5	165	8.4	0	104	0	0.25	0	0.4
31	Piquerobi	424616	7579302	25.0	183	7.7	0	118	0	0.20	0	0.3
32	Ribeirão dos índios	436780	7585688	25.0	171	6.7	0	90.6	5.1	0.0917	0	11.8
33	Presidente Bernardes	442662	7564119	25.0	231	9.7	39.3	56.5	0	0.21	0	1.3
34	Presidente Bernardes	441963	7565861	25.0	201	9.2	17.2	95.4	0	0.20	0	0.9



35	Nova Pátria	433950	7542840	25.0	227	8.1	0	139	4.5	0.27	0	2.2
36	Araxãs	446213	7574668	25.0	238	9.6	31.6	78.9	0	0.32	0	0.4
37	Emilianópolis	450215	7585509	25.0	368	8.4	0	192	9.0	0.20	0	89.8
38	Rosana	288350	7501651	22.0	279	5.4	0	3	22.8	0.02637	0	67.50
39	Rosana	288191	7500740	22.5	192	6.9	0	23.4	13.3	0.1501	8	31.00
40	Rosana	288003	7500441	17.5	513	9.1	22.7	182	4.3	2.41	102	3.60
41	Primavera/Rosana	299297	7507013	17.5	26.5	6.0	0	8.9	0	0.0404	0	2.64
42	Primavera/Rosana	300311	7507305	17.5	92.5	7.3	0	49.7	3.9	0.1181	0	1.72
43	Euclides da Cunha	336889	7505132	17.5	28.6	6.0	0	8.2	3.3	0.04194	0	7.76
44	Euclides da Cunha	337180	7504986	17.5	48.8	6.6	0	13.5	3.9	0.07125	0	11.47
45	Sta Rita do Pontal/E.C	326545	7504496	17.5	91.1	7.0	0	47.1	5.0	0.1161	0	1.16
46	Teodoro Sampaio	378847	7507959	18.0	29.6	6.3	0	8.8	0.0	0.03941	4	3.00
47	Teodoro Sampaio	378673	7508465	17.5	33.6	6.1	0	10.0	3.4	0.04353	0	4.60
48	Planalto do Sul/T.S	372095	7531771	17.5	30.2	5.6	0	4.7	4.3	0.03935	0	9.32
49	Mirante do Paranapanema	407353	7534818	18.0	198	7.9	0	125	4.2	0.26	0	0.72
50	Mirante do Paranapanema	407247	7534644	18.0	181	7.3	0	109	6.2	0.25	0	0.12
51	Mirante do Paranapanema	406328	7535452	17.5	190	7.0	0	78.1	10.7	0.1775	0	18.18
52	Costa Machado/ Mirante P	414078	7543251	17.5	30.2	6.4	0	16.9	0.0	0.04854	0	0.12
53	Maraba Paulista/ Teodoro S	400486	7554408	17.5	141	6.8	0	71.3	5.9	0.07117	0	2.96
54	Maraba Paulista/ Teodoro S	400969	7555404	17.5	159	7.1	0	85.9	9.8	0.54	0	0.00
55	Cuiabá Paulista/ Mirante P	386283	7535487	17.5	71.8	6.1	0	9.8	5.9	0.03506	0	21.34
56	Presidente Vescelau	413478	7579728	17.5	117	6.4	0	41.1	4.9	0.05469	0	18.40
57	Presidente Vescelau	412435	7580176	17.5	117	6.1	0	18.3	12.3	0.04000	0	24.23
58	Presidente Vescelau	413203	7581109	17.5	186	6.2	0	22.5	16.7	0.04237	0	35.20
60	Caiuá	397532	7585076	18.0	94.2	6.8	0	45.1	4.8	0.08254	0	1.68
61	Caiuá	397264	7585242	18.5	44.3	6.2	0	6.0	6.3	0.04272	0	3.44
62	Pres Epitácio	385913	7591478	18.0	39.9	6.4	0	9.8	7.0	0.05469	0	0.54
63	Campinal	398581	7614405	18.0	194	7.4	0	120	3.1	0.1524	0	0.76
64	Caiabú	475654	7565705	18.0	190	7.6	0	109	4.2	0.1171	0	2.29
65	Caiabú	475257	7565881	18.0	188	9.3	12.2	93.0	0.0	0.27	0	0.36
66	Iubatinga	478387	7577134	17.5	178	9.2	16.2	106	0.0	0.1710	0	0.13
67	Iubatinga	479064	7577635	18.0	325	7.7	0	210.0	4.8	0.1812	0	0.70
68	Matinópolis	483318	7549990	18.0	158	6.7	0	48.8	19.7	0.05938	0	4.00
69	Indiana	474735	7547497	18.0	153	7.3	0	96.7	0.0	0.1014	0	0.43

Amostra	Ca mg/L	K mg /L	Fe mg/L	Mg mg/ L	Na mg /L	Mn mg/L	Sr mg / L	Ba mg /L	Si mg/L	SiO2 mg/ L	Al mg/L	Zn mg/L	Pb mg/L	Ni mg/L
Limite	0.05	0.02	0.005	0.003	0.02	0.005	0.002	0.0005	0.2		0.01	0.005	0.01	0.005
1	0.96	0.25	0.009	0.099	74.6	0	0.084	0.013	11	23.53	0.017	0	0	0
2	5.1	0.43	0.02	1.3	66.3	0	0.098	0.03	11.9	25.46	0.019	0.016	0	0
3	0.97	0.12	0.01	0.1	65.1	0	0.055	0.009	9.8	20.97	0.017	0.01	0	0
4	2.2	0.36	0.018	0.48	59.8	0	0.078	0.017	15.2	32.52	0.037	0.009	0	0
5	2.6	0.23	0.005	0.42	46.5	0	0.11	0.012	13.8	29.52	0.013	0.036	0	0
6	8	2.6	0.011	4.1	12.4	0	0.13	0.13	15.4	32.95	0	0.012	0	0
7	2	0.64	0.007	0.29	25.6	0	0.042	0.021	13	27.81	0.031	0.033	0	0
9	17.9	2.1	0	3	12.2	0	0.19	0.056	21.1	45.14	0	0.01	0	0
10	12.4	1.3	0.005	3.8	6.7	0	0.044	0.013	27.8	59.47	0	0.013	0	0
12	3.5	0.7	0	0.62	35.6	0	0.098	0.018	16.8	35.94	0.015	0	0	0
13	0.87	0.12	0.025	0.053	54.3	0	0.08	0.008	11	23.53	0.047	0.011	0	0
14	2.8	0.25	0	0.47	69.2	0	0.35	0.04	14.6	31.23	0	0	0	0
15	4	0.54	0	1.1	52.8	0	0.12	0.032	11.8	25.24	0.016	0.008	0	0
16	5	0.42	0	2	48.9	0	0.21	0.065	16.1	34.44	0	0	0	0
17	8.7	3	0.013	1.5	35.3	0	0.33	0.064	18.3	39.15	0.015	0.016	0	0
18	5	1.2	0	0.97	35.3	0	0.14	0.035	15.1	32.30	0	0.009	0	0
19	9.3	0.93	0.005	1.9	20.1	0	0.9	0.075	15.5	33.16	0.012	0	0	0
20	7.5	0.87	0.009	1.3	21.1	0	0.63	0.074	13.8	29.52	0.013	0.006	0	0
21	3.1	1.1	0	0.5	21.2	0	0.059	0.028	15.3	32.73	0	0.043	0	0
22	13.5	0.31	0	4.9	64.8	0	2.4	0.2	21.2	45.35	0	0	0	0
23	2.8	0.6	0	0.74	62	0	0.14	0.029	11.3	24.17	0	0.005	0.01	0
24	3.5	0.29	0	0.49	54.1	0	0.093	0.016	11.8	25.24	0.01	0	0	0
25	5.3	0.33	0	1.4	46.9	0	0.11	0.034	12.3	26.31	0	0	0	0
26	13.7	5.3	0	10.9	10.4	0.007	0.97	0.56	13	27.81	0	0.031	0	0.012
27	9.1	1.4	0	4.1	67.4	0	0.36	0.11	18.5	39.58	0	0	0	0
28	21.1	5.4	0	3.7	11.6	0	0.16	0.12	23.7	50.70	0	0.019	0	0
29	2.7	0.4	0.006	0.71	41.8	0	0.18	0.036	14.6	31.23	0.01	0	0	0
30	7.5	0.95	0	0.86	29.7	0	0.29	0.042	19.4	41.50	0	0	0	0
31	23.6	3.7	0	3.8	6.3	0	0.12	0.15	27.5	58.83	0	0.009	0	0
32	19.6	4.2	0.009	3.8	5.4	0	0.11	0.17	21	44.93	0	0.06	0	0
33	1.3	0.119	0	0.16	48.8	0	0.069	0.014	13.4	28.67	0.02	0	0	0
34	9.7	0.75	0	1.4	32.7	0	0.4	0.065	17.3	37.01	0	0.007	0	0

35	16.8	1.6	0	6.1	19.6	0	0.29	0.068	22.7	48.56	0	0.014	0	0
36	1	0.083	0.005	0.092	51.2	0	0.072	0.011	12.9	27.60	0.016	0	0	0
37	41.2	2.6	0.011	12.6	10.6	0	0.3	0.18	32	68.46	0	0.017	0	0
38	14.5	10.6	0.02	8.9	12.9	0.011	0.16	1.1	22.9	48.99	0.018	0.16	0	0
39	8.9	6.4	0	4.7	14.5	0.005	0.061	0.37	25	53.48	0.041	0.041	0	0
40	3.1	0.56	0	0.16	102	0	0.022	0.005	17.9	38.29	0.045	0.11	0	0
41	1.2	1.7	0	0.74	1.1	0.008	0.012	0.07	12.2	26.10	0.04	0.064	0	0
42	8.7	2.4	0	1.2	8	0	0.044	0.014	19.7	42.15	0.028	0.2	0	0
43	1.3	2.3	0	0.76	0.89	0.008	0.014	0.093	10.4	22.25	0.041	0.11	0	0
44	3.1	2.8	0	1.3	1.4	0.062	0.028	0.17	10.9	23.32	0.053	0.08	0	0
45	10.8	2.6	0	1.8	2.7	0	0.038	0.094	14	29.95	0.033	0.029	0	0
46	1	2.6	0	0.8	1.1	0	0.013	0.19	11.4	24.39	0.036	0.23	0	0
47	1.3	3.2	0	0.85	1.2	0.007	0.013	0.095	12.3	26.31	0.067	0.07	0	0
48	0.17	1.8	0.024	0.27	2	0.042	0.008	0.33	7.8	16.69	0.077	0.46	0	0
49	27.3	2.3	0	5.3	5.3	0	0.12	0.28	22.3	47.71	0.053	0.15	0	0
50	23.7	4.5	0	3.8	5.4	0	0.1	0.12	22.1	47.28	0.037	0.15	0	0
51	18.7	3.9	0	4	10.6	0.034	0.23	0.24	17.7	37.87	0.08	0.12	0	0
52	1.8	2.1	0	0.62	2	0	0.044	0.077	10.2	21.82	0.056	0.084	0	0
53	17.8	4	0	2.9	3.1	0	0.07	0.37	16.4	35.09	0.011	0.23	0	0
54	20.9	4.1	2.7	3.1	4.6	0.088	0.076	0.28	13	27.81	0.002	0.11	0	0
55	1.9	6	0.018	2.4	2.5	0.014	0.043	1	11.9	25.46	0.015	0.63	0	0
56	11.2	5	0	3	2.5	0	0.07	0.74	16.5	35.30	0.01	0.34	0	0
57	4.6	5.6	0	5.7	2.7	0	0.078	0.64	13.7	29.31	0.018	0.24	0	0
58	6.4	8.9	0	8.1	7.3	0	0.099	0.82	14.7	31.45	0.021	0.19	0	0
60	7.5	3.8	0	2.4	4.6	0	0.076	0.25	24.4	52.20	0.028	0.119	0	0
61	0.16	6.1	0	0.58	2.3	0	0.01	0.15	14.7	31.45	0.022	0.17	0	0
62	0.33	3.8	0	1	2.7	0	0.017	0.25	17.5	37.44	0.023	0.47	0	0
63	24.8	3.6	0	3.4	9.2	0	0.22	0.14	26.4	56.48	0.026	0.17	0	0
64	13.9	1.2	0	2.1	23.7	0	0.85	0.18	14.7	31.45	0.023	0.14	0	0
65	6.2	0.72	0	0.9	35.1	0	0.46	0.12	13.9	29.74	0.045	0.22	0	0
66	3.2	0.82	0	0.92	44.4	0	0.13	0.1	13.3	28.45	0.017	0.096	0	0
67	34.2	3	0	13.1	13.9	0	1.5	0.52	26.1	55.84	0.011	0.22	0	0
68	15.1	4	0	4.8	3.6	0	0.13	0.38	17.3	37.01	0.022	0.31	0	0
69	13.6	2.1	0	3.1	13.3	0	0.44	0.24	16.2	34.66	0.026	0.35	0	0

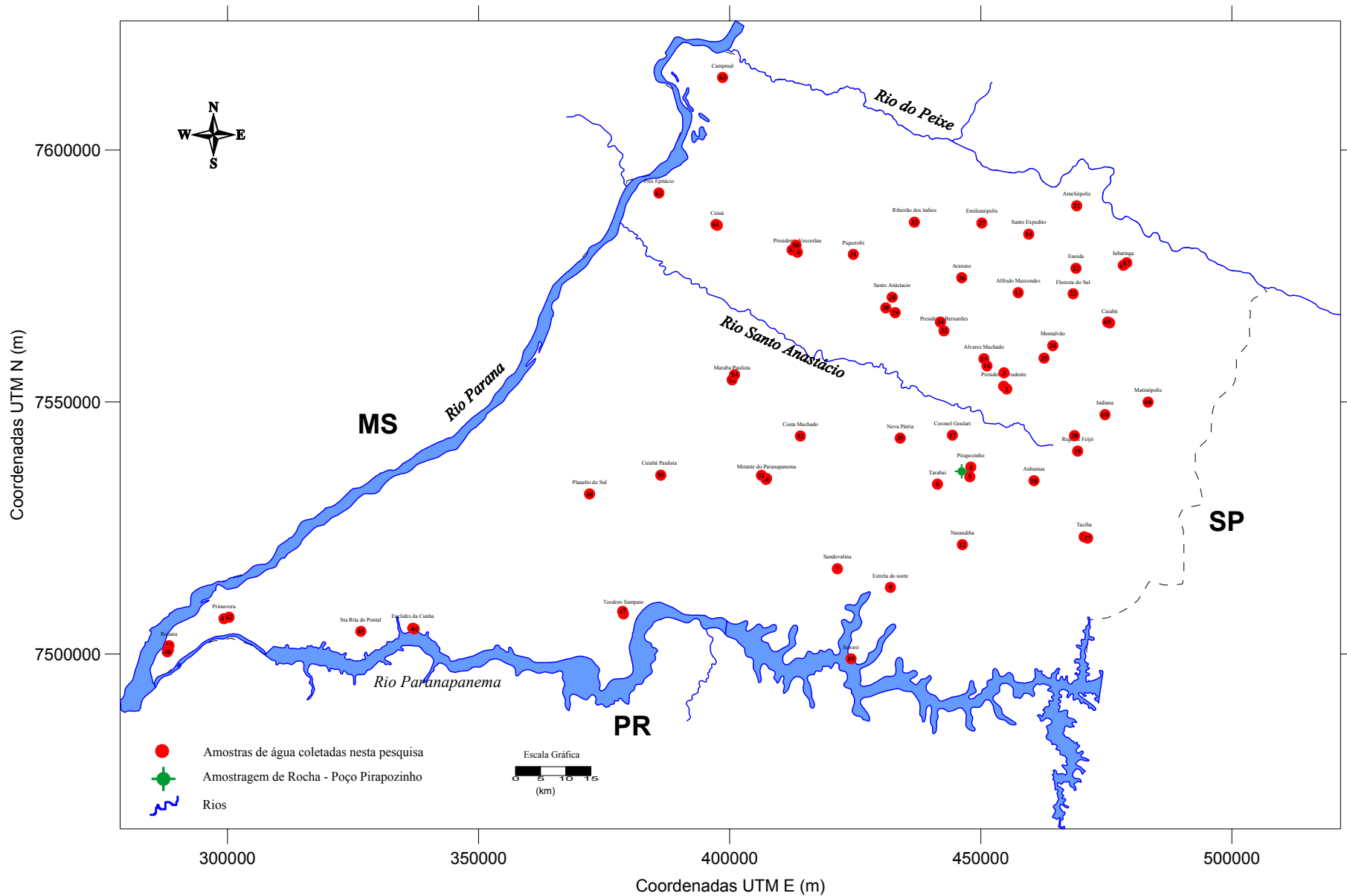
<b>Amostra</b>	<b>Cd mg/L</b>	<b>P mg/L</b>	<b>Cr mg/L</b>
<b>Limite</b>	<b>0.005</b>	<b>0.1</b>	<b>0.005</b>
1	0	0	0.016
2	0	0	0.013
3	0	0	0.052
4	0	0	0.032
5	0	0	0.035
6	0	0	0.017
7	0	0	0.014
9	0	0	0
10	0	0.11	0
12	0	0	0.017
13	0	0	0.071
14	0	0	0.032
15	0	0	0.076
16	0	0	0.051
17	0	0	0.038
18	0	0	0.035
19	0	0	0.01
20	0	0	0.013
21	0	0	0.034
22	0	0	0.012
23	0	0	0.058
24	0	0	0.021
25	0	0	0.021
26	0	0	0
27	0	0	0.008
28	0	0.54	0.009
29	0	0	0.041
30	0	0	0.026
31	0	0	0.013
32	0	0	0.0007
33	0	0	0.06
34	0	0	0.052

35	0	0	0.022
36	0	0	0.078
37	0	0	0.024
38	0	0	0
39	0	0	0
40	0	0	0
41	0	0	0
42	0	0.23	0
43	0	0	0
44	0	0.3	0
45	0	0.36	0
46	0	0	0
47	0	0.1	0
48	0	0	0
49	0	0	0
50	0	0	0
51	0	0	0
52	0	0	0
53	0	0	0
54	0	0	0
55	0	0	0
56	0	0	0
57	0	0	0
58	0	0	0.024
60	0	0.33	0.007
61	0	0	0.02
62	0	0	0
63	0	0	0
64	0	0	0.014
65	0	0	0.06
66	0	0	0.059
67	0	0	0
68	0	0.21	0
69	0	0	0

## **ANEXO 2**

### **MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE COLETAS DE AMOSTRAS DE ÁGUA**

Mapa de Localização dos Pontos de Coletas de Amostras de Água.



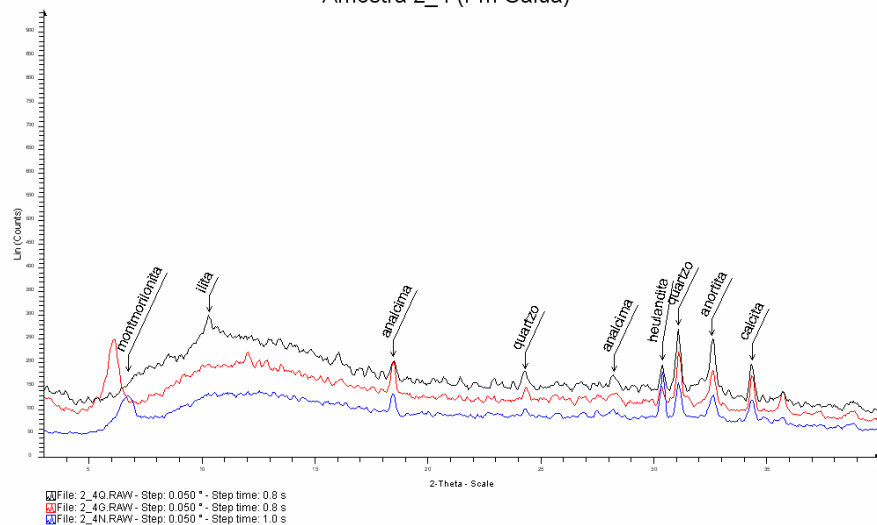
## **ANEXO 3**

# **RESULTADOS DAS ANÁLISES DE DIFRATOMETRIA DE RAIOS X**

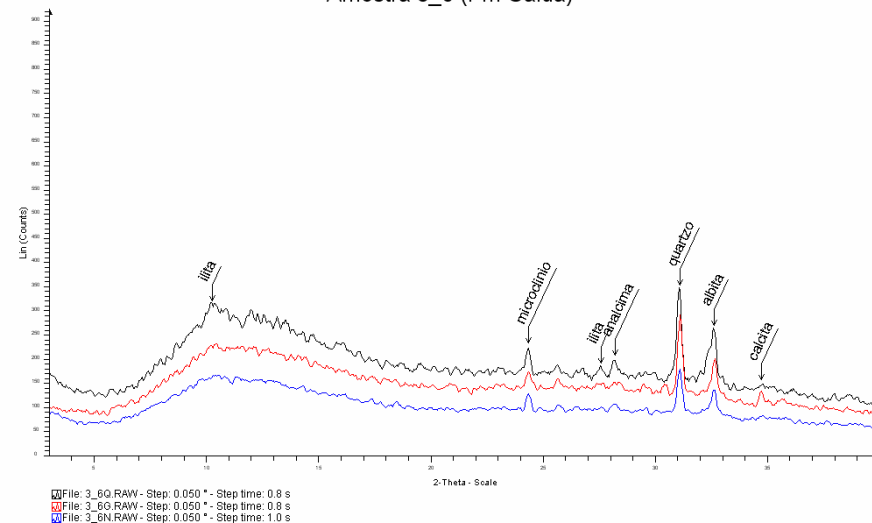
Linha Azul: N = amostra normal  
Linha vermelha: G = amostra glicolada  
Linha preta: Q = amostra queimada



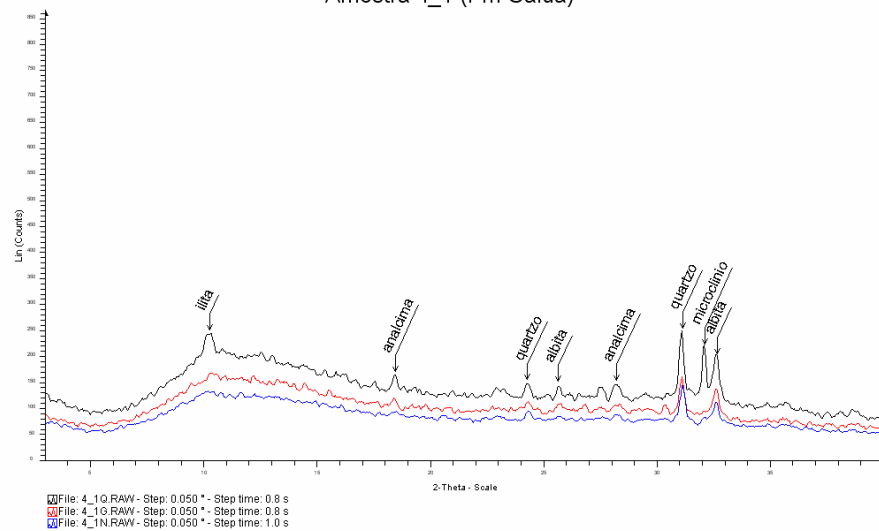
Amostra 2\_4 (Fm Caiuá)



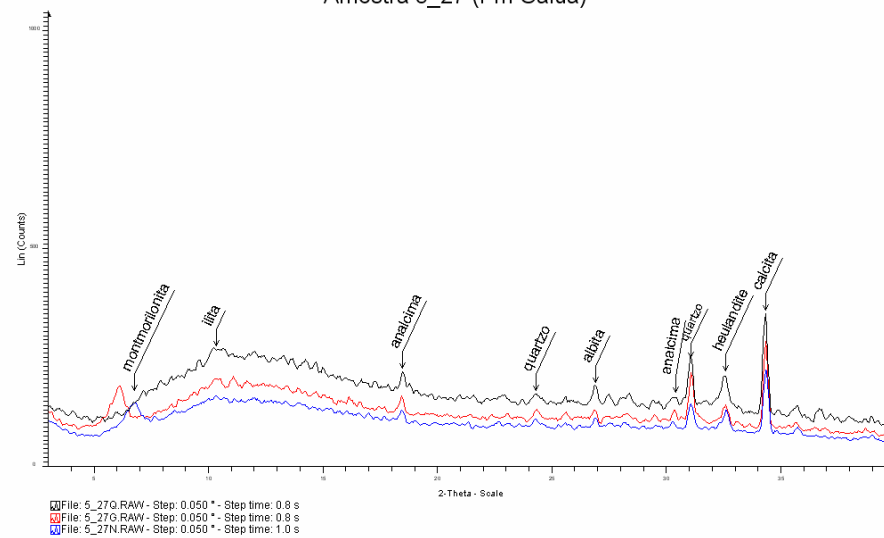
Amostra 3\_6 (Fm Caiuá)



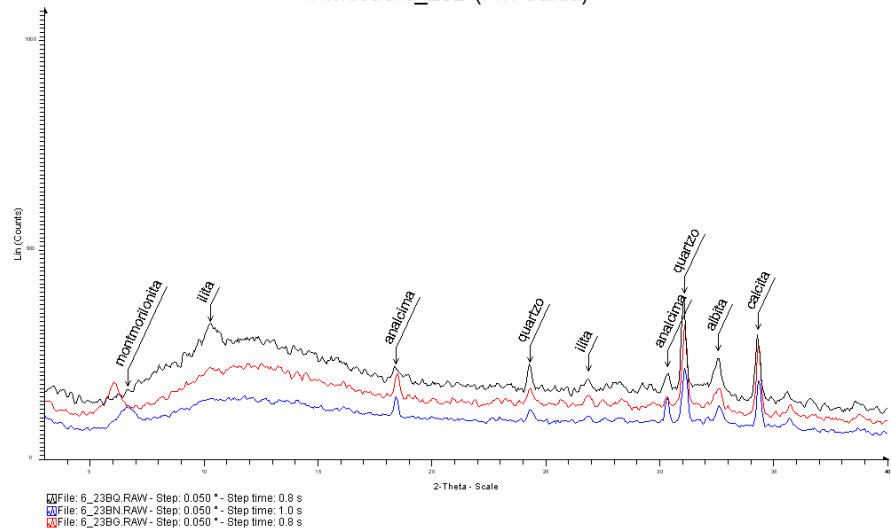
Amostra 4\_1 (Fm Caiuá)



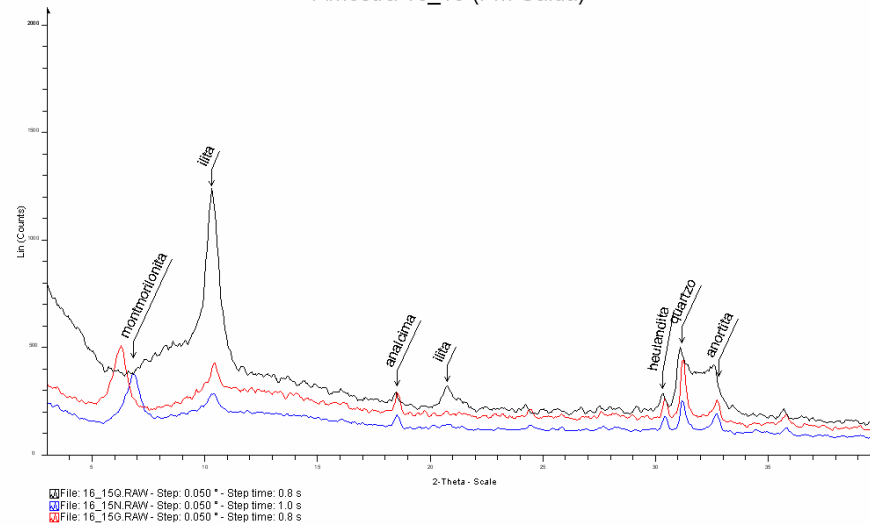
Amostra 5\_27 (Fm Caiuá)



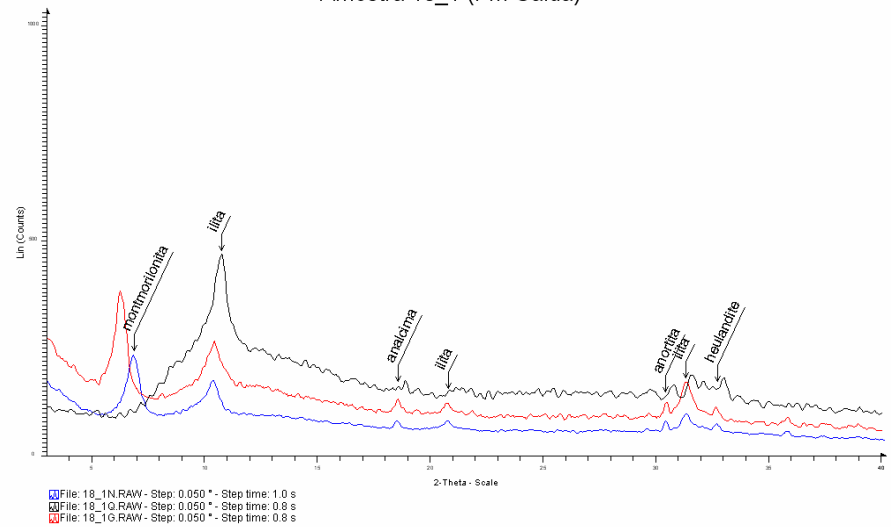
Amostra 6\_23B (Fm Caiuá)



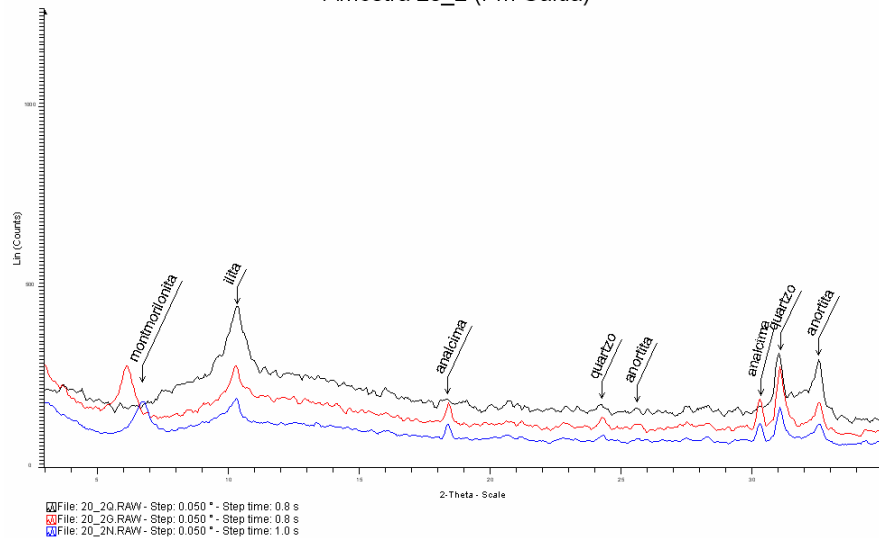
Amostra 16\_15 (Fm Caiuá)

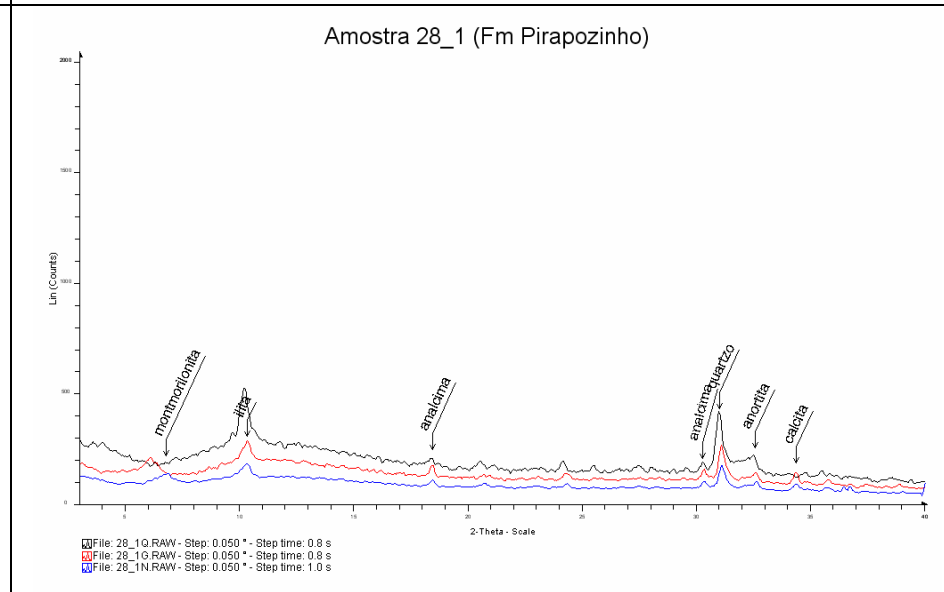
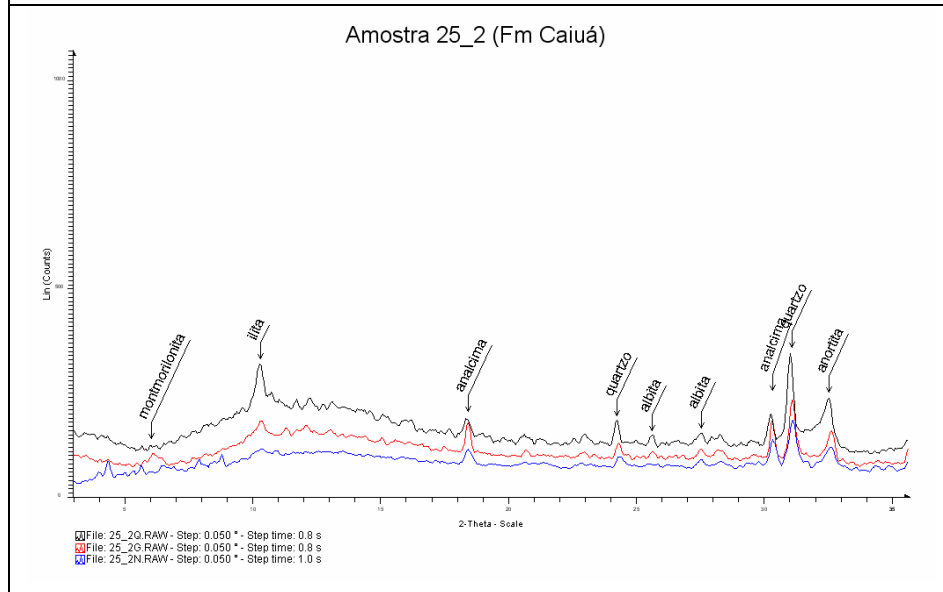
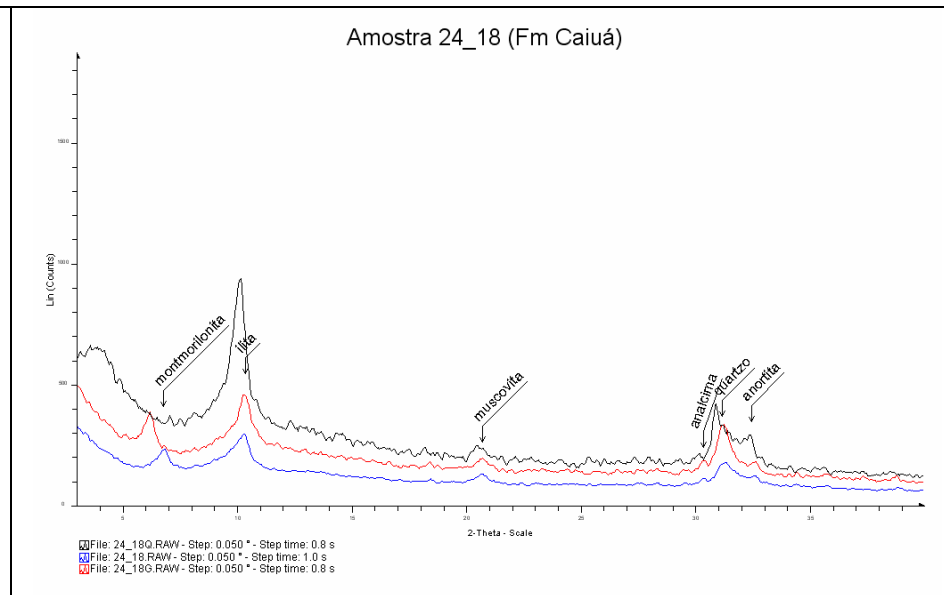
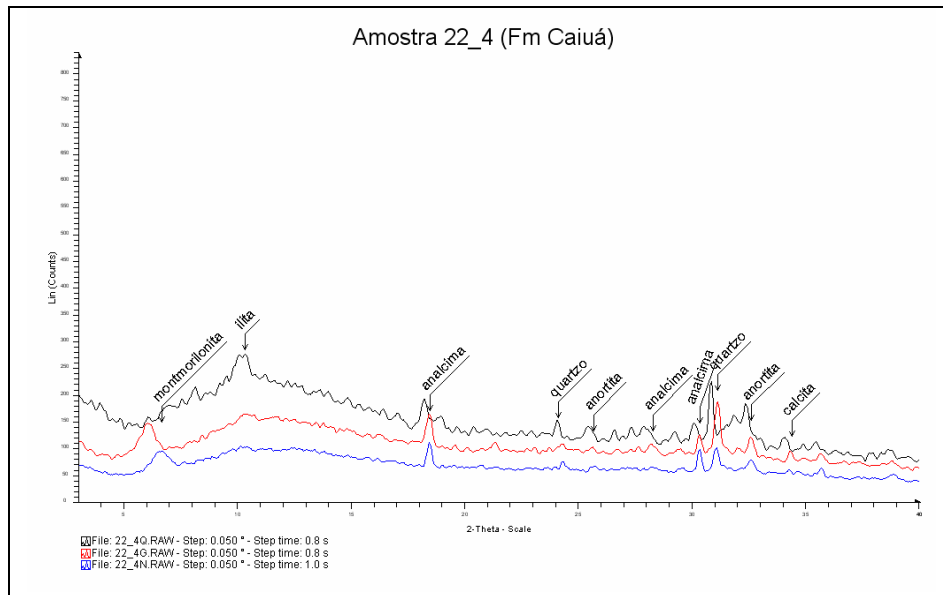


Amostra 18\_1 (Fm Caiuá)

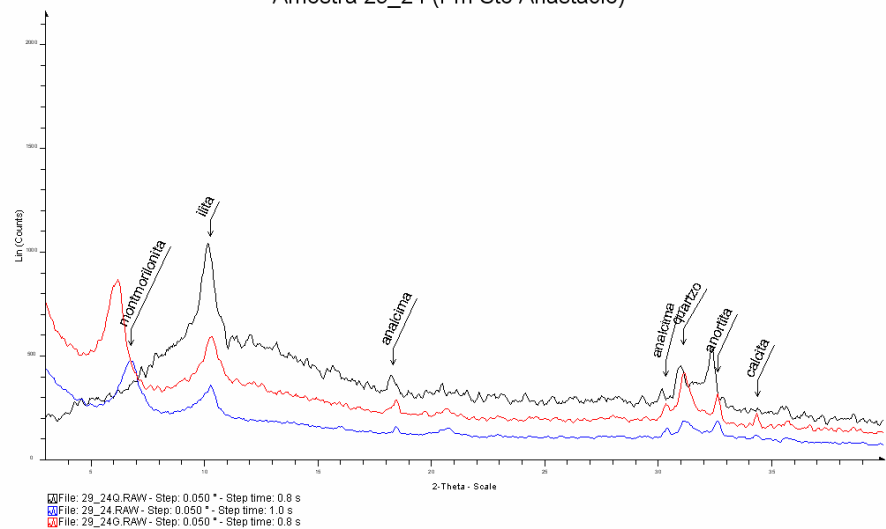


Amostra 20\_2 (Fm Caiuá)

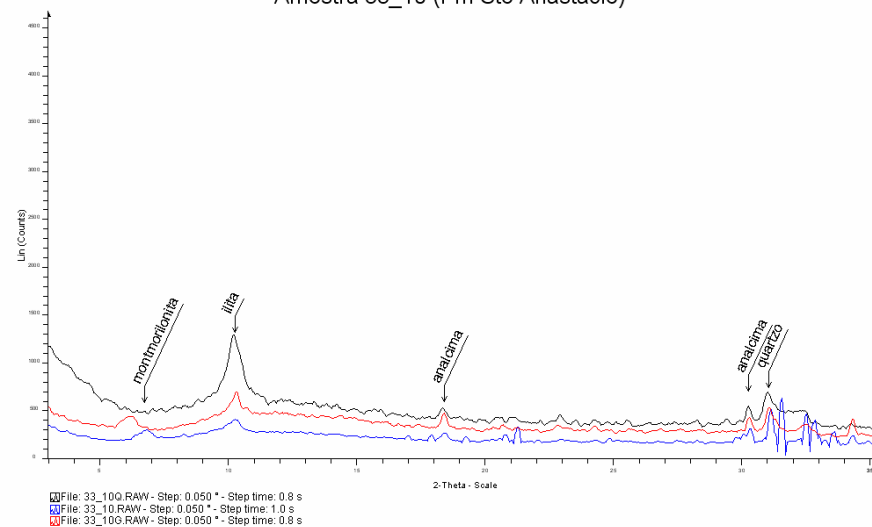




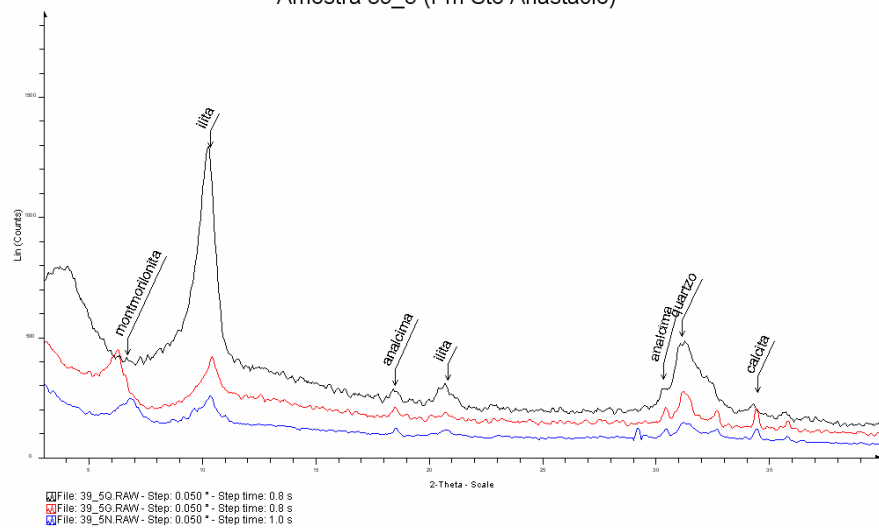
Amostra 29\_24 (Fm Sto Anastácio)



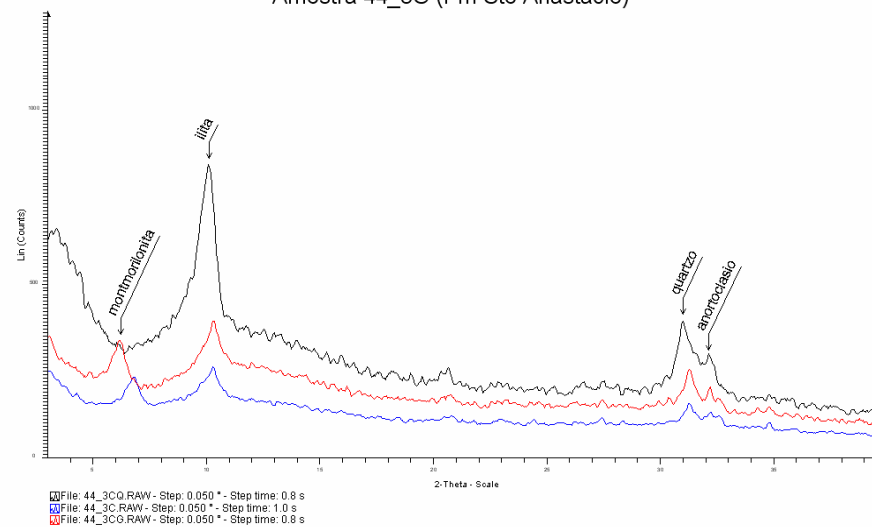
Amostra 33\_10 (Fm Sto Anastácio)

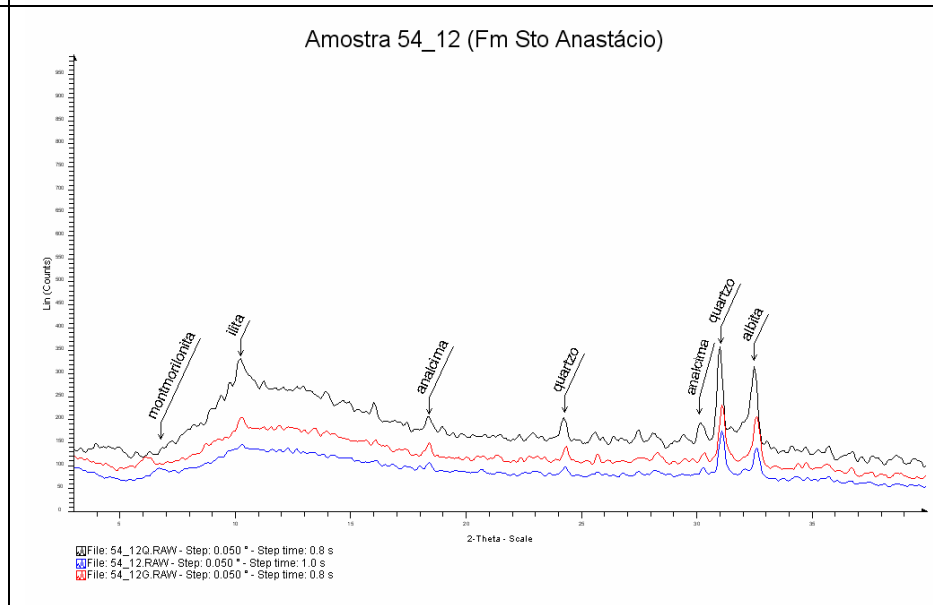
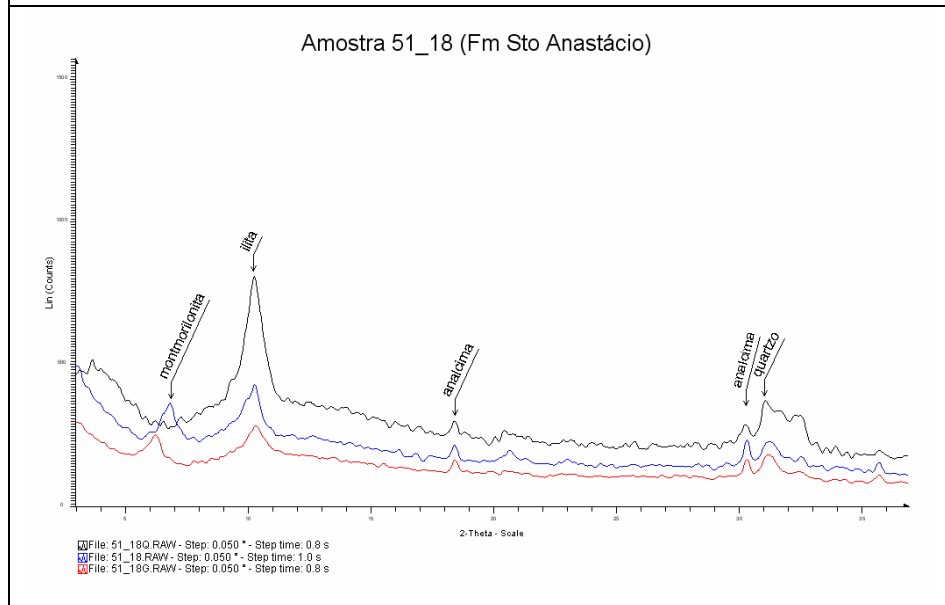
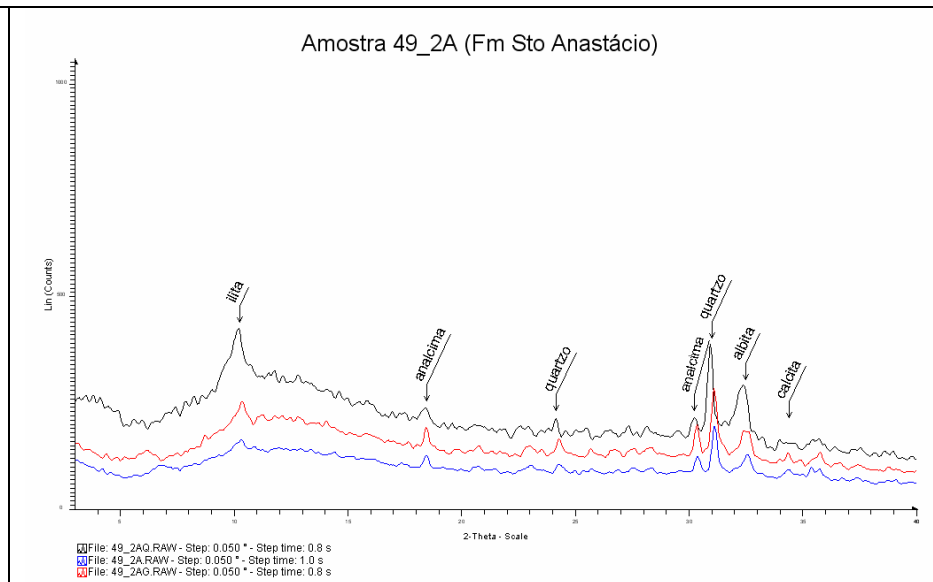
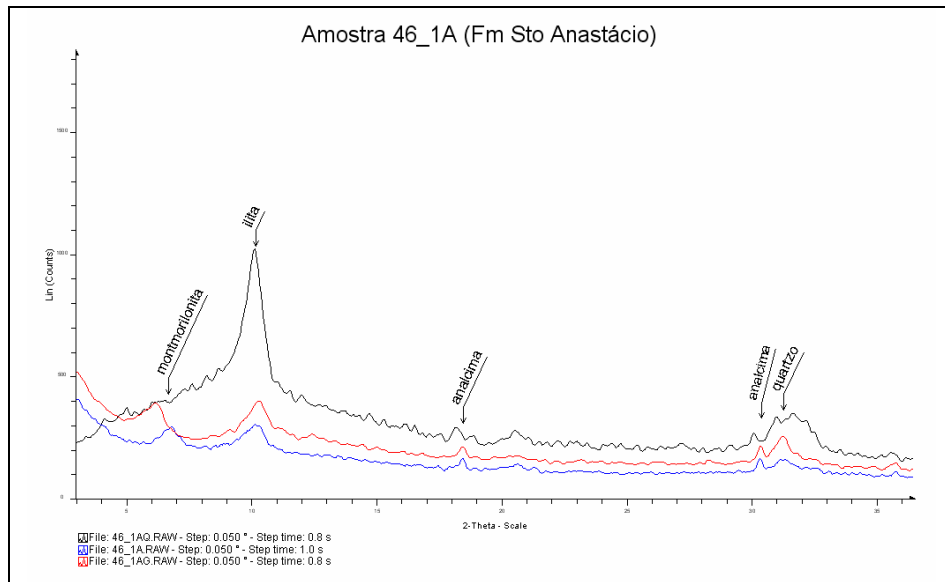


Amostra 39\_5 (Fm Sto Anastácio)

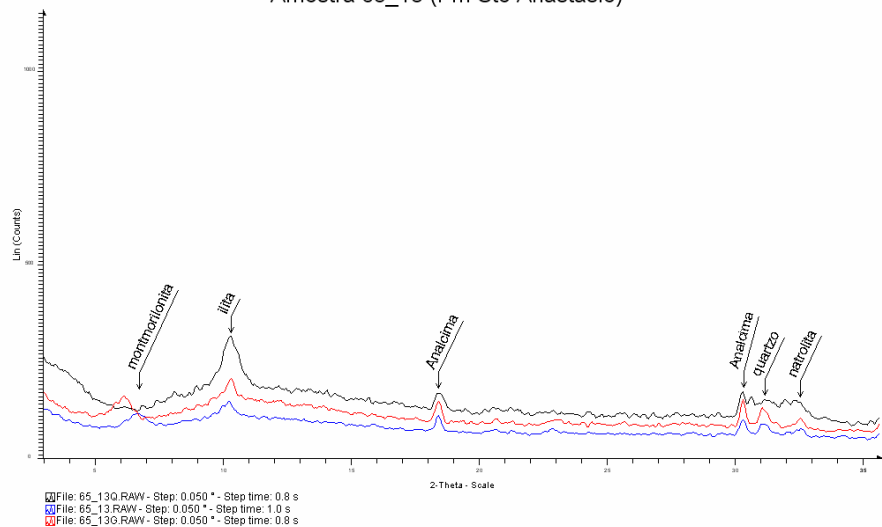


Amostra 44\_3C (Fm Sto Anastácio)

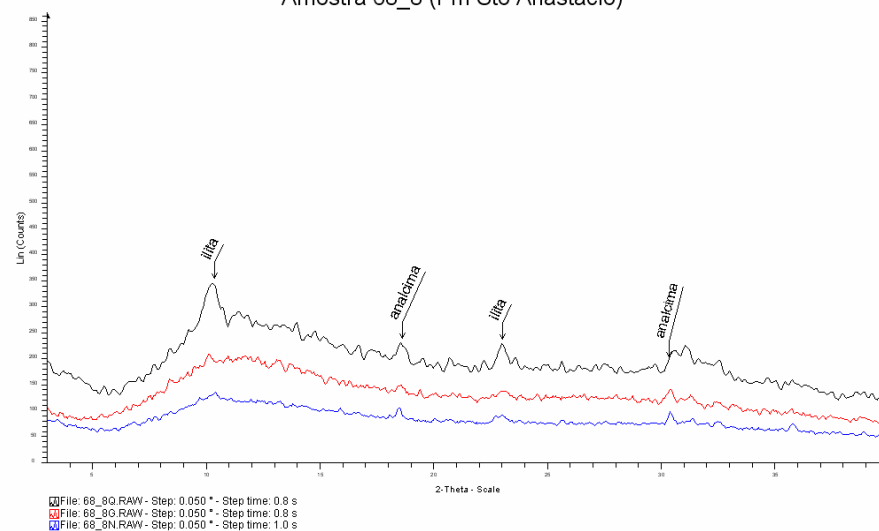




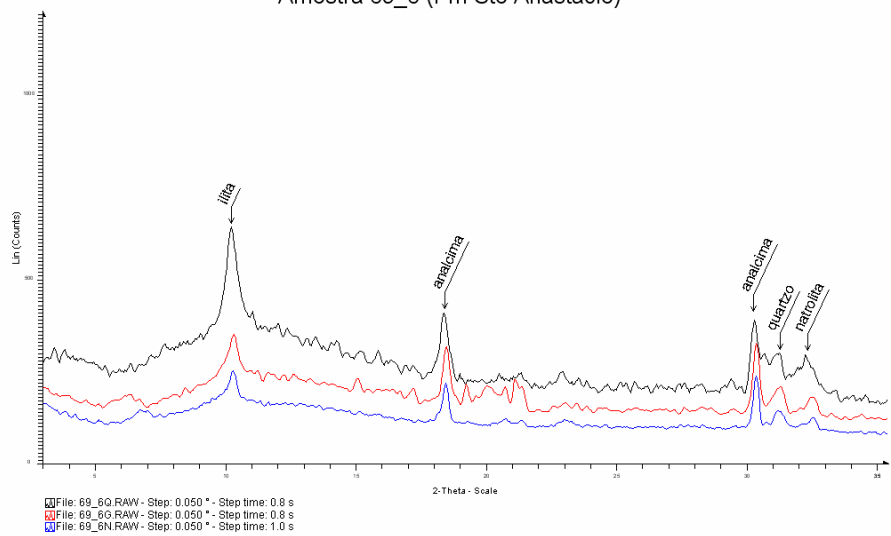
Amostra 65\_13 (Fm Sto Anastácio)



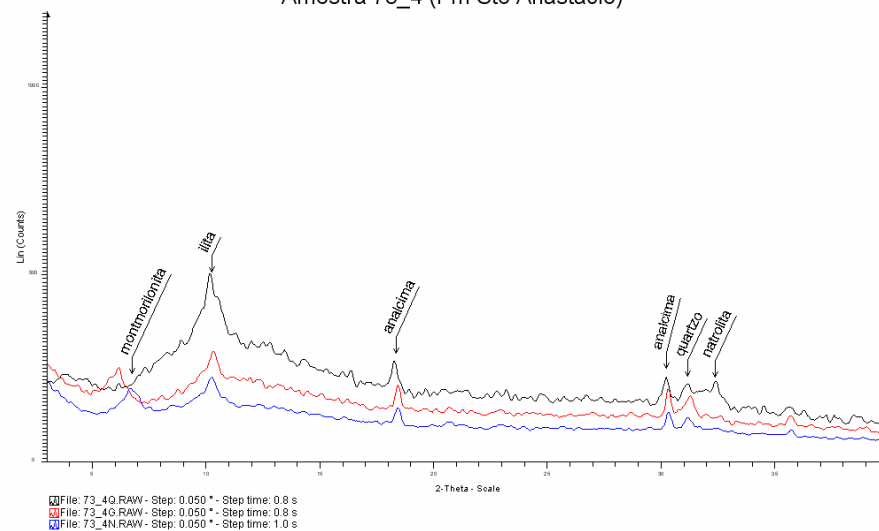
Amostra 68\_8 (Fm Sto Anastácio)



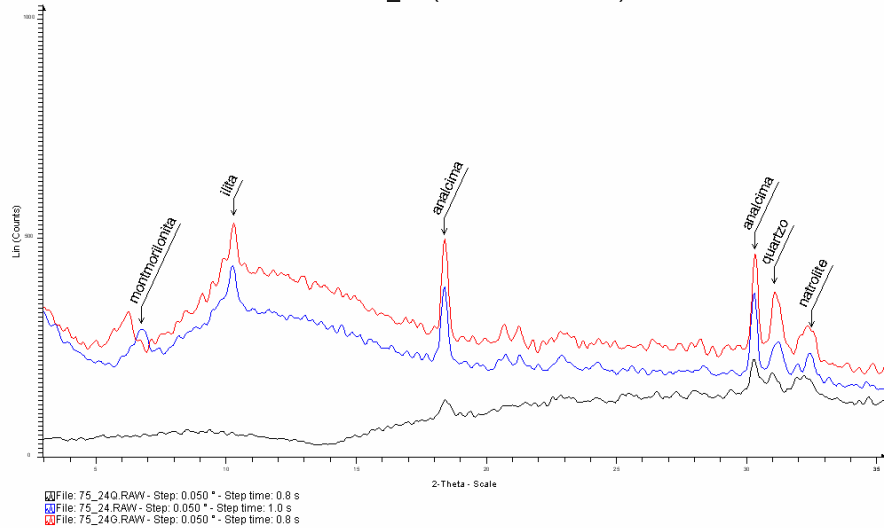
Amostra 69\_6 (Fm Sto Anastácio)



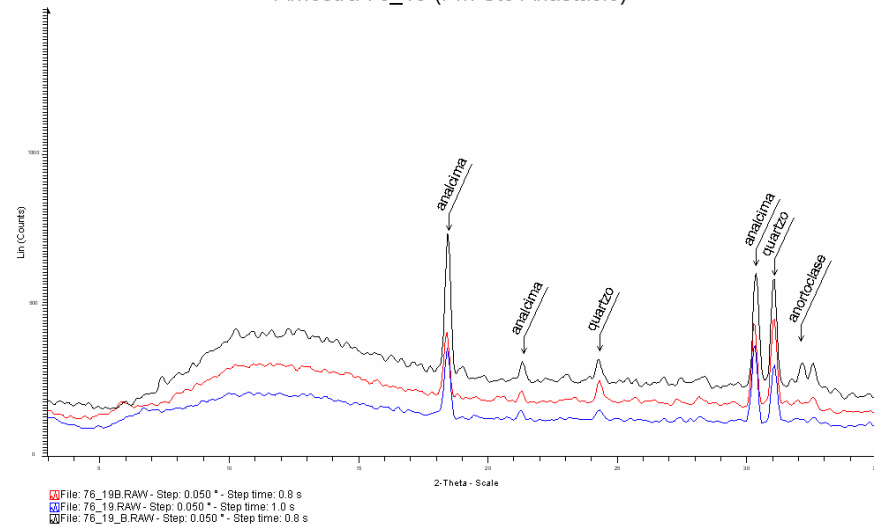
Amostra 73\_4 (Fm Sto Anastácio)



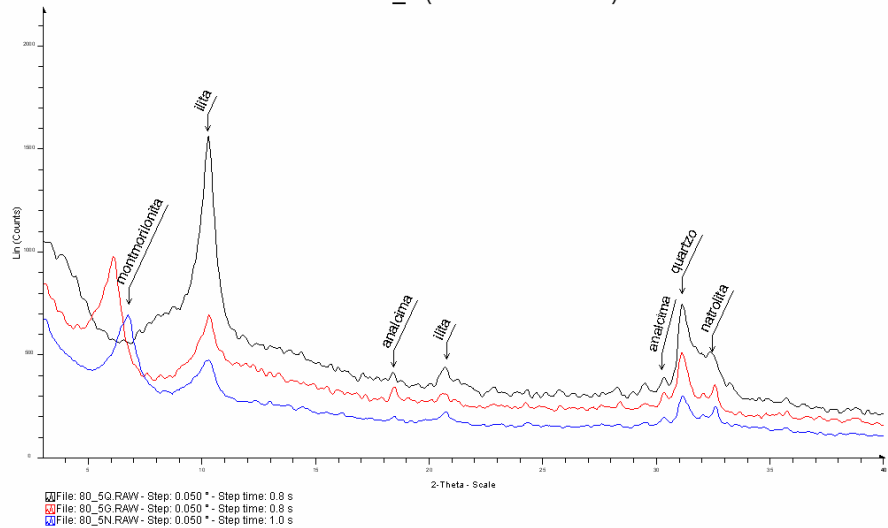
Amostra 75\_24 (Fm Sto Anastácio)



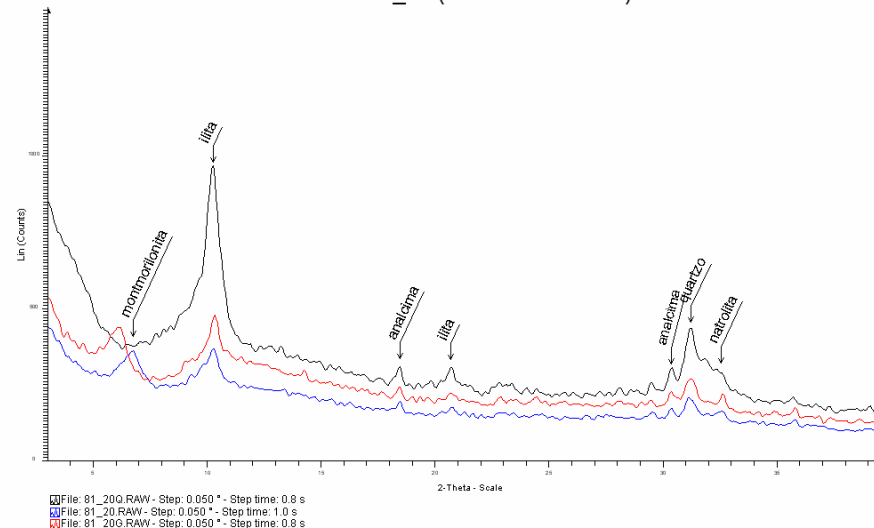
Amostra 76\_19 (Fm Sto Anastácio)

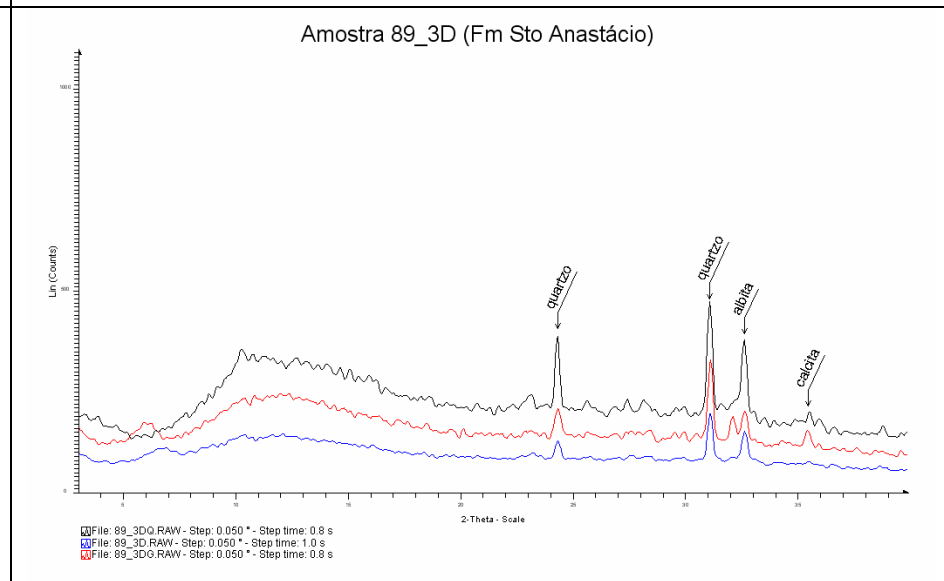
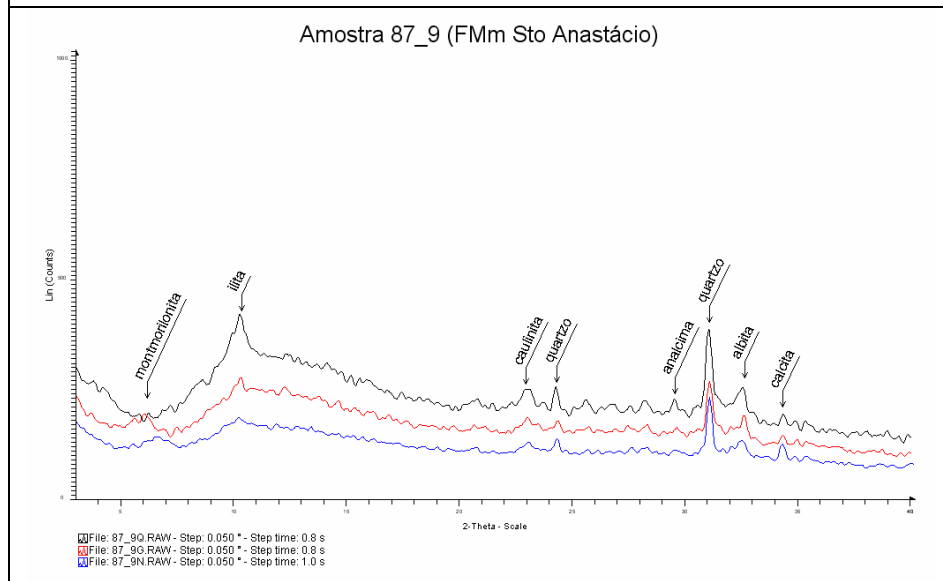
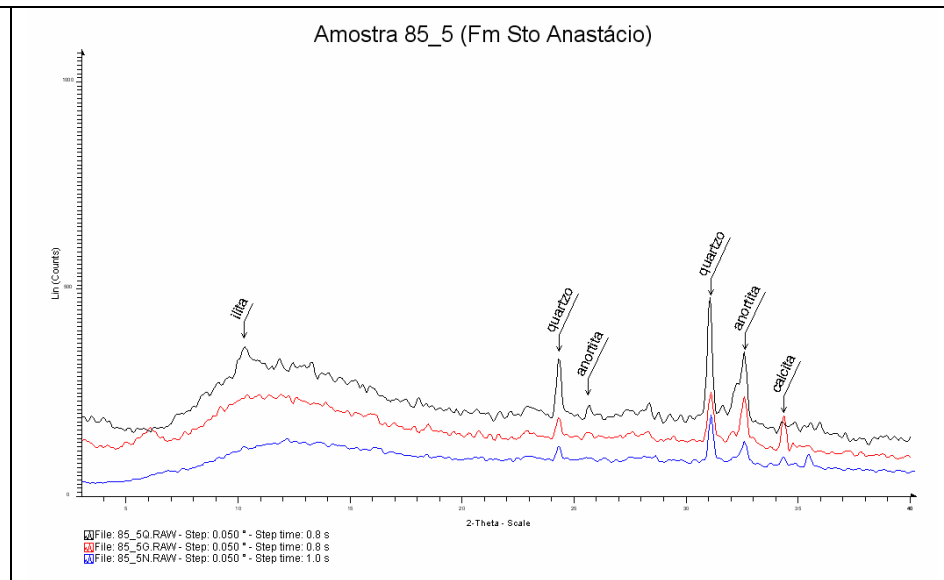
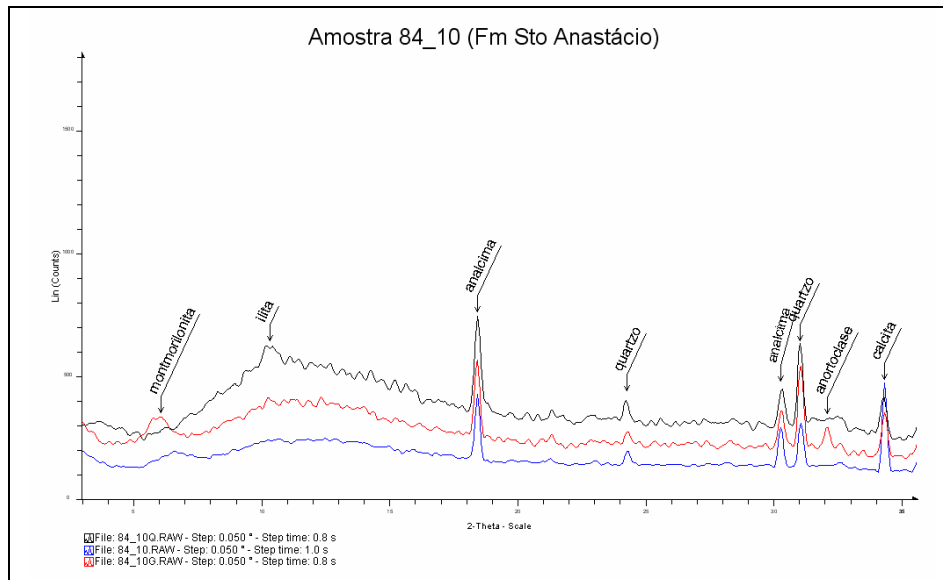


Amostra 80\_5 (Fm Sto Anastácio)

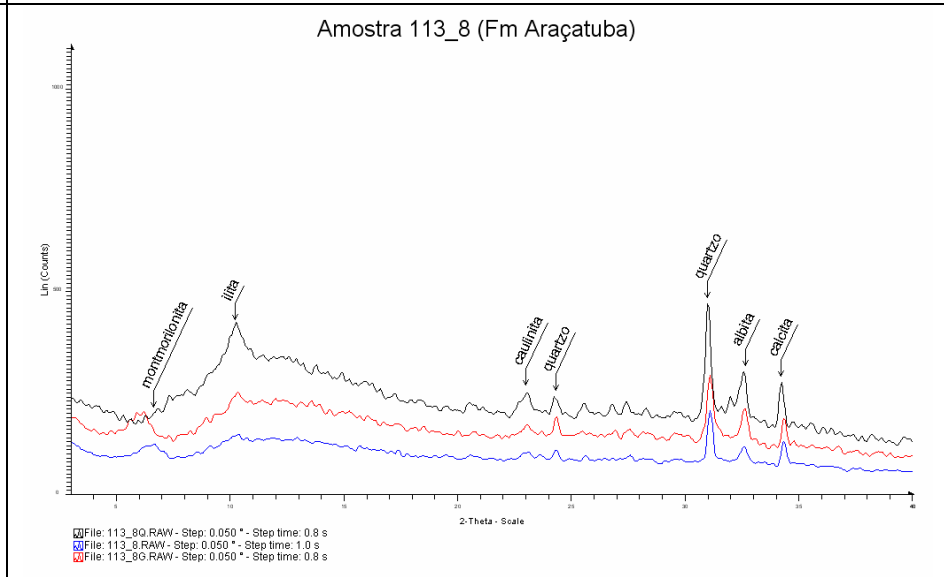
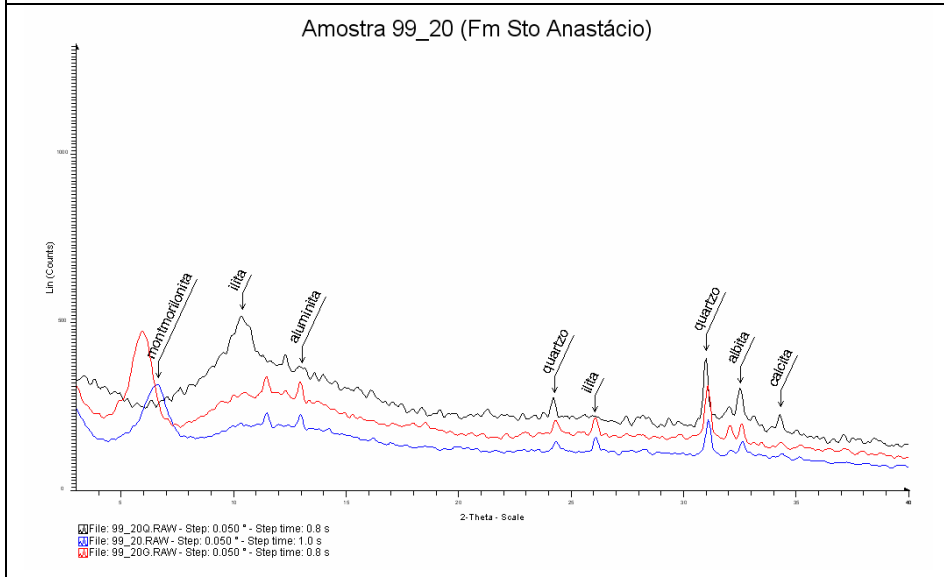
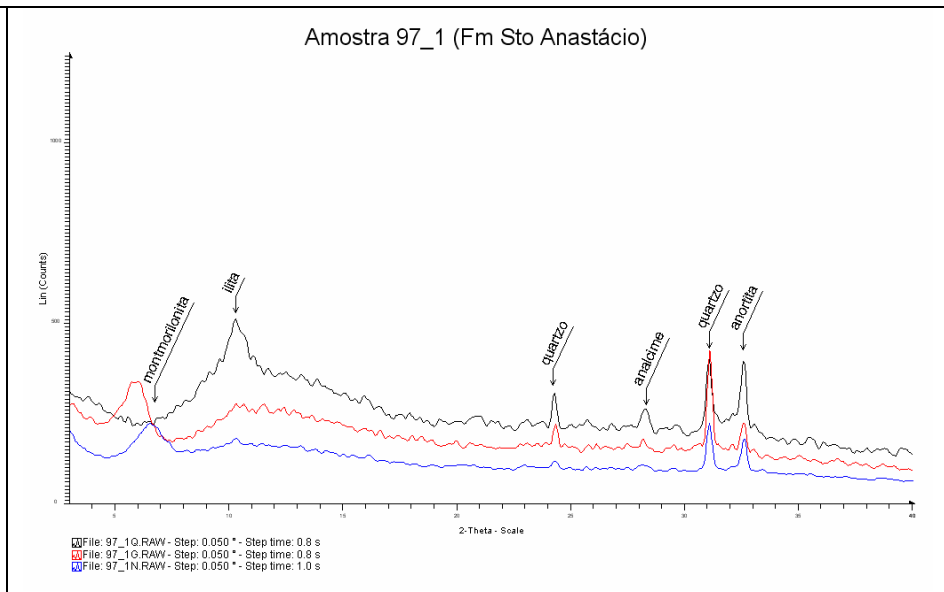
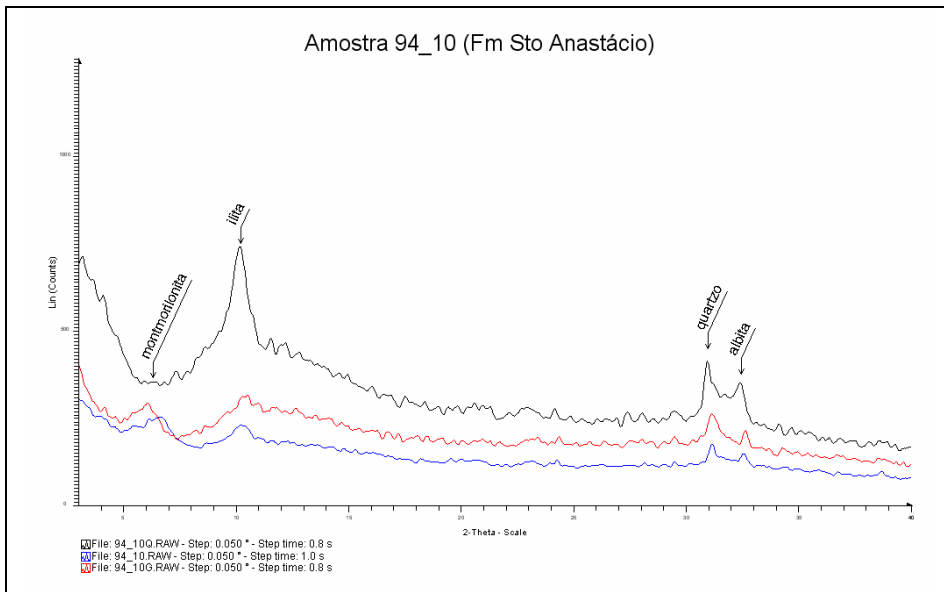


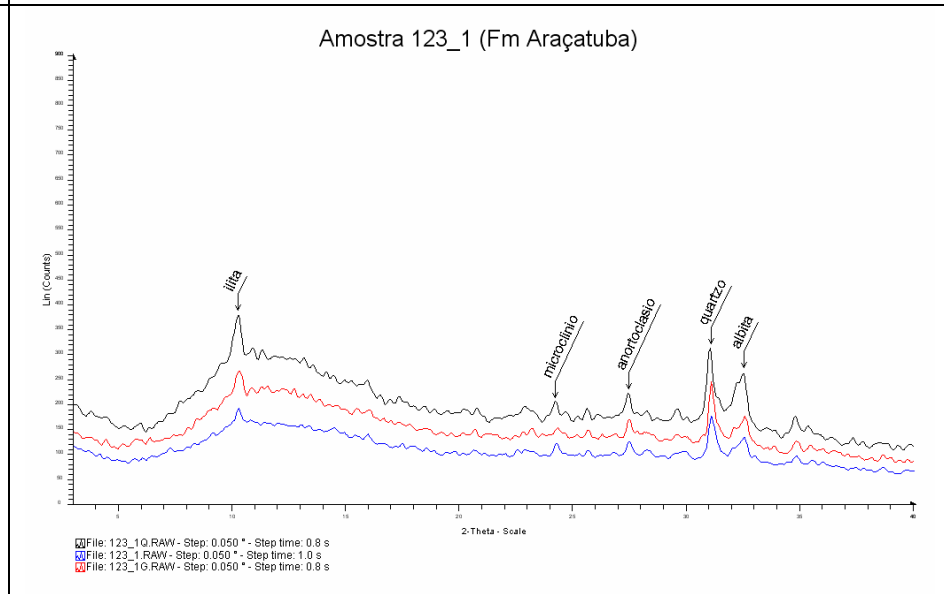
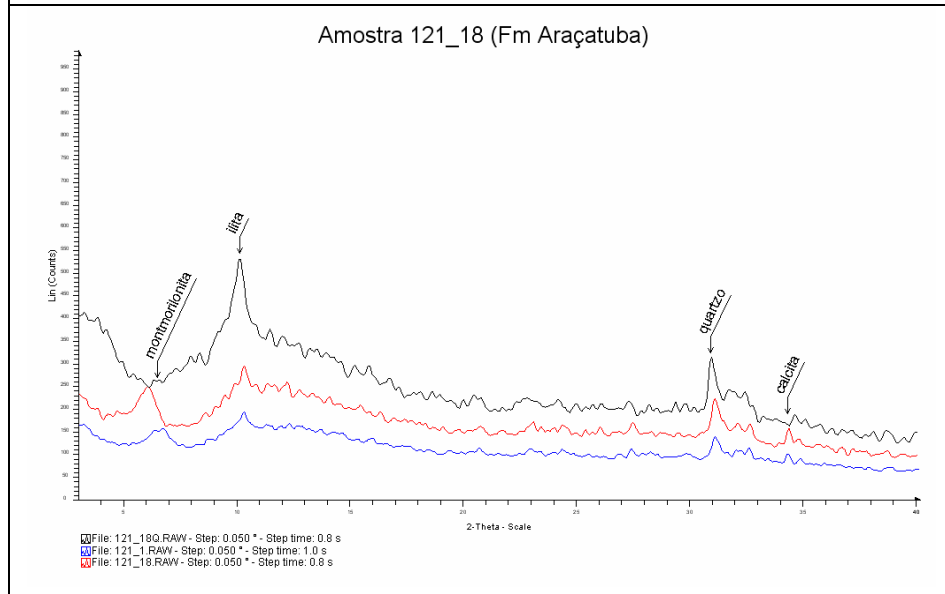
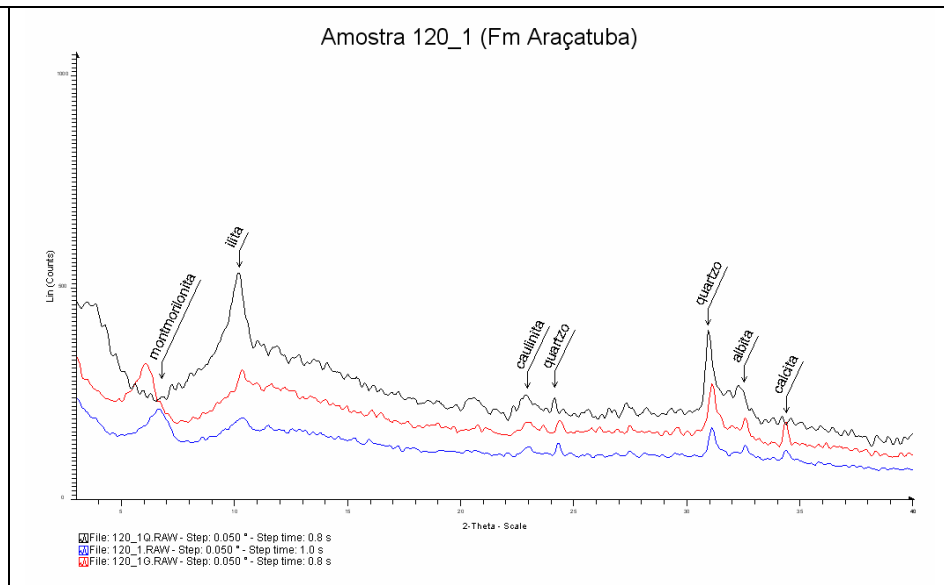
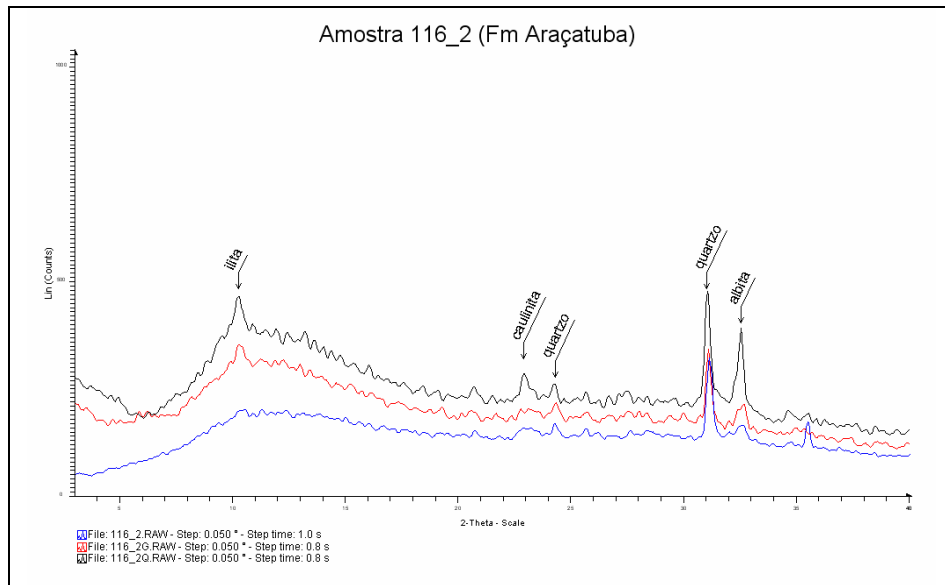
Amostra 81\_20 (Fm Sto Anastácio)

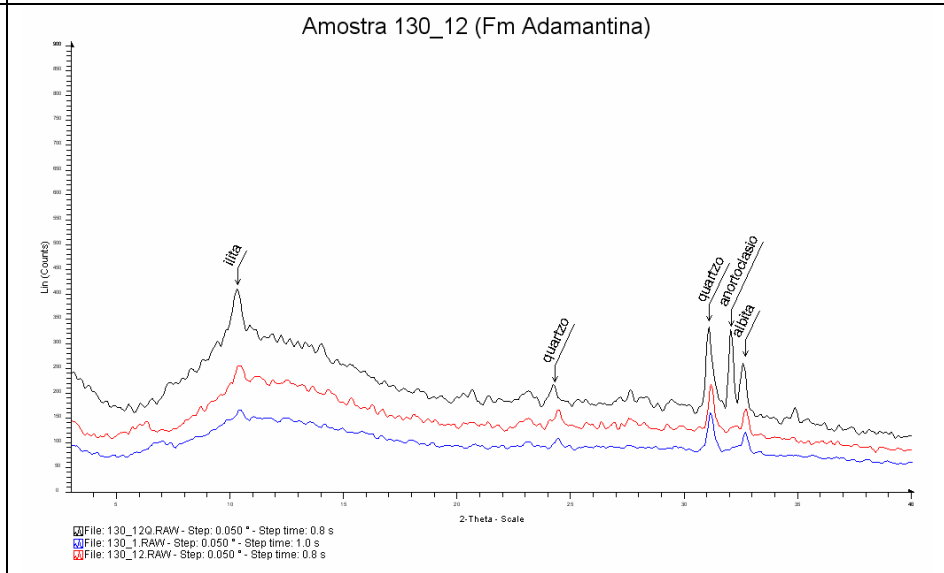
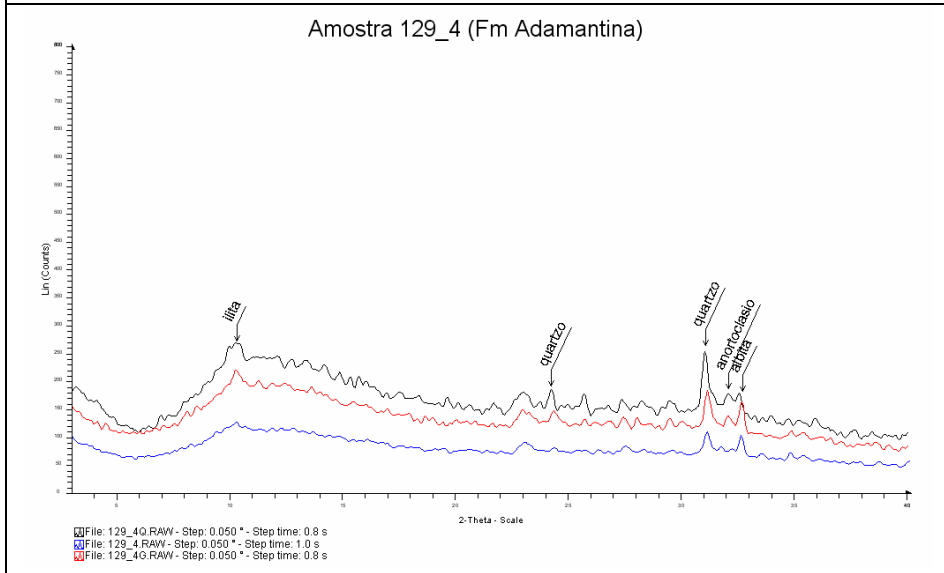
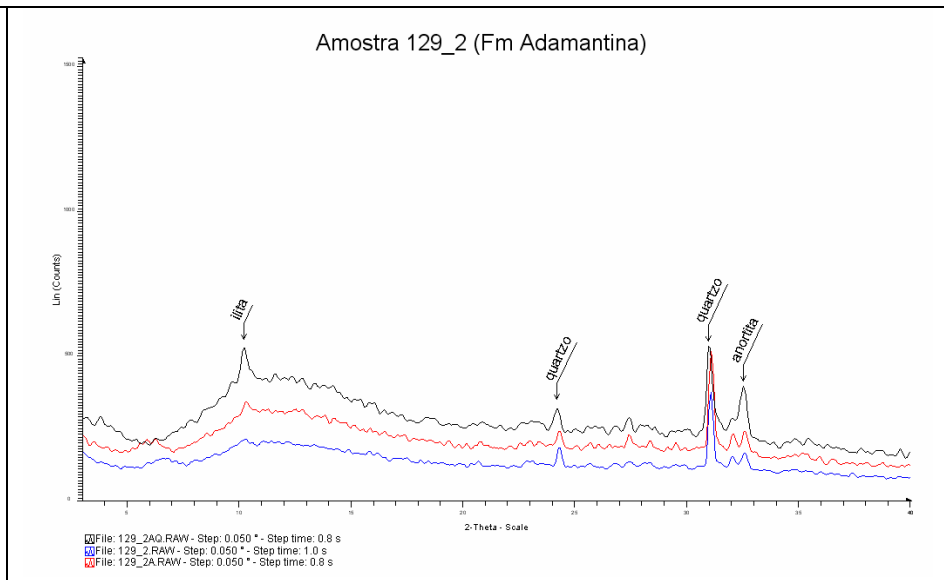
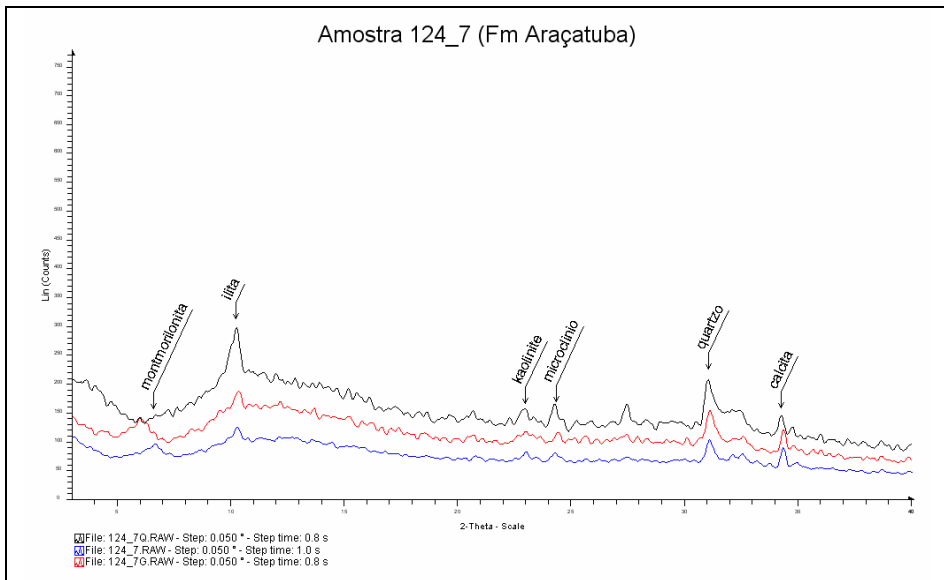




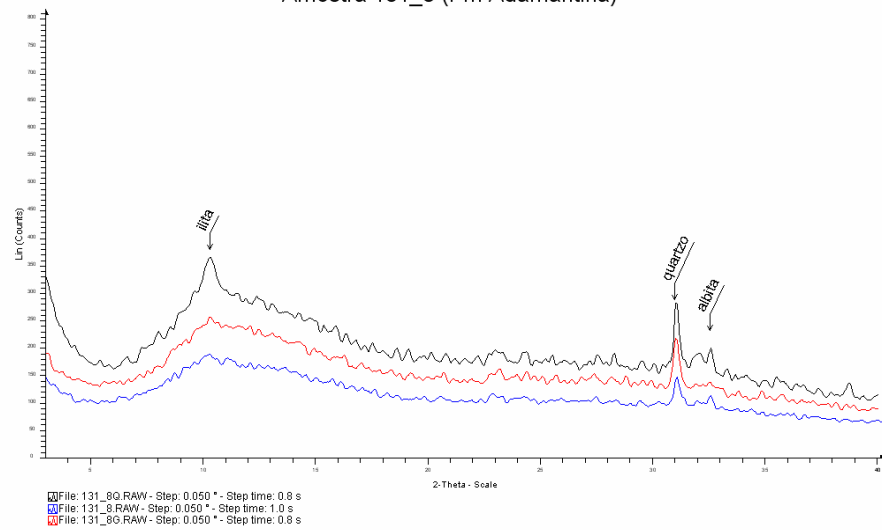




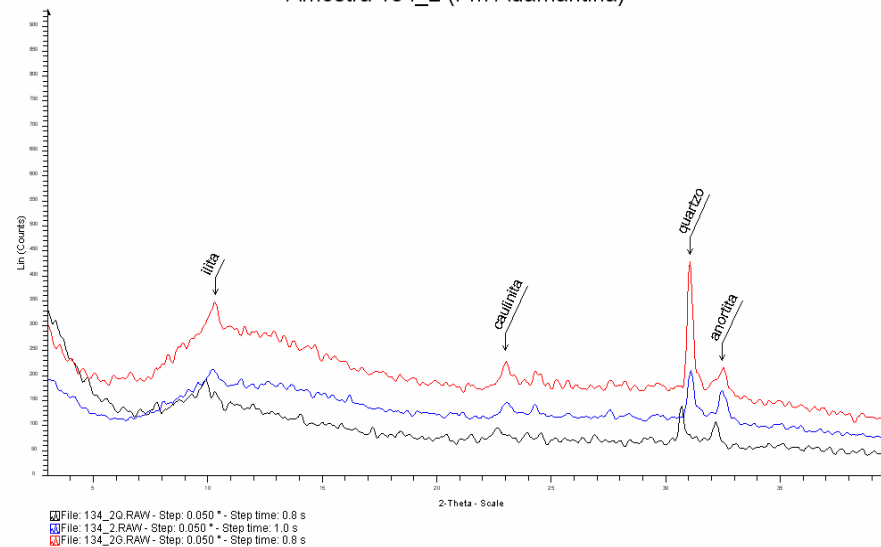




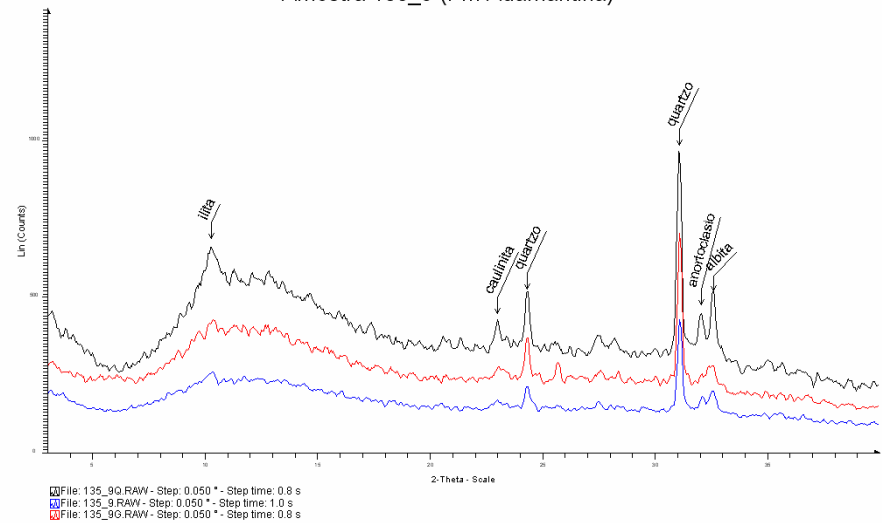
Amostra 131\_8 (Fm Adamantina)



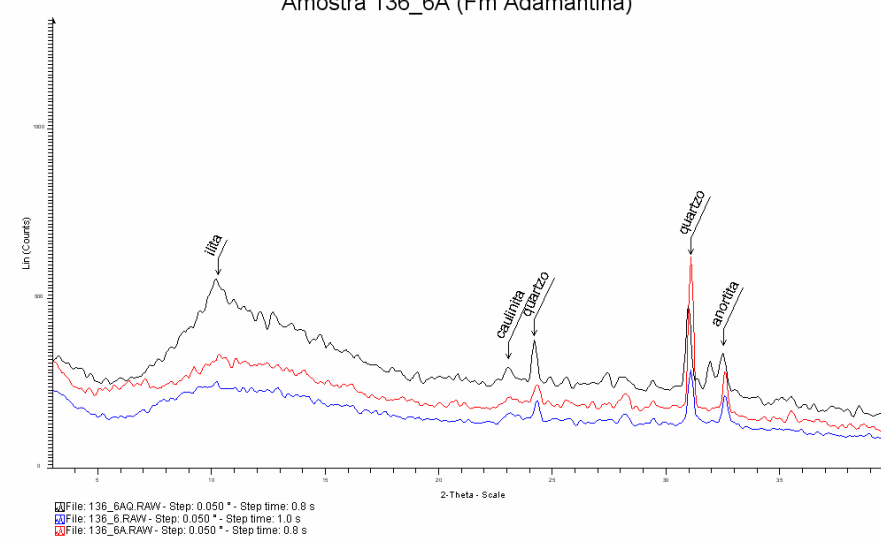
Amostra 134\_2 (Fm Adamantina)

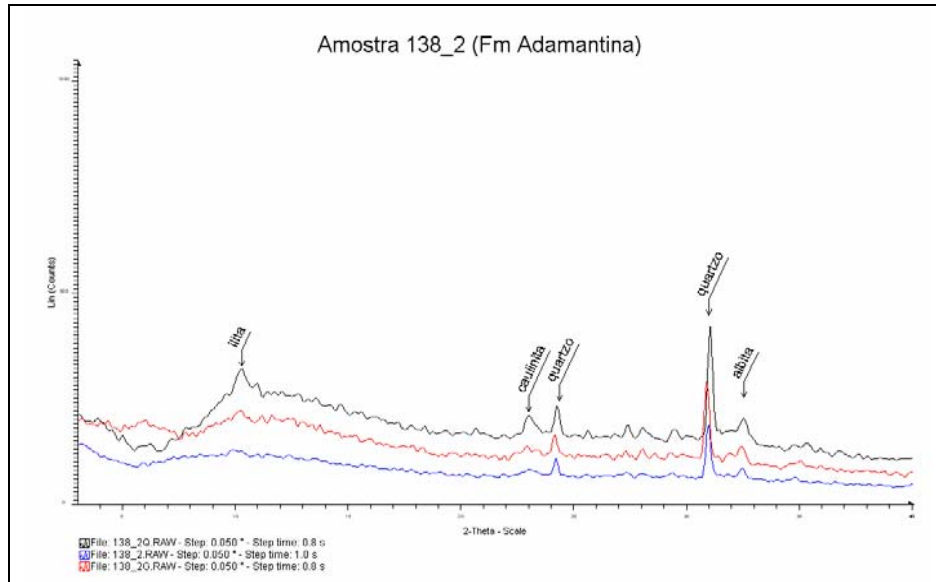


Amostra 135\_9 (Fm Adamantina)



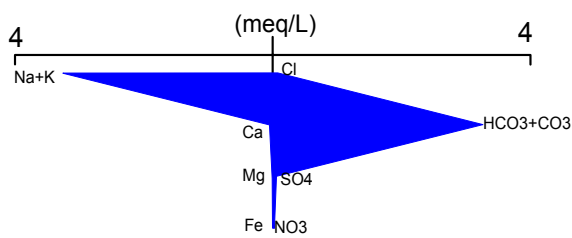
Amostra 136\_6A (Fm Adamantina)

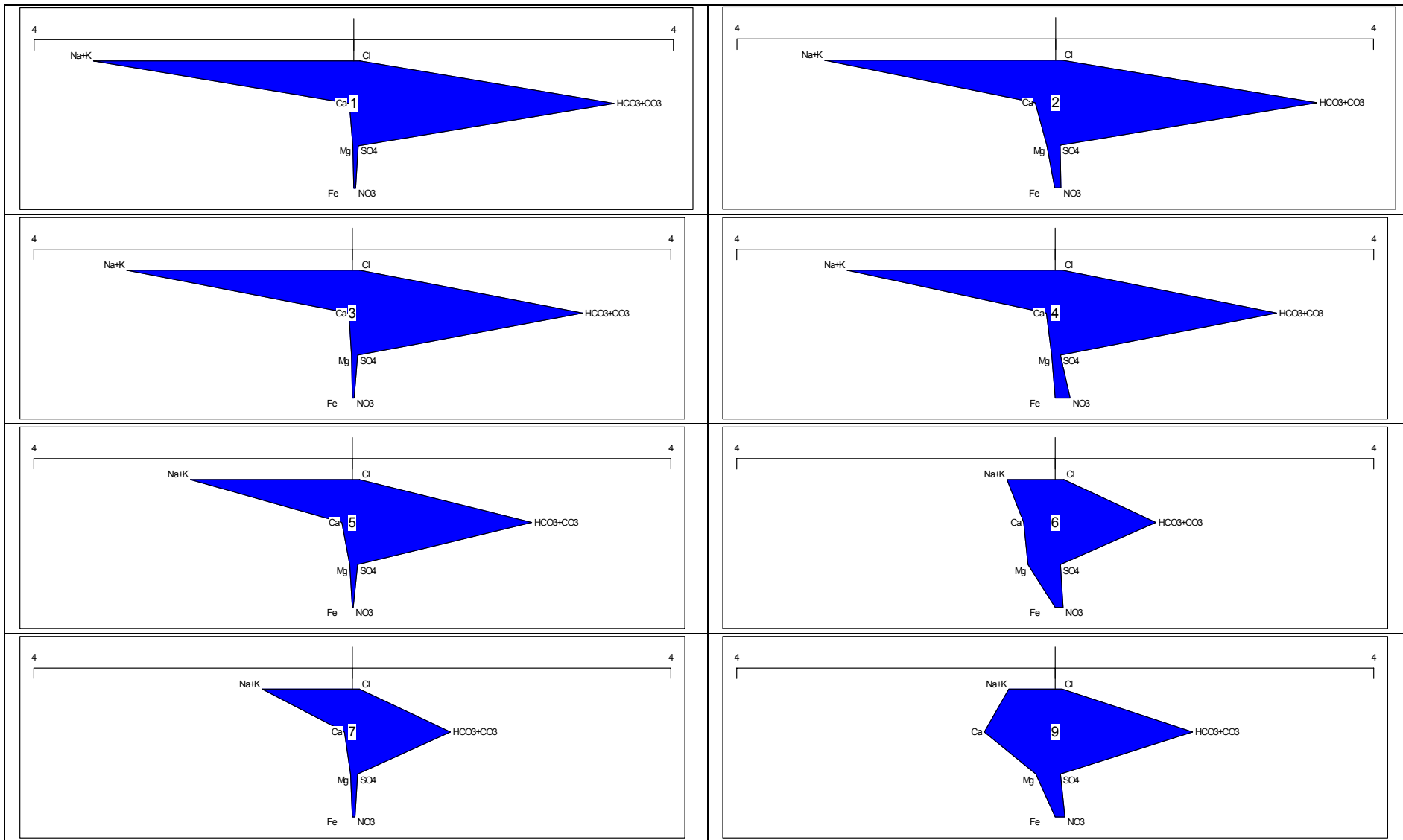


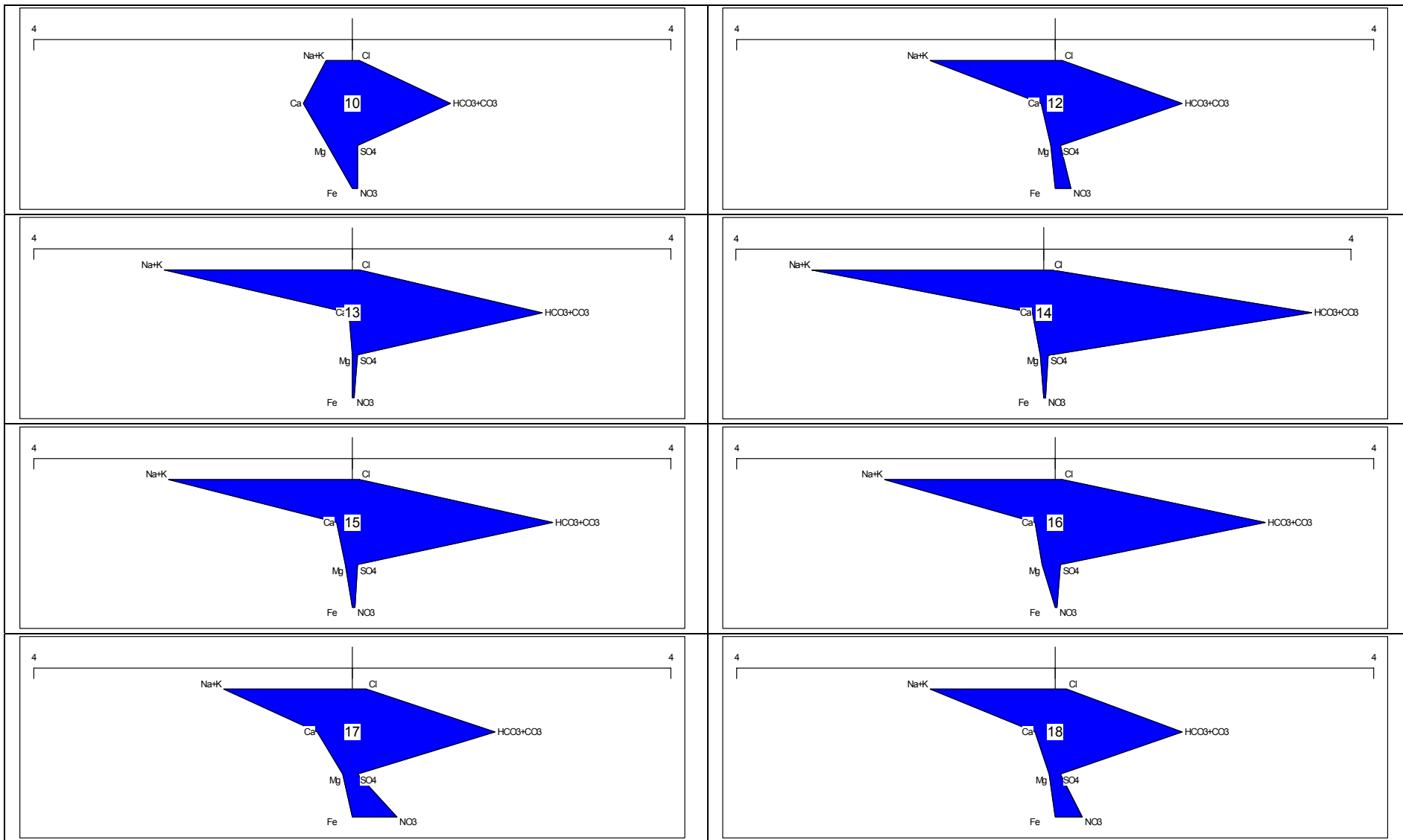


# ANEXO 4

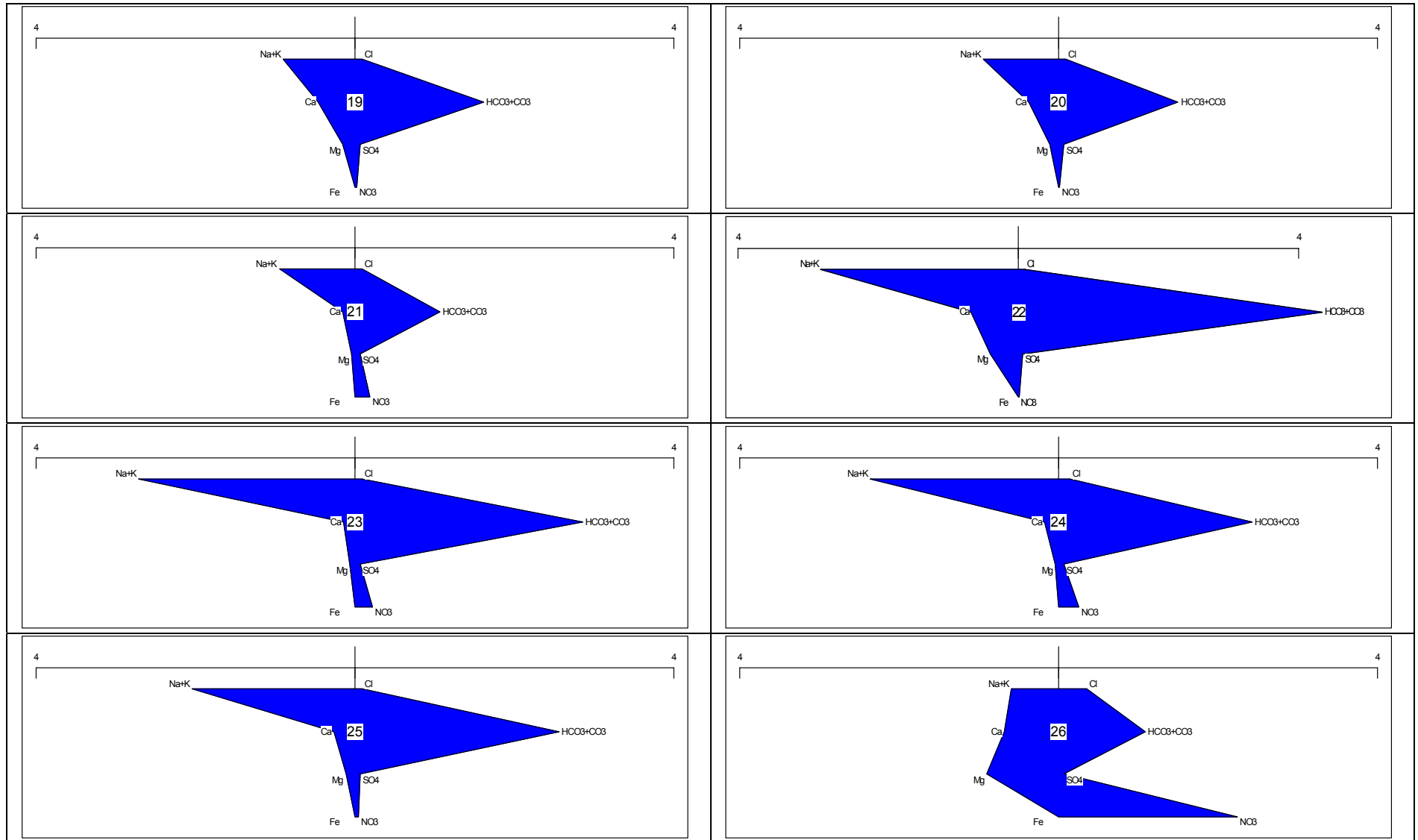
## DIAGRAMAS DE STIFF

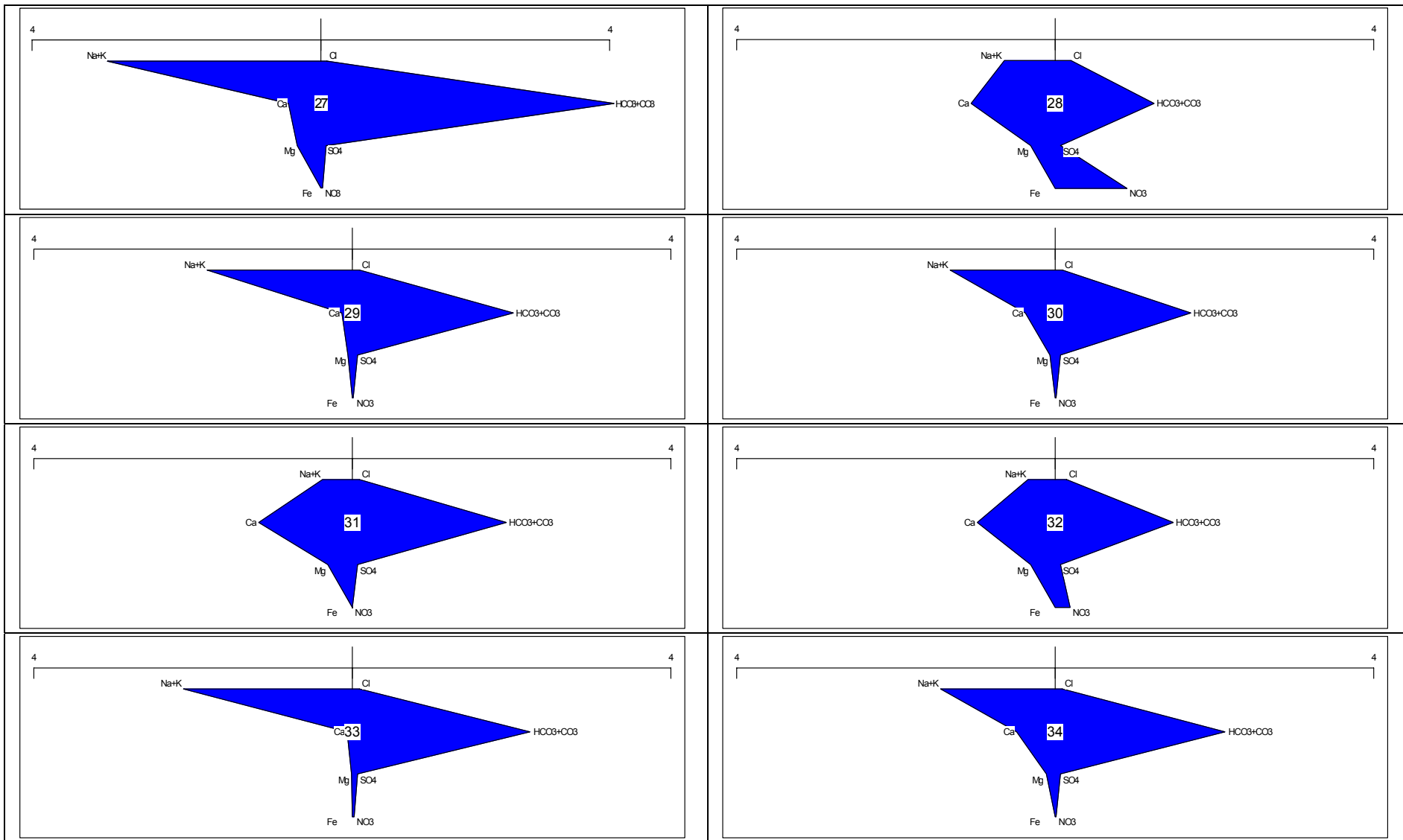


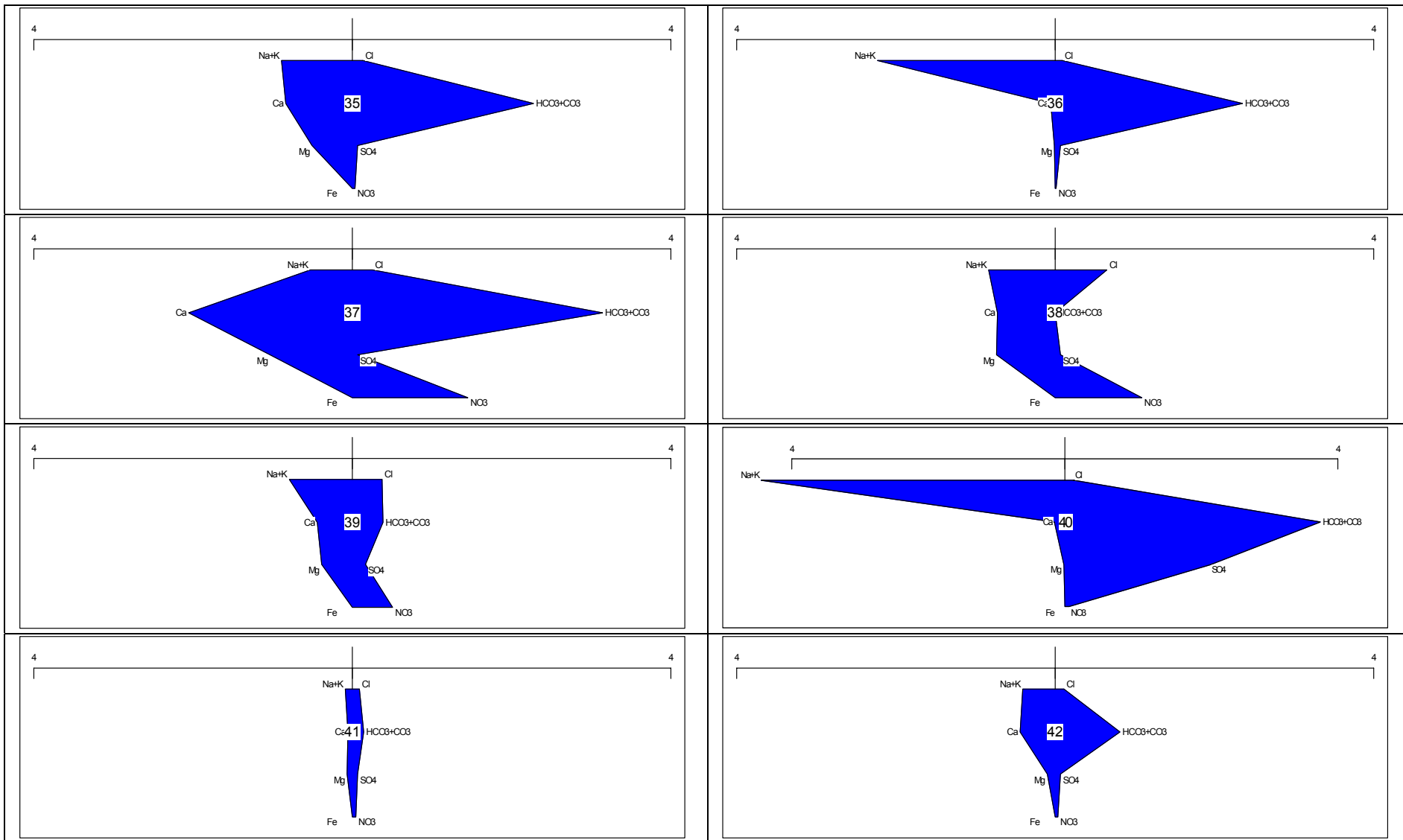


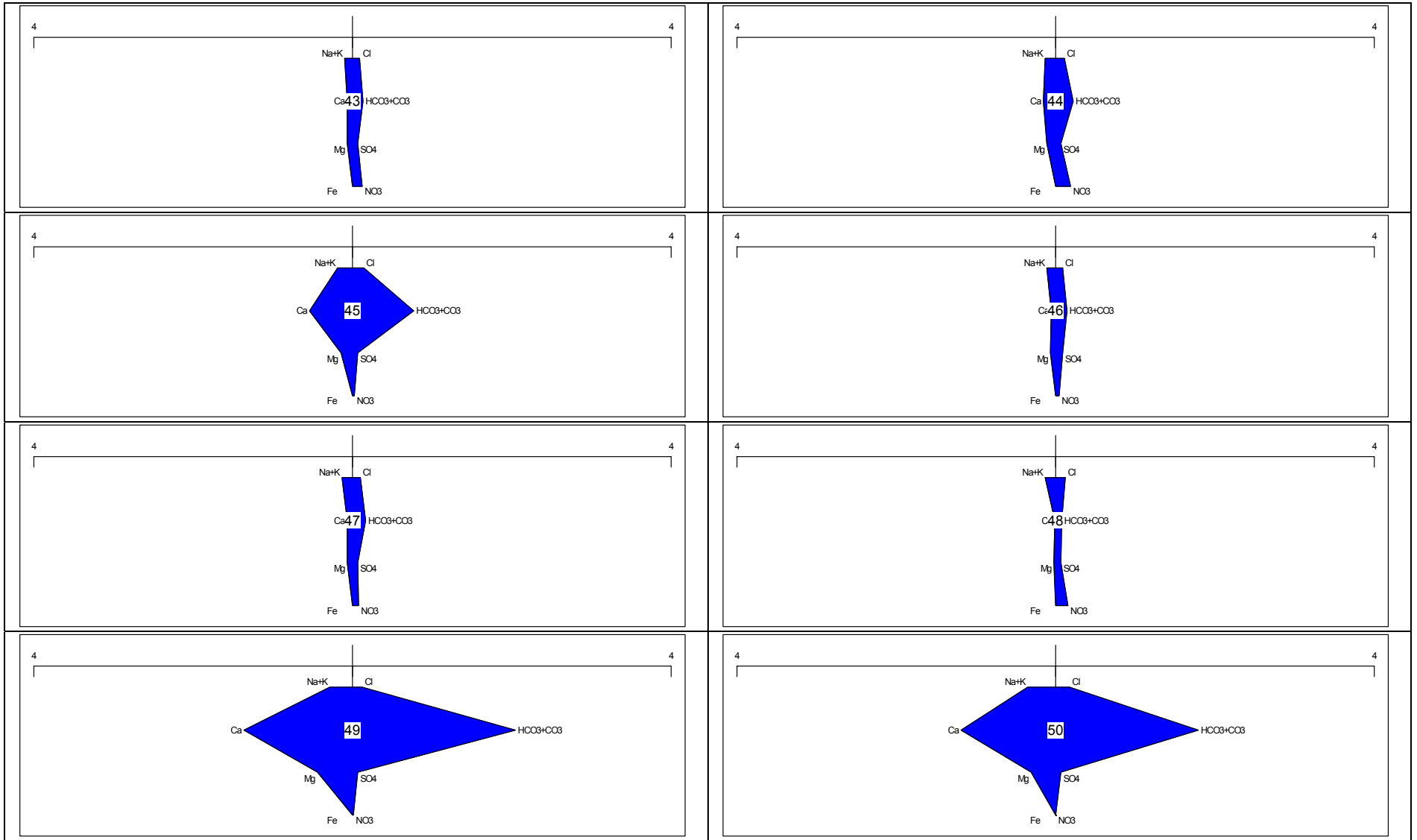


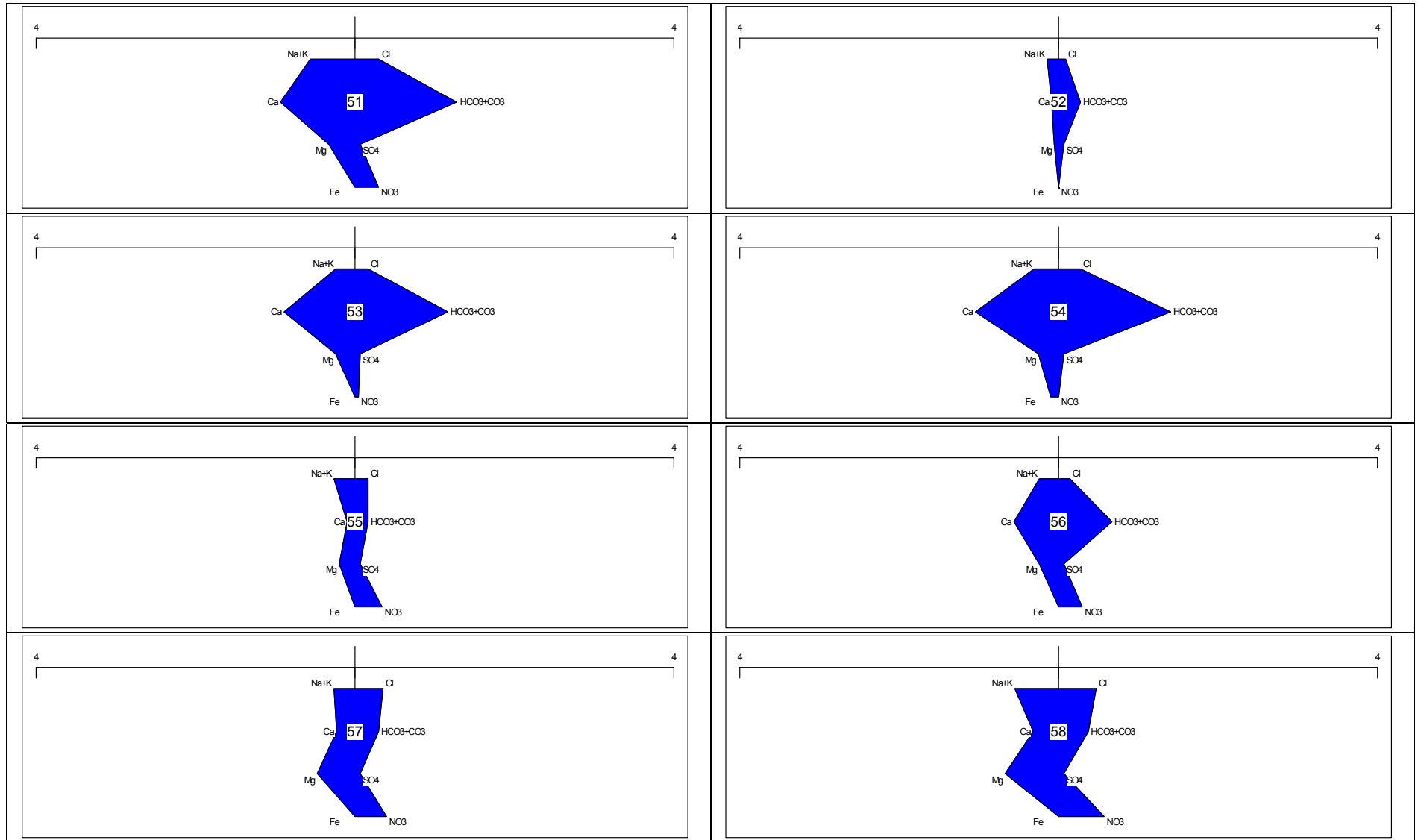


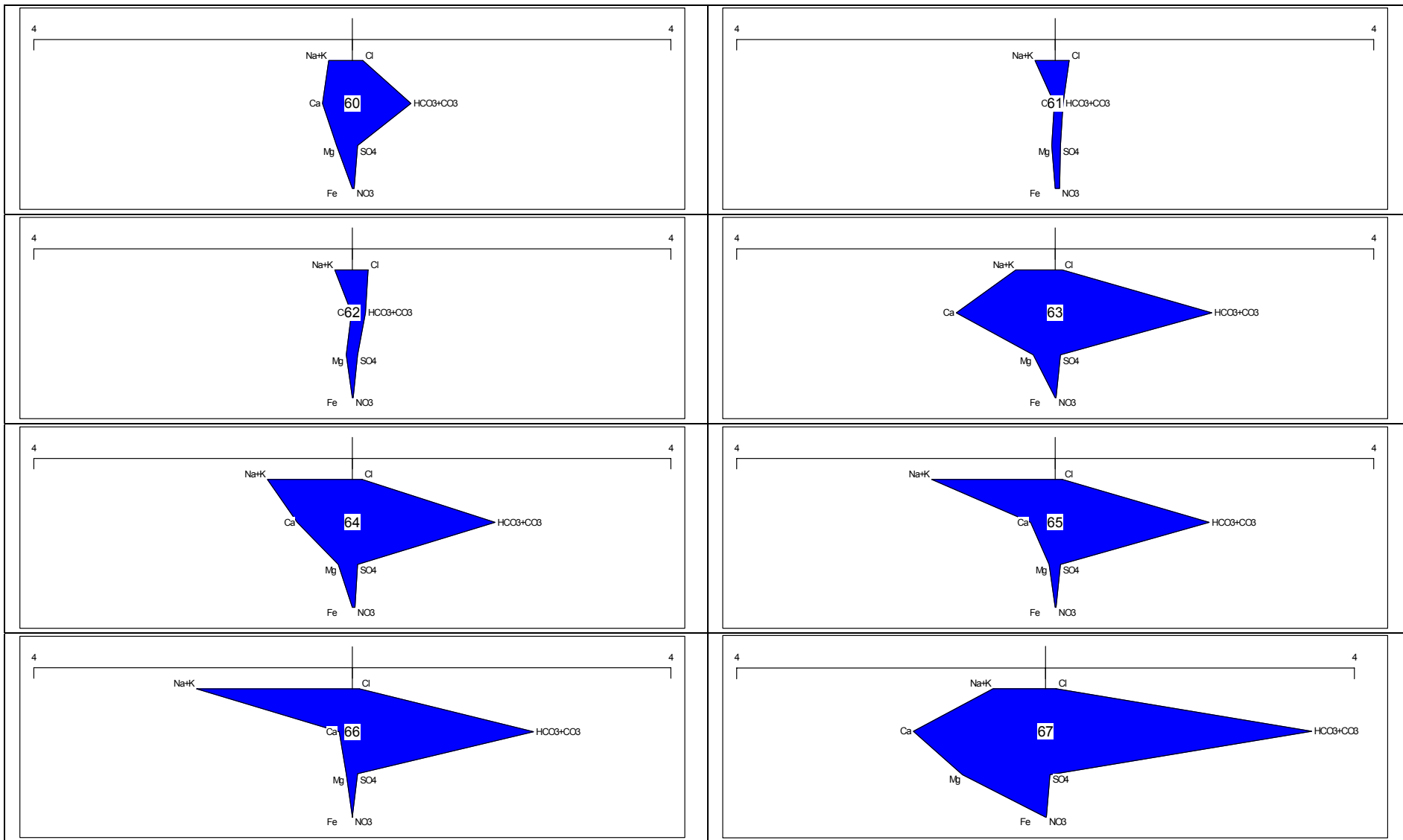


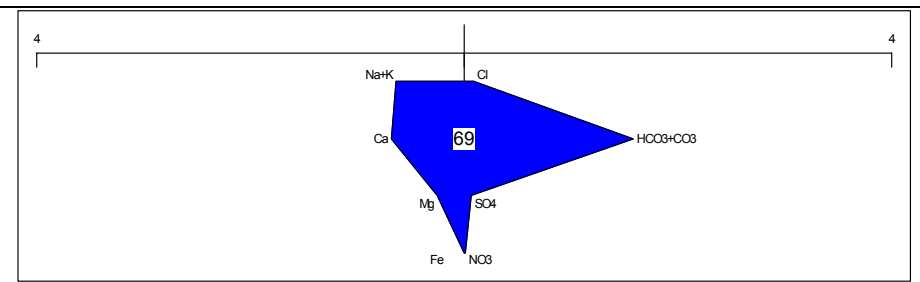
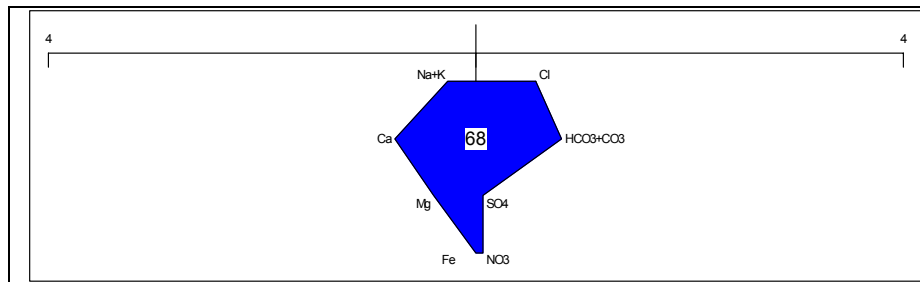










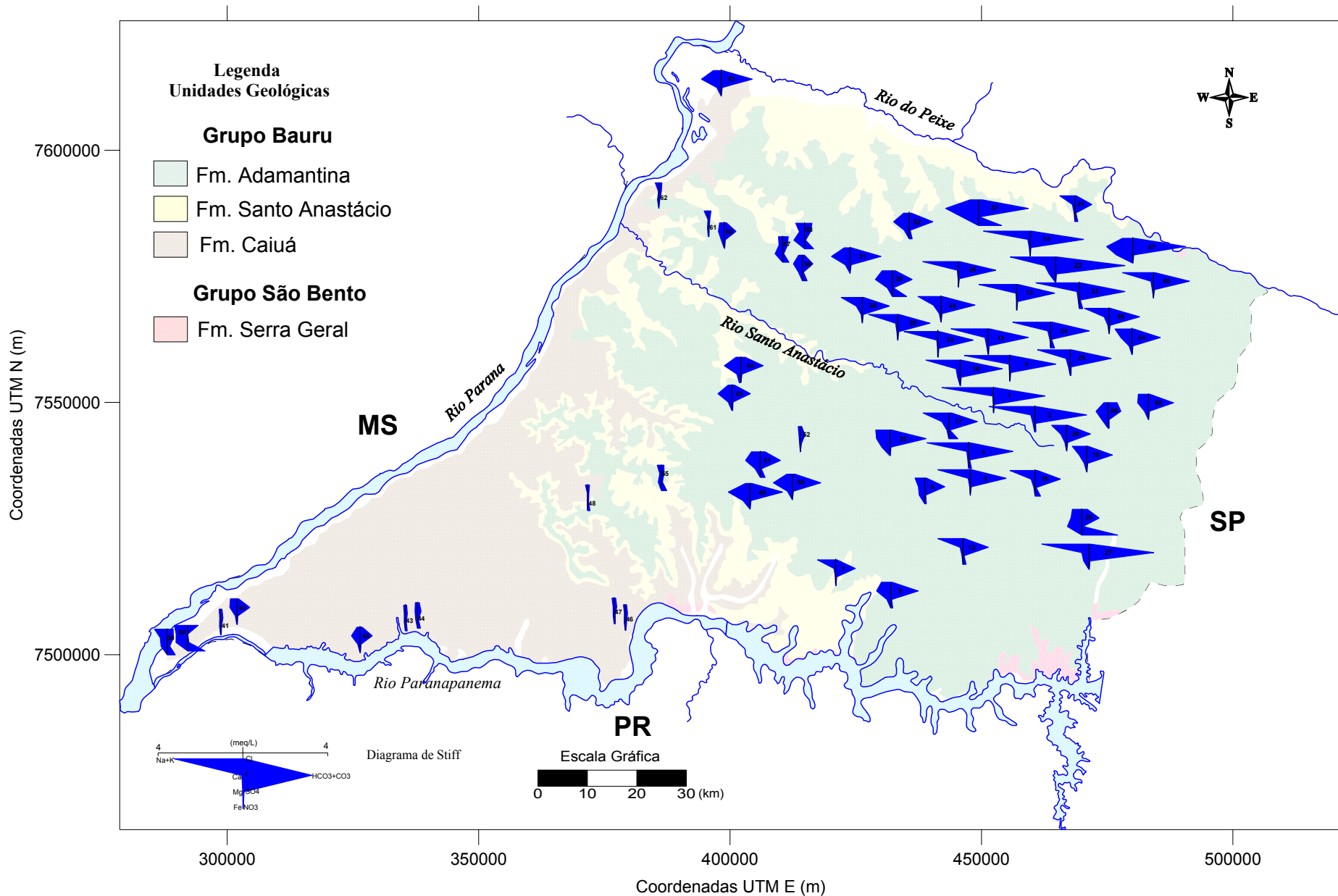


## **ANEXO 5**

### **MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DOS DIAGRAMAS DE STIFF**



Mapa de Distribuição dos Diagramas de Stiff na Região Sudoeste do Estado de São Paulo.



## **ANEXO 6**

### **DESCRIÇÃO DAS ANÁLISES PETROGRÁFICAS**

Amostra	Litologia	Prof Média (m)	Homogeneidade	Tamanho grãos	Seleção	Grau de arredondamento	Arcabouço	Contatos	Empacotamento	Matriz	Cimento	porosidade
			hm= Homog. ht=Heterog.	mf= muito fino f=fino m=médio g = grosso mg=muito grosso	b=boa m=moderada r=ruim	ar=arredon. sar=sub-arredon. an=angular san=sub-angular	sg=sustent. grãos sm=sustent. matriz sc=sustent. cimento	p=pontual fl=flutuante su=suturado	fr=frouxo m=médio n=normal fc=fechado	p=pouco m=moderado e=elevado	fer= ferruginoso carb=carbonatico sil=silicatico	inter=intergran intra=intra gran
1	Ada	25.25	hm	mf/f	m	san	sg	p	n	m	fer	inter
2	Ada	27.25	hm	mf/f	m	sar/san	sm	p	n	m	fer	inter
3	Ada	33.40	hm	mf/f	m	sar	sm	p	n	m	fer	inter
4	Ada	34.00	ht	mf/m	r	san	sc/sm	p	m	m	fer/carb	inter
5	Ada	35.00	ht	f/m	m	san	sc	p	n	m	fer/carb	inter
6	Ada	35.50	ht	mf/f	m	san	sg	p	f	e	carb	inter
7	Ara	66.20	ht	mf/f	r	sar/san	sc	p	n	m	fer/carb	inter
9	Ara	67.70	hm	f	b	sar	sg	p	n	e	fer/carb	inter
10	Sto A	92.00	hm	f	b	sar	sg	p	fr	p	....	inter
11	Sto A	93.00	hm	f/m	b	sar	sg	p	n	p	....	inter
12	Sto A	94.00	hm	f	b	sar	sg	p	n	p	carb	inter/intra
13	Sto A	94.50	ht	mf/m	r	sar/san	sg	p	n	p	fer	inter
14	Sto A	95.00	ht	mf/m	r	san	sg	p	n	p	fer	inter
15	Sto A	97.00	ht	f/m	m	san	sg	fl	fr	p	....	inter
16	Sto A	97.25	hm	m	b	sar/san	sg	p	n	p	....	inter
17	Sto A	97.50	hm	m	b	sar	sg	p	n	p	....	inter/intra
18	Sto A	98.00	hm	m	b	sar	sg	fl	fr	p	carb	inter
19	Sto A	102.00	ht	mf/m	m	sar/san	sg	p	n	p	....	inter/intra
20	Sto A	103.50	ht	f/m	r	san		fl	fr	p	....	inter
21	Sto A	104.50	ht	mf/m	r	san	sg	p	n	p	....	inter
22	Sto A	105.10	ht	mf/m	m	sar/san	sg	p	n	m	fer/carb	inter
23	Sto A	105.30	ht	mf/m	m	sar/san	sg	p	n	p	fer/carb	inter
24	Sto A	106.50	ht	mf/m	r	sar/san	sg	p	n	p	carb	inter

25	Sto A	108.00	ht	mf/m	m	san	sg	p	fr	p	fer	inter
26	Sto A	108.90	ht	mf/m	m	sar/san	sg	p	n	p	fer/carb	inter
27	Sto A	113.10	ht	mf/ f	r	sar/san	sc	p	fr	m	fer	inter
28	Sto A	113.60	ht	mf/m	r	san	sg	p	n	m	fer/carb	inter
29	Sto A	116.50	ht	mf/m	r	sar/san	sg	p	n	p	fer/carb	inter
30	Sto A	118.10	ht	mf/f	r	sar	sg	p	n	p	fer/carb	inter
31	Sto A	118.70	ht	mf/m	r	sar/san	sg	p	n	p	fer/carb	inter
32	Sto A	119.20	ht	mf/m	m	sar	sg	p	n	p	carb	inter
33	Sto A	120.90	ht	mf/f	m	sar/san	sg	fl	fr	p	fer	inter
34	Sto A	121.50	hm	f	b	sar	sg	fl	fr	p	fer	inter
35	Sto A	122.00	hm	f	b	sar	sg	p	n	p	fer	inter
36	Sto A	122.50	hm	f	b	sar	sg	p	n	p	....	inter
37	Sto A	122.75	ht	f/m	m	san	sg	p	n	p	....	inter/intra
38	Sto A	123.00	ht	mf/m	m	sar/san	sg	p	n	p	fer	inter
39	Sto A	124.50	hm	m	b	sar	sg	p	n	p	....	inter
40	Sto A	125.70	hm	f/m	m	sar	sg	p	n	p	fer/carb	inter/intra
41	Sto A	126.00	hm	f/m	m	sar/san	sg	p	n	p	carb	inter
42	Sto A	126.30	ht	mf/f	m	san	sg	p	n	e	fer	inter
43	Sto A	126.60	ht	mf/m	m	sar	sg	p	n	p	fer/carb	inter
44	Sto A	127.10	hm	mf/m	m	sar/san	sg	p	n	p	fer	inter/intra
45	Sto A	127.60	ht	mf/m	r	sar	sg	p	n	p	fer	inter
46	Sto A	128.20	ht	mf/m	r	sar/san	sg	p	n	p	fer	inter
47	Sto A	130.40	hm	mf/m	m	san	sg	p	n	p	fer	inter
48	Sto A	130.80	hm	mf/m	m	sar/san	sg	p	n	p	fer	inter
49	Sto A	131.50	ht	mf/m	r	sar/san	sg	p	n	p	fer	inter
50	Sto A	133.00	hm	f/m	m	sar	sg	p	n	m	fer	inter
51	Sto A	134.50	ht	f/m	m	sar/san	sg	p	n	m	fer/carb	inter
52	Sto A	135.20	ht	mf/m	m	sar/san	sm	p	n	e	fer	inter
53	Sto A	155.30	ht	mf/m	r	sar/san	sg	p	n	e	carb	inter

54	Sto A	156.00	ht	mf/m	r	sar/san	sg	p	n	e	fer	inter
55	Sto A	156.50	ht	mf/f	m	sar/san	sg	p	n	e	fer	inter
56	Sto A	159.00	ht	mf/m	r	sar/san	sg	p	m	p	carb	inter
57	Sto A	161.50	hm	mf/m	m	sar	sg	p	n	p	carb	inter/intra
58	Sto A	162.40	ht	mf/ f	r	sar/san	sm	p	fr	e	carb	inter
59	Sto A	166.00	hm	f/m	m	sar/san	sg	p	n	p	carb	inter
60	Caiuá	186.40	ht	f	m	san	sm	p	m	e	carb	inter
61	Caiuá	186.60	ht	mf/ f	r	sar/san	sm	fl	fr	e	carb	inter
62	Caiuá	186.80	ht	f/m	m	san	sm	p	n	e	fer/carb	inter/intra
63	Caiuá	187.00	ht	f/m	m	san	sm	p	m	e	fer/carb	inter
64	Caiuá	187.20	ht	mf/f	m	sar/san	sg	p	n	m	fer/carb	inter
65	Caiuá	188.10	hm	m/f	b	sar	sg	p	n	m	fer/carb	inter/intra
66	Caiuá	189.00	ht	mf/m	m	sar/san	sg	p	n	e	fer/carb	inter
67	Caiuá	189.50	ht	f/m	m	sar	sg	p	n	p	carb	inter
68	Caiuá	190.00	ht	mf/m	r	sar/san	sm	p	m	e	fer/carb	inter
69	Caiuá	190.50	hm	f/m	b	sar/san	sg	p	fr	p	fer	inter/intra
70	Caiuá	196.80	ht	mf/f	m	sar/san	sc/sm	p	m	e	fer	inter/intra
71	Caiuá	197.50	hm	f	b	sar	sg	p	n	p	fer	inter/intra
72	Caiuá	200.50	hm	m	b	sar/san	sg	p	n	p	carb	inter
73	Caiuá	212.70	hm	m	b	sar	sg	p	n	m	fer	inter
74	Caiuá	213.50	hm	m	b	sar/san	sg	p	n	p	....	inter
75	Caiuá	214.00	hm	m	b	sar	sg	p	fr	p	fer/carb	inter
76	Caiuá	214.60	ht	mf/m	r	sar/san	sg	p	n	p	fer	inter/intra
77	Caiuá	215.00	hm	m	b	sar	sg	p	n	p	....	inter
78	Caiuá	215.50	hm	mf/f	b	san	sg	p	n	p	fer	inter/intra
79	Caiuá	216.00	hm	m	b	sar	sg	p	m	p	carb	inter
80	Caiuá	216.60	hm	m	b	sar/san	sg	p	n	p	fer/carb	inter
81	Caiuá	217.80	hm	f	b	sar	sg	p	n	p	fer	inter
82	Caiuá	218.10	hm	f	b	sar	sg	p	n	p	fer/carb	inter

<b>83</b>	Caiuá	218.40	hm	m	b	sar	sg	p	n	p	fer/carb	inter/intra
<b>84</b>	Caiuá	220.10	hm	f	b	sar/san	sg	p	n	p	fer/carb	inter/intra
<b>85</b>	Caiuá	222.50	hm	f	b	sar/san	sg	p	n	p	fer/carb	inter/intra
<b>86</b>	Caiuá	224.00	hm	f	b	san	sag	p	n	p	fer/carb	inter/intra
<b>87</b>	Caiuá	227.60	hm	mf/f	m	sar	sg	p	n	p	carb	inter/intra
<b>88</b>	Caiuá	234.50	hm	f/m	b	sar	sg	p	n	p	carb	inter/intra
<b>89</b>	Caiuá	242.00	hm	mf	b	san	sc	p	fc	p	fer	inter

Amostras	Litologia	Prof. Média (m)	Quartzo (%)		Fedspatos (%)	Fragmentos Líticos (%)	Nome da Rocha	Nome da Rocha
			Quartzo Mono.	Quartzo polic.			Dott (1964)	Folk (1968)
1	Adamantina	25.25	87.4	0.0	11.9	0.7	Arenito Feldspático	Subarcóseo
2	Adamantina	27.25	84.9	0.0	15.1	0.0	Arenito Feldspático	Subarcóseo
3	Adamantina	33.40	82.7	0.0	16.8	0.5	Arenito Feldspático	Subarcóseo
4	Adamantina	34.00	74.8	0.0	25.2	0.0	Arenito Feldspático	Arcóseo
5	Adamantina	35.00	74.0	0.0	23.4	2.6	Arenito Feldspático	Subarcóseo
6	Adamantina	35.50	84.6	0.0	15.4	0.0	Arenito Feldspático	Subarcóseo
7	Araçatuba	66.20	86.4	0.0	13.6	0.0	Arenito Feldspático	Subarcóseo
9	Araçatuba	67.70	84.3	0.0	14.8	0.9	Arenito Feldspático	Subarcóseo
10	Sto Anastácio	92.00	81.4	0.0	14.3	4.3	Arenito Feldspático	Subarcóseo
11	Sto Anastácio	93.00	87.2	0.0	11.7	1.1	Arenito Feldspático	Subarcóseo
12	Sto Anastácio	94.00	83.2	0.0	16.1	0.6	Arenito Feldspático	Subarcóseo
13	Sto Anastácio	94.50	85.5	0.0	13.7	0.8	Arenito Feldspático	Subarcóseo
14	Sto Anastácio	95.00	86.6	0.0	12.0	1.4	Arenito Feldspático	Subarcóseo
15	Sto Anastácio	97.00	76.3	0.0	21.3	2.5	Arenito Feldspático	Subarcóseo
16	Sto Anastácio	97.25	77.5	0.0	22.5	0.0	Arenito Feldspático	Subarcóseo
17	Sto Anastácio	97.50	82.6	0.0	17.4	0.0	Arenito Feldspático	Subarcóseo
18	Sto Anastácio	98.00	87.5	0.0	9.6	2.9	Quartzo Arenito	Subarcóseo
19	Sto Anastácio	102.00	88.3	0.0	11.1	0.6	Arenito Feldspático	Subarcóseo
20	Sto Anastácio	103.50	82.4	0.0	16.2	1.4	Arenito Feldspático	Subarcóseo
21	Sto Anastácio	104.50	82.4	0.0	16.2	1.4	Arenito Feldspático	Subarcóseo
22	Sto Anastácio	105.10	91.2	0.0	8.8	0.0	Quartzo Arenito	Subarcóseo
23	Sto Anastácio	105.30	77.7	0.0	21.4	0.9	Arenito Feldspático	Subarcóseo
24	Sto Anastácio	106.50	84.0	0.0	15.3	0.7	Arenito Feldspático	Subarcóseo
25	Sto Anastácio	108.00	89.9	0.0	9.4	0.6	Quartzo Arenito	Subarcóseo
26	Sto Anastácio	108.90	78.9	0.0	21.1	0.0	Arenito Feldspático	Subarcóseo
27	Sto Anastácio	113.10	87.1	0.0	11.4	1.4	Arenito Feldspático	Subarcóseo
28	Sto Anastácio	113.60	87.5	0.0	12.5	0.0	Arenito Feldspático	Subarcóseo
29	Sto Anastácio	116.50	85.4	0.0	14.6	0.0	Arenito Feldspático	Subarcóseo
30	Sto Anastácio	118.10	84.1	0.0	15.9	0.0	Arenito Feldspático	Subarcóseo

31	Sto Anastácio	118.70	94.3	0.0	5.7	0.0	Quartzo Arenito	Subarcóseo
32	Sto Anastácio	119.20	76.6	0.0	22.1	1.4	Arenito Feldspático	Subarcóseo
33	Sto Anastácio	120.90	78.3	0.0	21.7	0.0	Arenito Feldspático	Subarcóseo
34	Sto Anastácio	121.50	88.0	0.0	10.4	1.6	Arenito Feldspático	Subarcóseo
35	Sto Anastácio	122.00	86.4	0.0	13.0	0.6	Arenito Feldspático	Subarcóseo
36	Sto Anastácio	122.50	82.1	0.0	13.6	4.3	Arenito Feldspático	Subarcóseo
37	Sto Anastácio	122.75	82.3	0.0	16.3	1.4	Arenito Feldspático	Subarcóseo
38	Sto Anastácio	123.00	87.2	0.0	11.4	1.3	Arenito Feldspático	Subarcóseo
39	Sto Anastácio	124.50	89.0	0.0	8.9	2.1	Quartzo Arenito	Subarcóseo
40	Sto Anastácio	125.70	86.0	0.0	13.3	0.7	Arenito Feldspático	Subarcóseo
41	Sto Anastácio	126.00	84.1	0.0	15.2	0.7	Arenito Feldspático	Subarcóseo
42	Sto Anastácio	126.30	87.2	0.0	12.8	0.0	Arenito Feldspático	Subarcóseo
43	Sto Anastácio	126.60	83.5	1.2	16.5	0.0	Arenito Feldspático	Subarcóseo
44	Sto Anastácio	127.10	86.3	0.0	13.1	0.6	Arenito Feldspático	Subarcóseo
45	Sto Anastácio	127.60	84.6	0.0	13.0	2.4	Arenito Feldspático	Subarcóseo
46	Sto Anastácio	128.20	85.1	0.0	14.2	0.7	Arenito Feldspático	Subarcóseo
47	Sto Anastácio	130.40	90.9	0.0	7.8	1.3	Quartzo Arenito	Subarcóseo
48	Sto Anastácio	130.80	86.9	0.0	12.4	0.7	Arenito Feldspático	Subarcóseo
49	Sto Anastácio	131.50	82.6	0.0	16.4	1.0	Arenito Feldspático	Subarcóseo
50	Sto Anastácio	133.00	86.0	0.0	13.4	0.6	Arenito Feldspático	Subarcóseo
51	Sto Anastácio	134.50	80.3	0.0	18.3	1.4	Arenito Feldspático	Subarcóseo
52	Sto Anastácio	135.20	79.9	0.0	20.1	0.0	Arenito Feldspático	Subarcóseo
53	Sto Anastácio	155.30	84.4	0.0	15.6	0.0	Arenito Feldspático	Subarcóseo
54	Sto Anastácio	156.00	86.7	0.0	13.3	0.0	Arenito Feldspático	Subarcóseo
55	Sto Anastácio	156.50	83.4	0.0	16.6	0.0	Arenito Feldspático	Subarcóseo
56	Sto Anastácio	159.00	81.3	0.0	18.8	0.0	Arenito Feldspático	Subarcóseo
57	Sto Anastácio	161.50	81.5	0.0	18.5	0.0	Arenito Feldspático	Subarcóseo
58	Sto Anastácio	162.40	81.8	0.0	16.4	1.8	Arenito Feldspático	Subarcóseo
59	Sto Anastácio	166.00	81.0	1.2	19.0	0.0	Arenito Feldspático	Subarcóseo
60	Caiuá	186.40	85.7	0.0	14.3	0.0	Arenito Feldspático	Subarcóseo
61	Caiuá	186.60	85.7	0.0	14.3	0.0	Arenito Feldspático	Subarcóseo
62	Caiuá	186.80	69.8	0.0	28.6	1.6	Arenito Feldspático	Arcóseo
63	Caiuá	187.00	83.3	0.0	16.7	0.0	Arenito Feldspático	Subarcóseo
64	Caiuá	187.20	84.6	0.0	15.4	0.0	Arenito Feldspático	Subarcóseo



65	Caiuá	188.10	84.6	0.0	15.4	0.0	Arenito Feldspático	Subarcóseo
66	Caiuá	189.00	81.2	0.0	18.8	0.0	Arenito Feldspático	Subarcóseo
67	Caiuá	189.50	84.8	0.0	14.4	0.8	Arenito Feldspático	Subarcóseo
68	Caiuá	190.00	82.5	0.0	17.5	0.0	Arenito Feldspático	Subarcóseo
69	Caiuá	190.50	84.7	0.0	14.7	0.6	Arenito Feldspático	Subarcóseo
70	Caiuá	196.80	65.6	0.0	28.1	6.3	Arenito Feldspático	Arcóseo
71	Caiuá	197.50	82.1	0.0	15.4	2.5	Arenito Feldspático	Subarcóseo
72	Caiuá	200.50	80.8	0.0	18.2	0.9	Arenito Feldspático	Subarcóseo
73	Caiuá	212.70	80.0	0.0	18.8	1.3	Arenito Feldspático	Subarcóseo
74	Caiuá	213.50	79.4	2.5	20.0	0.6	Arenito Feldspático	Subarcóseo
75	Caiuá	214.00	87.9	0.0	11.3	0.7	Arenito Feldspático	Subarcóseo
76	Caiuá	214.60	81.0	0.0	18.3	0.7	Arenito Feldspático	Subarcóseo
77	Caiuá	215.00	82.8	0.0	13.8	3.4	Arenito Feldspático	Subarcóseo
78	Caiuá	215.50	77.9	0.0	21.6	0.5	Arenito Feldspático	Subarcóseo
79	Caiuá	216.00	84.9	0.0	14.6	0.5	Arenito Feldspático	Subarcóseo
80	Caiuá	216.60	75.7	2.6	23.2	1.1	Arenito Feldspático	Subarcóseo
81	Caiuá	217.80	82.7	1.2	16.2	1.1	Arenito Feldspático	Subarcóseo
82	Caiuá	218.10	86.6	0.0	13.4	0.0	Arenito Feldspático	Subarcóseo
83	Caiuá	218.40	79.2	0.0	19.0	1.8	Arenito Feldspático	Subarcóseo
84	Caiuá	220.10	81.9	0.0	18.1	0.0	Arenito Feldspático	Subarcóseo
85	Caiuá	222.50	81.3	0.0	18.1	0.7	Arenito Feldspático	Subarcóseo
86	Caiuá	224.00	84.8	0.0	14.6	0.7	Arenito Feldspático	Subarcóseo
87	Caiuá	227.60	72.5	0.0	26.7	0.8	Arenito Feldspático	Arcóseo
88	Caiuá	234.50	82.9	0.0	16.6	0.5	Arenito Feldspático	Subarcóseo
89	Caiuá	242.00	66.7	0.0	31.5	1.9	Arenito Feldspático	Arcóseo