

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

**AVALIAÇÃO DO INTEMPERISMO QUÍMICO E
INFLUÊNCIAS ANTROPOGÊNICAS NA BACIA DO ALTO
SOROCABA (SP)**

Diego de Souza Sardinha

Orientador: Daniel Marcos Bonotto

Co-orientador: Fabiano Tomazini da Conceição

Dissertação de Mestrado elaborada junto ao
Curso de Pós-Graduação em Geologia Regional,
para a obtenção do Título de Mestre em Geologia
Regional.

Rio Claro (SP)
2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

**AVALIAÇÃO DO INTEMPERISMO QUÍMICO E
INFLUÊNCIAS ANTROPOGÊNICAS NA BACIA DO ALTO
SOROCABA (SP)**

Diego de Souza Sardinha

Orientador: Daniel Marcos Bonotto
Co-orientador: Fabiano Tomazini da Conceição

Dissertação de Mestrado elaborada junto ao
Curso de Pós-Graduação em Geologia Regional,
para a obtenção do Título de Mestre em Geologia
Regional.

Rio Claro (SP)
2008

551.9 Sardinha, Diego de Souza
S244a Avaliação do intemperismo químico e influências antropogênicas na Bacia do Alto Sorocaba (SP) / Diego de Souza Sardinha. – Rio Claro : [s.n.], 2007
103 f. : il., gráfs., tabs., quadros

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Daniel Marcos Bonotto
Co-orientador: Fabiano Tomazini da Conceição

1. Geoquímica. 2. Taxa de intemperismo das rochas. 3. Urânio. 4. Bacia hidrográfica. 5. Influências antropogênicas. 6. Manejo. I. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, obrigado pelo incentivo, carinho e superação de todos os obstáculos, dedicados ao longo de mais uma caminhada.

Em especial a meu tio Ronaldo Luiz Donadel e minha tia Maria Augusta Sardinha Pulz (todos In Memoriam) exemplos de honestidade e originalidade.

AGRADECIMENTOS

Aos Professores Dr. Daniel Marcos Bonotto e Dr. Fabiano Tomazini da Conceição pela orientação, educação, profissionalismo e construção do conhecimento. Pela disposição em atender-me sempre, apesar de suas atividades diárias, agradeço-lhes pela orientação e pela amizade, que é recíproca.

A todos os professores do curso de Pós-Graduação em Geologia Regional e Geociências e Meio Ambiente, que contribuíram para a minha educação durante esses anos.

A todos os funcionários e professores do Departamento de Petrologia e Metalogenia – IGCE – UNESP de Rio Claro.

A todos os colegas e funcionários do IGCE que durante esses anos compartilharam momentos difíceis e de alegria no conjunto da obra.

A todo o pessoal do laboratório de química ambiental da UNESP de Sorocaba (SP), pela ajuda na elaboração deste trabalho, e aos colegas da Engenharia Ambiental pela grande receptividade.

Finalmente agradeço a FAPESP – Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo pelo suporte financeiro (Processo nº 06/54884-3) por incentivar o conhecimento científico e a busca do desenvolvimento e qualidade na formação acadêmica.

SUMÁRIO

Índice	ii
Índice de Tabelas	iv
Índice de Figuras	vi
Resumo	ix
Abstract	x
Siglas e abreviaturas	xi
Capítulo 1	01
Capítulo 2	05
Capítulo 3	20
Capítulo 4	34
Capítulo 5	42
Capítulo 6	51
Capítulo 7	65
Capítulo 8	77
Capítulo 9	83
Capítulo 10	85
Capítulo 11	95

ÍNDICE

1 – INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	01
1.1 – Objetivo	04
2 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO	05
2.1 – Uso e ocupação do solo	07
2.2 – Aspectos climatológicos e hidrológicos	08
2.3 – Geomorfologia e Pedologia	13
2.4 – Geologia	15
2.4.1 – Domínio São Roque	16
2.4.2 – Domínio Embu	17
3 – MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1 – Avaliação simplificada de impactos ambientais na bacia	20
3.2 – Amostragem de solos, rochas e águas da bacia	21
3.3 – Quantificação físico-química e química das rochas e águas da bacia	22
3.4 – Quantificação de urânio nos solos, rochas e águas por espectrometria alfa	25
3.4.1 – Coleta e filtragem	27
3.4.2 – Coprecipitação do urânio	27
3.4.3 – Separação do ferro	27
3.4.4 – Resina de troca iônica	28
3.4.5 – Eletrodeposição do urânio	28
3.4.6 – Espectrometria alfa	29
3.4.7 – Cálculo do teor de urânio e razão de atividade $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	30
3.5 – Quantificação de urânio nas rochas por espectrometria gama	32
4 – ANÁLISES GEOQUÍMICAS DAS ROCHAS E SOLOS DA BACIA	34
5 – QUÍMICA DAS ÁGUAS PLUVIAIS NA BACIA	42
5.1 – Concentração média ponderada nas águas pluviais da bacia	45
5.2 – Taxa de deposição anual nas águas pluviais da bacia	47
6 – AS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA BACIA	51
6.1 – Avaliação simplificada de impactos ambientais na bacia	51
6.2 – Avaliação hidroquímica das águas superficiais da bacia	56
6.2.1 – Parâmetros físicos e físico-químicos	56
6.2.2 – Diagramas hidroquímicos	59
6.2.3 – Urânio e principais metais dissolvidos	61

6.2.4 – Análise estatística dos dados hidroquímicos	63
7 – TAXAS DE INTEMPERISMO NA BACIA	65
7.1 – Transporte específico de cátions e ânions	65
7.2 – Velocidade de formação do fronte de alteração	69
7.2.1 – Equações necessárias para a modelagem	70
7.3 – Remoção de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ na bacia	73
7.4 – A velocidade de alteração das rochas por intermédio do urânio	75
8 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
8.1 – Taxas de intemperismo	77
8.2 – Influências antrópicas	78
8.3 – Recomendações	80
8.3.1 – Cobertura Vegetal	80
8.3.2 – Uso do Solo	81
8.3.3 – Usos múltiplos da água	81
8.3.4 – Controle de emissões atmosféricas	82
8.3.5 – Programas de educação ambiental	82
9 – CONCLUSÃO	83
10 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
11 – APÊNDICE	95

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Divisão política da bacia do Alto Sorocaba.	06
Tabela 2.2. Uso e ocupação do solo. Modificado de GARCIA (2002).	07
Tabela 2.3. Precipitação (mm) mensal e anual na bacia durante o período de 1960 a 2004.	09
Tabela 2.4. Vazões afluentes (m ³ /s) mensais e anuais ao reservatório de Itupararanga.	11
Tabela 2.5. Classes geomorfológicas da bacia do Alto Sorocaba (IPT, 2005).	14
Tabela 2.6. Classes de solos, área de ocorrência e área relativa na bacia do Alto Sorocaba (IPT, 2005).	15
Tabela 2.7. Classes geológicas e suas respectivas áreas dentro da bacia do Alto Sorocaba (IPT, 2005).	18
Quadro 3.1. Pesos utilizados para situações encontradas em campo visando identificar impactos ambientais na bacia do Alto Sorocaba.	21
Tabela 4.1. Análises geoquímicas dos principais óxidos (%) nas rochas da bacia.	34
Tabela 4.2. Dados mineralógicos e concentração de Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ e Mg ²⁺ (mg/kg) nas amostras de rochas da bacia.	38
Tabela 4.3. Resultados das análises radiométricas nas amostras de rochas.	39
Tabela 4.4. Teor de urânio (µg/g) e RA ²³⁴ U/ ²³⁸ U nos solos da bacia.	41
Tabela 5.1. Resultados das análises das amostras de águas de chuva da bacia (valores em mg/L exceto condutividade e pH).	43
Tabela 5.2. Concentração média ponderada para as águas de chuva da bacia.	46
Tabela 5.3. Deposição anual de cátions e ânions (ton/km ² /ano) em diferentes regiões brasileiras.	48
Tabela 6.1. Resultados da aplicação do questionário do índice de análise ambiental simplificado na sub-bacia do Rio de Una.	52
Tabela 6.2. Resultados da aplicação do questionário do índice de análise ambiental simplificado na sub-bacia do Rio Sorocabuçu.	53
Tabela 6.3. Resultados da aplicação do questionário do índice de análise ambiental simplificado na sub-bacia do Rio Sorocamirim.	54
Tabela 6.4. Resultados da aplicação do questionário do índice de análise ambiental simplificado nos afluentes da Represa de Itupararanga.	55
Tabela 6.5. Média dos parâmetros físicos e média ponderada dos parâmetros físico-químicos analisados durante todo o período de coleta.	57
Tabela 6.6. Média dos valores obtidos (em mg/L) para os metais analisados na bacia.	62

Tabela 6.7. Teor de urânio dissolvido ($\mu\text{g/L}$) e razão de atividade $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ nas águas da bacia.	63
Tabela 7.1. Valores de transporte específico ($\text{ton}/\text{km}^2/\text{ano}$) para os principais cátions e ânions nas águas fluviais da bacia do Alto Sorocaba.	65
Tabela 7.2. Concentrações medidas (valor médio) e corrigidas no Rio Sorocaba (P7) para os principais cátions dissolvidos.	73
Tabela 7.3. Fluxo anual de elementos ($\text{ton}/\text{km}^2/\text{ano}$) nas águas do Rio Sorocaba (P7), e concentração média dos elementos (kg/ton) nas rochas da bacia.	74
Tabela 7.4. Quantidade de material solubilizado por unidade de área e tempo (W).	75
Tabela 1a. Correlação entre todos os parâmetros obtidos para as amostras de águas de chuva.	98
Tabela 2a. Parâmetros físico-químicos e químicos na bacia do Alto Sorocaba durante o período seco. P1 e P4 = Rio Una, P2 e P5 = Rio Sorocabuçu, P3 e P6 = Rio Sorocamirim e P7 e P8 = Rio Sorocaba.	99
Tabela 3a. Parâmetros físico-químicos e químicos na bacia do Alto Sorocaba durante o período chuvoso. P1 e P4 = Rio Una, P2 e P5 = Rio Sorocabuçu, P3 e P6 = Rio Sorocamirim e P7 e P8 = Rio Sorocaba.	100
Tabela 4a. Resultados das análises de alumínio, ferro e chumbo nas amostras de águas fluviais da bacia.	101
Tabela 5a. Resultados das análises de manganês, níquel e zinco nas amostras de águas fluviais da bacia.	102
Tabela 6a. Correlação entre todos os parâmetros obtidos para as amostras de águas superficiais do Rio Sorocaba (P7).	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Localização da bacia do Alto Sorocaba. Modificado de IPT (2005).	05
Figura 2.2. Divisão política na região da bacia do Alto Sorocaba. Modificado de IPT (2005).	06
Figura 2.3. Mapa de uso e ocupação do solo na bacia do Alto Sorocaba. Modificado de GARCIA (2002).	07
Figura 2.4. Precipitação média mensal na bacia do Alto Sorocaba durante o período de 1960 a 2004.	10
Figura 2.5. Variação e tendência da pluviosidade na bacia do Alto Sorocaba.	10
Figura 2.6. Curva de Permanência das vazões afluentes.	12
Figura 2.7. Vazões médias anuais afluentes à represa de Itupararanga.	12
Figura 2.8. Vazões médias mensais afluentes à represa de Itupararanga.	12
Figura 2.9. Usos da água na bacia do Alto Sorocaba. Dados de DAEE (2007).	13
Figura 2.10. Mapa Geomorfológico da bacia do Alto Sorocaba. Modificado de IPT (2005).	14
Figura 2.11. Mapa Pedológico da bacia do Alto Sorocaba com os pontos de coleta de amostras de solo (S1 a S3). Modificado de IPT (2005).	15
Figura 2.12. Mapa Geológico da bacia do Alto Sorocaba com os pontos de coleta de amostras de rocha (R1 a R13). Modificado de IPT (2005).	19
Figura 3.1. Curva de calibração para o eletrodo sensível a cloreto.	24
Figura 3.2. Diagrama do procedimento de extração de urânio (BONOTTO 1996, 2004).	26
Figura 3.3. Sistema espectrométrico alfa instalado no LABIDRO (DUARTE, 2002). (A) = Bomba de vácuo; (B1, B2, B3 e B4) = Detectores de barreira de superfície ORTEC; (C1, C2, C3 e C4) = Câmaras de vácuo; (D1, D2, D3 e D4) = Pré-amplificadores ORTEC, modelo 142; (E1, E2, E3 e E4) = Fontes de polarização dos detectores; (F1, F2, F3 e F4) = Amplificadores ORTEC, modelo 575A; (G) = Espectro Master ORTEC, modelo 919; (H) = Microcomputador; (I) = Impressora; (J, K, L, M e N) = Cabos.	30
Figura 3.4. Sistema espectrométrico gama instalado no LABIDRO (DUARTE, 2002). (A) = Cristal de NaI(Tl) 2"x 2"; (B) = Blindagem de chumbo; (C) = Fotomultiplicadora; (D) = Pré-amplificador; (E) = Fonte de alta tensão 1000V; (F) = Amplificador ORTEC, modelo 485; (G) = Placa ACE 2k ORTEC, modelo 916a; (H) = Microcomputador; (I) = impressora; (J, K e L) = Cabos.	32
Figura 4.1. Amostras do granito Pilar do Sul (a) e xisto do Complexo Embu (b).	35

- Figura 4.2. Amostras do granito Ibiúna de coloração cinza rosada (a) e cinza (b), e do granito Caucaia: sienogranito (c) e monzogranito (d). **36**
- Figura 4.3. Amostras do granito São Francisco (a), metabásica do Grupo São Roque (b), metarritmito do Grupo São Roque (c) e granito São Roque (d). **37**
- Figura 4.4. Solo S1(a), S2(b) e S3(c) onde foram coletadas amostras para análise de urânio. **40**
- Figura 5.1. Classificação das águas pluviais da bacia do Alto Sorocaba de acordo com o diagrama de PIPER (1944). **45**
- Figura 6.1 Mapa com os pontos estudados pelo índice de análise ambiental simplificado. **51**
- Figura 6.2. Pontos Un3 (a) e Un6 (b) localizados na sub-bacia do Rio de Una. **52**
- Figura 6.3. Pontos Sb1 (a) e Sb3 (b) situados na sub-bacia do Rio Sorocabuçu. **53**
- Figura 6.4. Ponto Vg3 (a) no Ribeirão da Vargem Grande e ponto Sm5 (b) pertencentes à bacia do Rio Sorocamirim. **54**
- Figura 6.5. Pontos Af 6 (a), Af 8 (b), Af 5 (c) e (d) no entorno da represa de Itupararanga. **55**
- Figura 6.7. Pontos de coleta de amostras de água superficial na bacia do Alto Sorocaba. P1 e P4 = Rio de Una, P2 e P5 = Rio Sorocabuçu, P3 e P6 = Rio Sorocamirim; P7 e P8 = Rio Sorocaba. **56**
- Figura 6.8. Concentração média ponderada de cátions e ânions (mg/L) para as águas fluviais da bacia do Alto Sorocaba. P1 e P4 = Rio de Una, P2 e P5 = Rio Sorocabuçu, P3 e P6 = Rio Sorocamirim, P7 e P8 = Rio Sorocaba. **59**
- Figura 6.9. Classificação das águas superficiais de acordo com o diagrama de GIBBS (1970). P1 e P4 = Rio de Una, P2 e P5 = Rio Sorocabuçu, P3 e P6 = Rio Sorocamirim, P7 e P8 = Rio Sorocaba. **60**
- Figura 6.10. Classificação das águas superficiais de acordo com o diagrama de PIPER (1944). P1 e P4 = Rio de Una, P2 e P5 = Rio Sorocabuçu, P3 e P6 = Rio Sorocamirim, P7 e P8 = Rio Sorocaba. **61**
- Figura 6.11. Concentração média ponderada de metais (mg/L) para as águas fluviais da bacia do Alto Sorocaba. P1 e P4 = Rio de Una, P2 e P5 = Rio Sorocabuçu, P3 e P6 = Rio Sorocamirim, P7 e P8 = Rio Sorocaba. **62**
- Figura 6.12. Correlações entre os parâmetros obtidos nas águas superficiais do Rio Sorocaba (P7): (a) pH e bicarbonato; (b) pH e sódio; (c) pH e potássio; (d) pH e cálcio; (e) pH e magnésio; (f) pH e sólidos totais dissolvidos. **64**

Figura 7.1. Transporte específico (ton/km ² /ano) de cátions e ânions na bacia do Alto Sorocaba. P1 e P4 = Rio de Una, P2 e P5 = Rio Sorocabuçu, P3 e P6 = Rio Sorocamirim e P7, P8 = Rio Sorocaba.	66
Figura 7.2. Possíveis reações envolvendo os minerais encontrados nos granitos Ibiúna, Caucaia e gnaisses migmatíticos do Complexo Embu.	68
Figura 1a. Espectro alfa obtido para a amostra do granito Caucaia (Rocha R4).	95
Figura 2a. Espectro alfa obtido para a amostra do granito São Francisco (Rocha R9).	95
Figura 3a. Espectro gama obtido para a amostra de Rocha R2.	96
Figura 4a. Espectro gama obtido para a amostra de Rocha R12.	96
Figura 5a. Espectro alfa obtido para a amostra de solo alterado do granito Ibiúna (S2).	96
Figura 6a. Espectro alfa obtido para a amostra de água coletada no dia 13/08/06 no Rio Sorocaba (P7).	97
Figura 7a. Espectro alfa obtido para a amostra de água coletada no dia 18/10/06 no Rio Sorocaba (P7).	97

Avaliação do intemperismo químico e influências antropogênicas na Bacia do Alto Sorocaba (SP)

Autor: Diego de Souza Sardinha

Orientador: Daniel Marcos Bonotto

Co-orientador: Fabiano Tomazini da Conceição

RESUMO

Este trabalho visou efetuar um estudo sobre o intemperismo químico na bacia do Alto Sorocaba (SP). A taxa de intemperismo das rochas é um parâmetro importante na caracterização geomorfológica dos continentes, sendo empregadas várias ferramentas na sua avaliação. Para tanto, neste trabalho foram utilizados a concentração de urânio, a razão de atividade $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ e os principais cátions em amostras de água, solo e rochas da bacia. A bacia do Alto Sorocaba apresenta vários problemas ambientais que interferem na qualidade das águas pluviais e fluviais, neste sentido, o balanço geoquímico efetuado utilizando os principais cátions apresentou alguns inconvenientes. No entanto, a taxa de intemperismo utilizando o modelo isotópico do urânio correspondeu a 13,9 $\mu\text{m}/\text{ano}$, a qual indica que são necessários 72.000 anos para alterar 1m de rocha. Quanto aos problemas ambientais identificados na bacia do Alto Sorocaba por atividades antrópicas, as causas principais foram a sua má utilização e falta de planejamento. Sob esse aspecto, medidas de curto, médio e longo prazo devem ser tomadas, visando à utilização racional dos recursos naturais da bacia.

Palavras-chave: Taxa de intemperismo das rochas, Urânio, Influências antropogênicas, Bacia hidrográfica, Manejo.

Evaluation of the chemical weathering and anthropogenic influences in the Alto Sorocaba Basin (SP)

Autor: Diego de Souza Sardinha

Orientador: Daniel Marcos Bonotto

Co-orientador: Fabiano Tomazini da Conceição

ABSTRACT

The purpose of this research was to evaluate the chemical weathering in the Alto Sorocaba basin (SP). The weathering rate in rocks is an important parameter on the geomorphological characterization of the continents and therefore, several tools may be used for its evaluation. Thus, this work utilized data on the uranium concentration, the $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ activity ratio and the major cations concentration for samples of waters, soils and rocks from this basin. The Alto Sorocaba basin has serious environmental problems in terms of the quality of the rain and river waters, in this direction, the geochemical balance using the main cations presented some inconveniences. However the weathering rate utilizing the uranium isotopes modeling corresponded to 13,9 $\mu\text{m}/\text{year}$, which indicates that is necessary 72,000 years to weather 1 m of rock. Concerning to the environmental problems identified in the Alto Sorocaba basin, due to anthropogenic activities, the major causes had been its bad use and lack of planning. Under this aspect, short, medium and long run initiatives must be considered, aiming to the rational use of the natural resources in the basin.

Key-words: Rocks weathering rate, Uranium, Anthropogenic influences, Hydrographic basin, Management.

SIGLAS E ABREVIATURAS

AAS: Atomic Absorption Spectrometry.

ABAG/RP: Associação Brasileira do Agronegócio da Região de Ribeirão Preto.

CBA: Companhia Brasileira de Alumínio.

CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.

CMP: Concentração Média Ponderada.

CONAMA: Conselho Nacional de Meio Ambiente.

DAEE: Departamento de Águas e Energia Elétrica.

DBO: Demanda Biológica de Oxigênio.

DPM: Departamento de Petrologia e Metalogenia.

IGCE: Instituto de Geociências e Ciências Exatas.

IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de SP.

LABIDRO: Laboratório de Isótopos e Hidroquímica.

LABOGEO: Laboratório de Geoquímica.

LAGEPE: Laboratório de Preparação de Amostras Geológicas e Pedológicas.

OD: Oxigênio Dissolvido.

PTFE: Poli Tetra Flúor Etileno.

PCA: Análise dos Componentes Principais.

SAAE: Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Sorocaba.

SMT: Sorocaba Médio Tiete.

STD: Sólidos Totais Dissolvidos.

STS: Sólidos Totais Suspensos.

TDA: Taxa de Deposição Anual.

UGRHI: Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

UNESP: Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".

UNISO: Universidade de Sorocaba.

USEPA: US Environmental Protection Agency.

1 - INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A determinação da taxa de alteração das rochas (intemperismo), é de grande interesse geofísico e geoquímico, porque a alteração (desgaste) das rochas é um dos fenômenos fundamentais da geoquímica de superfície e de grande interesse na caracterização geomorfológica dos continentes. Esse fenômeno aplica-se diretamente a estudos relacionados a várias disciplinas, dentre elas, a Geologia, Ecologia, Economia, Pedologia e Agronomia, subsidiando variáveis necessárias a melhor orientação na distribuição de culturas agrícolas e da exploração dirigida dos solos. Além disso, o estudo do manto superficial e sua alteração indicam a viabilidade da ocupação humana e suas atividades, podendo ainda, intervir diretamente em problemas relacionados com a construção de barragens, rodovias, fundações, etc. Para se estudar a velocidade de alteração das rochas, costuma-se utilizar regiões tropicais face ao favorecimento da alteração química pelo clima úmido e quente que acelera as reações químicas, facilitando a hidrólise.

O material dissolvido e em suspensão nas águas continentais em regiões não poluídas tem sido investigado para se encontrar a natureza e composição do material transportado pelos rios para os oceanos (BARTH, 1961; GIBBS, 1972). O interesse na avaliação das taxas de intemperismo cresceu muito nos últimos anos, principalmente no hemisfério norte, através do uso do modelo PROFILE (SVERDRUP & WARFVINGE, 1993; LANGAN et al., 1996; HODSON et al., 1996; KOPTSIK et al., 1999; HODSON, 2002) e modelos que utilizam a concentração de sódio, cálcio, potássio, magnésio e de sólidos totais dissolvidos, nos quais as entradas provenientes das águas pluviais requerem correções para se obter a fração dissolvida das rochas (JOHNSON et al., 1968; GIBBS, 1967; CLOW & DREVER, 1996; BOEGLIN & PROBST, 1998; LAND et al., 1999; GRASBY & HUTCHEON, 2000; SEMHI

et al., 2000; BAIN et al., 2001). Vários estudos de avaliação da taxa de alteração das rochas (intemperismo) tem sido realizados na América do Sul, a exemplo daqueles realizados por MOREIRA-NORDEMANN (1980, 1984); CONCEIÇÃO & BONOTTO (2003, 2004) e BONOTTO et al. (2007).

O oceano é a maior fonte de aerossóis e gases para a atmosfera, que posteriormente são removidos através da deposição seca e úmida (KEENE et al., 1986). Os componentes dissolvidos nas águas de chuvas podem ser divididos em três grupos: (a) derivados de aerossóis marinhos; (b) derivados de aerossóis terrestres (poeira de solos e emissões biológicas); e (c) derivados de fontes antrópicas (indústria, agricultura, queimada de vegetação, combustíveis fósseis e uso de fertilizantes) (BERNER & BERNER, 1996; NÉGREL & ROY, 1998). Entradas antrópicas ocasionadas pelas precipitações (seca e úmida) podem alterar as espécies dissolvidas nos rios, causando acidificação dos solos e/ou alteração na qualidade das águas superficiais de uma bacia hidrográfica (VIEIRA et al., 1988; FORTI & MOREIRA-NORDEMANN, 1991; MOREIRA-NORDEMANN, 1997; LARA et al., 2001).

As águas doces compreendem aproximadamente 3% do total de água na natureza, os outros 97% estão nos oceanos e mares salgados. Quase 2,3% das águas doces estão localizadas nas calotas polares ou em aquíferos profundos (PORTO, 1991). Dados recentes apontam que mais de 1,7 bilhões de pessoas enfrentam a severa escassez de água no Planeta, devendo esse número crescer para 3,3 bilhões de pessoas nos próximos 20 anos (CHERNICHARO, 2001). Por esse motivo, preocupações atuais existem quanto à preservação desse importante recurso, sobretudo neste início de século quando as atividades humanas têm contribuído significativamente para a degradação da sua qualidade, tornando impróprio seu uso para as mais diversas finalidades. No Brasil, há estudos que relacionam a variação química das águas superficiais em relação à alteração das rochas e deposição atmosférica, por exemplo, aqueles realizados por MOREIRA-NORDEMANN (1984), ANDREAE et al. (1990), DANELON & MOREIRA-NORDEMANN (1991) e CONCEIÇÃO & BONOTTO (2004).

Neste trabalho, serão utilizados o sódio, potássio, cálcio e magnésio como traçadores naturais para indicar a taxa de alteração das rochas na bacia do Alto Sorocaba, bem como um elemento traço, o urânio. A vantagem de se usar o urânio como traçador natural nos estudos da velocidade de alteração das rochas reside no fato de que este elemento é praticamente ausente nas águas de chuva, não sendo necessário, por isso, efetuar sua quantificação nesta fase durante o balanço geoquímico. Outra vantagem na utilização do urânio como traçador

natural reside no fato de ser um elemento radioativo, permitindo a obtenção do coeficiente de dissolução das rochas pela razão de atividade $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$. Conforme revisto por BONOTTO (2004), o urânio nas rochas ígneas ocorre principalmente em minerais acessórios; nos sedimentos arenosos, os níveis de U são geralmente menores que $1\mu\text{g/g}$, graças à facilidade com que é lixiviado. Os solos autóctones usualmente refletem o conteúdo de urânio da rocha de origem, contudo, também podem ser empobrecidos ou enriquecidos de U, dependendo das condições de óxi-redução e pH das águas circulantes. Os teores típicos de U nos solos variam de 1 a $5\mu\text{g/g}$, já nas águas superficiais e subterrâneas oxidantes ocorre o transporte de urânio como íons uranila, sob a forma de vários complexos solúveis com os ânions comumente dissolvidos.

O urânio natural é uma mistura dos isótopos ^{238}U , ^{235}U e ^{234}U , indistinguíveis quanto ao comportamento químico e, no equilíbrio radioativo, as proporções relativas dos isótopos são: 99,28%, 0,72% e 0,0054%, respectivamente (COWART & OSMOND, 1974). A série do urânio ($4n + 2$) começa com o ^{238}U e, após 14 transformações (8 do tipo α e 6 do tipo β^-), atinge-se o produto final estável, ^{206}Pb , como mostrado a seguir:

$$^{238}\text{U} (4,49 \text{ Ga}; \alpha) \rightarrow ^{234}\text{Th} (24,1 \text{ d}; \beta^-) \rightarrow ^{234}\text{Pa} (1,18 \text{ m}; \beta^-) \rightarrow ^{234}\text{U} (2,48 \times 10^5 \text{ a}; \alpha) \rightarrow ^{230}\text{Th} (7,52 \times 10^4 \text{ a}; \alpha) \rightarrow ^{226}\text{Ra} (1622 \text{ a}; \alpha) \rightarrow ^{222}\text{Rn} (3,83 \text{ d}; \alpha) \rightarrow ^{218}\text{Po} (3,05 \text{ m}; \alpha) \rightarrow ^{214}\text{Pb} (26,8 \text{ m}; \beta^-) \rightarrow ^{214}\text{Bi} (19,7 \text{ m}; \beta^-) \rightarrow ^{214}\text{Po} (0,16 \text{ ms}; \alpha) \rightarrow ^{210}\text{Pb} (22,2 \text{ a}; \beta^-) \rightarrow ^{210}\text{Bi} (50 \text{ d}; \beta^-) \rightarrow ^{210}\text{Po} (138 \text{ d}; \alpha) \rightarrow ^{206}\text{Pb} (\text{estável}).$$

A bacia hidrográfica do Rio Sorocaba Médio Tietê (SMT) é definida por lei como uma Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI 10) e localiza-se no centro-sudeste do estado de São Paulo, nos quais estão localizados 53 municípios, dos quais 34 com sede em seu território e 19 possuindo apenas porções rurais. A bacia do Rio Sorocaba Médio Tietê, é formada por seis principais sub-bacias, dentre as quais insere-se a bacia do Alto Sorocaba com aproximadamente 929 km^2 , ou 7,7% de sua área total. As principais drenagens formadoras da bacia do Alto Sorocaba são os Rios Una, Sorocabuçu e Sorocamirim, e a represa de Itupararanga, que abastecem cerca de 800.000 pessoas.

O intemperismo é um processo geológico importante no ciclo das rochas e nos sistemas da Terra, modelam a superfície terrestre e alteram os materiais rochosos, sendo responsável pelo principal aporte de matéria dissolvida nos oceanos. Neste sentido, este trabalho tem como diretriz principal estudar o intemperismo químico das rochas na bacia do Alto Sorocaba. A avaliação do desgaste das rochas na bacia fornece aproximações úteis para um melhor conhecimento do modelamento do terreno, erosão e evolução de paisagem, entre outros aspectos, fornecendo assim, subsídios necessários para ações voltadas ao planejamento,

desenvolvimento do uso do solo, diminuição da degradação ambiental e gerenciamento integrado desta bacia hidrográfica localizada no interior paulista.

1.1 – Objetivos

O objetivo principal deste estudo constitui avaliar a taxa de intemperismo químico na bacia hidrográfica do Alto Sorocaba (SP). Como descargas antropogênicas de elementos e/ou compostos podem afetar os modelos utilizados, é necessária a avaliação da qualidade das águas superficiais e pluviais, uma vez que propicia a geração de parâmetros necessários às devidas correções. Dessa forma, as seguintes etapas foram conduzidas durante o desenvolvimento da pesquisa:

- Levantamento dos aspectos fisiográficos da bacia do Alto Sorocaba;
- Determinação da composição química e mineralógica das rochas da bacia do Alto Sorocaba, bem como dos produtos de sua alteração (solos);
- Avaliação da qualidade das águas superficiais e pluviais na bacia do Alto Sorocaba no seu gradiente espacial e temporal;
- Avaliação das taxas de alteração química das rochas.

2 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Alto Sorocaba situa-se entre os paralelos 23°35'02'' e 23°45'37'' de latitude S e meridianos 46°57'29'' e 47°21'00'' de longitude W, sendo o Rio Sorocaba o principal curso de água. Ele nasce no município de Ibiúna e é formado pelos rios de Una, Sorocabuçu e Sorocamirim, cujas cabeceiras se encontram nos municípios de Ibiúna, Cotia, Vargem Grande Paulista e São Roque (Figura 2.1). A principal via de acesso, a Rodovia Raposo Tavares (SP-270), corta a porção sul da bacia de leste para oeste, desde Vargem Grande Paulista, passando por São Roque e Sorocaba, dentre outros municípios. Uma barragem no município de Votorantim represa as águas da bacia, formando o reservatório de Itupararanga, que é um importante manancial da região.

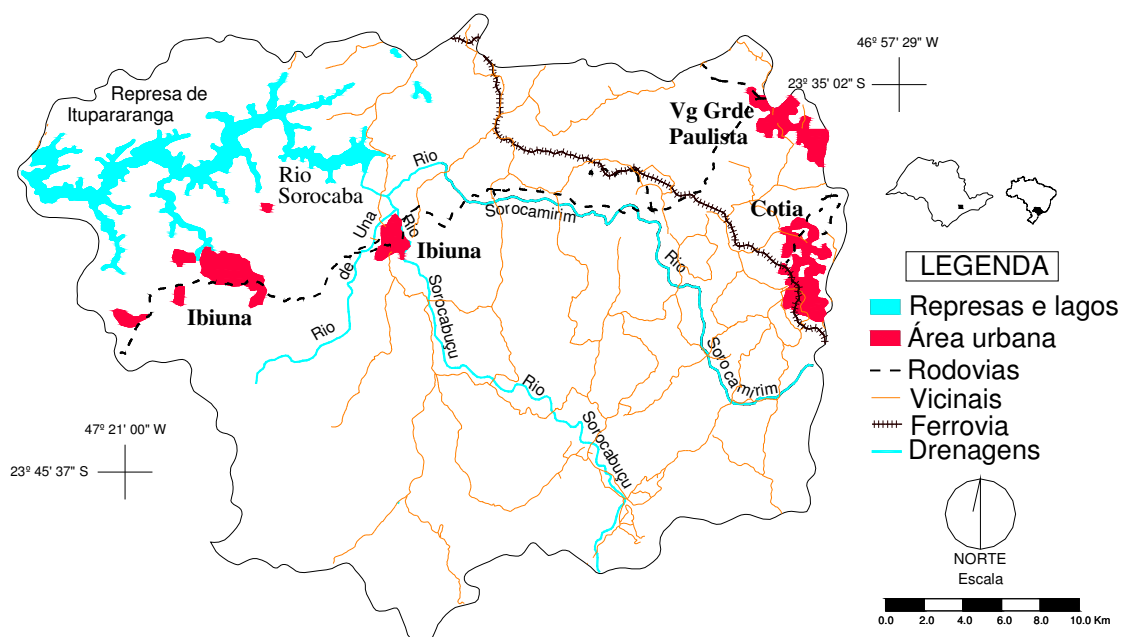


Figura 2.1. Localização da bacia do Alto Sorocaba. Modificado de IPT (2005).

A população total da bacia do Alto Sorocaba é de 110.577 habitantes, sendo Alumínio, Cotia, Ibiúna, Mairinque, Piedade, São Roque, Vargem Grande Paulista e Votorantim os municípios que compõe a bacia (Tabela 2.1 e Figura 2.2). Porém, nem todos possuem suas áreas territoriais totalmente incluídas nesta bacia (IPT, 2000).

Tabela 2.1. Divisão política da bacia do Alto Sorocaba.

Município	Área parcial (km ²)	Porcentagem do município na bacia (%)	Porcentagem ocupada da bacia (%)
Alumínio	17,3	18,31	1,9%
Cotia	73,4	24,40	7,9%
Ibiúna	584,3	58,86	62,9%
Mairinque	51,3	23,64	5,5%
Piedade	15,3	2,44	1,7%
São Roque	115,3	28,22	12,4%
Vargem Grande Pta	26,1	82,28	2,8%
Votorantim	46,0	26,23	5,0%
Total	929,0	-	100 %

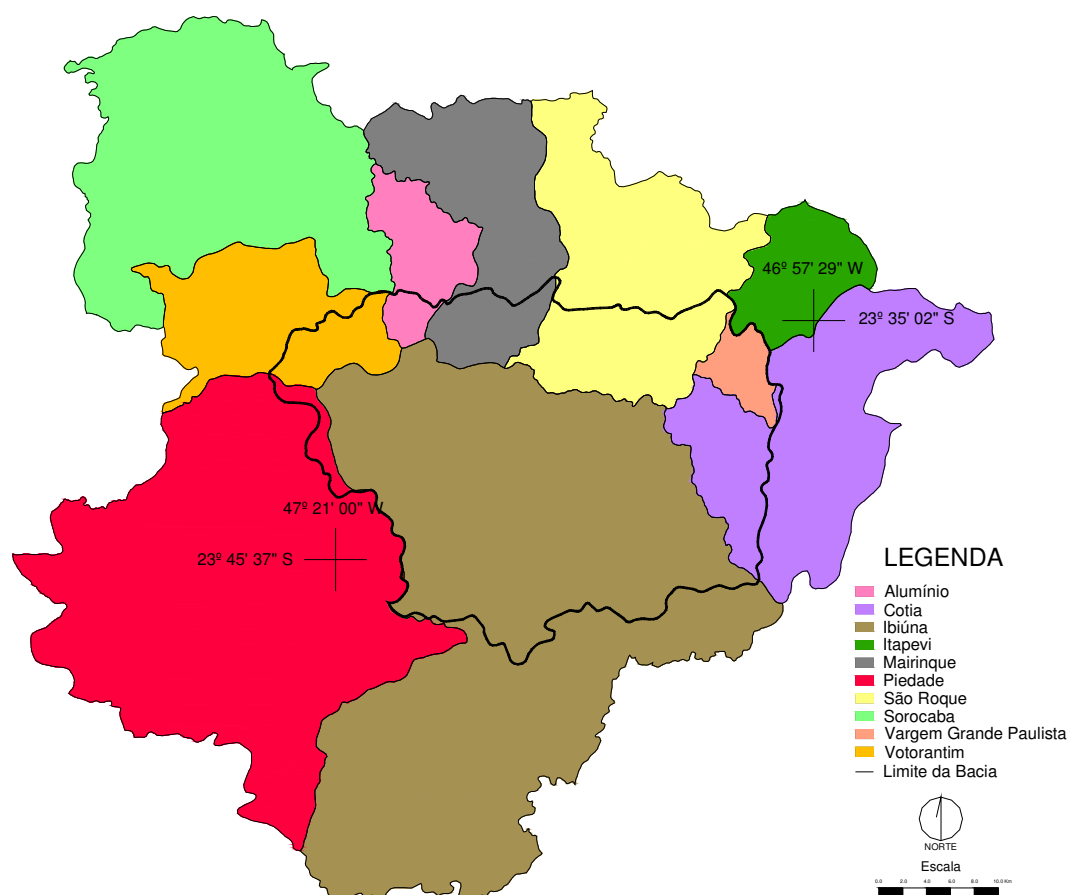


Figura 2.2. Divisão política na região da bacia do Alto Sorocaba. Modificado de IPT (2005).

2.1 – Uso e ocupação do solo

Estudos realizados por BRANNSTROM (2001) e GARCIA et al. (2002) sobre os principais tipos de uso e ocupação do solo na bacia do Alto Sorocaba demonstram que a bacia se caracteriza principalmente pela intensa atividade agrícola baseada na irrigação e na utilização de agrotóxicos, com 393 km² ocupados por culturas e 35 km² por chácaras que também são utilizadas para a agricultura e lazer (Tabela 2.2 e Figura 2.3). Destaca-se também a área cultivada por olerícolas, responsável por 15 dos 26 tipos de agrotóxicos utilizados em plantações, seguidos da batata e do tomate (IPT, 2005).

Tabela 2.2. Uso e ocupação do solo. Modificado de GARCIA et al. (2002).

Tipo de Uso	Área (Km ²)	Área relativa (%)
Campo	26	2,8
Campo Sujo / Capoeira	121	13,0
Chácara	35	3,8
Cultura	393	42,3
Mata	236	25,4
Várzea	20	2,2
Área Fracamente Urbanizada	55	5,9
Área Fortemente Urbanizada	16	1,7
Represa	27	2,9
Total	929	100,00

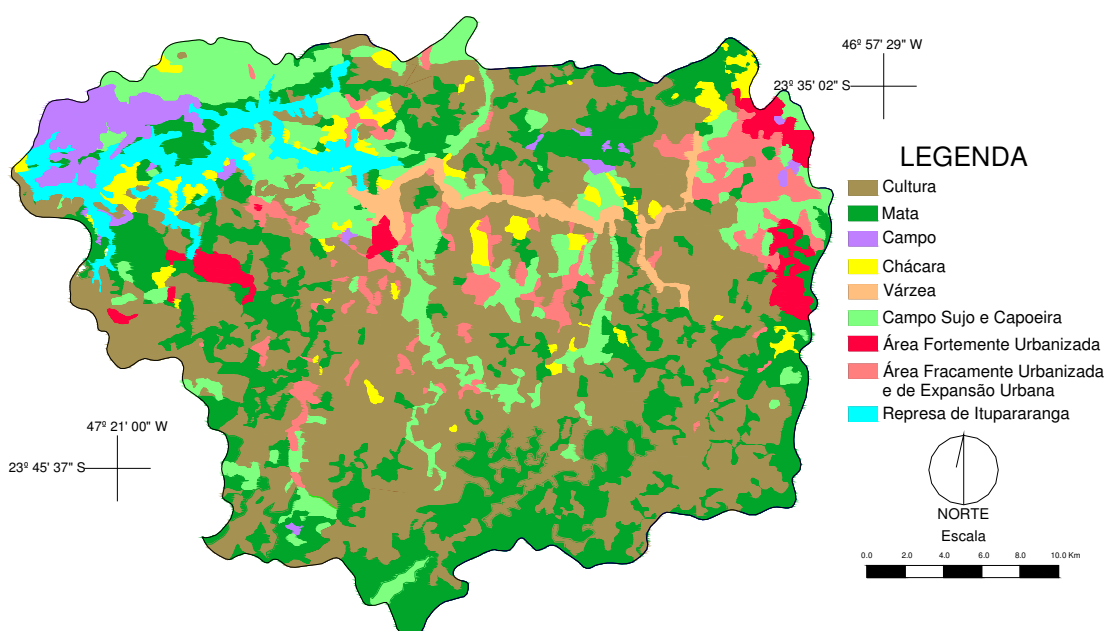


Figura 2.3. Mapa de uso e ocupação do solo na bacia do Alto Sorocaba. Modificado de GARCIA et al. (2002).

A área urbanizada ocupa aproximadamente 71 km², sendo caracterizada por cidades e pequenos aglomerados populacionais como vilas e vilarejos. O município de Ibiúna possui a maior aglomeração populacional, embora não seja a mais urbanizada devido a sua extensa área rural. Vargem Grande Paulista e o distrito de Caucaia do Alto, município de Cotia, se diferenciam dos demais municípios, por não possuir uma elevada população rural. Por tratar-se do tecnopólo mais próximo, a cidade de Sorocaba exerce forte polarização sobre as cidades da bacia do Alto Sorocaba.

A bacia do Alto Sorocaba abriga a Reserva da Biosfera do Cinturão Verde de São Paulo, Unidade de Conservação Ambiental, além de uma Área Natural Tombada em Caucaia do Alto e a área de Proteção Ambiental de Itupararanga, que abrange toda a bacia de contribuição do reservatório. Segundo IPT (2005), a bacia é composta por floresta ombrófila densa e cerrado, sendo caracterizada como uma área de tensão ecológica. Sua área está inserida no domínio da Mata Atlântica (IPT, 2000). As maiores porcentagens de vegetação estão concentradas no entorno da represa de Itupararanga e em áreas de maior declividade, na porção sul da bacia. A atividade pecuária é do tipo extensiva e de baixa produtividade e caracteriza-se por pastagens em mau estado de conservação, que estão infectadas, na sua maioria, por plantas invasoras (IPT, 2000). Quanto a empreendimentos minerários, há intensa extração de areia associada a depósitos fluviais, principalmente nas cabeceiras dos rios (IPT, 2000).

2.2 – Aspectos climatológicos e hidrológicos

De acordo com IPT (2005), com base na classificação climática proposta por Köppen, tendo como base a temperatura e a precipitação, a bacia do Alto Sorocaba apresenta um clima úmido quente com inverno seco, temperatura média anual de 18 a 22°C, e estiagem no inverno. No semestre seco a evaporação é maior que a precipitação.

Uma série histórica de precipitações mensais e anuais entre os anos de 1960 a 2004 foi obtida junto à Companhia Brasileira de Alumínio (CBA), que possui uma estação meteorológica no vertedouro da barragem de Itupararanga (Tabela 2.3). A média da precipitação anual na bacia é de 1.492,7 mm, sendo janeiro o mês mais chuvoso (média de 248,1 mm) e agosto o mais seco (média de 42,8 mm) (Figura 2.4). O ano mais chuvoso durante o período analisado foi 1983 (2.540,3 mm) e o menos chuvoso foi 1963 (969,4 mm). A precipitação, referente ao ano com maior pluviosidade, deve-se fundamentalmente à ocorrência do fenômeno El Niño naquele período (REBELLO, 1997) que culminou num pico

de chuvas que foi maior do que qualquer outro registrado durante o período de 1960 a 2004. A distribuição anual durante o período de 1960 a 2004 pode ser visualizada na Figura 2.5. Verifica-se uma tendência de aumento da pluviometria ao longo dos anos (taxa de 4,74 mm/ano), indicando um acréscimo hídrico na bacia do Alto Sorocaba durante o período de 1960 a 2004.

Tabela 2.3. Precipitação (mm) mensal e anual na bacia durante o período de 1960 a 2004.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1960	435,60	331,30	64,80	106,80	82,00	43,70	0,40	23,60	25,00	76,70	102,10	368,00	138,33
1961	156,60	228,70	93,30	86,20	44,60	28,40	4,20	11,20	8,80	122,60	132,20	285,60	100,20
1962	72,40	147,00	382,80	45,00	21,60	57,20	40,80	55,80	48,50	197,20	96,70	308,30	122,78
1963	360,20	98,20	125,00	30,60	0,00	27,20	1,40	1,80	25,50	107,30	159,70	32,50	80,78
1964	22,80	288,70	114,60	58,80	25,20	47,80	79,30	55,40	171,10	91,30	105,80	366,00	118,90
1965	208,00	278,60	184,60	101,00	132,00	21,20	67,60	11,40	148,60	152,90	124,60	255,20	140,48
1966	132,90	171,50	110,60	37,40	58,80	3,60	38,20	45,00	73,80	168,20	57,10	215,30	92,70
1967	212,00	96,40	107,80	23,60	3,80	204,80	38,80	3,00	98,80	101,70	179,40	105,10	97,93
1968	315,80	51,20	141,70	63,60	61,20	27,20	10,00	59,30	12,70	118,20	116,20	148,10	93,77
1969	151,70	97,40	138,80	69,40	15,90	44,40	6,40	21,40	97,30	196,30	230,80	128,60	99,87
1970	233,00	373,40	153,60	20,40	64,40	50,80	21,20	78,00	95,90	71,90	126,80	235,90	127,11
1971	97,10	142,40	248,80	100,60	77,20	113,60	77,20	7,60	66,30	204,20	56,70	133,80	110,46
1972	312,80	217,60	144,80	38,20	61,90	13,80	127,00	98,90	143,40	221,70	142,70	148,20	139,25
1973	291,40	194,60	235,70	42,90	55,00	71,90	78,00	48,90	85,10	154,90	164,40	401,80	152,05
1974	229,60	75,80	303,10	37,50	7,30	148,90	0,00	9,50	21,20	116,00	99,40	309,30	113,13
1975	181,20	298,10	117,90	32,50	35,40	5,10	42,80	6,00	73,50	142,70	238,20	176,40	112,48
1976	193,00	341,80	116,00	116,40	201,50	99,80	121,40	157,80	195,00	110,90	88,60	296,20	169,87
1977	277,50	12,40	149,00	159,60	19,10	44,60	12,60	7,00	77,00	53,80	166,80	298,60	106,50
1978	55,00	49,40	85,80	14,20	144,70	82,50	89,10	5,60	70,00	98,60	288,00	304,70	107,30
1979	137,40	137,30	54,40	94,40	144,50	3,20	61,20	105,70	172,10	141,40	66,40	237,40	112,95
1980	158,60	171,40	77,00	139,60	11,80	63,30	30,10	42,30	49,40	59,50	105,50	310,90	101,62
1981	362,60	183,10	98,00	40,40	11,60	58,60	53,20	7,20	22,60	154,60	522,70	140,40	137,92
1982	347,90	322,60	224,10	58,80	78,40	258,40	28,50	32,40	18,60	201,50	347,20	279,80	183,18
1983	433,10	280,20	237,80	152,30	269,80	300,80	44,20	3,20	235,50	221,30	144,30	217,80	211,69
1984	226,80	16,80	61,70	107,50	114,00	0,00	7,20	120,00	139,00	35,00	127,00	139,00	91,17
1985	113,50	138,50	243,00	84,00	47,50	15,50	10,00	18,00	106,50	57,00	138,00	51,00	85,21
1986	71,50	255,50	235,00	34,50	139,50	0,00	19,50	139,00	39,50	49,00	157,00	293,50	119,46
1987	442,00	253,00	117,50	87,50	182,50	254,00	23,50	32,50	79,50	116,50	117,50	200,50	158,88
1988	219,00	205,90	197,80	129,80	229,50	63,00	3,00	0,00	42,10	192,50	79,20	310,70	139,38
1989	383,90	238,20	79,40	136,40	69,00	54,30	268,20	53,50	98,90	81,90	134,90	188,00	148,88
1990	297,40	100,40	180,80	61,30	53,20	34,60	142,20	80,10	52,10	131,50	129,20	132,70	116,29
1991	313,40	365,50	294,70	99,00	49,10	92,10	21,20	46,70	127,40	154,10	58,30	211,30	152,73
1992	39,00	131,00	348,30	42,70	81,40	2,60	21,20	35,00	91,80	100,30	100,90	199,10	99,44
1993	357,20	210,90	86,10	70,20	131,80	68,20	21,00	83,00	207,40	137,20	70,40	165,80	134,10
1994	258,40	126,20	134,40	94,10	55,80	48,20	47,50	0,60	6,40	103,00	97,40	274,70	103,89
1995	361,80	329,20	165,00	94,70	103,20	53,20	62,00	10,00	61,30	208,80	66,70	154,80	139,23
1996	261,30	262,10	247,50	8,70	7,00	37,20	18,10	28,00	128,20	139,90	63,40	307,50	125,74
1997	408,50	129,00	77,30	93,70	86,80	122,60	9,70	47,90	94,70	90,30	298,70	222,90	140,18
1998	182,90	290,00	216,70	67,20	95,60	31,80	15,70	80,10	106,70	266,80	65,00	221,30	136,65
1999	292,70	228,00	99,40	41,50	36,90	81,70	60,20	0,00	87,90	48,50	74,00	127,40	98,18
2000	263,30	370,30	239,60	8,00	11,40	14,60	70,60	88,60	122,80	109,20	118,20	212,50	135,76
2001	251,50	265,60	95,10	13,10	90,60	65,90	74,50	49,70	64,90	157,30	186,60	250,80	130,47
2002	296,40	226,90	142,30	33,80	119,20	0,00	38,20	55,40	60,85	48,70	147,65	223,90	116,11
2003	386,30	176,90	202,60	72,40	43,10	16,00	24,50	43,00	35,25	62,50	131,50	142,75	111,40
2004	358,75	321,50	132,00	122,25	134,50	38,25	104,25	15,25	3,00	133,20	171,50	182,75	143,10
Média	248,08	205,12	162,36	70,50	77,98	64,77	47,46	42,76	84,26	126,86	142,12	220,37	124,39

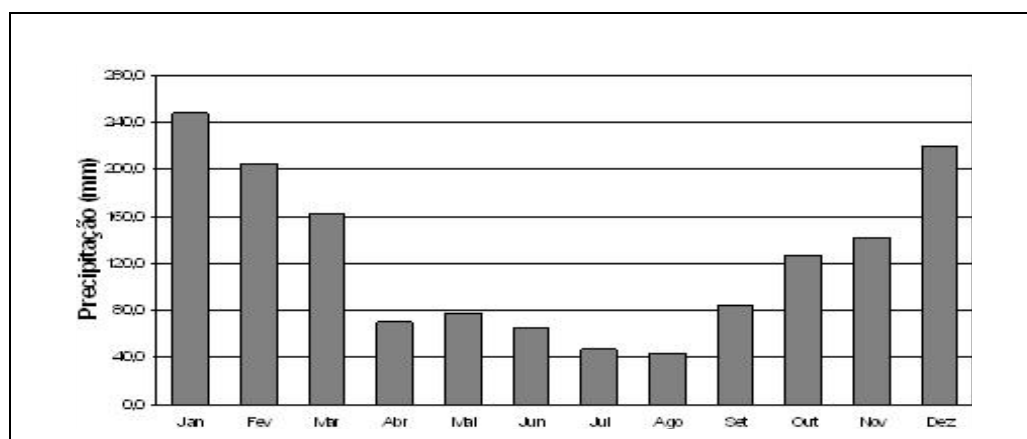


Figura 2.4. Precipitação média mensal na bacia do Alto Sorocaba durante o período de 1960 a 2004.

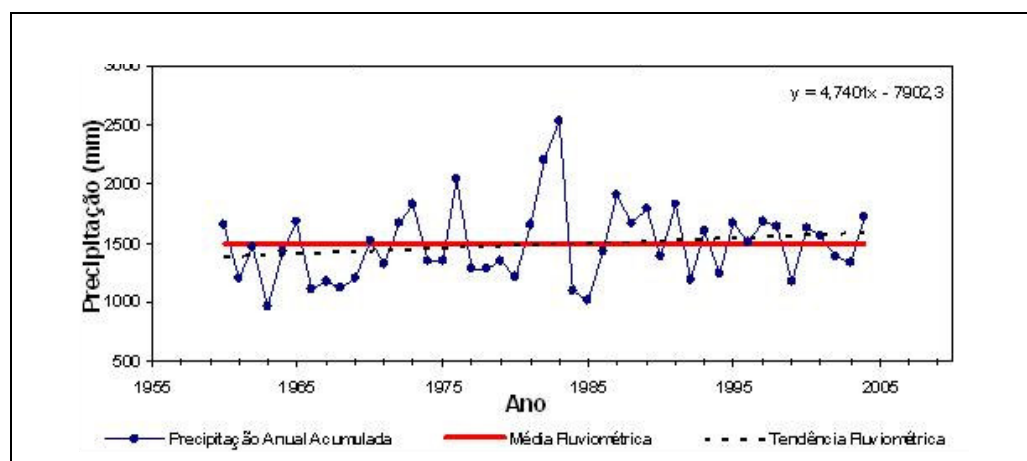


Figura 2.5. Variação e tendência da pluviosidade na bacia do Alto Sorocaba.

A CBA também forneceu os dados de vazão média mensal e anual afluente ao reservatório de Itupararanga durante o período de 1960 a 2004 (Tabela 2.4). Em relação às vazões afluentes no reservatório de Itupararanga, os resultados demonstram que em 50% do tempo a vazão afluente à represa é de aproximadamente $12 \text{ m}^3/\text{s}$ (Figura 2.6), valor muito próximo à vazão média afluente deste reservatório, ou seja, $12,7 \text{ m}^3/\text{s}$. O ano com maior média de vazão afluente foi 1983 com $35,47 \text{ m}^3/\text{s}$, que é justamente o ano com maior índice de precipitação, sendo 1969 o ano com a menor média afluente ($5,30 \text{ m}^3/\text{s}$) (Figura 2.7). Já o mês com maior vazão média afluente foi fevereiro ($21,75 \text{ m}^3/\text{s}$) (Figura 2.8), enquanto que a menor média afluente foi agosto ($6,96 \text{ m}^3/\text{s}$), que é o mês menos chuvoso, conforme os dados de precipitação.

A Figura 2.9 ilustra as fontes pontuais de lançamento de efluentes nos rios da bacia do Alto Sorocaba, além de outros usos da água como a captação de água subterrânea, superficial

e barramentos feitos nos rios da bacia (DAEE, 2007). As fontes pontuais de efluentes, juntamente com fontes difusas devido ao uso do solo para a prática agrícola, podem potencializar os danos ambientais, já que a drenagem das águas da bacia do Alto Sorocaba são direcionadas para o reservatório de Itupararanga, importante manancial da região.

Tabela 2.4. Vazões afluentes (m³/s) mensais e anuais ao reservatório de Itupararanga.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1960	27,65	31,36	20,18	13,26	12,19	8,68	7,38	6,37	5,55	7,89	10,34	21,67	14,38
1961	21,57	13,19	15,99	10,07	9,98	6,89	4,76	3,83	3,06	5,13	9,47	11,14	9,59
1962	8,30	15,20	34,21	11,44	7,54	7,07	6,34	6,28	5,53	14,22	11,21	14,66	11,83
1963	34,37	23,13	16,41	8,81	5,67	6,84	5,43	4,33	3,46	5,65	7,81	3,43	10,44
1964	1,82	14,04	4,49	4,01	5,79	3,97	5,12	4,19	4,88	7,31	5,77	21,35	6,90
1965	24,97	27,16	21,67	11,73	17,21	9,77	11,21	6,97	6,18	15,37	14,32	32,25	16,57
1966	18,43	17,22	15,89	10,97	9,50	5,86	5,29	5,42	7,38	10,41	10,62	11,62	10,72
1967	12,56	20,97	14,33	4,91	4,70	14,09	7,20	4,29	7,26	5,84	14,39	10,91	10,12
1968	23,69	11,48	9,03	7,84	7,35	5,32	3,82	4,47	3,27	5,47	2,65	6,40	7,57
1969	4,26	5,66	6,29	3,21	1,69	2,69	1,42	1,01	0,81	10,66	18,16	7,71	5,30
1970	15,81	39,16	26,47	11,72	8,94	6,94	5,34	4,77	7,54	5,99	4,61	8,32	12,13
1971	7,55	5,53	8,09	5,67	5,44	9,39	6,98	4,18	3,72	12,21	4,30	6,54	6,63
1972	19,30	18,70	10,67	7,38	6,83	4,41	8,38	7,23	8,75	25,49	13,81	8,98	11,66
1973	17,37	19,44	12,00	17,31	9,33	8,21	9,52	7,03	9,56	10,18	13,44	31,26	13,72
1974	39,89	20,13	38,87	19,41	10,61	15,61	8,49	5,93	5,55	7,90	5,10	21,68	16,60
1975	14,51	19,21	16,99	7,40	6,52	5,23	6,65	4,90	4,38	8,58	10,43	15,83	10,05
1976	13,90	32,84	20,65	21,59	23,34	27,07	28,48	24,39	30,81	26,75	16,17	24,74	24,23
1977	34,36	24,29	15,66	19,42	10,82	10,27	7,70	6,55	8,95	7,89	9,57	25,77	15,10
1978	14,93	9,86	10,19	4,74	11,59	11,53	11,26	5,39	7,22	4,98	26,70	23,79	11,85
1979	19,47	18,30	11,37	9,61	12,23	8,68	9,00	10,91	17,48	15,51	11,52	15,97	13,34
1980	20,40	17,46	10,83	12,73	6,26	7,00	6,53	6,32	6,19	4,61	4,21	12,72	9,60
1981	26,49	8,18	7,08	6,16	4,35	5,40	4,60	3,22	2,20	5,40	14,56	16,32	8,66
1982	21,10	32,94	18,27	11,04	8,38	20,52	15,76	10,64	6,87	14,78	18,84	32,56	17,64
1983	39,14	48,94	38,49	32,56	31,55	63,43	26,52	18,45	31,36	38,06	26,95	30,22	35,47
1984	30,96	19,13	11,67	13,53	14,56	7,63	6,26	10,43	12,87	7,38	7,60	9,48	12,63
1985	8,60	9,02	19,08	6,87	7,19	5,24	4,01	2,97	5,51	2,76	3,60	2,90	6,48
1986	6,03	12,65	18,41	8,22	10,27	4,55	3,49	9,04	4,45	3,79	5,12	19,41	8,79
1987	25,16	30,47	12,82	8,59	21,02	35,36	14,04	9,40	9,58	10,82	7,42	13,38	16,51
1988	11,78	18,73	21,47	15,16	23,05	24,15	11,61	7,91	7,08	11,08	10,19	16,30	14,87
1989	36,07	24,48	17,22	11,86	11,41	9,23	17,85	19,48	12,99	9,98	9,72	9,33	15,80
1990	31,19	14,20	16,06	10,56	8,66	7,66	12,88	9,53	9,71	9,96	10,76	8,62	12,48
1991	14,55	39,76	38,69	28,39	19,51	15,64	12,13	10,16	8,32	27,27	10,53	21,99	20,58
1992	11,36	11,91	22,99	16,38	13,63	7,96	7,88	5,43	10,59	11,49	15,29	19,32	12,85
1993	23,42	26,85	13,00	10,65	8,66	13,28	6,10	7,42	16,37	16,60	7,93	7,23	13,12
1994	15,02	20,71	12,31	10,38	8,55	7,23	6,59	3,84	2,95	3,91	6,53	18,65	9,72
1995	22,37	44,89	22,70	24,41	15,99	10,45	11,12	6,10	5,54	16,18	10,93	10,24	16,74
1996	25,28	16,87	24,31	8,38	6,64	6,57	5,59	4,82	10,81	10,78	6,52	14,07	11,72
1997	27,12	22,45	11,03	6,67	5,73	11,89	8,48	5,04	10,65	12,76	16,78	23,42	13,50
1998	16,92	23,38	31,03	15,77	15,50	10,62	8,14	10,08	9,19	21,48	8,96	17,43	15,71
1999	34,03	38,69	26,02	12,03	9,09	10,56	10,75	4,35	7,10	5,47	4,42	3,86	13,86
2000	14,06	28,03	12,99	5,92	3,85	3,54	4,77	5,49	12,93	5,40	5,63	10,26	9,41
2001	12,01	19,86	9,35	5,09	7,07	5,94	5,93	4,54	4,54	15,31	8,86	19,02	9,79
2002	22,32	20,72	17,37	7,43	8,81	3,98	4,83	3,70	3,36	2,77	8,28	5,63	9,10
2003	17,13	18,73	11,94	8,95	4,63	4,28	2,47	2,55	2,63	3,08	3,66	6,84	7,24
2004	17,12	22,79	16,86	8,91	7,41	9,04	8,75	3,74	1,91	4,87	9,59	17,51	10,71
Média	20,10	21,75	17,59	11,49	10,42	10,88	8,60	6,96	8,16	10,88	10,29	15,35	12,70

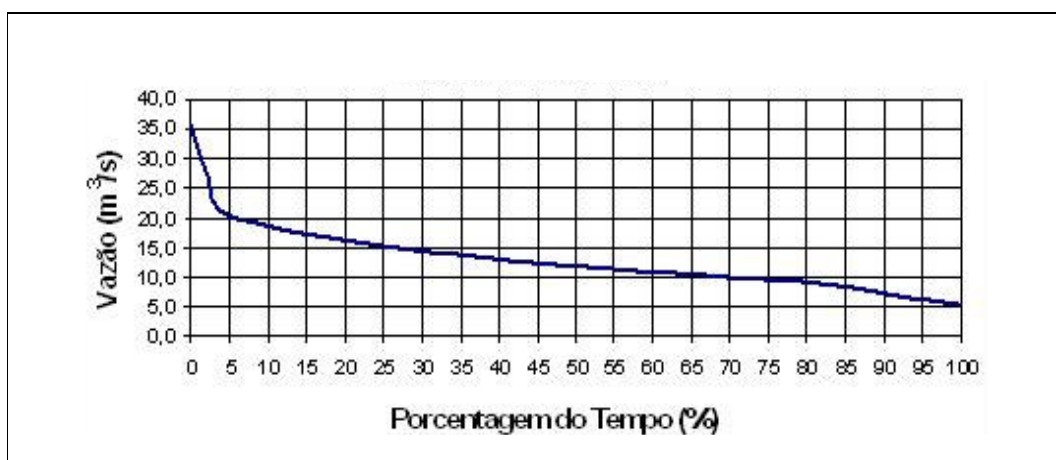


Figura 2.6. Curva de Permanência das vazões afluentes.

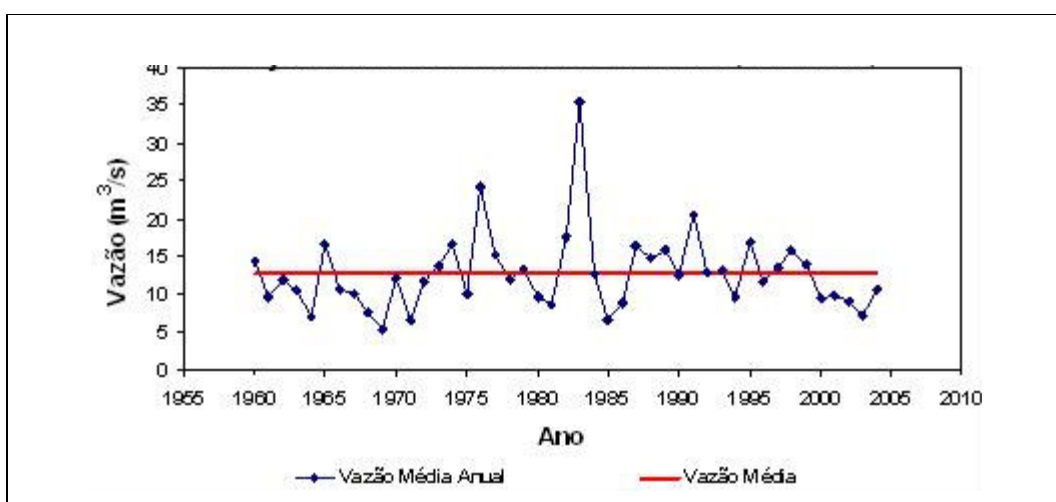


Figura 2.7. Vazões médias anuais afluentes à represa de Itupararanga.

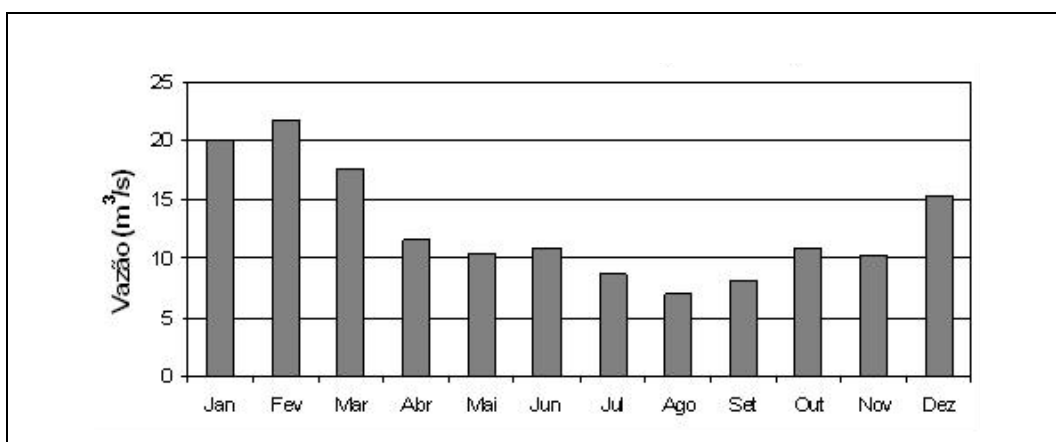


Figura 2.8. Vazões médias mensais afluentes à represa de Itupararanga.

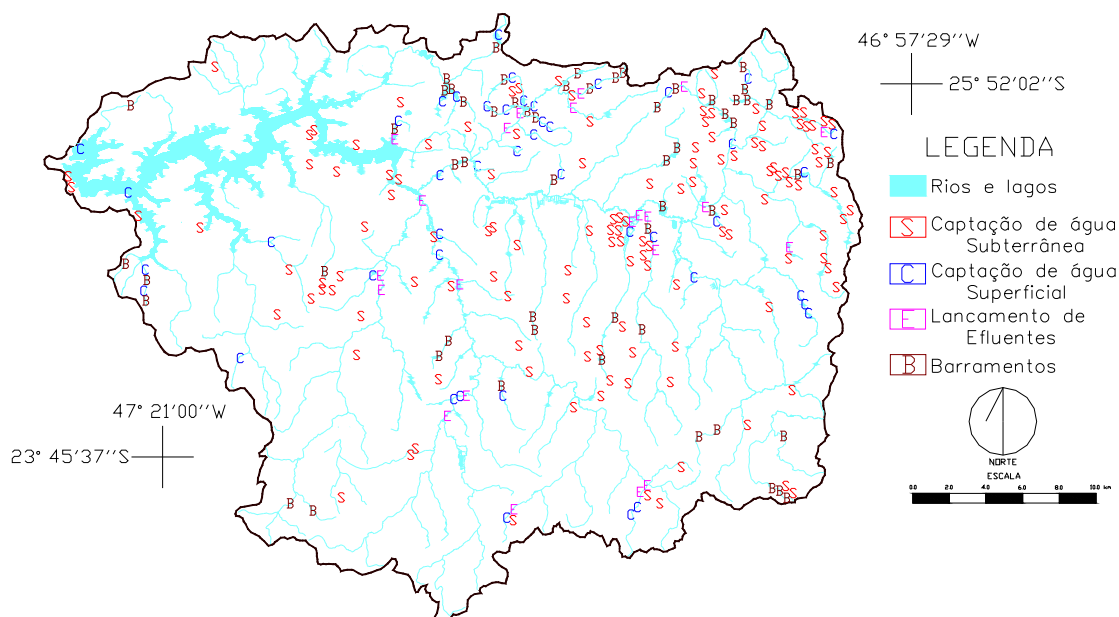


Figura 2.9. Usos da água na bacia do Alto Sorocaba. Dados de DAEE (2007).

2.3 – Geomorfologia e Pedologia

A bacia do Alto Sorocaba situa-se no trecho superior do Planalto Atlântico. O mapa da Figura 2.10 caracteriza a bacia em sete diferentes classes geomorfológicas (IPT, 2005). As seguintes classes (Tabela 2.5) foram descritas por VALLADARES (2006):

- a) Mar de Morros: domina a forma de meia laranja, com encostas suaves e topos convexos, circundados por morrotes com vertentes mais íngremes;
- b) Morros com Serras Restritas: de topos arredondados, contém vertentes com perfis retilíneos, por vezes abruptos, além de conter serras restritas;
- c) Morros Paralelos: possuem topos arredondados e vertentes com perfis retilíneos a convexos;
- d) Planícies Aluviais: terrenos baixos, planos, junto às margens dos rios e córregos, com declividade geralmente inferior a 5%;
- e) Morros de Topos Achatados: apresentam topos achatados e extensos, vertentes com perfis retilíneos a convexos;
- f) Mesas Basálticas: morros testemunhos isolados, topos aplainados a arredondados, vertentes com perfis retilíneos, trechos escarpados com exposições de rochas;
- g) Escarpas Festonadas: apresentam topos angulosos e vertentes com perfis retilíneos.

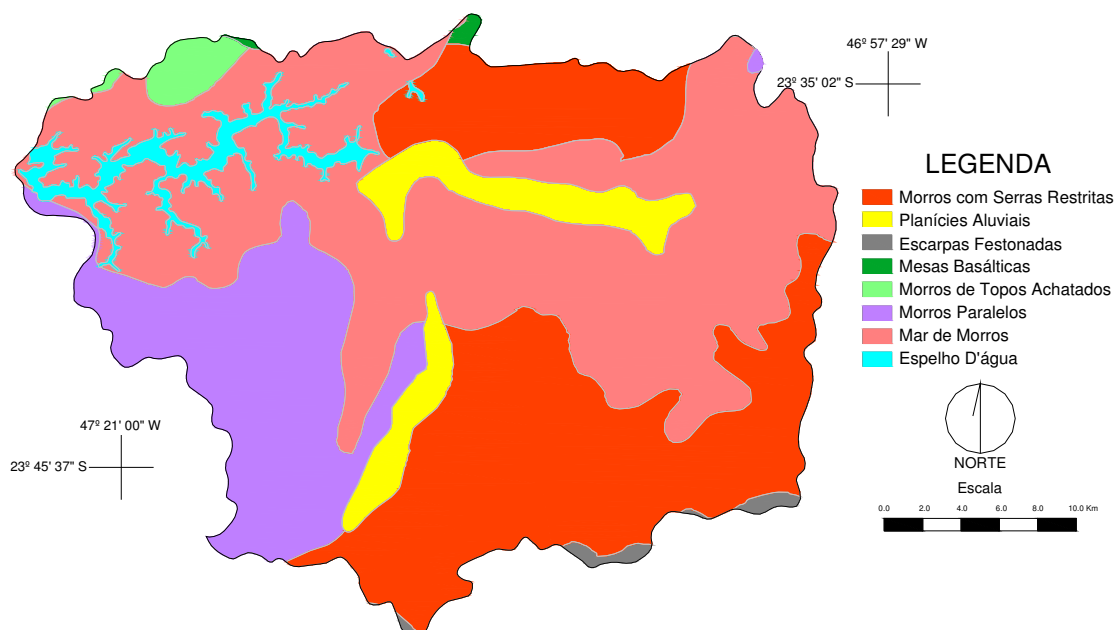


Figura 2.10. Mapa Geomorfológico da bacia do Alto Sorocaba. Modificado de IPT (2005).

Tabela 2.5. Classes geomorfológicas da bacia do Alto Sorocaba (IPT, 2005).

Classe Geomorfológica	Área (km²)	Área Relativa (%)
Morros com Serras Restritas	289	31,1
Planícies Aluviais	57	6,1
Escarpas Festonadas	6	0,6
Mesas Basálticas	2	0,2
Morros de Topos Achatados	13	1,4
Morros Paralelos	151	16,3
Mar de Morros	384	41,3
TOTAL	902	97

Em relação à Pedologia, segundo o IPT (2005), na área da bacia do Alto Sorocaba há três principais tipos de classes de solos (Figura 2.11 e Tabela 2.6). Os Argilossolos vermelho-amarelos distróficos de textura média argilosa compreendem solos minerais não hidromórficos, com teores de $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 11\%$, apresentando distinta individualização de horizontes. Os Latossolos vermelho-amarelos distróficos possuem textura argilosa e estrutura em blocos, fraca ou moderada e/ou cerosidade pouca e moderada. Já os Latossolos vermelho-amarelos distróficos pouco profundos também contêm textura argilosa e A moderado. Os Cambissolos ápicos Tb distrófico apresentam-se com argila de atividade baixa e baixa saturação por bases ($V < 50\%$) na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA).

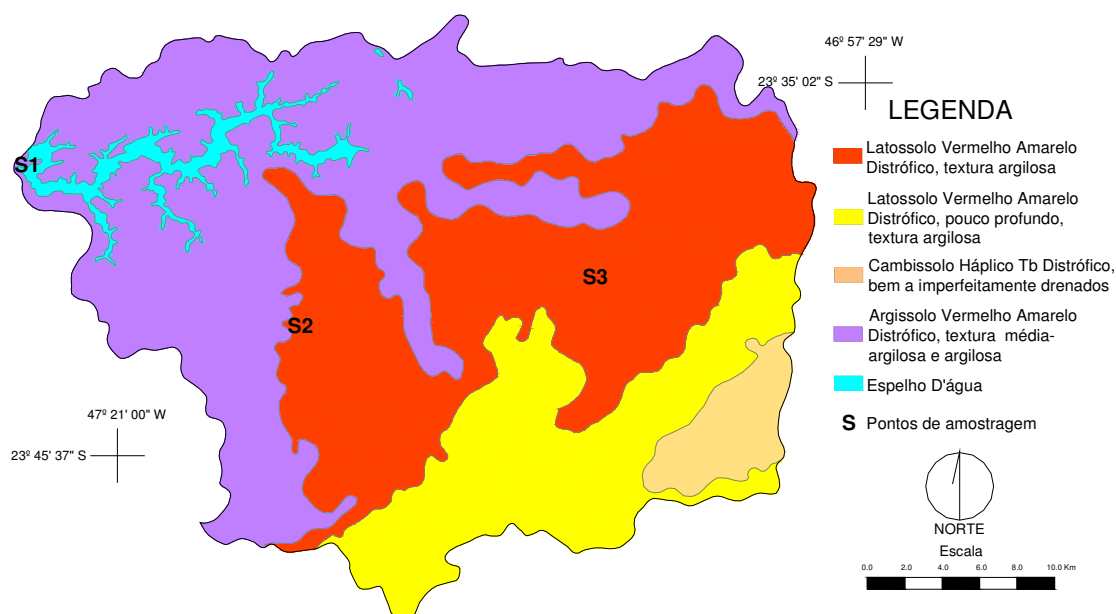


Figura 2.11. Mapa Pedológico da bacia do Alto Sorocaba com os pontos de coleta de amostras de solo (S1 a S3). Modificado de IPT (2005).

Tabela 2.6. Classes de solos, área de ocorrência e área relativa na bacia do Alto Sorocaba (IPT, 2005).

Classe de Solo	Área (km ²)	Área Relativa (%)
Argissolo vermelho-amarelo distrófico	387	41,7
Latossolo vermelho-Amarelo distrófico	308	33,1
Latossolo vermelho-amarelo distrófico pouco profundo	171	18,4
Cambissolo háptico Tb distrófico	36	3,8
TOTAL	902	97

2.4 – Geologia

A maior parte da área em estudo encontra-se na Região de Dobramentos Sudeste, no Bloco São Roque (HENNIES et al., 1967; HASUI, 1975), a norte da zona de cisalhamento Taxaquara e Pirapora, ambas com direção NE. A feição marcante é a compartimentação em blocos, posicionados lado a lado em unidades de idades distintas. Considerando-se o modelo de colisão Brasileira/Pan-africana do tipo A, com subducção para leste (NEVES & CORDANI, 1991) tem-se intenso sistema de cisalhamento transcorrente e uma grande expressão de rochas plutônicas de idades cronocorrelatas, com complexa evolução magmática, e presença de rochas granitóides com tendências químicas cálcio-alcálicas,

peraluminosas e metaluminosas, seguidas tardiamente pelas suítes subalcalinas a alcalinas colocadas em condição de epizona.

Composta por diversas estruturas geológicas, com período de formação de seus complexos rochosos datando desde o Proterozóico Médio-Superior até o Quaternário, destacam-se na bacia do Alto Sorocaba dois principais domínios litológicos: o Domínio São Roque e o Domínio Embu. Nos mesmos estão inseridas diversas feições geológicas características como é o caso dos Maciços Granitóides São Francisco e São Roque, pertencentes ao Domínio São Roque, e os Maciços Granitóides Ibiúna e Caucaia, inseridos no Domínio Embu (IPT, 2000).

Segundo HASUI & SADOWSKI (1976) o magmatismo da região apresenta três fases distintas: pré-tectônica, sin-tectônica e pós-tectônica. A primeira é composta por rochas básicas, submetidas a um metamorfismo regional com predomínio de fácies xisto-verde, atingindo em alguns corpos a fácies anfibolito. A fase sin-tectônica é constituída por granitóides diversos, em forma de *stocks* e batólitos, havendo nesta época a formação dos maciços São Roque, Caucaia, São Francisco e Ibiúna.

2.4.1 – Domínio São Roque

O Domínio São Roque, definido por HASUI et al. (1978), situa-se entre as zonas de cisalhamento Pirapora-Taxaquara e Jundiuvira. Sua porção ocupa uma pequena região da zona norte da bacia, de forma que a zona de cisalhamento superior, Jundiuvira, não ocorre na bacia. O Grupo São Roque é formado pela deposição de unidades rítmicas distais rasas e vulcânicas básicas. Assim, ele é constituído por uma seqüência metavulcano-sedimentar de baixo a médio grau metamórfico tais como xistos, filitos, quartzitos, metaconglomerados, cálcio-silicáticas, metabásicas e quartzitos ferríferos bandados, em fácies xisto verde a anfibolito baixa (HASUI, 1975; JULIANI et al., 1986; GODOY et al., 1996a, 1996c). As idades $T_{DM} > 2.4$ Ga de parte das fontes das rochas metassedimentares e metavulcânicas do Grupo São Roque, representam valores que caracterizam a presença de crosta continental e manto arqueano neste domínio (GODOY, 2003).

O Complexo Granitóide São Roque apresenta uma área com 190 km², forma aproximadamente triangular de direção geral NE-SW, com contato tectônico com rochas metassedimentares de baixo a médio grau metamórfico dos grupos São Roque/Itaberaba, definido pelas zonas de cisalhamento de Mairinque a oeste, Araçarigüama a leste e Taxaquara a sul, em contato com o Complexo Embu (ARRAIS, 2006). Segundo ANDRADE (1993), estas rochas, quanto às características litoquímicas, são classificadas como cálcio alcalinas; sua evolução pode ter ocorrido em dois grandes ciclos magmáticos, indicados por seqüências

contínuas de diferenciação. Ocupa aproximadamente 8 km², ou 0,9 % de toda a área da bacia (Tabela 2.7 e Figura 2.12).

O Complexo São Francisco compreende fácies granitóides representadas principalmente por sienogranitos ao lado de quantidades menores de monzogranitos (GODOY, 1989; GODOY & FIGUEIREDO, 1991a; HACKSPACHER et al., 1991). É intrusivo no Grupo São Roque e apresenta forma de gota, possui uma área exposta de aproximadamente 150 km² de formato ovalada e direção preferencial do eixo maior a ENE-WSW, paralelo às Zonas de Cisalhamento de Pirapora e Taxaquara, no sudeste do Estado de São Paulo (GODOY & FIGUEIREDO, 1991b). ARRAIS (2006) define que o corpo constituiu-se predominantemente na sua parte central de granitos de composição sienogranítica, porfiróide, geralmente com matriz média a grossa, localmente com feições *rapakivi* em alguns megacristais. Já as partes marginais do maciço, na porção central e oriental, caracterizam-se por contatos gradacionais para fácies porfiróides róseas de granulação média a fácies equigranulares róseas. Ocupa aproximadamente uma área de 43 km² dentro da bacia, conforme a Tabela 2.7 e Figura 2.12.

2.4.2 – Domínio Embu

As unidades litológicas do Domínio Embu caracterizadas na bacia distribuem-se desde o Proterozóico Inferior até o Cenozóico. No Domínio Embu predominam paragneisses e migmatitos do Complexo Embu, já que este é composto por rochas metassedimentares migmatizadas de alto grau metamórfico, aflorantes a sul da Zona de Cisalhamento Taxaquara (HASUI, 1973, 1975; HASUI et al., 1976; GODOY et al., 1996b). Apresentam idade de deposição de cerca de 1,8 Ga do Proterozóico Médio-Superior (TASSINARI, 1988) e se caracterizam pela deposição de sedimentos pelíticos e psamíticos, compostos por sillimanita - granada gnaisses, migmatitos, xistos e quartzitos, possivelmente sobre um embasamento mais antigo (OLIVEIRA et al., 1992, 1998).

O Maciço Granitóide Ibiúna é a feição geológica predominante, ocupando 49,6% da área superficial da bacia ou 461 km² (Tabela 2.7 e Figura 2.12). Possui caráter intrusivo no Complexo Embu e seus contatos com as rochas encaixantes são predominantemente Tectônicos. GODOY (2003) definiu o Complexo Ibiúna como sendo constituído por nove fácies granitóides leucocráticas, compostas predominantemente por monzogranitos e subordinadamente por sienogranitos, com feições porfiróides, sendo secundado por rochas inequigranulares, incluindo raras e localizadas ocorrências de enclaves de rochas quartzodioríticas. As unidades litológicas caracterizadas na área distribuem-se desde o Proterozóico

Inferior até o Cenozóico e são representadas em grande parte por rochas granitóides que ocorrem associadas a pacotes de metassedimentos (ARRAIS, 2006).

O Maciço Caucaia, a norte, encontra-se em contato tectônico com os metassedimentos do Grupo Embu e com o granitóide de Ibiúna e a sul é intrusivo nos referidos metassedimentos. O limite noroeste é determinado na sua maior extensão pela zona de cisalhamento Caucaia que o coloca em contato com rochas metassedimentares do Complexo Embu e granitóides do Maciço Ibiúna (GODOY et al., 1992). Através de estudo geoquímico e tectônico na folha São Roque GODOY et al. (1996a) caracterizaram as rochas do Maciço Caucaia como tardi-orogênicas. Os litotipos composicionais, segundo ARRAIS (2006), correspondem a sieno e monzogranitos, sendo reconhecidos tipos texturais equigranulares a inequigranulares, róseos e acinzentados, representados por três fácies principais, monzogranito cinza, sieno a monzogranito róseo e sienogranito róseo.

Sedimentos recentes constituem os depósitos de fundo de vale, ocorrendo junto à rede de drenagem dos principais corpos d'água. São constituídos principalmente por areias e argilas, subordinadamente cascalhos e turfas (GODOY, 1989). Esta característica litológica representa os aluviões de planícies e terraços.

Tabela 2.7. Classes geológicas e suas respectivas áreas dentro da bacia do Alto Sorocaba (IPT, 2005).

<i>Classe Geológica</i>	<i>Área (km²)</i>	<i>Área Relativa (%)</i>
Aluviões de Planícies e Terraços	36	3,8
Coberturas superficiais inconsolidadas	15	1,6
Rochas de composição variada com texturas miloníticas	5	0,5
Granitos e Granodioritos		
A - São Francisco	43	4,6
B - São Roque	8	0,9
C - Caucaia	72	7,8
D - Ibiúna	461	49,6
Grupo São Roque - Metabasitos e metaultrabasitos	14	1,5
Grupo São Roque - Metarritmitos e Filitos	37	4,0
Complexo Embu - Gnaisses Migmatíticos	211	22,7
TOTAL	902	97

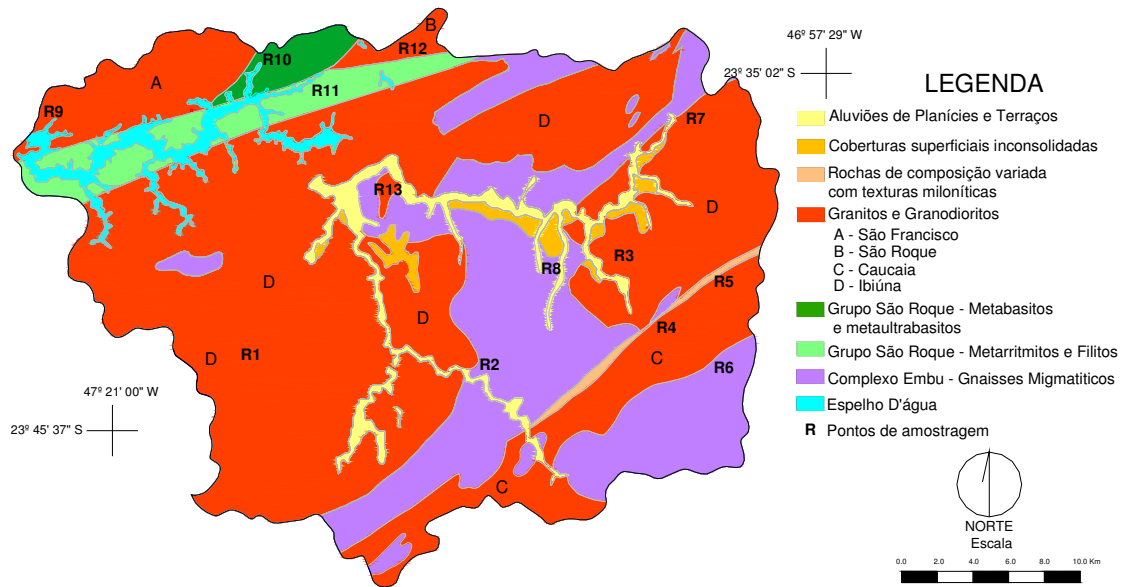


Figura 2.12. Mapa Geológico da bacia do Alto Sorocaba com os pontos de coleta de amostras de rocha (R1 a R13). Modificado de IPT (2005).

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 – Avaliação simplificada de impactos ambientais na bacia

Inicialmente procurou-se identificar os principais impactos visuais dos cursos d'água que formam a bacia do Alto Sorocaba. Esse método foi escolhido, pois, permite fácil compreensão dos resultados, aborda fatores biofísicos e indiretamente sociais, além de fornecer boa orientação para o prosseguimento dos estudos.

Para facilitar a avaliação dos pontos a serem analisados, criou-se um índice de análise ambiental simplificado (Quadro 3.1). Considerando a subjetividade de alguns indicadores, houve uma aferição prévia dos mesmos antes de iniciar a sua aplicação em campo. O índice auxiliou na identificação dos impactos na cobertura vegetal, fauna e no entorno do recurso hídrico (riscos à saúde, impactos sonoros, lixo e saneamento) que, de uma forma ou de outra afetam o ambiente natural. Após o preenchimento da planilha contendo os pesos apresentados no Quadro 3.1, somaram-se os pontos de cada questão, mínimo zero e máximo vinte e um, ou seja, quanto maior a pontuação, menor o nível de impacto na área estudada. Assim, valores de 17 a 21 pontos indicam mínima ou pouca presença de impacto, de 11 a 16 indicam moderada presença de impacto, de 5 a 10 pontos sugerem impacto alto ou preocupante e menor ou igual a 4 indicam presença muito alta de impacto.

Os pontos analisados a partir do emprego do Quadro 3.1 (análise ambiental simplificada) foram divididos por sub-bacias, sendo: (*Un*) sub-bacia do Rio de Una; (*Sb*) sub-bacia do Rio Sorocabuçu; (*Sm*) sub-bacia do Rio Sorocamirim; (*Vg*) sub-bacia do Ribeirão da Vargem Grande, localizado na sub-bacia do Rio Sorocamirim; e (*Af*) afluentes da represa de Itupararanga.

Quadro 3.1. Pesos utilizados para situações encontradas em campo visando identificar impactos ambientais na bacia do Alto Sorocaba.

Cobertura Vegetal no Entorno	Peso	Riscos associados ao Recurso Hídrico	Peso
Sem vegetação	0	Ferimento fatal	0
Com vegetação rasteira	1	Ferimento traumático	1
Com vegetação arbustiva	2	Ferimento leve	2
Com vegetação arbórea	3	Sem risco associado	3
Fauna no Entorno		Danos ao Recurso Hídrico	
Ausência de animais nativos	0	Vandalismo	0
Pouca presença animais nativos	1	Danos no entorno ou estrutura	1
Moderada presença animais	2	Inscrições em rochas/vegetação	2
Grande presença de animais	3	Sem danos	3
Lixo no Recurso Hídrico e/ou Entorno		Saneamento	
Muito lixo	0	Fossa e/ou Esgoto	0
Pouco lixo	1	Dejetos ou urina	1
Lixo em latões	2	Entulhos (lixo)	2
Sem lixo	3	Ausente (sem lixo)	3
Impactos sonoros			
Grande quantidade de som	0		
Média quantidade de som	1		
Pequena quantidade de som	2		
Sem impactos sonoros	3		

3.2 – Amostragem de solos, rochas e águas da bacia

As amostras de solo (horizonte C) foram coletadas em três pontos representativos dentro da bacia para a quantificação do teor de urânio. A primeira amostra (**S1**) foi coletada em solo derivado do Granito Ibiúna. Neste local encontra-se Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, textura argilosa. A segunda amostra (**S2**) foi coletada em solo derivado do Granito São Francisco, Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico, textura média- argilosa e argilosa. Já a terceira amostra (**S3**) foi coletada em solo derivado da alteração de gnaisses do Complexo Embu, onde há Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico, textura média- argilosa e argilosa.

As amostras de rochas frescas (não alteradas), foram coletadas na bacia e selecionadas pela sua representatividade espacial, composição mineralógica e grau de alteração, sendo selecionados ao todo, treze pontos de amostragem. As amostras foram quantificadas quanto ao teor de urânio, sódio, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, silício, fósforo, titânio, manganês e ferro. Localizada na sub bacia do Rio de Una, a amostra **R1** foi coletada no granito Pilar do Sul, já as amostras **R2**, **R6** e **R8** foram coletadas no Complexo Embu. A

amostra **R2** está localizada na sub bacia do Rio Sorocabuçu, já as amostras **R6** e **R8** na sub bacia do Rio Sorocamirim. Na sub-bacia do Rio Sorocamirim também foram coletadas as amostras **R3**, **R7** e **R13** no granito Ibiúna. No granito Caucaia foram coletadas as amostras **R4** e **R5** ambas na sub bacia do Rio Sorocamirim, próximo à cidade de Caucaia do Alto. As amostras **R10** e **R11** foram coletadas no Grupo São Roque próximo à represa de Ituparanga, na bacia do Rio Sorocaba. Já a amostra **R12** foi coletada no granito São Roque, também na bacia do Rio Sorocaba.

Para as águas fluviais, oito pontos de amostragem foram estabelecidos, sendo realizadas seis coletas de águas superficiais entre Agosto de 2006 e Janeiro de 2007 (13/08/2006, 20/09/2006, 18/10/2006, 23/11/2006, 19/12/2006 e 10/01/2007), abrangendo os períodos seco e chuvoso. As águas foram caracterizadas quanto à temperatura (°C), pH, condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e oxigênio dissolvido (mg/L) por intermédio de equipamentos de leitura direta no próprio local de amostragem. Amostras foram armazenadas em vasilhames de polietileno para a quantificação dos teores de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NO_3^- , HCO_3^- , Cl^- , Al, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn e sólidos (dissolvidos e suspensos). Dados de urânio dissolvido também foram obtidos para algumas amostras.

Vinte amostras de água pluvial foram coletadas no município de Ibiúna, com início em Março de 2006 e término em Janeiro de 2007 (25/03/06, 06/04/06, 16/04/06, 23/05/06, 26/06/06, 10/07/06, 30/07/06, 19/08/06, 17/09/06, 20/09/06, 23/09/06, 16/10/06, 19/10/06, 10/11/06, 03/12/06, 06/12/06, 20/12/06, 04/01/07, 08/01/07 e 17/01/07). Para isto, foi utilizado um coletor do tipo “bulk”, deposição seca e úmida. As águas foram caracterizadas quanto ao pH e condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) no próprio local de amostragem. Amostras foram armazenadas em vasilhames de polietileno para a quantificação dos teores de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NO_3^- , HCO_3^- , Cl^- , Al, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn.

3.3 – Quantificação físico-química e química das rochas e águas da bacia

As amostras de rochas passaram por um processo de cominuição por marreta; posteriormente, no LAGEPE (Laboratório de Preparação de Amostras Geológicas e Pedológicas, do IGCE – Unesp – Rio Claro), passaram por um britador de mandíbula do tipo *DENVER*, para diminuir a granulação e homogeneização. Na etapa seguinte, houve a pulverização das amostras em moinho oscilante com panela de tungstênio, até reduzir à granulação de silte fino e argila.

As amostras de rocha já pulverizadas foram depois encaminhadas ao Laboratório de Geoquímica (LABOGEO) do Departamento de Petrologia e Metalogenia (DPM) do Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), UNESP de Rio Claro para a quantificação dos seguintes elementos: sódio, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, silício, fósforo, titânio, manganês e ferro. Para tanto, utilizou-se o Espectrômetro de Fluorescência de raios-X da marca *Phillips*, modelo PW 2510.

As medidas de temperatura da água, concentração do oxigênio dissolvido, potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade foram feitas por intermédio de equipamentos de leitura direta no próprio local de amostragem. Para isso foram utilizados: termômetro Digital *Pocket CE* da Onda Científica Ltda; oxímetro HI 9142 da *Hanna Instruments (Portable Waterproof Dissolved Oxygen Meter)*; medidor de pH da *Hanna Instruments* e condutivimêtro *DIST 4* da *Hanna Instruments*.

Utilizando um frasco de polietileno, previamente lavado com água destilada e enxaguado no campo com a água coletada, as amostras foram transportadas ao Laboratório de Química Ambiental do Departamento de Engenharia Ambiental da UNESP de Sorocaba (SP), onde foram analisados os seguintes parâmetros químicos: alcalinidade, sulfato, fosfato, nitrato, sódio, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco. Alíquotas das amostras de água foram conservadas e posteriormente levadas para o Laboratório de Isótopos e Hidroquímica (LABIDRO) do Departamento de Petrologia e Metalogenia (DPM) do IGCE da UNESP de Rio Claro (SP) onde foram analisados os teores de cloreto, sólidos totais dissolvidos e sólidos totais suspensos.

A alcalinidade foi determinada por titulação com ácido sulfúrico 0,01 N para a faixa de concentração entre 1 e $500 \pm 0,2$ mg/L (STANDARD METHODS, 1999). Com o auxílio de um balão volumétrico, adicionou-se 100 ml de cada amostra em um béquer. Introduzindo um eletrodo de pH, iniciou-se a titulação com o ácido sulfúrico (H_2SO_4), anotando-se o volume utilizado, até que o pH da amostra fosse igual a 4,35. Posteriormente, obteve-se a alcalinidade a partir da equação:

$$\text{Alcalinidade} = \frac{\text{Vol. gasto ácido} \times N. \text{ ácido} \times 1000}{\text{Vol. amostra utilizado}} \quad (1)$$

Sulfato (método turbidimétrico do sulfato de bário, de 0 a $70 \pm 0,9$ mg/L), fosfato (método do ácido ascórbico, de 0 a $3 \pm 0,01$ mg/L) e nitrato (método de redução de cádmio, de 0 a $30 \pm 0,8$ mg/L) foram quantificados por espectrofotometria com o equipamento DR 2000 da *Hach Company* (HACH, 1992). Sódio, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco foram quantificados por espectrometria de absorção atômica (AAS – *Varian 240-FS*).

Para as determinações de cloreto, utilizou-se o método potenciométrico ($0,1$ a $100 \pm 0,02$ mg/L), empregando-se um eletrodo íon-sensível Orion modelo 94-17B e um eletrodo de referência Orion modelo 90-02 (junção dupla) e o analisador Analion modelo IA-601. A curva de calibração (Figura 3.1) foi construída utilizando-se padrões de três concentrações (1, 10 e 100 mg/L), sendo o valor obtido através da fórmula:

$$[Cl^-] = 10^{5,59 - 0,03 * Pot}$$

(2)

Onde:

Pot = leitura do aparelho (mV)

[Cl⁻] = concentração (mg/L)

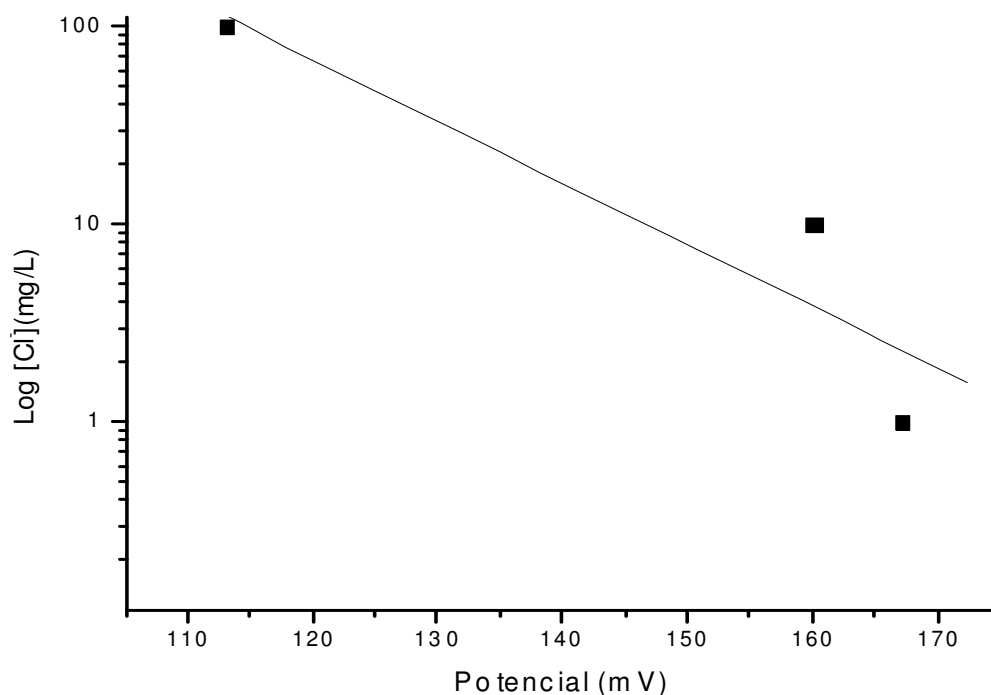


Figura 3.1. Curva de calibração para o eletrodo sensível a cloreto.

Os sólidos totais dissolvidos e sólidos totais suspensos foram analisados de acordo com os *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 20^a edição (metodologia gravimétrica). Béqueres de 50 mL e membranas *Millipore* de abertura 0,45 µm foram previamente aquecidos em estufa a 105°C durante uma hora para a retirada da umidade; posteriormente, foram colocados em dessecadores para atingir a temperatura ambiente, sendo, por último, pesados em balança eletrônica.

Para os sólidos totais dissolvidos, adicionou-se 50 mL de cada amostra nos béqueres, deixando-os na estufa até evaporação total a 105°C. Após isto, foram retirados e colocados em dessecadores, ficando em descanso até atingir a temperatura ambiente e pesados em balança eletrônica. Para os sólidos totais suspensos, as amostras de água foram filtradas num kitassato acoplado a bomba de vácuo, onde ficaram aderidos nas membranas *Millipore*. Então, elas foram aquecidas em estufa a 105°C, posteriormente colocadas no dessecador e pesadas após atingir a temperatura ambiente. Para ambos, foi utilizado o seguinte cálculo:

$$STD (S) = \frac{(P1 - P2)}{\text{Volume Amostra}} \quad (3)$$

Onde:

P1: peso final do béquer (filtro)

P2: peso inicial do béquer (filtro)

3.4 – Quantificação de urânio nos solos, rochas e águas por espectrometria alfa

O teor de urânio foi quantificado de acordo com a realização de várias etapas descritas por BONOTTO (1996, 2004), conforme a Figura 3.2. Todas as análises foram feitas no Laboratório de Isótopos e Hidroquímica (LABIDRO) do Departamento de Petrologia e Metalogenia do IGCE da UNESP de Rio Claro (SP).

Para solos (horizonte C), foram analisadas 3 amostras, para rochas foram analisadas 13 amostras e para águas superficiais foram analisadas 12 amostras (os pontos 7 e 8 foram analisados durante todo o período de amostragem, isto é, de 13/08/2006 a 10/01/2007).

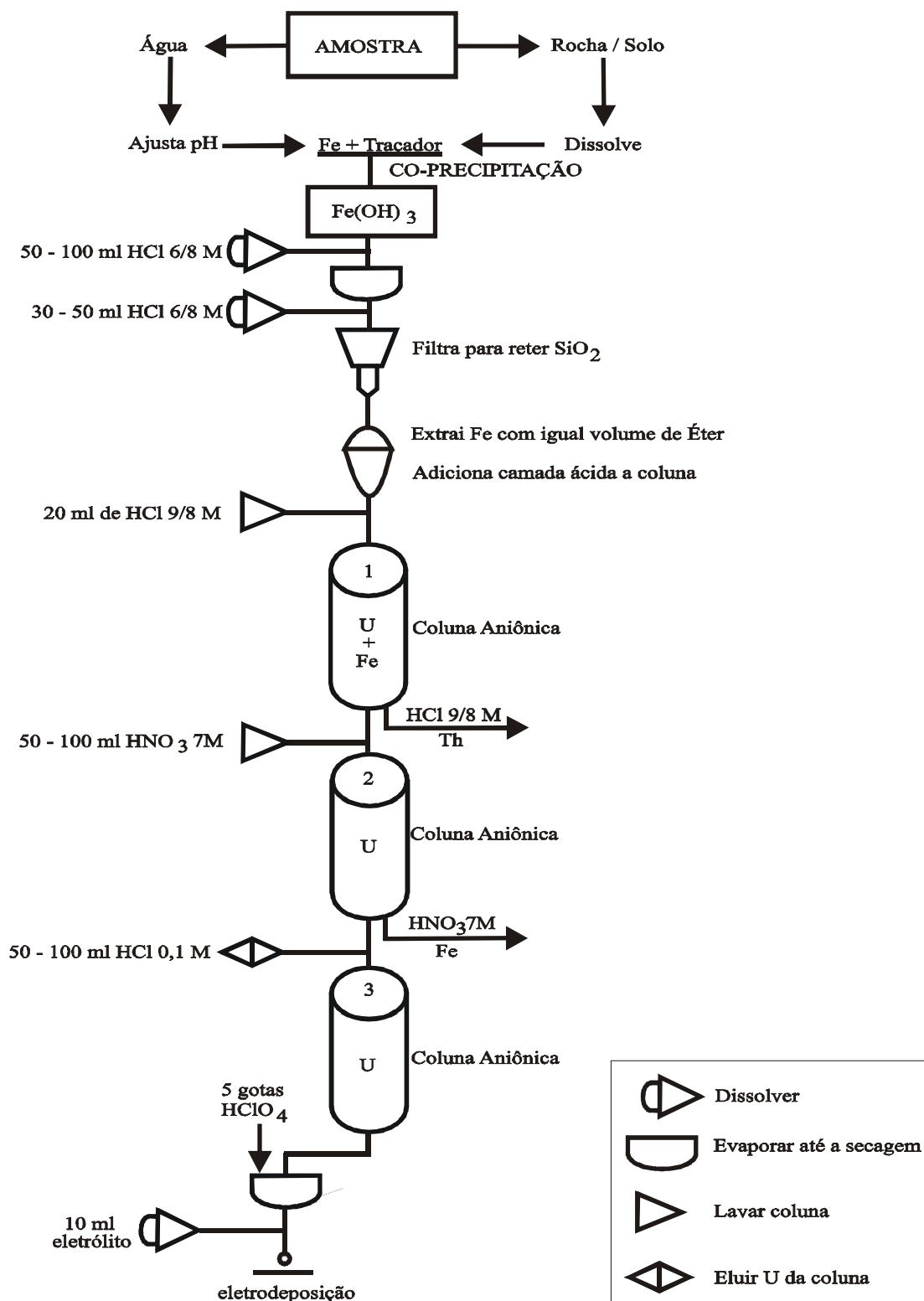


Figura 3.2. Diagrama do procedimento de extração de urânio (BONOTTO 1996, 2004).

3.4.1 – Coleta e filtração

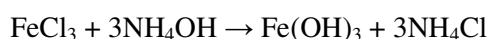
Uma quantidade de 0,5 a 1 g de solo e rocha pulverizada (item 3.3) foi submetida ao processo de lixiviação com água régia (HCl – HNO₃) por aproximadamente 8 horas. Em seguida adicionou-se o traçador radioativo artificial ²³²U – ²²⁸Th e água destilada à solução, sendo que a partir desse ponto o procedimento correspondeu ao mesmo utilizado para as amostras de água.

Para as amostras de águas superficiais, primeiramente foi efetuada a coleta de um volume de cerca de 20 L, o qual foi recolhido em vasilhame de polietileno inicialmente enxaguado com solução 1:1 de ácido clorídrico (HCl) e água destilada, lavado com água destilada e seco. Antes da coleta, cada vasilhame foi numerado e pesado, sendo enxaguado no campo com a água amostrada.

Todas as amostras foram filtradas em membrana *Millipore* de 0,45 µm num kitassato acoplado a bomba de vácuo, sendo definido o urânio “solúvel” como o presente na fase líquida após passar por este filtro. As amostras filtradas foram pesadas e acidificadas até atingir um pH ≤ 2,0, a fim de evitar a precipitação de Fe³⁺ no recipiente. Em seguida, adicionou-se cloreto férrico (FeCl₃) e o traçador radioativo ²³²U – ²²⁸Th.

3.4.2 – Coprecipitação do urânio

À amostra acidificada, adicionou-se hidróxido de amônio de maneira a elevar o pH até 7,5. Nesse pH, o hidróxido férrico precipita de acordo com a seguinte reação:



O hidróxido férrico precipita e floccula rapidamente de uma solução supersaturada, “arrastando” o urânio e outros elementos. Como as amostras de águas superficiais envolveram a análise de um volume de cerca de 20 L, aguardou-se um período de 48 a 72 horas para o precipitado assentar, retirando-se, então, o sobrenadante. Após recuperação do precipitado por centrifugação, efetuou-se sua dissolução em HCl 8M, condição que propicia a formação de cloreto de urânio.

3.4.3 – Separação do ferro

O Fe³⁺ adicionado à amostra foi separado do urânio através de extração com solvente orgânico, em quantidade igual à do volume da solução. A extração foi efetuada em funil de

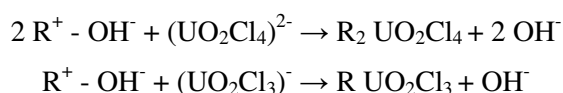
separação, onde o solvente entra em contato com a fase inorgânica e o ferro transfere-se para a fase orgânica após vigorosa agitação. Como solvente foi utilizado o éter etílico.

A camada ácida contendo urânio foi evaporada até secagem e dissolvida em HCl 8M, permanecendo o urânio na forma dos íons complexos $(\text{UO}_2\text{Cl}_4)^{2-}$ e $(\text{UO}_2\text{Cl}_3)^-$ e o ferro residual na forma de íons FeCl_4^- .

3.4.4 – Resina de troca iônica

Para separar o urânio do ferro residual, tório e outros elementos, efetuou-se a passagem da solução ácida em resina de troca iônica. A reação de troca iônica ocorre em virtude da propriedade que leva alguns materiais sólidos (trocadores iônicos) a permutarem íons de mesma carga presentes na fase líquida. Geralmente, os trocadores iônicos empregados são resinas obtidas pela introdução de grupos ionizáveis numa matriz polímera. Foi utilizada neste trabalho a resina de troca iônica *Rexyn 201* da *Fisher Scientific Company*, fortemente básica, de porosidade variando entre 50 a 100 mesh, e capacidade total de troca de 1,4 mEq/mL a qual está sob a forma iônica OH^- .

As colunas utilizadas possuem um diâmetro ao redor de 12 mm e para um volume de 20 mL de resina, empregou-se uma velocidade de escoamento da solução da ordem de 0,1 cm/minuto ou 20 gotas por minuto. Quando se passa a solução através desta coluna contendo a resina previamente acidificada com HCl 8M, a seguinte reação de troca iônica ocorre com os íons complexos de cloreto de uranila:



A resina acidificada com HCl 8M retém também o Fe^{3+} que está na forma de íons complexos FeCl_4^- , mas deixa passar os elementos alcalino-terrosos e o tório. O Fe^{3+} pode ser eluído com HNO_3 7M, o qual permite que o urânio permaneça retido na resina.

Os íons de cloreto de uranila não são estáveis em soluções muito diluídas de HCl, e podem ser eluídos da coluna com HCl 0,1M, solução que é evaporada até secagem.

3.4.5 – Eletrodeposição do urânio

O sistema utilizado para a eletrodeposição neste trabalho foi desenvolvido inicialmente no laboratório de Geoquímica Isotópica da Universidade de Bath na Inglaterra, o qual foi adaptado por BONOTTO (1996). A célula de eletrodeposição consiste de um cilindro

de teflon PTFE, com uma flange, o qual é mantido preso a um disco de aço inoxidável (cátodo) por três parafusos e um anel de latão. Quando os parafusos são apertados, não há saída de líquido entre o cilindro de teflon e o disco. O ânodo consiste de um fio de platina de 1 mm de diâmetro, disposto no formato de um núcleo quase helicoidal com um diâmetro de 15 mm (área superficial de 565 mm²). O cátodo é um disco de aço inoxidável de 22,6 mm de diâmetro e 0,27 mm de espessura.

Para a eletrodeposição, utilizou-se 10 mL de eletrólito (NH₄)₂SO₄ 2M. Depois de transferir a solução para a célula de eletrodeposição, ajustou-se o pH para 2,4 através de H₂SO₄ ou NH₄OH e a distância ânodo-cátodo para aproximadamente 1 cm. Conduziu-se a eletrólise numa corrente constante de 300 mA, aplicada por uma fonte DC. Nessa circunstância, a tensão na célula de eletrodeposição é de cerca de 5 V, sendo o tempo de eletrodeposição correspondente a 3 horas. Em seguida, removeu-se o ânodo, lavou-se o disco com água destilada e efetuou-se sua secagem. As fontes obtidas apresentaram cores variáveis devido a formação de diferentes óxidos.

3.4.6 – Espectrometria alfa

A espectrometria alfa de cada disco de aço inoxidável contendo urânio foi realizada empregando-se um detector semiconductor constituído por um cristal de silício do tipo N e criando-se, na vizinhança da superfície do cristal, uma junção abrupta, a barreira de superfície. Para tanto, utilizaram-se detectores de Si (Au) da ORTEC Modelo BA-026-450-300 e ORTEC BA-025-200-100, cada um inserido em uma câmara de formato cilíndrico com duas saídas distanciadas de 90°, conectadas a um vacuômetro e bomba de vácuo. A tampa de cada câmara possui abertura com rosca onde se encontra instalado um conector BNC-Microdot e ainda um porta amostra destinado aos discos com o material radioativo. A saída BNC do detector é ligada diretamente a um pré-amplificador para a detecção dos pulsos negativos provenientes dos pares elétrons-lacunas criados pelas partículas alfa que atingem a junção PN do diodo. O detector é polarizado por uma fonte de corrente contínua com controle de tensão ajustável continuamente desde 0 até 100 V. Os pulsos provenientes do pré-amplificador já no formato apropriado são conduzidos até o amplificador, onde são amplificados até um nível requerido pelo próximo estágio, no caso uma interface, necessária ao acoplamento de um microcomputador DX-486, o qual emprega o programa MAESTRO para *Windows* MODEL A65-B32 Versão 5.0 da EG&G ORTEC, *software* que simula um analisador multicanal. A Figura 3.3 ilustra o sistema de espectrometria alfa utilizado neste trabalho.

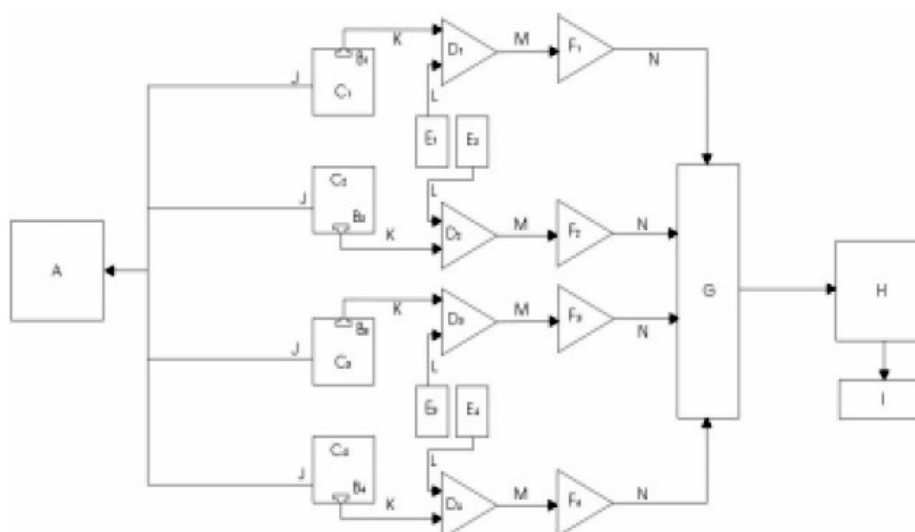


Figura 3.3. Sistema espectrométrico alfa instalado no LABIDRO (DUARTE, 2002). (A) = Bomba de vácuo; (B₁, B₂, B₃ e B₄) = Detectores de barreira de superfície ORTEC; (C₁, C₂, C₃ e C₄) = Câmaras de vácuo; (D₁, D₂, D₃ e D₄) = Pré-amplificadores ORTEC, modelo 142; (E₁, E₂, E₃ e E₄) = Fontes de polarização dos detectores; (F₁, F₂, F₃ e F₄) = Amplificadores ORTEC, modelo 575A; (G) = Espectro Master ORTEC, modelo 919; (H) = Microcomputador; (I) = Impressora; (J, K, L, M e N) = Cabos.

3.4.7 – Cálculo do teor de urânio e razão de atividade $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$

O princípio de diluição isotópica, foi utilizado na determinação da concentração de urânio nas rochas e solos. De acordo com esse princípio, ao se misturar um número conhecido de átomos A_{0232S} de ^{232}U com um número desconhecido A_{238} de átomos de ^{238}U , após completa homogeneização dos isótopos, a razão entre as contagens “líquidas” N_{238} e N_{232} obtidas, respectivamente, nos picos do ^{238}U e ^{232}U presentes no espectrograma obedecerá à relação:

$$\frac{A_{238}}{A_{0232S}} = \frac{N_{238}}{N_{232}} \quad (4)$$

Como cada micrograma de ^{238}U tem atividade de 0,74 dpm (desintegrações por minuto), obtém-se a concentração de urânio (C_{238}) a partir da massa m_{238} (em microgramas) de ^{238}U :

$$\begin{array}{l} 1\mu\text{g } ^{238}\text{U} \text{ ————— } 0,74 \text{ dpm} \\ m_{238} \text{ ————— } A_{238} \end{array} \quad (5)$$

Pode-se expressar C_{238} em partes por milhão (ppm), a partir da massa m de amostra (em gramas) utilizada no processo de extração de urânio, isto é:

$$\frac{m_{238}}{C_{238}} = \frac{m}{1g} \quad (6)$$

Portanto,

$$C_{238} = \frac{m_{238}}{m} = \frac{A_{238}}{0,74m} \quad (7)$$

E de acordo com o princípio de diluição isotópica,

$$C_{238} = \frac{A_{o_{232S}}}{0,74m} \times \frac{N_{238}}{N_{232S}} \quad (8)$$

Como se conhece $A_{o_{232S}}$ ($3,39 \pm 0,15$ dpm) obtém-se:

$$C_{238} = \frac{4,581}{m} \times \frac{N_{238}}{N_{232S}} \quad (9)$$

Determinou-se também a concentração de urânio nas águas superficiais de maneira similar ao efetuado para as rochas e solos.

A concentração de urânio nas águas, C_{238} , pode ser obtida pela relação:

$$\frac{1\mu g \text{ } ^{238}\text{U}}{C_{238} \times V} = \frac{0,74 \text{ dpm}}{A_{238}} \quad (10)$$

Onde:

V = volume de água utilizado no processo de extração de urânio

Analogamente a equação (9), é possível expressar C_{238} (em $\mu\text{g/L}$) pela relação:

$$C_{238} = \frac{4,581}{V} \times \frac{N_{238}}{N_{232S}} \quad (11)$$

Para a obtenção da razão de atividade $RA \text{ } ^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ nas rochas, solos e águas, empregaram-se as contagens líquidas nos picos de ^{234}U e ^{238}U , respectivamente, N_{234} e N_{238} , calculando-se, então a relação N_{234}/N_{238} diretamente a partir do espectrograma obtido.

Em virtude da baixa taxa de contagem verificada em alguns picos, foi necessário decidir realmente ocorreu sua detecção na observação experimental efetuada. O nível crítico (L_c) estabelecido por CURRIE (1968, apud BONOTTO, 1996) permite decidir estatisticamente se um pico foi ou não detectado. Neste trabalho, o nível crítico L_c para a aceitação de uma medida para ^{238}U , ^{234}U e ^{232}U correspondeu a 0,00082, 0,00154 e 0,00225 cpm (contagens por minuto), respectivamente.

3.5 – Quantificação de urânio nas rochas por espectrometria gama

A espectrometria gama também foi empregada para determinar a concentração de urânio (eU) nas amostras de rochas. Isto após um período de armazenagem de 30 dias para se atingir o equilíbrio radioativo na série do urânio. As amostras pulverizadas (item 3.3) foram pesadas, acondicionadas em caixas de alumínio (62 mm de diâmetro e 23 mm de altura) e seladas para evitar escape de gás radônio (BONOTTO, 1996).

A Figura 3.4 ilustra o sistema instalado no LABIDRO e utilizado neste trabalho. Este sistema é formado por uma blindagem de chumbo onde estão colocados o pré-amplificador e o cristal de NaI(Tl), sendo que este está conectado a uma fonte de alta tensão. É nesta blindagem de chumbo que é inserida a amostra acondicionada no recipiente de alumínio. Do pré-amplificador parte um cabo que conduz o sinal ao amplificador e deste para a etapa de seu processamento que é efetuado através do *software* Maestro II da EG & G - ORTEC, instalado em microcomputador.

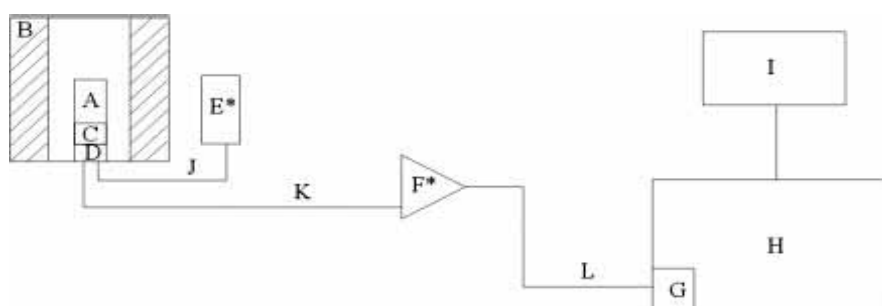


Figura 3.4. Sistema espectrométrico gama instalado no LABIDRO (DUARTE, 2002). (A) = Cristal de NaI(Tl) 2''x 2''; (B) = Blindagem de chumbo; (C) = Fotomultiplicadora; (D) = Pré-amplificador; (E) = Fonte de alta tensão 1000V; (F) = Amplificador ORTEC, modelo 485; (G) = Placa ACE 2k ORTEC, modelo 916a; (H) = Microcomputador; (I) = impressora; (J, K e L) = Cabos.

A obtenção de eU foi efetuada de acordo com o procedimento descrito por DUARTE (2002), sendo os resultados expressos em $\mu\text{g/g}$ (ppm). Leituras periódicas de padrão de KCl foram realizadas com o propósito de monitorar eventual deriva no fotopico do ^{214}Bi utilizado para a geração dos dados de concentração de urânio.

4 – ANÁLISES GEOQUÍMICAS DAS ROCHAS E SOLOS DA BACIA

As análises geoquímicas relativas aos principais óxidos presentes nas rochas estudadas estão apresentadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Análises geoquímicas dos principais óxidos (%) nas rochas da bacia.

<i>Amostra</i>	<i>SiO₂</i>	<i>TiO₂</i>	<i>Al₂O₃</i>	<i>Fe₂O₃</i>	<i>MnO</i>	<i>MgO</i>	<i>CaO</i>	<i>Na₂O</i>	<i>K₂O</i>	<i>P₂O₅</i>	<i>*L.O.I.</i>
<i>R1 granito Ibiúna</i>	66,57	0,61	15,15	3,63	0,06	1,68	2,65	3,71	5,27	0,25	0,43
<i>R2 gnaisse do Complexo Embu</i>	52,54	1,20	25,10	9,48	0,01	0,34	0,03	0,38	5,30	0,05	5,61
<i>R3 granito Ibiúna</i>	61,65	0,89	15,63	6,44	0,10	2,56	4,07	3,37	4,48	0,39	0,42
<i>R4 granito Caucaia</i>	74,75	0,13	13,49	1,53	0,05	0,13	0,93	3,56	4,95	0,04	0,47
<i>R5 granito Caucaia</i>	71,39	0,35	14,44	2,85	0,05	0,46	1,61	3,01	5,41	0,09	0,35
<i>R6 gnaisse do Complexo Embu</i>	63,21	1,00	16,77	8,98	0,65	0,91	0,04	0,09	2,20	0,06	6,09
<i>R7 granito Ibiúna</i>	65,60	0,73	14,96	4,97	0,08	1,87	3,20	3,42	4,75	0,29	0,13
<i>R8 gnaisse do Complexo Embu</i>	58,17	1,30	19,25	9,62	0,07	2,01	0,05	0,06	1,95	0,07	7,45
<i>R9 granito São Francisco</i>	74,54	0,19	12,40	2,18	0,06	0,15	0,88	3,44	5,35	0,05	0,77
<i>R10 metabasito Grupo São Roque</i>	49,80	0,62	16,93	10,14	0,21	6,91	11,32	1,72	0,27	0,05	2,01
<i>R11 metarritmito Grupo São Roque</i>	68,72	0,71	14,56	5,96	0,03	1,47	0,10	0,13	3,45	0,16	4,72
<i>R12 granito São Roque</i>	68,73	0,94	16,69	6,66	0,26	0,44	0,08	0,11	3,65	0,15	2,30
<i>R13 granito Ibiúna</i>	64,19	0,85	14,97	5,22	0,08	1,86	3,80	4,18	4,06	0,33	0,45

* L.O.I. = perda ao fogo (%)

A amostra R1 (Figura 4.1a) consiste de um granito róseo porfiróide de composição predominantemente monzogranítica, leucocrática e granulação média a grossa, com microclínio, plagioclásio, quartzo e biotita. O teor de SiO_2 (66,6%) caracteriza-o como rocha ácida ($\text{SiO}_2 > 65\%$ DANA, 1974).

Quanto às rochas do Complexo Embu, a amostra de gnaiss migmatítico R2 (Figura 4.1b) possui um teor de SiO_2 igual a 52,5%. As amostras R6 e R8 exibem um comportamento semelhante pois, apresentam teores de SiO_2 correspondentes a 63,2% e 58,2%, respectivamente. Quanto aos minerais, há o predomínio de biotita, muscovita e sillimanita, porém com variação da quantidade e tamanho das micas.



Figura 4.1. Amostras do granito Ibiúna (a) e gnaiss migmatítico do Complexo Embu (b).

Ainda para o granito Ibiúna (R3, R7 e R13) há uma variação quanto ao teor de SiO_2 de 61,6% a 65,6% caracterizando, assim, como rochas de composição intermediária a ácida. As amostras R3 e R13, são formadas por quartzo, microclínio e plagioclásio, exibindo também fácies hornblenda biotita monzogranito porfiróide, de composição monzogranítica inequigranular, porfiróide de coloração cinza rosada (Figura 4.2a), além de cristais tabulares e irregulares de microclínio róseo. A amostra R7 apresenta textura porfiróide de cor cinza, composição predominantemente monzogranítica, leucocrática, equigranular, formada por plagioclásio, quartzo, microclínio, biotita e hornblenda (Figura 4.2b).

No granito Caucaia (R4 e R5), as amostras analisadas apresentam valores de SiO_2 igual a 74,8% e 71,4% sendo assim, ácidas. A amostra R4 é um sienogranito inequigranular de granulação média e coloração rósea e cinza (Figura 4.2c), já a amostra R5 é um monzogranito inequigranular com granulação média a grossa de coloração cinza (Figura 4.2d). Ambas são constituídas basicamente por quartzo, microclínio, plagioclásio e biotita, diferenciando-se apenas pelos minerais acessórios e secundários.



Figura 4.2. Amostras do granito Ibiúna de coloração cinza rosada (a) e cinza (b), e do granito Caucaia: sienogranito (c) e monzogranito (d).

A amostra R9 foi coletada no granito São Francisco, considerada ácida pelo teor de SiO_2 igual a 74,5%, representada por sienogranito equigranular de textura *rapakivi*, granulação média a fina e coloração rósea, composto basicamente por microclina perítica, plagioclásio, quartzo e biotita (Figura 4.3a).

Para as rochas do Grupo São Roque (R10 e R11), as maiores diferenças foram encontradas quanto aos teores de SiO_2 (49,8% e 68,7%), MgO (6,9% e 1,5%), CaO (11,3% e 0,1%) e K_2O (0,27% e 3,4%). A amostra R10 consiste de rocha metabásica de coloração cinza e constitui basicamente de actinolita-tremolita, albita, clorita, epidoto, biotita e quartzo (Figura 4.3b). A amostra R11 pode ser descrita como um metarritmito, o qual devido ao seu grau de alteração, possui coloração castanho avermelhada, e é constituída basicamente de quartzo, mica e biotita (Figura 4.3c).

Já o granito São Roque, amostra R12, com teor de SiO_2 igual a 68,7%, é considerada ácida, possui granulação inequigranular média e megacristais de microclínio, sendo formada por oligoclásio, quartzo biotita e hornblenda (Figura 4.3d).



Figura 4.3. Amostras do granito São Francisco (a), metabásica do Grupo São Roque (b), metarritmito do Grupo São Roque (c) e granito São Roque (d).

A área de ocorrência, composição mineralógica e concentração de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} nas rochas da bacia do Alto Sorocaba estão representados na Tabela 4.2. Os dados da concentração média ponderada foram obtidos através da equação:

$$W = \sum_{i=1}^n (MiAi)/\Sigma Ai \quad (12)$$

Onde:

W = Concentração média ponderada

Mi = Valor médio da concentração para as rochas da bacia

Ai = Área aproximada de ocorrência

Os valores médios obtidos (em g/kg) a partir da análise química dos óxidos nas rochas da bacia indicam que os elementos químicos seguem a seguinte tendência: $\text{K} > \text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$.

Tabela 4.2. Dados mineralógicos e concentração de Na⁺, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ (g/kg) nas amostras de rochas da bacia.

Descrição	Área (%)	Mineralogia	Amostra	Litotipo	Valor medido				Valor médio (M)					
					Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		
Aluviões de Planícies e Terraços	3,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Coberturas superficiais inconsolidadas	1,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Rochas de composição variada	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Granito São Francisco	4,6	plagioclásio, quartzo e biotita	R9	Sienogranito	16,83	44,41	6,29	0,9	16,83	44,4	6,29	0,9	0,9	
Granito São Roque	0,9	plagioclásio, microclínio, quartzo biotita e hornblenda	R12	Granito	0,54	30,3	0,57	2,65	0,54	30,3	0,57	2,65	2,65	
Granito Caucaia	7,8	quartzo, microclínio, plagioclásio e biotita	R4	Sienogranito	17,42	41,09	6,65	0,78	16,08	43	9,08	1,78	1,78	
			R5	Monzogranito	14,73	44,91	11,51	2,77						
Granito Ibiúna	49,6	quartzo, microclínio, plagioclásio, biotita e hornblenda	R1		27,29	43,75	18,94	10,13						
			R3		25,24	37,19	29,09	15,44	27,36	38,52	24,52	12,02	12,02	
			R7		25,61	39,43	22,87	11,28						
Grupo São Roque	1,5	albita, clorita, epidoto, biotita e quartzo	R13		31,31	33,7	27,16	11,22						
			R10	Metabasito	8,42	2,24	80,9	41,67	8,42	2,24	80,9	41,67	41,67	
Complexo Embu	22,7	biotita, muscovita e sillimanita	R11	Metarritmito	0,64	28,64	0,71	8,86	0,64	28,6	0,71	8,86	8,86	
			R2		1,86	44	0,21	2,05						
Espelho d'água	2,9	-	R6	Gnaisses migmatíticos	0,44	18,26	0,29	5,49	0,86	26,15	0,29	6,55	6,55	
			R8		0,29	16,19	0,36	12,12						
Concentração média ponderada (W)	100								17,3	31,9	14,5	8,63	8,63	

A técnica de espectrometria alfa foi empregada para a análise das amostras de rochas na área estudada, visando determinar a concentração de urânio e razão de atividade $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$. Os resultados obtidos estão representados na Tabela 4.3, os quais indicam que para a maioria das amostras os valores estão abaixo de limite crítico de detecção (Lc) (CURRIE, 1968). No apêndice estão ilustrados os espectrogramas alfa obtidos para as amostras R4 e R9 (Figuras 1a e 2a). Os teores de urânio obtidos por espectrometria gama também estão representados na Tabela 4.3. No apêndice estão ilustrados os espectros gamas obtidos para as amostras R2 e R12 (Figuras 3a e 4a).

Tabela 4.3. Resultados das análises radiométricas nas amostras de rochas.

<i>Espectrometria alfa</i>							
<i>Amostra</i>	<i>Massa (g)</i>	<i>Tempo (s)</i>	<i>Contagens</i>			<i>Concentração ^{238}U ($\mu\text{g/g}$) **</i>	<i>**Razão de atividade $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$</i>
			<i>N₂₃₈</i>	<i>N₂₃₄</i>	<i>N₂₃₂</i>		
<i>R 1*</i>	0,5	224.226,54	-	-	89	-	-
<i>R 2*</i>	0,5	171.537,20	-	-	79	-	-
<i>R 3*</i>	0,5	155.775,32	-	-	50	-	-
<i>R 4</i>	0,5	157.099,70	37	36	202	1,68	0,98
<i>R 5*</i>	0,5	155.767,90	-	-	121	-	-
<i>R 6*</i>	0,5	86.914,72	-	-	76	-	-
<i>R 7*</i>	0,5	224.225,34	-	-	82	-	-
<i>R 8*</i>	0,5	157.106,02	-	-	34	-	-
<i>R 9</i>	0,5	157.126,78	37	39	150	2,26	1,02
<i>R 10*</i>	0,5	156.153,28	-	-	115	-	-
<i>R 11*</i>	0,5	87.553,54	-	-	25	-	-
<i>R 12*</i>	0,5	156.149,20	-	-	154	-	-
<i>R 13*</i>	0,5	87.555,86	-	-	122	-	-

<i>Espectrometria gama</i>							
<i>Amostra</i>	<i>Massa (g)</i>	<i>Tempo (s)</i>	<i>Canal A</i>	<i>Canal B</i>	<i>Área de leitura (contagem)</i>	<i>Taxa de contagem líquida (cpm)</i>	<i>eU ($\mu\text{g/g}$) **</i>
<i>R 1</i>	63,60	96.349,24	877	969	7067	0,014943520	6,2
<i>R 2</i>	51,48	79.139,48	880	960	7176	0,046635880	20,8
<i>R 3</i>	53,26	88.560,78	868	944	5604	0,015489673	6,5
<i>R 5</i>	58,79	82.692,56	874	956	9318	0,073750460	27,9
<i>R 6</i>	55,18	88.138,92	871	953	6987	0,061556703	12,6
<i>R 7</i>	59,81	84.573,10	902	969	4776	0,028951010	6,5
<i>R 8</i>	38,44	84.822,10	865	943	7144	0,015561727	22,7
<i>R 10</i>	51,76	97.632,12	874	947	4763	0,050588620	0,7
<i>R 11</i>	53,95	89.017,56	896	960	5476	0,063283089	10,2
<i>R 12</i>	65,92	86.408,06	902	963	5383	0,001834871	9,5
<i>R 13</i>	52,12	83.249,38	886	941	3623	0,023884590	3,7

* Abaixo do limite de detecção (Lc). ^{238}U = 0,00082 cpm; ^{234}U = 0,00154 cpm.

** Incerteza analítica de $\pm 10\%$ correspondente ao desvio padrão de 1σ .

Quanto às amostras de solo para a quantificação do teor de urânio, foram estudados três pontos na bacia S1 (a), S2 (b) e S3 (c) (Figura 4.4).

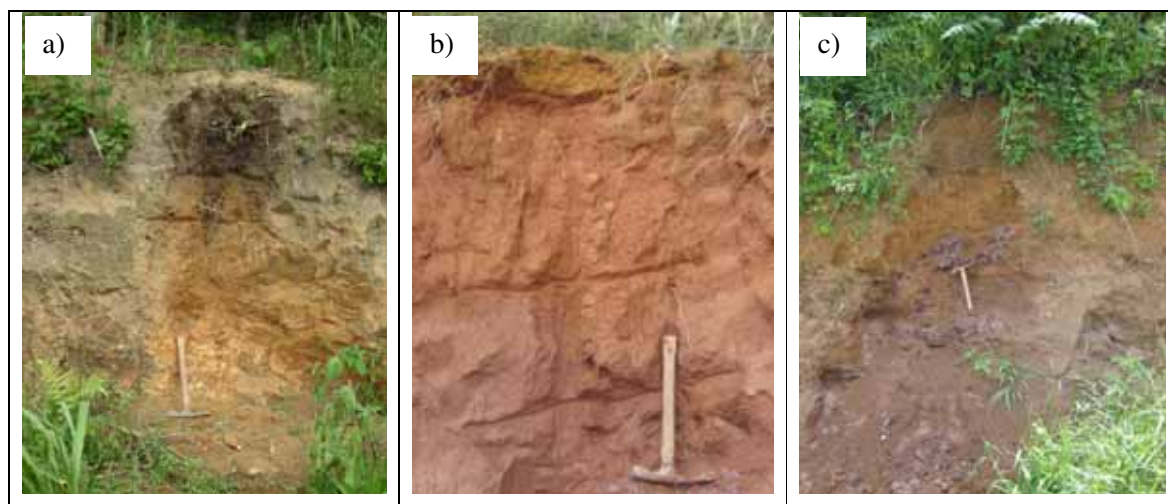


Figura 4.4. Solos S1(a), S2(b) e S3(c) onde foram coletadas amostras para análise de urânio.

A amostra de solo S1 (Figura 4.4a) apresenta um horizonte Ap, com matéria orgânica e grãos angulares pequenos de quartzo e feldspato muito alterado. No horizonte B logo abaixo, foram observados apenas argilo minerais, já no horizonte BCr onde foi quantificado o teor de urânio, observa-se a presença de feldspatos alterados, quartzo e argilas. Por fim, no horizonte Cr₁ foi observada grande quantidade de minerais alterados, sendo quartzo e feldspatos os mais freqüentes, e, logo abaixo deste, está o horizonte Rr (granito São Francisco).

A amostra S2 (Figura 4.4b) apresenta um horizonte Ap, com matéria orgânica e pequenos grãos de quartzo. O horizonte Bt apresenta cutans de argila, logo abaixo deste, o horizonte 2Bti apresenta pequenos grãos angulares de quartzo que sobraram da alteração do granito Ibiúna. No horizonte BCr, com a presença de rocha alterada, foi o local de coleta da amostra para determinação do teor de urânio.

A terceira amostra S3 (Figura 4.4c), apresenta um horizonte A₁ orgânico, com mata logo acima. O horizonte Bi, logo abaixo, é caracterizado pela presença de pequenos grãos angulares de quartzo e mica, que ainda sobraram da alteração da rocha matriz, porém não apresenta cutans de argila. O horizonte BCr, onde foi coletada amostra para análise de urânio, apresenta rochas intactas e alteradas; logo abaixo deste está o horizonte Rr (gnaisse migmatítico).

A Tabela 4.4 apresenta os resultados obtidos por espectrometria alfa para o teor de urânio e razão de atividade $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, os quais indicam que para as amostras S1 e S3 os valores estão abaixo do limite crítico de detecção (Lc) (CURRIE, 1968). No apêndice está ilustrado o espectrograma alfa obtido para a amostra de solo S2 (Figura 5a). Os dados indicam que ocorre uma lixiviação preferencial do ^{234}U em relação ao ^{238}U (razão de atividade $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} < 1$).

Tabela 4.4. Teor de urânio ($\mu\text{g/g}$) e RA $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ nos solos da bacia.

<i>Amostra</i>	<i>Massa</i> (g)	<i>Tempo</i> (s)	<i>Contagens</i>			<i>Concentração</i> ^{238}U ($\mu\text{g/g}$)**	<i>Razão</i> <i>atividade</i> $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ **
			N ₂₃₈	N ₂₃₄	N ₂₃₂		
Solo S1*	1	327.616,28	-	-	186	-	-
Solo S2	1	327.612,34	281	218	627	2,05	0,78
Solo S3*	1	171.499,98	-	-	975	-	-

* Abaixo do limite de detecção (Lc). $^{238}\text{U} = 0,00082$ cpm; $^{234}\text{U} = 0,00154$ cpm.

** Incerteza analítica de $\pm 10\%$ correspondente ao desvio padrão de 1σ .

5 – QUÍMICA DAS ÁGUAS PLUVIAIS NA BACIA

A distribuição das chuvas no Estado de São Paulo está associada ao domínio das massas tropicais continental, marítima e polar, com correntes de sul e leste, à disposição do relevo e à proximidade ou não com o mar (IPT, 2005). Devido a essas características, conforme IPT (2005), cerca de 70 a 80% das chuvas no Estado de São Paulo são originadas dos sistemas extratropicais, por intermédio da Frente Polar Atlântica. A bacia do Alto Sorocaba está localizada na porção Sudeste do Estado de São Paulo, entre a Serra do Mar, ao sul, e o Planalto de Jundiaí, ao norte, ficando a sudoeste da Grande São Paulo. Essa complexidade topográfica associada com o Oceano Atlântico situado à leste (cerca de 100 km) faz com que o clima da bacia seja fortemente influenciado pela atuação de sistemas atmosféricos de grande escala. No entanto, as amostras das águas de chuva podem apresentar influências da presença de sais marinhos na atmosfera, devido à relativa proximidade com o mar.

Na Tabela 5.1 constam os valores de condutividade, pH e os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NO_3^- , Al, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn para as amostras analisadas. Os valores de condutividade apresentaram-se baixos por todo o período estudado, diferente do pH, que é maior no período chuvoso do que no período seco. Já as concentrações de Ca^{2+} e SO_4^{2-} são geralmente maiores em relação à dos demais cátions e ânions, indicando que o pH pode estar sendo controlado por esses dois íons. No período seco há tendência de ocorrer concentração mais elevada de SO_4^{2-} em relação a Ca^{2+} (diminuindo o pH), ocorrendo oposto na época de chuva. Provavelmente isto é devido à deposição de poeira de solos derivados de silicatos e de uma grande mineração de calcário dolomítico ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$).

Tabela 5.1.1. Resultados das análises das amostras de águas de chuva da bacia (valores em mg/L, exceto condutividade e pH).

	Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Al	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
25/03/2006	10	6,0	8,26	0,17	2,23	5,05	1	0,15	0,20	0	0,44	0,101	0,025	0,003	0,049	0,128	0,027
06/04/2006	10	6,4	4,87	0,10	0,69	0,06	1	0,48	0,19	0	0,44	0,101	0,041	0,003	0,043	0,112	0,012
16/04/2006	10	6,7	4,71	0,16	0,73	3,39	1	0,55	0,05	0	0,88	0,108	0,043	0,003	0,038	0,088	0,036
23/05/2006	10	5,8	0,95	0,18	0,57	0,29	2	0,42	0,11	10	1,32	0,105	0,001	0,003	0,022	0,096	0,007
26/06/2006	10	5,3	1,26	0,24	1,46	0,36	11	1,20	0,21	10	2,20	0,107	0,001	0,003	0,013	0,054	0,005
09/07/2006	10	6,2	0,28	0,05	1,13	0,13	12	1,15	0,32	15	1,76	0,112	0,001	0,007	0,017	0,095	0,005
30/07/2006	10	6,3	0,32	0,07	1,32	0,14	12	1,11	0,18	11	2,20	0,123	0,001	0,011	0,003	0,092	0,005
19/08/2006	10	6,4	0,79	0,07	0,88	0,04	6	1,25	0,28	35	1,76	0,380	0,001	0,003	0,013	0,020	0,001
17/09/2006	10	5,5	1,06	0,15	0,55	0,04	3	1,01	0,27	3	3,08	0,452	0,001	0,021	0,013	0,003	0,001
20/09/2006	10	6,3	2,61	0,71	1,00	0,04	6	0,75	0,13	18	3,40	0,456	0,001	0,014	0,062	0,003	0,001
23/09/2006	20	6,6	0,91	0,02	0,40	0,04	3	0,56	0,10	8	3,96	0,450	0,001	0,009	0,036	0,011	0,015
16/10/2006	10	6,1	0,91	0,14	0,36	0,04	6	0,87	0,04	10	1,52	0,450	0,001	0,002	0,002	0,003	0,001
19/10/2006	10	6	2,99	0,11	1,11	0,43	4	0,86	0,29	1	1,52	0,762	0,001	0,001	0,002	0,003	0,001
10/11/2006	10	6,9	3,01	0,06	1,52	0,49	4	0,79	0,22	2	1,96	0,608	0,001	0,001	0,002	0,003	0,004
03/12/2006	10	6,3	3,21	0,10	1,42	0,99	4	0,8	0,15	2	1,81	0,632	0,001	0,001	0,095	0,089	0,005
06/12/2006	10	6,2	3,64	0,12	1,36	0,56	3	0,74	0,16	1	1,68	0,598	0,001	0,001	0,062	0,096	0,010
20/12/2006	10	6,2	2,89	0,16	1,55	0,48	2	0,56	0,18	3	1,34	0,476	0,001	0,001	0,034	0,082	0,011
04/01/2007	10	6,5	4,01	0,15	1,3	0,36	2	0,48	0,11	2	0,88	0,700	0,003	0,003	0,162	0,102	0,015
08/01/2007	10	6,4	4,26	0,19	1,25	0,09	3	0,36	0,09	4	0,88	0,658	0,002	0,005	0,136	0,115	0,009
17/01/2007	10	6,6	3,87	0,21	1,85	0,15	2	0,59	0,10	2	0,44	0,564	0,005	0,001	0,080	0,093	0,008

As entradas naturais de Na^+ , K^+ e Mg^{2+} podem ser devido à poeira de solos e aerossóis marinhos, sendo que entradas antropogênicas de Mg^{2+} devem existir devido aos aerossóis lançados para a atmosfera pela mineração de calcário. Outras fontes antrópicas de Mg^{2+} (e principalmente K^+) podem estar associadas à poeira de solos agrícolas onde há aplicação de fertilizantes fosfatados e queima da biomassa, conforme constatado no período de seca por CONCEIÇÃO & BONOTTO (2004). Em relação aos ânions, não foram identificados minerais nas rochas da bacia estudadas com Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-} e SO_4^{2-} como um constituinte essencial e, conseqüentemente, pouca entrada natural desses ânions é esperada na composição das águas pluviais.

O ânion SO_4^{2-} é o mais abundante nas águas pluviais, porém, as maiores concentrações foram geralmente obtidas na época seca, provavelmente devido a queimadas e carvoarias que ocorrem na região. A presença dos demais ânions pode estar relacionada com entradas antropogênicas como tráfego de veículos e queima de combustíveis fósseis (NO_3^- e Cl^-), volatilização de N derivada de fertilizantes fosfatados (NO_3^-) e poeiras de solos agrícolas onde há aplicação de fertilizantes fosfatados (PO_4^{3-}).

Para o alumínio, as concentrações mais altas foram obtidas principalmente na época de chuva, igualmente ao observado para o níquel. As concentrações dos elementos Fe, Zn e Mn foram relativamente baixas, o que pode ser considerado normal para as águas pluviais, porém, algumas vezes ocorre aumento de Fe e Zn na época de chuva, diferente do observado para o Mn.

Para uma melhor visualização dos resultados das análises químicas das águas pluviais, utilizou-se o diagrama de PIPER (1944). A Figura 5.1 mostra que as águas pluviais, quanto aos cátions dissolvidos, são classificadas na sua maioria como cálcicas, sendo apenas as amostras dos meses secos (28/5/2006, 26/6/2006, 10/7/2006, 30/7/2006 e 20/8/2006), mistas e sódico-potássicas. Quanto aos ânions dissolvidos, as águas são classificadas como mistas e sulfatadas (devido o significativo aumento na época de seca), ocorrendo também uma amostra bicarbonatada e duas cloronitratadas, também na época de seca.

No Apêndice (Tabela 1a) consta matriz de correlação envolvendo todos os parâmetros analisados para as amostras de águas pluviais. Alguns valores significativos foram encontrados, porém, os dados disponíveis não permitem realizar uma adequada interpretação.

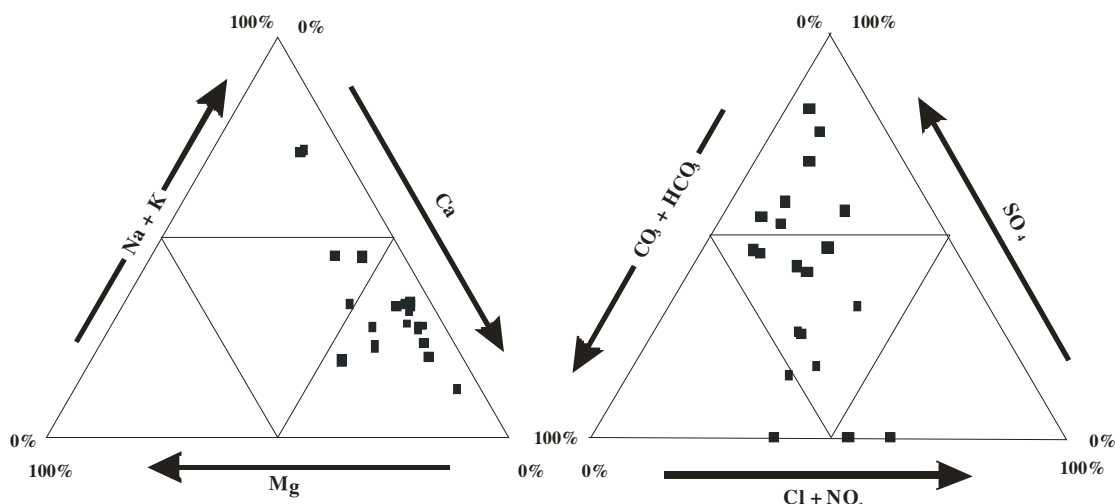


Figura 5.1. Classificação das águas pluviais da bacia do Alto Sorocaba de acordo com o diagrama de PIPER (1944).

5.1 – Concentração média ponderada nas águas pluviais da bacia

A Tabela 5.2 apresenta a concentração média ponderada calculada segundo a equação 13, que leva em conta o volume de cada evento de precipitação, a concentração dos elementos e o volume total de chuva no local. Como algumas tempestades podem influenciar a composição química das águas de chuva (MOREIRA-NORDEMANN et al. 1997), a concentração média ponderada foi utilizada neste trabalho para os cálculos envolvendo o período chuvoso (entre outubro e março) e o seco (entre abril a setembro).

$$VMP = \frac{\sum_{i=1}^n C_i.V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (13)$$

Onde:

VMP = Concentração média ponderada

C_i = Concentração do elemento medida no evento i

V_i = Volume de precipitação (mm) medido no evento i

Tabela 5.2. Concentração média ponderada para as águas de chuva da bacia.

<i>Parâmetro</i>	<i>VMP[†]</i> <i>(mg/L)</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Período</i> <i>seco</i>	<i>Período</i> <i>chuvoso</i>	<i>VMP</i> <i>(µeq/L)</i>	<i>Período</i> <i>seco</i>	<i>Período</i> <i>chuvoso</i>
<i>Cond</i>	10,309	10,000	20,000	11,751	10,00	----	----	----
<i>pH</i>	6,318	5,300	6,900	6,120	6,360	----	----	----
<i>Ca²⁺</i>	3,339	0,280	8,260	1,061	3,828	166,950	88,800	185,250
<i>Mg²⁺</i>	0,159	0,020	0,710	0,198	0,151	13,129	14,451	11,643
<i>Na⁺</i>	1,372	0,360	2,230	0,898	1,437	59,652	37,956	60,652
<i>K⁺</i>	0,685	0,040	5,050	0,113	0,808	17,519	11,586	22,097
<i>Al</i>	0,517	0,101	0,762	0,296	0,565	----	----	----
<i>Fe</i>	0,004	0,001	0,043	0,001	0,004	----	----	----
<i>Mn</i>	0,004	0,001	0,021	0,011	0,002	----	----	----
<i>Ni</i>	0,071	0,002	0,162	0,025	0,081	----	----	----
<i>Pb</i>	0,079	0,003	0,128	0,045	0,087	----	----	----
<i>Zn</i>	0,009	0,001	0,036	0,005	0,010	----	----	----
<i>HCO₃⁻</i>	3,525	1,000	12,000	7,164	2,744	57,787	93,443	50,820
<i>Cl</i>	0,631	0,150	1,250	0,916	0,570	17,799	23,921	17,489
<i>PO₄³⁻</i>	0,152	0,040	0,320	0,198	0,142	4,795	5,750	4,812
<i>SO₄²⁻</i>	3,957	0,000	35,000	11,245	2,391	82,437	229,167	56,250
<i>NO₃⁻</i>	1,416	0,440	3,960	2,752	1,129	22,839	33,871	20,113
<i>Σ de cátions</i>	----	----	----	----	----	257,250	152,793	276,642
<i>Σ de ânions</i>	----	----	----	----	----	188,657	386,152	149,484

[†]Concentração média ponderada; todos os valores estão em mg/L, exceto pH e condutividade (µS/cm).

Os valores de pH apresentam-se um pouco maiores que o valor teórico proposto por BERNER & BERNER (1996) de 5,7, pois, a média ponderada corresponde a 6,3. Na bacia do Rio Piracicaba LARA et al. (2001) analisaram a composição iônica das águas de chuva e encontraram um pH de 4,4 – 4,5, bastante inferior ao determinado neste trabalho.

Estudos realizados por MELLO (2001) no Rio de Janeiro indicaram que os íons mais abundantes nas águas de chuva foram o Na⁺ e Cl⁻, provenientes de aerossóis marinhos. As altas razões iônicas encontradas neste trabalho (Ca²⁺/Na⁺ = 2,81; K⁺/Na⁺ = 0,29; SO₄²⁻/Na⁺ = 1,38; HCO₃⁻/Na⁺ = 0,97; e NO₃⁻/Na⁺ = 0,38) em relação às águas de chuva coletadas próximas do oceano (0,0439, 0,0218, 0,121, 0,0049 e 0,0062, respectivamente, segundo WILSON, 1975) sugerem uma baixa influência marinha. Estas razões também são maiores que as apresentadas por MOREIRA-NORDEMANN et al. (1991) para a composição química marinha de águas de chuva do litoral paulista.

A Tabela 5.2 mostra que a soma dos valores médios ponderados de cátions nas águas de chuva é maior que a soma de ânions, sendo essa relação já observada em outras áreas (GALLOWAY et al., 1982; MOREIRA-NORDEMANN et al., 1997; LARA et al., 2001; CONCEIÇÃO & BONOTTO, 2004). A Tabela 5.2 ainda indica que o Ca⁺ (65% do total da

soma de cátions para os locais de coleta) e o SO_4^{2-} (44% do total da soma de ânions) são os íons mais abundantes encontrados, com os valores médios ponderados (em mg/L) indicando a seguinte tendência: $\text{Ca}^+ > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ para os cátions e $\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{PO}_4^{3-}$ para os ânions.

Os valores médios ponderados de HCO_3^- e Cl^- são mais elevados no período seco, sugerindo que não há sua deposição de maneira significativa pelas águas de chuva devido a dissolução de poeiras do solo originadas pelo intemperismo dos minerais primários encontrados nesta bacia, como observado em outras bacias hidrográficas CONCEIÇÃO & BONOTTO (2004) e que, ao invés disto, são importantes as entradas antrópicas, como também indicam as razões iônicas $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$; K^+/Na^+ e $\text{HCO}_3^-/\text{Na}^+$. Em relação ao Cl^- e Mg^{2+} , as razões Cl^-/Na^+ (0,30) e $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$ (0,20) encontram-se abaixo/praticamente iguais às obtidas para áreas oceânicas, sendo, por isso difícil distinguir preponderância das entradas naturais/antrópicas.

5.2 – Taxa de deposição anual nas águas pluviais da bacia

A Tabela 5.3 apresenta a taxa de deposição anual de íons/elementos na bacia estudada, bem como a determinada em outras regiões brasileiras. A deposição anual foi obtida multiplicando-se a concentração média ponderada de cada íon (Tabela 5.2) pela precipitação ocorrida entre os meses de janeiro e dezembro de 2006, ou seja, (1558,6 L/m², pois, 1 mm = 1 L/m²). Os estudos indicados na Tabela 5.3 são referentes a diferentes anos de amostragem, porém, todos abrangem pelo menos um ano hidrológico. Desse modo, no presente trabalho, foi feita uma análise comparativa dos resultados disponíveis para diferentes regiões.

A deposição anual de Na^+ através da água de chuva em Cubatão apresentou-se maior do que a deposição em Ibiúna, conforme esperado, pois, Cubatão localiza-se mais próximo do Oceano Atlântico, sendo o Na^+ de origem predominantemente marinha. Segundo MOREIRA-NORDEMANN et al. (1991), quanto mais distante do oceano, menor será a influência de alguns íons (Cl^- , Na^+ , Mg^{2+} e SO_4^{2-}) na atmosfera. Ibiúna está situada mais próxima ao litoral que Manaus, Rio Claro, Piracicaba e Campo Grande, o que poderia justificar os valores mais elevados encontrados para Na^+ e SO_4^{2-} . Porém, não pode ser desprezada a contribuição desses íons nas águas pluviais na bacia do Alto Sorocaba oriundas da alteração das rochas e de origem antropogênica.

Tabela 5.3. Deposição anual de cátions e ânions (ton/km²/ano) em diferentes regiões brasileiras.

<i>Parâmetros</i>	<i>Manaus^a</i>	<i>Rio Claro^b</i>	<i>Piracicaba^c</i>	<i>Campo Grande^d</i>	<i>Cubatão^e</i>	<i>Ibiúna^f</i>
<i>Na⁺</i>	0,15	1,52	0,07	0,60	5,06	2,14
<i>Ca²⁺</i>	0,13	10,42	0,12	0,13	----	5,20
<i>K⁺</i>	0,90	0,41	0,13	0,11	----	1,07
<i>Mg²⁺</i>	0,03	1,12	0,03	0,02	----	0,25
<i>Al</i>	----	----	----	----	----	0,81
<i>Fe</i>	----	----	----	----	----	0,01
<i>Mn</i>	----	----	----	----	----	0,01
<i>Ni</i>	----	----	----	----	----	0,11
<i>Pb</i>	----	----	----	----	----	0,12
<i>Zn</i>	----	----	----	----	----	0,01
<i>HCO₃⁻</i>	----	2,24	----	----	----	5,50
<i>SO₄²⁻</i>	0,26	3,46	0,99	0,38	7,54	6,17
<i>NO₃⁻</i>	0,72	7,09	1,11	0,60	1,99	2,20
<i>Cl</i>	0,45	3,46	0,28	0,51	12,39	0,98
<i>PO₄³⁻</i>	0,003	0,55	----	----	----	0,24

a WILLIAMS et al. (1997) b CONCEIÇÃO & BONOTTO (2004) c LARA et al. (2001) d MOREIRA-NORDEMANN et al. (1997) e DANELON & MOREIRA-NORDEMANN (1991) f Este trabalho.

Com exceção de Rio Claro, a maior deposição anual de Ca²⁺ ocorreu em Ibiúna. A primeira explicação para a alta deposição de Ca²⁺ na bacia do Alto Sorocaba reside na dissolução de CaCO₃ proveniente de poeiras de solos, como descrito em outras áreas (MOREIRA-NORDEMANN et al., 1997; LARA et al., 2001; CONCEIÇÃO & BONOTTO, 2004). A segunda explicação seria a entrada de Ca²⁺ pelas atividades antrópicas. Na bacia existem as maiores minerações de calcário dolomítico (CaMg(CO₃)₂) e fábricas de cimento do Brasil, e, conseqüentemente, muito material particulado deve ser liberado para a atmosfera durante as atividades exploratórias e de processamento.

As entradas naturais/antrópicas de Mg²⁺ podem ser devido a poeiras de solos e aerossóis marinhos, ou pelos mesmos motivos apresentados para o Ca²⁺. Dentre as cidades apresentadas na Tabela 5.3, a maior deposição anual de K⁺ acontece em Ibiúna, por ser local mais próximo do oceano, ter K⁺ derivado de poeiras de solos derivados de silicatos e de poeiras de solos agrícolas, nos quais são aplicados fertilizantes (a região de estudo caracteriza-se por ser agrícola) e empregados à queima de biomassa.

A deposição anual de SO₄²⁻ e NO₃⁻ na bacia do Alto Sorocaba foi maior que a verificada em Manaus, Piracicaba e Campo Grande. A presença desses dois ânions na atmosfera pode ser atribuída ao tráfego de veículos à queima de combustível fóssil por atividades industriais, as quais são as principais e permanentes fontes de sua presença na água

de chuva (CONCEIÇÃO & BONOTTO, 2004). Uma fonte adicional de NO_3^- poderá ser as emissões geradas a partir de diversas carvoarias existentes na região.

Em relação ao NO_3^- , o mais alto valor de deposição anual foi encontrado para a cidade de Rio Claro. Em Rio Claro ocorre a contribuição de NO_3^- na atmosfera devido a queima de combustível e volatilização de derivados de fertilizantes nitrogenados (CONCEIÇÃO & BONOTTO, 2004), já que se trata de uma região agrícola onde a aplicação de fertilizantes é intensa. Contudo, as maiores entradas atmosféricas de NO_3^- na região de Rio Claro podem ser devido à queima de cana-de-açúcar na bacia do Rio Corumbataí (LARA et al., 2001); o que não ocorre na bacia do Alto Sorocaba.

A deposição anual de SO_4^{2-} na bacia do Alto Sorocaba foi relativamente semelhante à de Cubatão, onde a alta deposição deve ser originada pela extensiva queima de combustível fóssil em indústrias (DANELON & MOREIRA-NORDEMANN, 1991). Porém, as atividades industriais que queimam combustíveis fósseis quase não ocorrem na bacia do Alto Sorocaba, podendo a alta taxa de deposição ser atribuída às emissões geradas a partir de diversas carvoarias existentes na região e, minoritariamente, pela queima de biomassa. Eventuais fontes adicionais de SO_4^{2-} e NO_3^- seriam as atividades biológicas e aerossóis marinhos (MOREIRA-NORDEMANN et al., 1997).

A deposição anual de Cl^- na bacia encontra-se menor que nas cidades de Rio Claro e Cubatão, onde as entradas atmosféricas de Cl^- poderiam ser atribuídas às mesmas fontes de SO_4^{2-} . Além disso, a maior taxa de deposição de Cl^- encontrada em Cubatão deve-se a uma grande influência marinha deste ânion, como também verificado para o Na^+ (DANELON & MOREIRA-NORDEMANN, 1991). Os valores encontrados para a deposição anual de Cl^- na bacia do Alto Sorocaba podem ser explicados pelos aportes marinhos e por várias fontes antrópicas de poluição, como queima de combustível fóssil por veículos, queima de carvão, incineradores, fertilizantes, combustão ou decomposição de compostos organoclorados e indústrias de papel (SANUSI et al., 1996; NÉGREL & ROY, 1998; CONCEIÇÃO & BONOTTO, 2004).

A intensa utilização de fertilizantes fosfatados e poeiras de solos agrícolas são os principais fatores que contribuem para explicar a deposição anual de PO_4^{3-} , o qual, juntamente com o NO_3^- pode estar contribuindo para o processo de eutrofização do Reservatório de Itupararanga.

Em relação aos elementos traços, os valores de deposição anual não podem ser comparados com as outras áreas apresentadas na Tabela 5.3 por não existirem ainda estudos realizados com sua presença nas águas de chuva. Assim, a concentração média ponderada de

cada elemento será comparada com os valores de referência de potabilidade (Portaria nº 518 do Ministério da Saúde de 25 de março de 2004) e de classificação dos corpos d'água (Resolução CONAMA nº 357 do Ministério do Meio Ambiente de 17 de março de 2005) utilizados no Brasil.

A concentração média ponderada (Tabela 5.3) de Ni (0,071 mg/L), Al (0,517 mg/L) e Pb (0,079 mg/L) estão acima dos valores máximos permitido pela Resolução CONAMA nº 357 para corpos d'água de Classe 4 (0,025 mg/L, 0,2 mg/L e 0,033 mg/L, respectivamente) ou seja, a pior Classe possível para o enquadramento de um corpo d'água (esses locais só podem receber navegação e servirem à harmonia paisagística). Os valores médios ponderados de Al e Pb também são maiores que os valores máximos permitidos para a potabilidade de água (0,2 mg/L e 0,01 mg/L, respectivamente). A Portaria nº 518 não estabelece um valor máximo permitido para o Ni.

Os demais metais não ultrapassam os valores máximos permitidos para a potabilidade (Mn = 0,1 mg/L, Zn = 5 mg/L e Fe = 0,3 mg/L), estando também abaixo do limite permitido para os corpos d'água de Classe 1 (Mn = 0,1 mg/L, Zn = 0,18 mg/L e Fe = 0,3 mg/L). As águas de Classe 1 podem ser destinadas ao abastecimento humano (após tratamento primário), à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário, à irrigação de hortaliças e frutas, que podem ser consumidas cruas e à proteção das comunidades aquáticas.

6 – AS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA BACIA

6.1 – Avaliação simplificada de impactos ambientais na bacia

Na sub-bacia do Rio de Una foram estudados 6 pontos, 3 diretamente no Rio de Una e o restante nos seus principais afluentes (Figura 6.1). O Rio de Una sofre influência do crescimento urbano sem planejamento, ponto Un3 (Figura 6.2a), e da contribuição de efluentes domésticos e industriais após a passagem pela cidade de Ibiúna, ponto Un6 (Figura 6.2b), de maneira que a qualidade da água se torna degradada, pois, óleos, lixo, cor, odor, larvas e vermes vermelhos (*Chironomidae*), passam a fazer parte da paisagem.

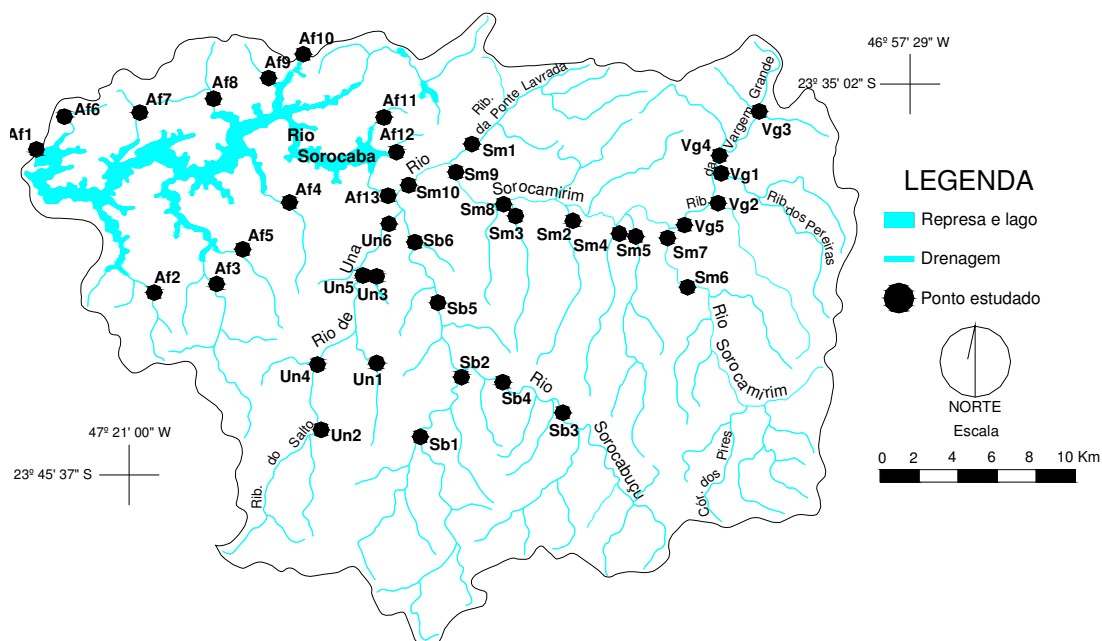


Figura 6.1 Mapa com os pontos estudados pelo índice de análise ambiental simplificado.



Figura 6.2. Pontos Un3 (a) e Un6 (b) localizados na sub-bacia do Rio de Una.

Assim, a cidade de Ibiúna se destaca como um dos principais agentes poluidores desta sub-bacia, sendo importante considerar que o Rio de Una influencia diretamente a qualidade da água do Rio Sorocaba, já que é um dos seus principais afluentes. A partir da avaliação realizada nesta área (Tabela 6.1), constatou-se alto ou preocupante impacto devido: à degradação da mata ciliar, a quantidade de propriedades agrícolas que não respeitam os limites legais, à presença de fossa e/ou esgoto, e à abundância de lixo espalhado no entorno do recurso.

Tabela 6.1. Resultados da aplicação do questionário do índice de análise ambiental simplificado na sub-bacia do Rio de Una.

<i>Ponto</i>	<i>Impacto</i>				<i>Pesos</i>	
	<i>Mínimo ou pouco</i>	<i>Moderado</i>	<i>Alto ou preocupante</i>	<i>Muito Alto</i>	<i>Valor real</i>	<i>%</i>
Un1			X		7	33,3
Un2			X		10	46,6
Un3			X		8	38,1
Un4		X			13	61,9
Un5			X		6	28,6
Un6			X		5	23,8

Na sub-bacia do Rio Sorocabuçu foram visitados 6 locais (Figura 6.1), sendo dois situados em seus principais afluentes, Rio Murundu (Sb1) e Ribeirão do Paiol (Sb2), onde no Rio Murundu a vegetação ciliar encontra-se em bom estado de conservação (Figura 6.3a). Nesta sub-bacia há áreas com cultivo de olerícolas, pastos e pequenos domicílios, ponto Sb3 (Figura 6.3b), tendo sido também verificada nas águas pequena quantidade de lixo, corpos flutuantes além de larvas e vermes vermelhos (*Chironomidae*). Os demais pontos analisados apresentam uma boa parcela de vegetação ciliar preservada, embora há presença de cultivos

agrícolas nas proximidades dos corpos d'água. A sub-bacia do Rio Sorocabuçu foi a que apresentou resultados mais satisfatórios do ponto de vista ambiental em relação às outras sub-bacias, já que 50% dos pontos visitados apresentam impacto moderado (Tabela 6.2).



Figura 6.3. Pontos Sb1 (a) e Sb3 (b) situados na sub-bacia do Rio Sorocabuçu.

Tabela 6.2. Resultados da aplicação do questionário do índice de análise ambiental simplificado na sub-bacia do Rio Sorocabuçu.

<i>Ponto</i>	<i>Impacto</i>				<i>Pesos</i>	
	<i>Mínimo ou pouco</i>	<i>Moderado</i>	<i>Alto ou preocupante</i>	<i>Muito Alto</i>	<i>Valor real</i>	<i>%</i>
Sb1			X		6	28,6
Sb2		X			11	52,4
Sb3		X			12	57,1
Sb4		X			12	57,1
Sb5			X		6	28,6
Sb6			X		6	28,6

Na sub-bacia do Rio Sorocamirim foram visitados 15 pontos, situados no próprio rio e no seu principal afluente, Ribeirão da Vargem Grande (Figura 5.1). A maioria dos pontos estudados apresenta impacto ambiental alto ou preocupante, sendo que em 4 pontos o impacto é muito alto (Tabela 6.3).

Os resultados indicam que o Ribeirão da Vargem Grande exerce influência negativa na qualidade da água, já que o município de Vargem Grande Paulista despeja esgotos “in natura” neste local (Figura 6.4a). Além disso, foram identificados locais com ausência da mata ciliar e com lixo/entulho espalhado pelo entorno do recurso. Impactos na vegetação também ocorrem nas margens do Rio Sorocamirim, que encontra-se totalmente retificado. No entanto, já próximo da confluência com os rios Sorocabuçu e de Una, antes da formação do Rio

Sorocaba, o entorno do Rio Sorocamirim tende a melhorar, por se tratar de uma área alagada de difícil acesso (Figura 6.4b).



Figura 6.4. Ponto Vg3 (a) no Ribeirão da Vargem Grande e ponto Sm5 (b) pertencentes à bacia do Rio Sorocamirim.

Tabela 6.3. Resultados da aplicação do questionário do índice de análise ambiental simplificado na sub-bacia do Rio Sorocamirim.

<i>Ponto</i>	<i>Impacto</i>				<i>Pesos</i>	
	<i>Mínimo ou pouco</i>	<i>Moderado</i>	<i>Alto ou preocupante</i>	<i>Muito Alto</i>	<i>Valor real</i>	<i>%</i>
Vg1				X	4	19,0
Vg2			X		5	23,8
Vg3				X	3	14,3
Vg4				X	2	9,5
Vg5		X			11	52,4
Sm1			X		10	47,6
Sm2				X	2	9,5
Sm3			X		5	23,8
Sm4			X		5	23,8
Sm5			X		6	28,6
Sm6			X		8	38,1
Sm7			X		6	28,6
Sm8		X			11	52,4
Sm9			X		10	47,6
Sm10		X			16	76,2

Após verificar a influência relativa de cada corpo d'água à montante, procurou-se aplicar o índice de análise ambiental nos afluentes da represa de Itupararanga, já no Rio Sorocaba. Ao todo, foram analisados 13 pontos (Figura 6.1), estando os resultados obtidos apresentados na Tabela 6.4. Verifica-se que a cobertura vegetal é o componente ambiental que mais tem sofrido com as pressões antrópicas (Figura 6.5a e 6.5b). A utilização das terras para

a agricultura, chácaras e residências também contribuem para a retirada da mata ciliar, o que pode implicar no aumento da degradação da qualidade da água (Figuras 6.5c e 6.5d).

Tabela 6.4. Resultados da aplicação do questionário do índice de análise ambiental simplificado nos afluentes da Represa de Itupararanga.

<i>Ponto</i>	<i>Tipos de Impacto</i>				<i>Pesos</i>	
	<i>Mínimo ou pouco</i>	<i>Moderado</i>	<i>Alto ou preocupante</i>	<i>Muito Alto</i>	<i>Valor real</i>	<i>%</i>
Af1		X			12	57,1
Af2			X		10	47,6
Af3			X		10	47,6
Af4		X			11	52,4
Af5			X		10	47,6
Af6	X				18	85,7
Af7		X			13	61,9
Af8		X			13	61,9
Af9		X			13	61,9
Af10			X		8	38,1
Af11			X		8	38,1
Af12			X		9	42,9
Af13			X		8	38,1



Figura 6.5. Pontos Af 6 (a), Af 8 (b), Af 5 (c) e (d) no entorno da represa de Itupararanga.

6.2 – Avaliação hidroquímica das águas superficiais da bacia

Este item descreve os resultados do monitoramento conduzido para avaliar a hidroquímica fluvial na bacia do Alto Sorocaba, levando-se em conta as características físico-químicas e químicas. A Figura 6.7 apresenta a disposição da rede fluviométrica e as estações de amostragem das águas. A seguinte convenção para os pontos de coleta será utilizada durante o desenvolvimento deste item: P1 e P4 (Rio de Una); P2 e P5 (Rio Sorocabuçu); P3 e P6 (Rio Sorocamirim); P7 e P8 (Rio Sorocaba).

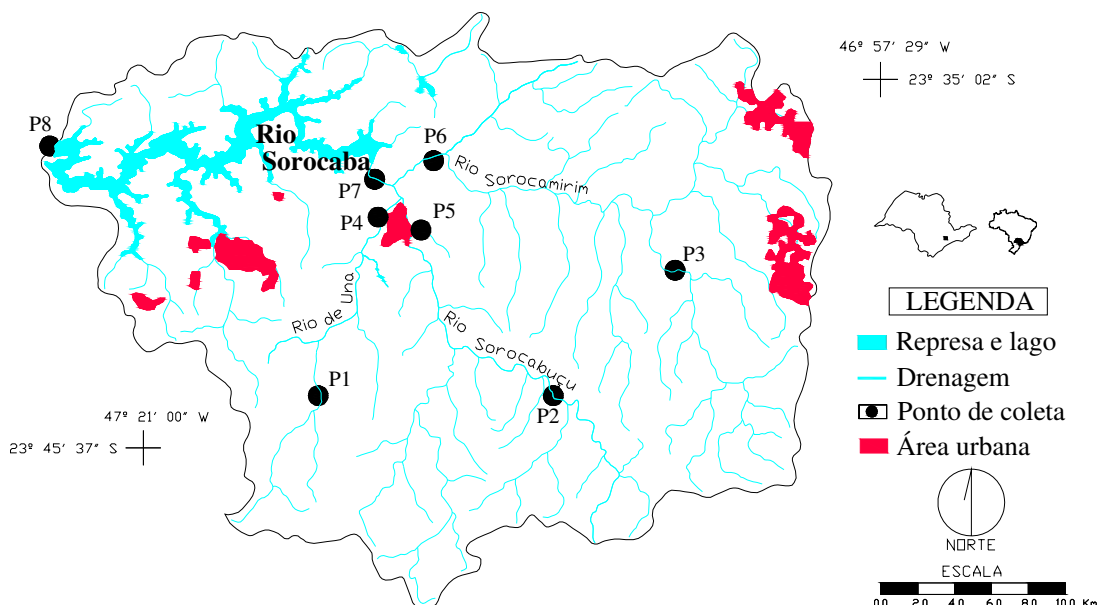


Figura 6.7. Pontos de coleta de amostras de água superficial na bacia do Alto Sorocaba. P1 e P4 = Rio de Una, P2 e P5 = Rio Sorocabuçu, P3 e P6 = Rio Sorocamirim; P7 e P8 = Rio Sorocaba.

6.2.1 – Parâmetros físicos e físico-químicos

No Apêndice (Tabela 2a) constam os resultados obtidos para os parâmetros físicos e físico-químicos das águas fluviais da bacia do Alto Sorocaba durante o período seco, estando no Apêndice (Tabela 3a) os valores que abrangem o período chuvoso. Na Tabela 6.5 consta a média dos parâmetros físicos e a média ponderada dos parâmetros químicos analisados durante todo o período de coleta. A média ponderada foi calculada a partir dos dados apresentados no Apêndice (Tabelas 2a e 3a), utilizando-se a seguinte equação:

$$C_E = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (14)$$

Onde:

C_E = média ponderada do parâmetro (mg/L);

C_i = concentração do parâmetro na i -ésima amostra (mg/L);

Q_i = vazão do rio durante a coleta da i -ésima amostra (m^3/s).

Tabela 6.5. Valores médios e média ponderada dos parâmetros analisados durante todo o período de coleta.

	<i>Cond.</i> ($\mu S/cm$)	<i>Temp</i> ($^{\circ}C$)	<i>pH</i>	<i>OD</i>	<i>STD</i>	<i>STS</i>	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	HCO_3^-	<i>Cl</i>	PO_4^{3-}	SO_4^{2-}	NO_3^-
	<i>média (mg/L)</i>														
<i>P1</i>	50	23	7,1	7	108,3	40,0	9,0	2,6	7,4	6,9	30,5	1,0	1,0	22,5	2,9
<i>P2</i>	32	21	7,2	7	230,0	53,0	13,6	3,2	67,0	7,6	37,0	36,8	2,9	56,2	6,4
<i>P3</i>	43	21	7,3	7,1	95,0	37,8	5,5	1,5	4,7	2,8	19,0	0,7	1,0	19,2	3,7
<i>P4</i>	268	21	7,2	3,3	110,0	53,5	5,9	1,6	7,1	3,1	26,0	2,2	2,0	34,0	4,8
<i>P5</i>	33	21	7,2	6,9	63,3	36,7	6,5	2,2	6,0	3,1	25,5	1,3	0,9	15,3	3,2
<i>P6</i>	40	24	7,3	6,9	70,7	49,3	10,2	2,4	6,8	4,3	30,5	1,5	1,4	28,3	3,4
<i>P7</i>	147	22	7,2	5,3	151,7	49,8	8,9	2,6	19,2	3,5	28,5	12,3	2,1	38,0	5,1
<i>P8</i>	35	24	7,9	7,6	40,8	11,5	6,6	1,7	7,1	2,6	10,0	0,6	0,1	9,8	0,4
	<i>média ponderada (mg/L)</i>														
<i>P1</i>					147,6	49,7	9,3	2,8	6,9	7,6	30,3	0,7	0,7	17,6	2,7
<i>P2</i>					125,9	41,8	5,9	1,6	4	3	18,4	0,6	0,8	15,5	3,3
<i>P3</i>					74,6	40,7	7,2	2,3	4,6	3,4	25,1	1	0,7	13,6	2,8
<i>P4</i>					267,3	59,7	14,6	3,5	46	8,4	38,6	34,1	2,4	43,3	5,9
<i>P5</i>					125,3	58,7	6,4	1,9	4,9	3,4	26,2	1,6	1,5	26,5	4,2
<i>P6</i>					53,6	53,6	10,6	2,7	4,5	4,5	30,8	1,2	1	23,2	3,1
<i>P7</i>					169,2	56	9,5	3	11,3	3,7	29	11,3	1,7	30,6	4,7
<i>P8</i>					40,9	11,5	6,6	1,7	5,7	2,6	9,9	0,6	0,1	9,8	0,4

Conforme esperado, os valores apresentados (Apêndice – Tabelas 2a e 3a) confirmaram que as vazões medidas em todos os pontos da amostragem são mais elevadas no mês de janeiro do que nos demais meses de amostragem. Além disso, eles ainda reforçam um outro importante papel do Reservatório de Itupararanga, que é a manutenção do regime hidráulico do Rio Sorocaba a jusante deste reservatório, visto que a vazão de sua saída variou pouco em todos os meses de coleta.

Os menores valores de condutividade elétrica foram obtidos no Rio Sorocabuçu (P2), enquanto que os maiores foram caracterizados sempre no Rio de Una (P4), logo após a cidade de Ibiúna (Tabela 6.5), onde foram encontrados valores acima do limite superior esperado para águas naturais, isto é, 100 $\mu S/cm$ (HERMES & SILVA, 2004). Apesar de que o intemperismo pode elevar a condutividade, acredita-se que os valores mais acentuados devem ser atribuídos principalmente a descargas de efluentes da cidade de Ibiúna e às atividades agrícolas realizadas na sub-bacia do Rio de Una. No ponto P7, os valores de condutividade já

se apresentam menores devido à contribuição de águas dos Rios Sorocabuçu e Sorocamirim (Tabela 6.5).

Aumentos na temperatura da água podem estar relacionados com a transferência de calor por radiação, condução e convecção (atmosfera e solo) ou por atividades antrópicas, tais como despejos de efluentes industriais e domésticos (ESPÍNDOLA et. al, 2000). Dentre os pontos estudados, o valor máximo de temperatura da água foi registrado no Rio Sorocamirim, no ponto P6 no dia 19/12/2006 (31,3°C), sendo o menor valor obtido no Rio de Una, no ponto P4 (16,9°C) no dia 13/08/2006. Em geral, há uma variação sazonal de temperatura para as águas fluviais da bacia do Alto Sorocaba, de aproximadamente 8°C entre os meses de Agosto e Dezembro de 2006.

O pH é governado pelo equilíbrio do dióxido de carbono-bicarbonato e carbonatos. Na bacia, os valores obtidos em todos os pontos de amostragem indicam que as águas são geralmente neutras, encontrando-se dentro da faixa de proteção da vida aquática, segundo a Legislação Federal (Resolução CONAMA nº 357/05) e Estadual (Decreto nº 8.468/76) para Classe 2, conforme são enquadrados os rios da bacia do Alto Sorocaba. Os maiores valores de pH também ocorreram na época de chuva, como observado para a condutividade. Além disso, os maiores valores de pH foram obtidos no Rio Sorocaba após o Reservatório de Itupararanga (P8), fato que acontece normalmente em reservatórios devido à atividade biológica (ESTEVES, 1988).

A atmosfera e a fotossíntese são as principais fontes de oxigênio para as águas fluviais. Por outro lado, as perdas de oxigênio se devem ao consumo pela decomposição da matéria orgânica, trocas para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos e oxidação de íons metálicos (ESTEVES, 1988). Há um aumento nos valores de oxigênio dissolvido em todos os pontos de amostragem na época de chuva. As menores concentrações de oxigênio dissolvido foram sempre encontradas no Rio de Una (P4), fato que pode ser atribuído à decomposição de matéria orgânica oriunda dos efluentes domésticos da cidade de Ibiúna. Apesar dos baixos valores encontrados neste ponto, a concentração de oxigênio dissolvido no ponto P7 (Rio Sorocaba) já apresenta valores iguais ou maiores que 5 mg/L (mínimo permitido para águas de Classe 2), devido à contribuição de águas dos Rios Sorocabuçu e Sorocamirim com superiores teores de oxigênio dissolvido. Os valores mais elevados de oxigênio dissolvido foram quantificados no ponto P8 (Tabela 6.5), devido à acentuada fotossíntese realizada pelas algas no Reservatório de Itupararanga.

Todas as impurezas encontradas no curso da água, exceto os gases dissolvidos contribuem para a carga de sólidos totais presentes nos corpos d'água (ESPÍNDOLA et. al.,

2000). Os valores de sólidos totais dissolvidos (STD) e sólidos totais em suspensão (STS) tendem a aumentar ao longo dos afluentes do Rio Sorocaba (Tabela 6.5). Com exceção das coletas realizadas em Agosto e Setembro de 2006 (Tabelas 2a e 3a), os maiores e menores valores destes parâmetros sempre foram encontrados nos pontos P4 e P8, respectivamente. Os valores de STD e STS aumentam na época de verão, da mesma forma que a vazão, indicando uma maior descarga durante esta época, de acordo com a maioria dos rios mundiais (BERNER & BERNER, 1996; CONCEIÇÃO & BONOTTO, 2004; CONCEIÇÃO et al., 2007). O aumento dos valores de STS na época chuvosa pode ser atribuído ao maior arraste de sedimentos pela erosão laminar, que é muito acentuada neste período.

6.2.2 – Diagramas hidroquímicos

Os valores obtidos para os principais cátions e ânions estão ilustrados na Figura 6.8, os quais indicam que a tendência $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ encontrada para as águas pluviais não é geralmente observada para as águas superficiais.

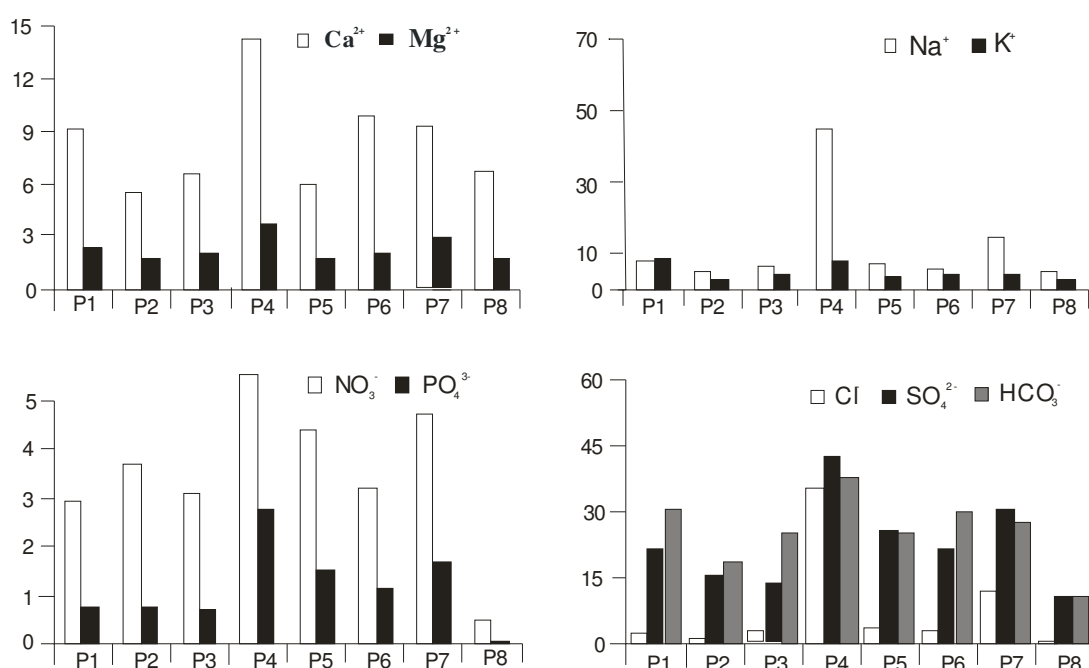


Figura 6.8. Concentração média ponderada de cátions e ânions (mg/L) para as águas fluviais da bacia do Alto Sorocaba. P1 e P4 = Rio de Una, P2 e P5 = Rio Sorocabuçu, P3 e P6 = Rio Sorocamirim, P7 e P8 = Rio Sorocaba.

O cálcio influencia a ciclagem do fósforo, além de interferir no pH das águas fluviais e pluviais (WETZEL, 1983). O magnésio é um constituinte necessário da clorofila (ODUM, 1988). Já o sódio possui as mesmas funções que o potássio, atuando na troca e transporte de

outros íons para os meios intra e extracelulares (ESTEVES, 1988). Quanto ao Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , no Rio de Una (P4), foram encontradas as maiores concentrações em relação aos demais pontos.

Uma representação dos dados obtidos para as águas superficiais da bacia pode ser efetuada pelo diagrama de GIBBS (1970), que é baseado nos valores de STD e na razão $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$. A Figura 6.9 indica que os pontos P1, P2, P3, P5, P6 e P8 tendem a se posicionar na região central do gráfico, indicativa de maior atuação dos processos de intemperismo químico. Já os pontos P4 e P7 estão fora do bumerangue, devido a um aumento significativo da concentração de Na depois do município de Ibiúna, provavelmente ocasionado pelo lançamento de efluentes; nesses casos, não é possível assegurar a atuação dos processos intempéricos a partir do diagrama.

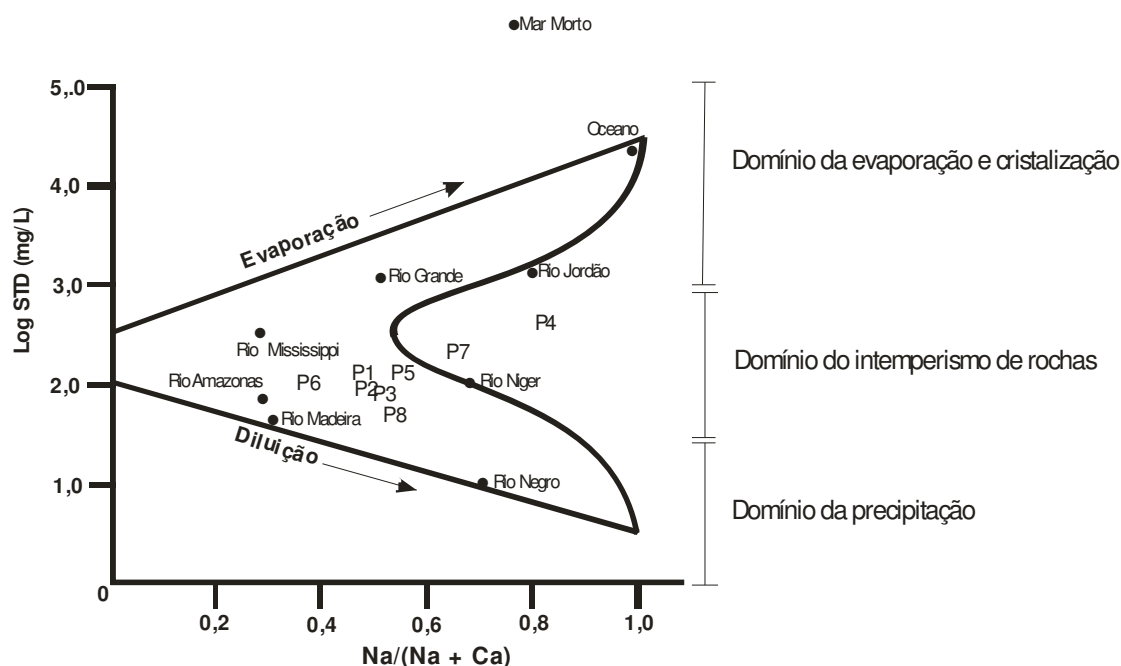


Figura 6.9. Classificação das águas superficiais de acordo com o diagrama de GIBBS (1970). P1 e P4 = Rio de Una, P2 e P5 = Rio Sorocabuçu, P3 e P6 = Rio Sorocamirim, P7 e P8 = Rio Sorocaba.

A alcalinidade decorre da presença de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos (WETZEL, 1983). Quanto ao cloreto, sua presença em águas naturais se deve ao fato da alteração das rochas (CETESB, 2005). O fósforo é um elemento fundamental para o metabolismo dos seres vivos (ESTEVES, 1988). O íon sulfato constitui a principal fonte de enxofre para os produtores primários (TUNDISI, 2006). O nitrato é encontrado em águas como resultado da oxidação de compostos nitrogenados (TUNDISI, 2005). Os valores obtidos

para a alcalinidade, cloreto, sulfato e nitrato são menores que o máximo permitido para águas de Classe 2, segundo a Resolução CONAMA 357/05. Contudo, os valores de fosfato apresentados nas Tabelas 2a e 3a estão acima do máximo permitido para a Classe 2 desta resolução, que é de 0,1 mg/L. Os pontos P4 e P8 são os locais com maior e menor contribuição desses ânions para as águas fluviais da bacia do Alto Sorocaba, respectivamente.

Utilizando-se os dados obtidos para os principais cátions e ânions dissolvidos, é possível classificar quimicamente as águas superficiais dos rios da bacia do Alto Sorocaba. Para isso, utilizou-se o método gráfico de PIPER (1944), o qual é empregado freqüentemente em hidrogeologia. De acordo com a Figura 6.10, as águas fluviais da bacia do Alto Sorocaba podem ser classificadas como sódico-potássicas e sulfatadas em relação aos cátions e ânions, respectivamente.

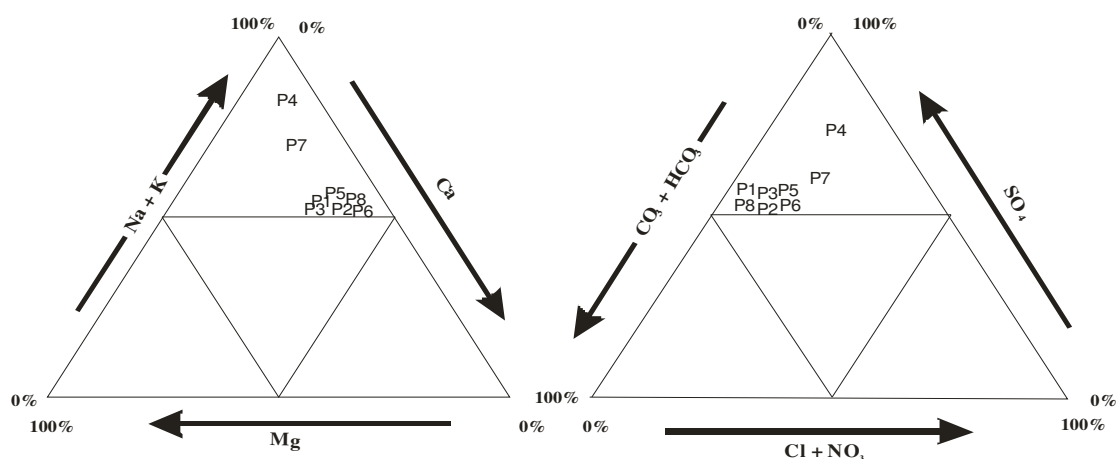


Figura 6.10. Classificação das águas superficiais de acordo com o diagrama de PIPER (1944). P1 e P4 = Rio de Una, P2 e P5 = Rio Sorocabuçu, P3 e P6 = Rio Sorocamirim, P7 e P8 = Rio Sorocaba.

6.2.3 – Urânio e principais metais dissolvidos

No Apêndice (Tabelas 4a e 5a) constam os resultados obtidos na análise de Al, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn para as amostras coletadas neste estudo. Segundo ESTEVES (1988), a carga total de metais depende das características geológicas e ecológicas da bacia e do tipo de atividade humana, sendo seu transporte realizado principalmente sob forma dissolvida ou ligada ao material particulado em suspensão. A Tabela 6.6 ilustra os valores médios obtidos para os metais analisados e a Figura 6.11 a concentração média ponderada, determinada a partir da equação 14.

Segundo a Resolução CONAMA 357/05 para rios de Classe 2, os valores máximos permitidos são: alumínio 0,1 mg/L, ferro 0,3 mg/L, chumbo 0,01 mg/L, manganês 0,1 mg/L, níquel 0,025 e zinco 0,18 mg/L. Para a maioria desses metais, as águas analisadas apresentam concentrações que ultrapassam o valor máximo em quase todos os pontos de coleta, principalmente no período chuvoso, onde há um aumento considerável dos valores obtidos (Tabela 6.6). Através de manejos inadequados, alguns desses elementos podem ser transportados pelas águas, concentrando-se nos sedimentos e plantas aquáticas e tornando-se fontes de poluição. Através de seu efeito cumulativo na cadeia alimentar, eles podem causar doenças e até a morte de peixes e outros organismos (CONCEIÇÃO & BONOTTO, 2002).

Tabela 6.6. Média dos valores obtidos (em mg/L) para os metais analisados na bacia.

<i>Período seco (agosto, setembro e outubro)</i>						
<i>Ponto de coleta</i>	<i>Al</i>	<i>Fe</i>	<i>Mn</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>
<i>P1</i>	0,38	0,46	0,04	0,01	0,03	0,07
<i>P2</i>	0,32	0,47	0,03	0,02	0,04	0,05
<i>P3</i>	0,62	0,78	0,04	0,02	0,03	0,05
<i>P4</i>	0,62	0,63	0,05	0,02	0,05	0,12
<i>P5</i>	0,48	0,60	0,03	0,02	0,05	0,07
<i>P6</i>	0,81	0,82	0,05	0,02	0,03	0,06
<i>P7</i>	0,53	0,62	0,05	0,02	0,04	0,09
<i>P8</i>	0,27	0,10	0,01	0,01	0,01	0,02
<i>Período chuvoso (novembro, dezembro e janeiro)</i>						
<i>Ponto de coleta</i>	<i>Al</i>	<i>Fe</i>	<i>Mn</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>
<i>P1</i>	0,67	1,23	0,11	0,03	0,07	0,11
<i>P2</i>	0,70	0,92	0,07	0,04	0,07	0,40
<i>P3</i>	0,76	1,28	0,07	0,04	0,04	0,09
<i>P4</i>	0,93	1,45	0,13	0,04	0,09	0,27
<i>P5</i>	0,75	1,09	0,07	0,04	0,08	0,72
<i>P6</i>	0,95	1,37	0,09	0,04	0,06	0,72
<i>P7</i>	0,75	1,01	0,09	0,04	0,08	0,62
<i>P8</i>	0,61	0,28	0,03	0,01	0,02	0,03

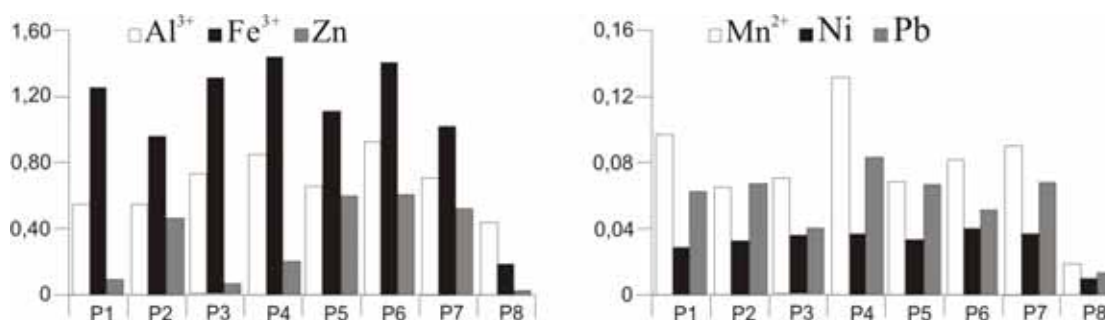


Figura 6.11. Concentração média ponderada de metais (mg/L) para as águas fluviais da bacia do Alto Sorocaba. P1 e P4 = Rio de Una, P2 e P5 = Rio Sorocabuçu, P3 e P6 = Rio Sorocamirim, P7 e P8 = Rio Sorocaba.

Segundo BONOTTO (2004), nas águas superficiais oxidantes, ocorre o transporte de urânio como íons uranila, sob a forma de vários complexos solúveis com os ânions comumente dissolvidos; em condições ácidas, os principais complexos de uranila são formados com o fosfato e em condições alcalinas são formados com o carbonato. Na Tabela 6.7 estão apresentados os valores obtidos para o teor de urânio dissolvido ($\mu\text{g/L}$) e razão de atividade $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ para as amostras analisadas. No Apêndice (Figuras 6a e 7a) constam os espectrogramas alfa obtidos para as duas amostras coletadas no ponto P7.

A técnica de espectrometria alfa foi empregada na análise do urânio dissolvido, porém como ilustrado na Tabela 6.7, a maioria das amostras exibe valor abaixo do limite crítico de detecção (L_c) (CURRIE, 1968).

Tabela 6.7. Teor de urânio dissolvido ($\mu\text{g/L}$) e razão de atividade $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ nas águas da bacia.

Datas de coleta	Pontos de coleta	Volume (L)	Tempo (s)	Contagens			Concentração ^{238}U ($\mu\text{g/L}$)**	Razão de atividade $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ **
				N 238	N 234	N 232		
13/08/2006	P7	20	84.054,36	39	46	19	0,47	1,18
	P8*	20	84.071,48	-	-	12	-	-
20/09/2006	P7*	20	87.001,58	-	-	16	-	-
	P8*	20	86.999,02	-	-	-	-	-
18/10/2006	P7	20	86.714,64	79	98	31	0,58	1,24
	P8*	20	86.492,30	-	-	54	-	-
23/11/2006	P7*	20	86.779,18	-	-	-	-	-
	P8*	20	86.787,20	-	-	-	-	-
19/12/2006	P7*	20	86.803,23	-	-	5	-	-
	P8*	20	89.700,42	-	-	35	-	-
10/01/2007	P7*	20	87.153,12	-	-	15	-	-
	P8*	20	87.152,73	-	-	6	-	-

* Abaixo do limite de detecção (L_c). $^{238}\text{U} = 0,00082$ cpm; $^{234}\text{U} = 0,00154$ cpm; $^{232}\text{U} = 0,00225$ cpm.

** Incerteza analítica de $\pm 10\%$ correspondente ao desvio padrão 1σ .

6.2.4 – Análise estatística dos dados hidroquímicos

No Apêndice (Tabela 6a) consta matriz de correlação envolvendo todos os parâmetros analisados para as amostras de águas superficiais do Rio Sorocaba (P7). A escolha do ponto 7 se deve ao fato, de que há um controle da vazão nas comportas da represa de Itupararanga pela CBA no ponto 8. Além disso, o tempo de detenção hidráulica na barragem faz com que os elementos químicos se precipitem ou sofram reações químicas. As correlações indicam que a composição química da água é influenciada por componentes geo e antropogênicos. O aumento da concentração de bicarbonato e dos metais alcalinos, Ca^{2+} , Na^+ , K^+ e Mg^{2+}

contribuiu para a elevação do pH das águas, também justificando a correlação direta entre sólidos totais dissolvidos e o pH (Figura 6.12).

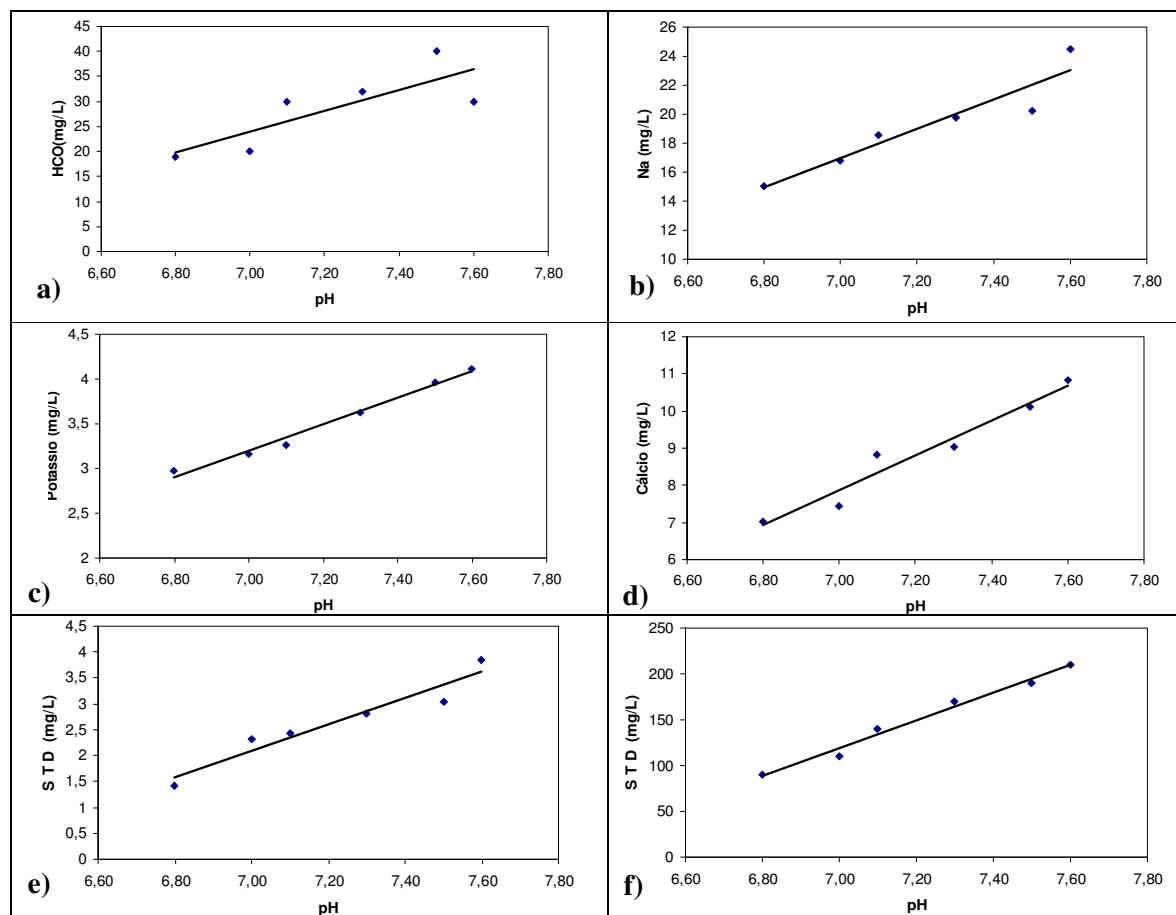


Figura 6.12. Correlações entre os parâmetros obtidos nas águas superficiais do Rio Sorocaba (P7): (a) pH e bicarbonato; (b) pH e sódio; (c) pH e potássio; (d) pH e cálcio; (e) pH e magnésio; (f) pH e sólidos totais dissolvidos.

7 – TAXAS DE INTEMPERISMO NA BACIA

7.1 – Transporte específico de cátions e ânions

O valor do transporte específico de cátions e ânions (ton/km²/ano) em uma bacia hidrográfica está relacionado com a média ponderada de cátions e ânions, a área e a vazão média de cada ponto de amostragem (MOREIRA-NORDEMANN, 1980, 1984). Os dados relevantes neste estudo são: P1 = 35,5 km² e 0,67 m³/s, P2 = 57,6 km² e 1,09 m³/s, P3 = 86,2 km² e 1,64 m³/s, P4 = 92,1 km² e 1,73 m³/s, P5 = 195,3 km² e 3,66 m³/s, P6 = 371,2 km² e 6,94 m³/s, P7 = 670,4 km² e 12,62 m³/s e P8 = 929 km² e 9,27 m³/s. Quando estes valores e as concentrações médias ponderadas (Tabela 6.5) são utilizadas, então, é possível estimar as taxas representadas na Tabela 7.1 e ilustradas na Figura 7.1.

Tabela 7.1. Valores de transporte específico (ton/km²/ano) para os principais cátions e ânions nas águas fluviais da bacia do Alto Sorocaba.

Ponto de coleta	Q média (m ³ /s)	Área (km ²)	ton/km ² /ano										
			Na ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	STD	STS
1	0,67	35,5	4,12	5,52	4,55	1,68	0,45	10,49	1,60	0,44	18,03	87,86	29,58
2	1,09	57,6	2,40	3,56	1,81	0,98	0,45	9,24	1,98	0,34	10,91	74,78	24,83
3	1,64	86,2	2,75	4,32	2,01	1,39	0,41	8,14	1,69	0,61	15,04	44,69	24,37
4	1,73	92,1	27,25	8,62	4,95	2,10	1,41	25,63	3,55	20,18	22,89	158,32	35,38
5	3,66	195,3	2,91	3,76	1,99	1,11	0,86	15,67	2,51	0,97	15,51	74,05	34,72
6	6,94	371,2	2,65	6,22	2,68	1,60	0,62	13,66	1,81	0,72	18,17	31,62	31,63
7	12,62	670,4	6,73	5,63	2,19	1,79	1,01	18,17	2,79	6,73	17,24	100,42	33,24
8	9,27	929	1,79	2,09	0,81	0,53	0,02	3,09	0,14	0,19	3,12	12,88	3,63

Os pontos P1, P2 e P3 estão situados em regiões com menor presença de poluição, por isso, seriam esperados menores valores em relação aos encontrados para os demais pontos quanto aos parâmetros apresentados na Tabela 7.1 e Figura 7.1. Com exceção do potássio, isto é bastante evidente quando se consideram os pontos P1 e P4 no Rio de Una, mas também pode ser notado quando se comparam os pontos P2 e P5 no Rio Sorocabuçu e pontos P3 e P6 no Rio Sorocamirim, embora as diferenças encontradas não são tão pronunciadas quanto aquelas verificadas nos pontos P1 e P4. Quando a comparação é efetuada entre os diferentes tributários, verifica-se que os pontos P5, P6 e P7, para um grande número de parâmetros, possuem valores equivalentes (ou inferiores) aos dos pontos P1, P2 e P3. Relativamente ao sódio no Rio Sorocamirim, constata-se, inclusive, que o valor obtido no ponto P6 é inferior ao do ponto P3, contrariamente ao esperado.

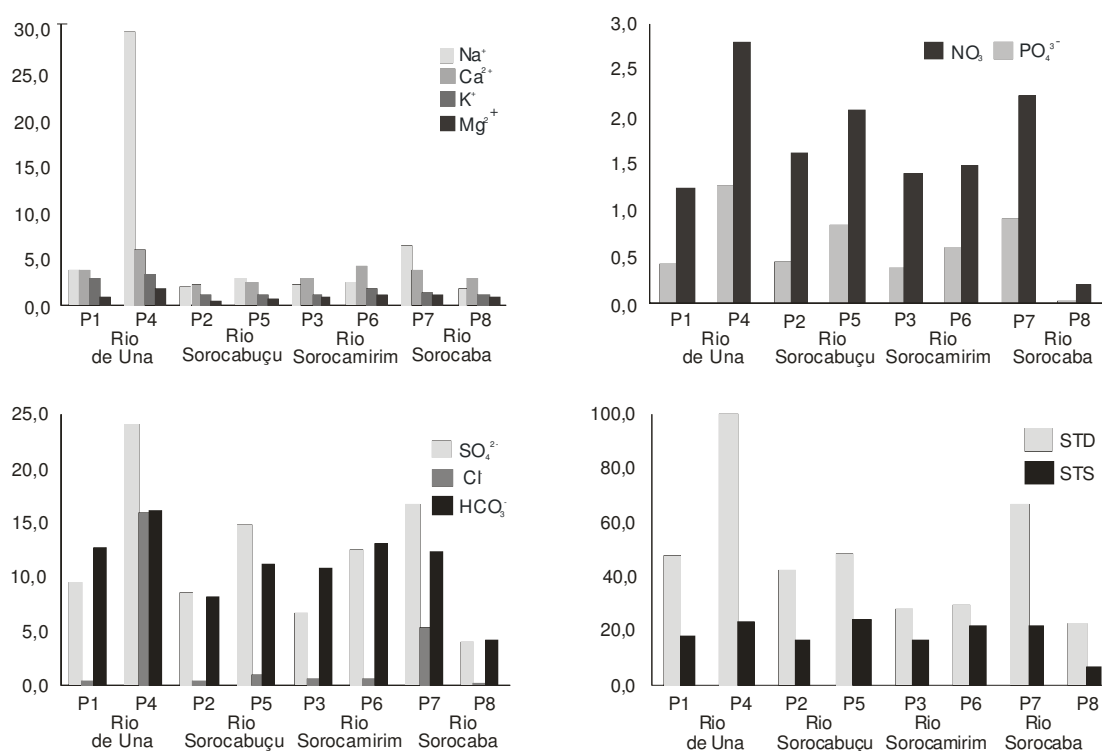


Figura 7.1. Transporte específico (ton/km²/ano) de cátions e ânions na bacia do Alto Sorocaba. P1 e P4 = Rio de Una, P2 e P5 = Rio Sorocabuçu, P3 e P6 = Rio Sorocamirim e P7, P8 = Rio Sorocaba.

Assim, é difícil justificar na íntegra que os valores obtidos para os pontos P1, P2 e P3 são representativos de características próximas ao comportamento natural de cátions e ânions dissolvidos nas águas da bacia do Alto Sorocaba. Relativamente a estes três pontos, no geral, os maiores valores de transporte específico foram obtidos no Rio de Una (P1), que flui

principalmente sobre o granito Ibiúna, composto por quartzo, feldspato potássico, plagioclásio, biotita e hornblenda. O Rio Sorocamirim (P3) flui sobre os granitos Caucaia que apresentam quartzo, feldspato potássico, plagioclásio e biotita em sua composição mineralógica. Relativamente a P1, P2 e P3, com exceção de STD, fosfato, sulfato e nitrato, os menores valores de transporte específico foram obtidos no Rio Sorocabuçu (P2), que recebe a contribuição do intemperismo do granito Caucaia e dos gnaisses migmatíticos do Complexo Embu, composto basicamente por biotita, muscovita e sillimanita.

PEDRO & SIEFFERMANN (1979) consideraram que parte da origem de cátions e ânions nas águas superficiais é devida ao intemperismo das rochas, segundo a reação: $\text{Minerais primários} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{minerais secundários (argilas)} + \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{SiO}_4 + \text{solução lixiviada}$. A degradação primária ou total destruição das estruturas dos minerais primários pode produzir fases secundárias, onde o processo é fortemente influenciado pela natureza dos minerais primários, clima, biosfera e tempo (MARTINI & CHESWORTH, 1992). Em relação aos processos intempéricos, a bacia do Alto Sorocaba está inserida em uma região onde o clima (pluviosidade de 1.492,7 mm/ano e temperatura de 20° C) causa uma alteração química moderada, com predomínio do processo de monossilicização. Esse processo ocorre pela hidrólise parcial da rocha mãe, com parte do Si permanecendo no perfil de alteração e Na, Ca, K e Mg sendo eliminados (TOLEDO et al., 2000).

Possíveis reações envolvendo os processos de intemperismo na bacia do Alto Sorocaba são apresentadas na Figura 7.2. Em geral, Na e Ca podem ser liberados pela hidrólise do plagioclásio e hornblenda, K pela hidrólise da biotita, muscovita e feldspato potássico e Mg pela hidrólise da biotita e hornblenda. Quartzo (SiO_2) é um mineral comum na composição da maioria das rochas da bacia do Alto Sorocaba, porém, este mineral é geralmente resistente aos processos intempéricos (TOLEDO et al., 2000).

As rochas da bacia do Alto Sorocaba não possuem minerais portadores de Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-} e SO_4^{2-} como um constituinte principal, e, conseqüentemente, pouca entrada natural desses elementos/compostos é esperada nas águas devido aos processos de interação água/rocha. Assim, os valores de transporte de Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-} e SO_4^{2-} nos pontos P1, P2 e P3 poderiam, em princípio, ser atribuídos às entradas atmosféricas na bacia do Alto Sorocaba. Isto porque, no geral, os resultados de transporte específico indicam um aumento de seus valores ao longo dos afluentes do Rio Sorocaba. Por exemplo, para o PO_4^{3-} , o valor em P1 é de 0,45 ton/km²/ano, enquanto que em P4 corresponde a 1,41 ton/km²/ano.

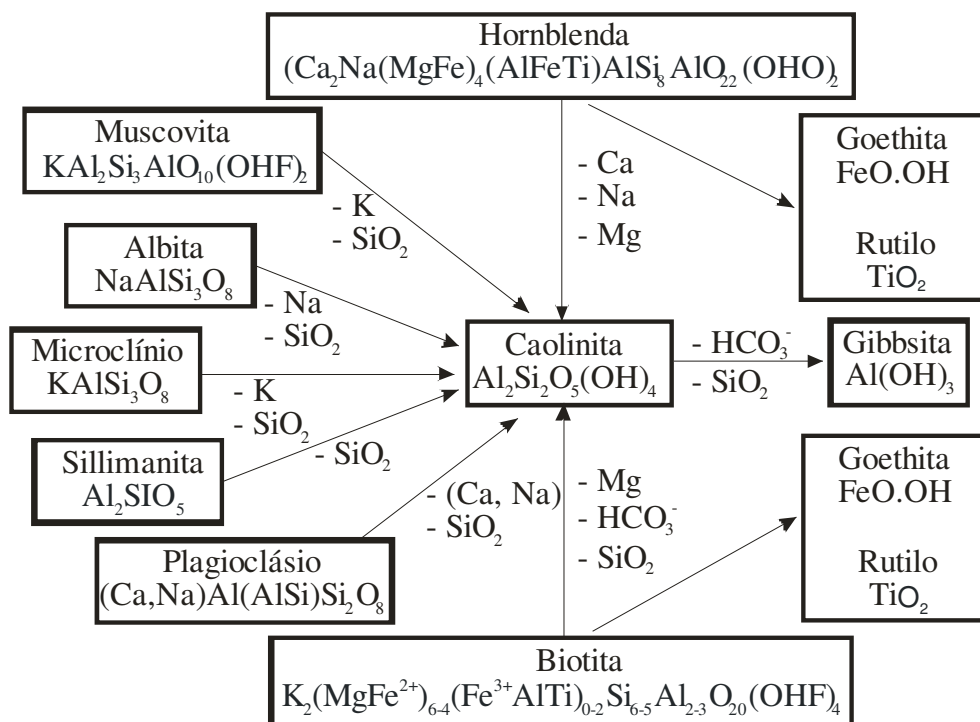


Figura 7.2. Possíveis reações envolvendo os minerais encontrados nos granitos Ibiúna, Caucaia e gnaisses migmatíticos do Complexo Embu.

Assim, vários fatores antropogênicos devem estar afetando os resultados de transporte específico obtidos neste trabalho. O crescimento urbano de Ibiúna, sem planejamento, com o descarte de efluentes domésticos e industriais “in natura” no Rio de Una faz com que, óleos, lixo, cor, odor, larvas e vermes vermelhos (*Chironomidae*) sejam componentes da paisagem, conforme observado em P4. A degradação da qualidade da água, ao passar pelo município de Ibiúna (P4) é evidenciada pelos valores mais acentuados obtidos para sódio, cálcio, potássio, nitrato, fosfato, cloreto, sulfato, alcalinidade e STD. Os pontos P5 e P6 drenam uma área onde o uso de fertilizantes e queimadas por parte das propriedades agrícolas podem ocasionar a liberação de grandes quantidades de macronutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio). O Rio Sorocabuçu (P5) e o Rio Sorocamirim (P6) não passam por nenhum centro urbano, porém podem receber possíveis cargas difusas, devido ao cultivo de olerícolas (repolho, alface, batata, tomate, etc.) ou pela presença de pequenos aglomerados populacionais ao longo de sua extensão.

Outro fator interessante que também pode ser observado é a diminuição do transporte específico no Rio Sorocaba após o Reservatório de Itupararanga (P8), que pode estar associada à deposição de íons e sólidos na entrada da represa (P7), ao alto tempo de detenção

hidráulica, à pequena entrada de elementos durante o percurso e à precipitação/reação química dos mesmos na represa, indicando uma retenção eficiente da carga afluyente ao reservatório.

Segundo TUNDISI et al. (2006), lagos funcionam como sistemas tampão, com a eliminação de nitrogênio (por denitrificação) e complexação/retenção de metais pesados e fósforo (por incorporação na biomassa). Durante o período frio, o aumento dos ventos e a diminuição das radiações solares promovem uma circulação vertical da massa de água no reservatório TUNDISI et al. (2004), o que conduz a uma maior remobilização de materiais que se encontram nos sedimentos de fundo, diminuindo os valores de pH e OD durante esse período. Por outro lado, condições de pH elevado freqüentes durante períodos de intensa fotossíntese favorecem a presença de amônia na forma livre (NH_3). Já as cargas de material dissolvido e em suspensão afluentes ao reservatório podem, segundo TUNDISI et al. (2006), interferir no funcionamento da comunidade aquática, pois, reduzem a zona eufótica e a produtividade primária planctônica.

7.2 – Velocidade de formação do frente de alteração

MOREIRA-NORDEMANN (1977) esquematizou o comportamento dos elementos naturais introduzidos numa bacia e transportados pelas águas do rio, conforme mostrado a seguir:

- Os elementos naturais são introduzidos permanentemente dentro da bacia pelas águas de chuva;
- Uma fração de água de chuva escoam para o rio. Essas águas que escoam carregam consigo partículas sólidas dos materiais presentes na bacia;
- A vegetação absorve os elementos necessários para sua subsistência;
- As águas enriquecidas em matéria orgânica e constituintes inorgânicos percolam diferentes horizontes do solo, atacando minerais primários presentes em diferentes níveis;
- As águas que percolam as rochas são geralmente enriquecidas em constituintes inorgânicos, sendo uma parte introduzida no rio e outra nos aquíferos;
- O rio é o depósito das águas de escoamento, de percolação e da matéria sólida em suspensão, onde uma parcela vai para os oceanos e outra retorna para a atmosfera, precipitando na bacia como águas de chuva e recomeçando o ciclo.

As águas de drenagem atacam as rochas e formam o frente de alteração, podendo este processo ser resumido da seguinte maneira (MOREIRA-NORDEMANN, 1977):

- Ataque da rocha mãe pelas águas meteóricas que percolam os solos e se tornam enriquecidas em ácidos orgânicos e constituintes inorgânicos;

- Tal ataque compreende a dissolução e liberação progressiva dos elementos mais solúveis, assim, o fronte de alteração é o fornecedor de elementos para as águas de drenagem;

- No caso da alteração com conservação da estrutura, o horizonte C dos solos conserva o volume inicial e sua densidade varia de acordo com as características da rocha mãe;

- Nas partes superficiais dos perfis do solo (horizonte A e B), o volume inicial não é conservado;

- O balanço geoquímico de um elemento efetuado a partir da subtração de sua quantidade residual no solo daquela quantidade inicial da rocha mãe, não é possível de ser realizado pela sua razão isovolumétrica.

Assim, neste trabalho, o urânio será utilizado como traçador natural para a determinação da velocidade de formação do fronte de alteração na bacia do Alto Sorocaba. Assume-se que o urânio não é introduzido pela água de chuva no ciclo geoquímico, de maneira que todo o urânio da água do rio é proveniente da interação com as rochas e solos da bacia.

7.2.1 – Equações necessárias para a modelagem

GARRELS & MACKENZIE (1967) modelaram a abundância e proporção relativa de íons dissolvidos em águas superficiais, usando uma equação de balanço de massa. Contudo, a entrada de elementos e/ou componentes leva a uma importante correção para se obter a fração proveniente da dissolução das rochas. Assim, WHITE & BLUM (1995) sumarizaram a dinâmica química ocorrendo num rio por meio da equação:

$$F_W = F_{river} - F_{wetfall} - F_{dryfall} \pm F_{ion\ exchange} \pm F_{bio} - F_{anthropogenic} \quad (15)$$

Onde:

F_W = fluxo anual do elemento nas águas do rio (kg/ano);

F_{river} = fluxo quantificado do elemento nas águas do rio (kg/ano);

$F_{wetfall}$ and $F_{dryfall}$ = entradas atmosféricas (kg/ano);

$F_{ion\ exchange}$ = sólidos dissolvidos a partir de trocas iônicas em argilo minerais (kg/ano);

F_{bio} = sólidos dissolvidos devido a mudanças na biomassa (kg/ano);

$F_{anthropogenic}$ = entradas antropogênicas (kg/ano).

A correção, devido entradas antropogênicas de diferentes tributários, também pode ser efetuada utilizando outra equação de balanço de massa. No caso da bacia do Alto Sorocaba, a correção poderia ser realizada considerando o Rio Sorocaba antes de sua entrada na represa de Itupararanga e seus tributários Rio de Una, Rio Sorocamirim e Rio Sorocabuçu, ou seja:

$$Q_{RS}C_{RS} = Q_{RU}C_{RU} + Q_{RSM}C_{RSM} + Q_{RSU}C_{RSU} \quad (16)$$

Onde:

Q_{RS} = soma da vazão dos tributários (m^3/s);

C_{RS} = concentração corrigida no Rio Sorocaba (mg/L);

Q_{RU} = vazão do Rio de Una (m^3/s);

C_{RU} = concentração do elemento no Rio de Una (mg/L);

Q_{RSM} = vazão no Rio Sorocamirim (m^3/s);

C_{RSM} = concentração do elemento no Rio Sorocamirim (mg/L);

Q_{RSU} = vazão no Rio Sorocabuçu (m^3/s);

C_{RSU} = concentração do elemento no Rio Sorocabuçu (mg/L).

A quantidade total de material alterado removido por unidade de área e tempo W ($ton/km^2/ano$) pode ser determinada pelo uso da seguinte equação apresentada por MOREIRA-NORDEMANN (1980, 1984):

$$W = F_W / E_R S \quad (17)$$

Onde:

F_W = fluxo anual do elemento nas águas do rio (kg/ano);

E_R = concentração média do elemento nas rochas (kg/ton);

S = área da bacia (km^2).

Quando o elemento utilizado na modelagem é o urânio, verifica-se que uma fração fica retida no solo, enquanto parte é removida para o rio. A quantidade de urânio nas rochas (U_R) deve ser igual à soma do urânio no solo (U_S) e na água (U_E) e, quando se leva em conta a razão de atividade $^{234}U/^{238}U$ nessas fases, é possível escrever:

$$A_R U_R = A_E U_E + A_S U_S \quad (18)$$

Onde:

U_R = teor de urânio na rocha;

U_E = teor de urânio na água;

U_S = teor de urânio no solo (horizonte C, quando possível);

$A_R = {}^{234}\text{U}/{}^{238}\text{U}$ na rocha;

$A_E = {}^{234}\text{U}/{}^{238}\text{U}$ na água;

$A_S = {}^{234}\text{U}/{}^{238}\text{U}$ no solo.

A fração do urânio que é removida da rocha é expressa por $k U_R$. No solo, a quantidade remanescente é representada por $(1 - k) U_R$. Assim,

$$A_E U_E = k A_E U_R \quad (19)$$

Portanto,

$$A_S U_S = (1 - k) A_S U_R \quad (20)$$

Efetuando-se algumas substituições, obtém-se:

$$A_R U_R = k A_E U_R + (1 - k) A_S U_R \quad (21)$$

Eliminando U_R :

$$A_R = k A_E + (1 - k) A_S \quad (22)$$

Resolvendo a equação, é possível obter o coeficiente de dissolução da rocha pela equação:

$$k = (A_R - A_S) / (A_E - A_S) \quad (23)$$

Usando a densidade ρ das rochas e o coeficiente de dissolução k , relacionado com a fração solúvel dos elementos durante o intemperismo, pode-se determinar a velocidade de alteração v das rochas da bacia. Assim, é possível escrever:

$$v = W / k \rho = F_w / k \rho E_R S \quad (24)$$

Onde:

v = velocidade de alteração da rocha (cm/ano);

k = coeficiente de dissolução da rocha;

ρ = densidade da rocha.

7.3 – Remoção de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ na bacia

Apesar das dificuldades encontradas para justificar que os pontos P1, P2 e P3 representam as condições naturais intempéricas atuando na bacia do Alto Sorocaba, eles tendem a sofrer menores impactos devido às ações antropogênicas e, por isso, poderiam ser usados em estimativas de remoção de cálcio, magnésio, sódio e potássio na bacia. Uma vez que o ponto P7 representa o exutório da bacia, a remoção de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ pode ser estimada levando-se em conta a equação (16) que prevê a contribuição relativa de seus tributários (P1 – Rio de Una; P2 – Rio Sorocabaçu; P3 – Rio Sorocamirim). As concentrações médias desses íons obtidas durante as amostragens realizadas (Apêndice – Tabelas 2a e 3a) estão representadas na Tabela 7.2. Além disso, também constam na Tabela 7.2 as concentrações corrigidas no ponto P7 por intermédio do uso da equação (16), onde foram adotadas as concentrações médias de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ em P1, P2 e P3 durante as amostragens realizadas (Apêndice – Tabelas 2a e 3a) e a vazão média em cada ponto (Tabela 7.1).

Tabela 7.2. Concentrações medidas (valor médio) e corrigidas no Rio Sorocaba (P7) para os principais cátions dissolvidos.

<i>Valor</i>	<i>Concentração (mg/L)</i>			
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
Media aritmética	8,9	2,6	19,2	3,5
Média ponderada	9,5	3	11,3	3,7
Corrigido (equação 16)	6,6	2,0	5,8	3,7

O fluxo anual de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ nas águas superficiais do Rio Sorocaba é calculado utilizando a equação 15. Para tanto, foram empregados os dados corrigidos para a concentração dos elementos nas águas superficiais em P7 (Tabela 7.2), assim como as concentrações/transporte determinados para as águas de chuva pela deposição seca e úmida (Capítulo 5 – Tabela 5.3). Os sólidos dissolvidos a partir de trocas iônicas em argilo minerais e os sólidos dissolvidos devido a mudanças na biomassa não foram analisados e por isso esses

parâmetros serão descartados nos cálculos. Para as entradas antropogênicas, será assumido que as concentrações corrigidas na Tabela 7.2 estão descartando a sua contribuição.

As concentrações corrigidas na Tabela 7.2 foram utilizadas na estimativa do fluxo anual dos elementos (ton/km²/ano) nas águas do Rio Sorocaba (P7), empregando-se, para tanto a vazão média (12,62 m³/s) e a área (670,4 km²) no ponto P7. Os valores obtidos estão representados na Tabela 7.3, onde também constam os valores das entradas atmosféricas (Capítulo 5 – Tabela 5.3), a concentração média ponderada nas rochas (Capítulo 4 – Tabela 4.2) e o fluxo anual líquido (F_w) nas águas do Rio Sorocaba, isto é, sem a contribuição das águas de chuva.

Tabela 7.3. Fluxo anual de elementos (ton/km²/ano) nas águas do Rio Sorocaba (P7), e concentração média dos elementos (kg/ton) nas rochas da bacia.

	Unidade	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
Rio Sorocaba (P7)	(ton/km ² /ano)	3,95	1,20	3,46	2,22
Chuva	(ton/km ² /ano)	5,20	0,25	2,14	1,07
(F_w) Diferença*	(ton/km ² /ano)	-1,25	0,95	1,32	1,15
Teor médio nas rochas	(kg/ton)	14,47	8,63	17,29	31,89

*Águas do Rio Sorocaba corrigidas (P7) - Águas de chuva (deposição seca e úmida) = F_w

Os valores de F_w expressos na Tabela 7.3 podem ser empregados para estimar a quantidade W de material removido por unidade de área e tempo (Equação 17), estando os resultados obtidos ilustrados na Tabela 7.4. Assim, constata-se que a quantidade de material removido na bacia do Rio Sorocaba corresponde a aproximadamente 110,64 ton/km²/ano utilizando o magnésio como traçador natural, a aproximadamente 76,70 ton/km²/ano utilizando o sódio e a aproximadamente 36,24 ton/km²/ano utilizando o potássio. Para o cálcio, não é possível efetuar a avaliação, pois, o teor encontrado nas águas de chuva é superior ao determinado nas águas do Rio Sorocaba. O cálcio é muito abundante em águas de chuva na região da bacia do Alto Sorocaba, sendo proveniente possivelmente da dissolução de CaCO₃ como discutido anteriormente.

Tabela 7.4. Quantidade de material solubilizado por unidade de área e tempo (W).

<i>Total de material alterado removido</i>				
Traçador natural	Ca²⁺	Mg²⁺	Na⁺	K⁺
W (ton/km²/ano)	-	110,64	76,70	36,24

Portanto, a estimativa de material removido é bastante variável, dependendo do elemento considerado (Na^+ , K^+ e ou Mg^{2+}). O K^+ e Mg^{2+} são elementos utilizados pela biomassa, indispensáveis no ciclo bioquímico da fauna e da flora; são também utilizados na formação de novos minerais (MOREIRA-NORDEMANN, 1977). O elemento sódio é um íon muito móvel, lixiviado rapidamente pela água superficial DEMOLON (1960 apud MOREIRA-NORDEMANN, 1984).

7.4 – A velocidade de alteração das rochas por intermédio do urânio

Para determinar a velocidade de alteração das rochas utilizando o urânio como traçador natural foram consideradas:

- a concentração média do teor de urânio dissolvido nas águas superficiais do P7 coletadas nos dias 13/08/06 e 18/10/06 (Tabela 6,7);

- a vazão média em P7 obtida para o período de agosto e outubro de 2006 (Tabela 2a, Apêndice);

- os dados alusivos ao urânio na amostra de solo alterado do granito Ibiúna (S2) (Tabela 4.4);

- a concentração média para o urânio nas rochas obtida por espectrometria alfa (R4) e gama (R1, R2, R3, R5, R6, R7, R8 e R13) (Tabela 4.3). Os pontos R9 a R12 não foram considerados por estarem a jusante do ponto 7.

Assim como no caso dos cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ , o ponto 7 foi considerado como sendo o exutório da bacia, sendo todos os dados (rochas, águas e solo) calculados para a área em questão ($670,4 \text{ km}^2$).

Para estimar a quantidade W de material removido a partir do urânio (equação 17), os valores necessários são $U_E = 0,53 \text{ } \mu\text{g/L}$; $U_R = 12,06 \text{ } \mu\text{g/g}$; $Q = 9,03 \text{ m}^3/\text{s}$ e $S = 670,4 \text{ km}^2$, os quais fornecem para W um valor de $18,49 \text{ ton/km}^2/\text{ano}$. Esse valor é um pouco inferior aos obtidos na estimativa realizada com o Mg^{2+} , Na^+ e K^+ , isto é, $110,64$, $76,70$ e $36,24 \text{ ton/km}^2/\text{ano}$, respectivamente.

Para se avaliar a velocidade do frente de alteração é preciso estimar o coeficiente k característico da região a partir da razão de atividade $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ para as rochas, águas e solos da bacia (equação 23). Os valores adotados são $A_R = 1,0$ (Capítulo 4 – Tabela 4.3), $A_S = 0,78$ (Capítulo 4 – Tabela 4.4) e $A_E = 1,21$ (Capítulo 6 – Tabela 6.7), os quais permitem obter $k = 0,51$. Isto significa que 51% do urânio contido na rocha é transportado pelo Rio Sorocaba (P7) na forma solúvel.

O cálculo da velocidade de alteração v das rochas pode ser efetuado por meio da equação 24. Para isso, utiliza-se um valor de $2,6 \text{ g/cm}^3$ como representativo para a densidade das rochas da bacia do Alto Sorocaba e os valores de W e k correspondentes a $18,49 \text{ ton/km}^2/\text{ano}$ e $0,51$, respectivamente. Assim, obtém-se uma taxa de intemperismo químico na bacia do Alto Sorocaba de $0,0139 \text{ mm/ano}$. Portanto, pode-se dizer que seriam necessários aproximadamente 72.000 anos para alterar 1m de rocha nas condições adotadas para os cálculos efetuados.

8 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

8.1 – Taxas de intemperismo

Este trabalho investigou o intemperismo químico na bacia do Alto Sorocaba (SP). Ao se utilizar os maiores cátions e o método do desequilíbrio isotópico do urânio com esses propósitos, foi possível identificar vários problemas relacionados com as contribuições antropogênicas ocorrendo neste sistema natural.

O balanço geoquímico efetuado na bacia do Alto Sorocaba utilizando os principais cátions apresentou alguns inconvenientes, não sendo assim possível a utilização do cálcio como traçador natural na bacia a partir da modelagem empregada. Isto porque esse elemento possui maiores concentrações nas águas de chuva do que nas águas superficiais.

De acordo com GRAUSTEIN (1975 apud MOREIRA-NORDEMANN, 1984), a presença de cálcio, magnésio e potássio na matéria orgânica viva ou morta pode ser muito mais elevada do que nas águas superficiais dos rios. O sódio é um elemento muito móvel evacuado rapidamente pelas águas superficiais. Conforme o diagrama de GIBBS (1970), não é possível assegurar o grau de atuação dos processos intempéricos em dois pontos, sugerindo cautela na utilização desse cátion como traçador natural da taxa de intemperismo.

Neste sentido, a utilização do urânio na avaliação do intemperismo elimina certas correções que são necessárias em outros métodos. Isto porque o urânio apresenta vantagens em relação a outros elementos, por exemplo, não é esperada sua presença em águas de chuva. Assim, os resultados da caracterização intempérica das rochas da bacia do Alto Sorocaba

através do modelo do desequilíbrio isotópico do urânio podem ser comparados com os de outros trabalhos que utilizaram a mesma metodologia.

A taxa de intemperismo na bacia do Alto Sorocaba a partir dos isótopos de urânio $^{238}\text{U}/^{234}\text{U}$ correspondeu a aproximadamente 13,9 $\mu\text{m}/\text{ano}$ (0,0139 mm/ano), a qual indica que são necessários 72.000 anos para alterar 1m de rocha nas condições utilizadas na modelagem. Na bacia do Rio Corumbataí, São Paulo, CONCEIÇÃO (2000) chegou a um valor de 0,0053 mm/ano, indicando que são necessários 190.000 anos para alterar 1 m de rocha. Já BONOTTO et al. (2007) em trabalho realizado no Morro do Ferro, Minas Gerais, chegou a um valor de 0,015 mm/ano ou 67.000 anos para alterar 1 m de rocha e MOREIRA-NORDEMANN (1980) em trabalho realizado na bacia do Rio Preto, Bahia, chegou a um valor de 0,04 mm/ano ou 25.000 anos para alterar 1 m de rocha.

Estimativa da taxa de intemperismo semelhante à obtida pelo método dos isótopos de urânio na bacia do Alto Sorocaba (SP) não é possível ser realizada a partir de Na^+ , K^+ e Mg^{2+} , tendo em vista a falta de coeficiente de dissolução k das rochas associado a esses elementos. Por isso, a velocidade de alteração v das rochas não pode ser avaliada por intermédio da equação (24) aplicada ao Na^+ , K^+ e Mg^{2+} .

Contudo, uma maneira simplificada de obter (v) para esses elementos poderia ser a comparação da quantidade de material removido W ($\text{ton}/\text{km}^2/\text{ano}$) expressa na Tabela 7.4 com aquela estimada com base no urânio (18,49 $\text{ton}/\text{km}^2/\text{ano}$). As seguintes taxas seriam obtidas: 0,057 mm/ano para o Na^+ (alteração de 1 m de rocha em 17.000 anos), 0,027 mm/ano para o K^+ (alteração de 1 m de rocha em 37.000 anos), e 0,083 mm/ano para o Mg^{2+} (alteração de 1 m de rocha em 12.000 anos). Esses valores sugerem que a estimativa realizada a partir da utilização do urânio como traçador natural é mais adequada e se aproxima das condições intempéricas naturais.

8.2 – Influências antrópicas

A utilização do índice de análise ambiental simplificado proposto no presente trabalho, contribuiu para facilitar e orientar a coleta das análises de campo integrando as informações referentes aos indicadores biofísicos de impactos ambientais e as sugestões quanto à conservação dos recursos naturais. Assim, os resultados da presente investigação constataram que a Bacia do Alto Sorocaba está sendo afetada principalmente pela retirada da cobertura vegetal, inclusive a mata ciliar onde residências e propriedades agrícolas não respeitam os limites legais além da quantidade lixo e efluentes observados na bacia.

Para as águas superficiais na bacia do Alto Sorocaba, os Rios Una, Sorocabuçu e Sorocamirim possuem condições melhores a montante (P1, P2 e P3), suas características estão próximas ao comportamento natural devido ao intemperismo das rochas, que permitem seu enquadramento como Classe 2. No entanto, esses rios drenam áreas agrícolas e urbanas e fatores antropogênicos vão afetando a sua qualidade, com isso vão perdendo sua qualidade natural (P4, P5 e P6) e suas condições nem sempre se enquadram como Classe 2, e sim como Classe 4. Após a confluência dos Rios Una, Sorocabuçu e Sorocamirim, no Rio Sorocaba (P7), a água apresenta características de qualidade intermediárias àquelas apresentadas nos exutórios destes rios, sendo que, certos elementos como, fosfato e nitrato, contribuem para a proliferação de macrófitas e algas devido a eutrofização, justamente na entrada da represa de Itupararanga. Porém após a represa de Itupararanga (P8) a água recupera sua qualidade ambiental, indicando sua atuação como “sumidouro”, possivelmente pela sedimentação, absorção e/ou complexação dos elementos envolvidos.

Quanto aos resultados das análises das águas de chuva na bacia do Alto Sorocaba, a maioria dos parâmetros analisados mostrou uma diminuição da concentração no período chuvoso, devido à maior diluição. A concentração de Ca^{2+} é maior que em outras regiões do Brasil utilizadas na comparação, possivelmente devido à presença de mineração de calcário dolomítico e de fábrica de cimento na bacia do Alto Sorocaba. As concentrações de NO_3^- , PO_4^{3-} e SO_4^{2-} são decorrentes principalmente de entradas antropogênicas na bacia, principalmente por várias atividades humanas envolvendo a queima de combustíveis e poeiras de solos agrícolas utilizando fertilizantes. Essas entradas antrópicas de nutrientes podem intensificar o processo de eutrofização das águas da bacia do Alto Sorocaba, principalmente no Reservatório de Itupararanga. As concentrações de Al, Pb e Ni são maiores que os valores máximos permitidos para a potabilidade da água, sugerindo rever enquadramento na Classe 4 da Resolução CONAMA nº 357, indicando um uso restrito a navegação e à harmonia da paisagem.

Portanto, verifica-se que a maioria dos problemas ambientais na bacia do Alto Sorocaba, por atividades antrópicas, tem como causas principais a sua má utilização e falta de planejamento. Assim, a bacia do Alto Sorocaba sofre perdas de diversas funções de seu ecossistema, demonstrando que medidas de curto, médio e longo prazo devem ser propostas, visando à utilização racional dos recursos naturais.

8.3 – Recomendações

Considerando a grande importância da bacia do Alto Sorocaba, tanto para o abastecimento da população, quanto pela sua relevância ecológica por abrigar as nascentes deste mesmo rio, deve ser incentivada uma política que englobe como principal prioridade o desenvolvimento sustentável. Este trabalho propõe, a seguir, algumas ações voltadas ao seu manejo e possíveis soluções dos problemas e impactos encontrados nesta bacia.

8.3.1 – Cobertura Vegetal

Considerando a necessidade de regulamentar a Lei Federal nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, no que concerne às Áreas de Preservação Permanente, através da Resolução CONAMA n. 303, de 20 de março de 2002, ficou determinado a medida mínima de 30 m para os cursos d'água de menos de 10 m de largura. Nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados olhos d'água, qualquer que seja a sua situação topográfica, um raio mínimo de 50 m de largura. Na bacia observou-se o não cumprimento dessa lei, pois ela deveria ter uma área de vegetação, dita de proteção permanente. A recuperação dos rios e córregos pela mata ciliar deve ser divulgada e realizada com a cooperação de todos os envolvidos no uso e ocupação da bacia como: pequenos produtores rurais, população local, fazendeiros e técnicos de órgãos públicos de recursos hídricos, florestais e agrícolas.

Segundo SELLES et al. (2001) para conservação dos solos e dos recursos hídricos, é imprescindível a recomposição das matas ciliares com espécies adequadas e adaptadas a excessos periódicos de água, sendo também recomendado o uso de uma mistura de espécies mais agressivas e colonizadoras de solos sem cobertura (pioneiras), assim como de espécies que necessitam de sombreamento (secundárias e clímaxes), de forma a induzir a dinâmica de desenvolvimento natural e a formação de uma floresta como a original do local. A recomposição de mata ciliar ao longo dos rios e reservatórios deve ser feita utilizando um espaçamento que pode variar entre 2 m x 2 m e 3 m x 3 m. Para o bom desenvolvimento das mudas, é necessário o controle do capim, com duas ou três roçadas por ano ao redor das mudas. Também deve ser realizado nos primeiros anos o controle de formigas cortadeiras, através da utilização de iscas apropriadas, sendo importante o cercamento das áreas de mata ciliar, para que o gado não danifique as mudas, mas sempre deixando um caminho cercado para sua dessedentação.

8.3.2 – *Uso do Solo*

A atividade agrícola que ocupa extensa área na bacia do Alto Sorocaba pode ser responsável por grandes modificações nas características do solo (desmatamentos de extensas áreas, erosão, mudanças na estrutura do solo, compactação, poluição por fertilizantes e pesticidas, etc.). A atividade agrícola deve ser praticada com o uso mínimo de praguicidas e fertilizantes, conscientizando os agricultores a utilizarem as dosagens recomendadas. Também é importante entrar em contato com a prefeitura dos municípios, observando se realmente há locais adequados para destinar embalagens vazias dos produtos agrícolas e se os agricultores possuem conhecimento dessa exigência legal e a utilizam.

Também deveriam ser incentivados o uso de sistemas agroflorestais, ou seja, uma combinação de árvores (leguminosas, frutíferas ou de produção de madeira), juntamente com outros tipos de culturas. Os sistemas agroflorestais podem ter vantagens significativas, reduzindo a entrada de recursos (fertilizantes, praguicidas, água, etc), diminuindo os custos de produção e reduzindo os contaminantes que são lixiviados para os rios da bacia. As práticas conservacionistas para o uso do solo devem envolver: rotação de culturas, adubação verde, preparo e cultivo do solo utilizando sistemas adequados, etc, visando à melhoria da capacidade produtiva e a preservação dos solos.

8.3.3 – *Usos múltiplos da água*

O manejo adequado dos recursos hídricos na bacia deve compatibilizar seus diversos usos, de forma a garantir a água na qualidade e na quantidade desejáveis aos diversos fins. A construção de poços sem o conhecimento prévio das características intrínsecas das estruturas geológicas, hidrogeológicas e das condições de ocupação e uso do solo, pode causar mudanças no equilíbrio hídrico subterrâneo, sem esquecer que os poços mal conservados ou abandonados são fontes potenciais de poluição. A captação de água usada na irrigação varia em função dos tipos de culturas onde será aplicada. O mesmo acontece com a água destinada às indústrias, cujas características dependem dos tipos de processamentos e produtos das fábricas, assim como para uso na aqüicultura, que também depende de uma boa qualidade. Ou seja, a água exige cuidados especiais, podendo ser objeto de tratamento antes de sua utilização.

O lançamento “in natura” de efluentes domésticos e industriais também pode ser considerada causa de interferência no equilíbrio ecológico dos rios da bacia, fator resultante da ocupação urbana. As inúmeras fontes de efluentes devem ser devidamente cadastradas, coletadas, tratadas e depois lançadas corretamente aos cursos d’água.

8.3.4 – Controle de emissões atmosféricas

A poluição atmosférica caracteriza-se basicamente pela presença de gases tóxicos e partículas sólidas no ar. As principais causas desse fenômeno são a eliminação de resíduos por certos tipos de indústrias (siderúrgicas, petroquímicas, de cimento, etc.) e a queima de carvão e petróleo em usinas, automóveis e sistemas de aquecimento doméstico (MOREIRA-NORDEMANN et al. 1997). Nos Estados Unidos, o monitoramento de águas de chuva é realizado por meio de um programa nacional (NADP – *National Atmospheric Deposition Program*), que coleta e analisa a composição de águas de chuva, simultaneamente, em 200 locais do país.

Os dados obtidos neste trabalho indicam que boa parte da concentração de metais nas águas superficiais da bacia do Alto Sorocaba deve ser oriunda das águas pluviais, que, por sua vez, provavelmente, já se encontram poluídas. Neste sentido, deve ser incentivado um programa de cadastramento para todas as fontes pontuais de emissões atmosféricas, identificando e propondo medidas de tratamento.

8.3.5 – Programas de educação ambiental

Os programas de educação ambiental devem centrar-se no tema recursos hídricos e na interdependência da sociedade com o mesmo. Demonstrando a importância ecológica e sócio-econômica de grande relevância para a sociedade, justifica-se a implantação de programas que, no mínimo despertem nas pessoas a conscientização dos valores dos ecossistemas encontrados, visando relacionar os recursos hídricos com o cotidiano dos habitantes. Além destas ações, deveriam ser promovidas atividades educativas para as crianças nas escolas e oficinas de trabalhos, sempre com o objetivo de demonstrar que se bem aproveitados e preservados, os recursos hídricos só trarão benefícios para a comunidade.

A formação de um grupo de discussão sobre a bacia hidrográfica é um importante passo para estabelecer ações de educação ambiental, planejamento de recuperação de áreas degradadas e controle de poluição, pois, permitiria a interação entre todos os setores da sociedade com capacidade de buscar um manejo sustentável e atuar nas reuniões do comitê de bacia principal, no caso, a bacia do Médio Tietê Sorocaba.

9 – CONCLUSÃO

A abordagem metodológica empregada neste trabalho teve como finalidade realizar estudos de avaliação da taxa de intemperismo químico e influências antropogênicas na bacia do Alto Sorocaba. O procedimento adotado permitiu proceder a análise das informações e a geração de conhecimentos de forma sistemática, sem prejudicar a especificidade de cada tipo de informação.

Os resultados da investigação visual e hidroquímica conduzida na bacia do Alto Sorocaba levaram em conta parâmetros que permitiriam avaliar alterações na paisagem e na qualidade das águas fluviais, o que ajudou a identificar possíveis impactos ambientais que acontecem na bacia. Os Rios de Una, Sorocabuçu e Sorocamirim possuem condições melhores a montante, no entanto, esses rios drenam áreas agrícolas e urbanas e fatores antropogênicos vão afetando a sua qualidade. Após a confluência dos Rios Una, Sorocabuçu e Sorocamirim, no Rio Sorocaba (P7), a água apresenta características de qualidade intermediárias àquelas apresentadas nos exutórios destes rios, porém, após a represa de Itupararanga (P8) a água recupera sua qualidade ambiental.

Os resultados da análise das águas na chuva da bacia do Alto Sorocaba mostraram que alguns parâmetros não estão em conformidade com padrões de qualidade estabelecidos pela legislação brasileira. As águas superficiais podem sofrer influência significativa quanto à presença de alguns constituintes nas águas de chuva, por exemplo, as concentrações de Ni, Al e Pb se encontram acima dos valores máximos permitido pela Resolução CONAMA nº 357 para corpos d'água de Classe 4, a pior Classe possível para o enquadramento de um corpo d'água.

A utilização do sódio, potássio, cálcio e magnésio como traçadores naturais na estimativa de taxas de alteração por intemperismo químico forneceu resultados menos compatíveis com as condições intempéricas. Já o urânio se mostrou mais apropriado para a quantificação da taxa de intemperismo químico, principalmente pela obtenção do coeficiente de dissolução das rochas (k), possibilitando estimar um valor de 72.000 anos aproximadamente para a alteração de 1 m de rocha na bacia estudada.

10 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, F.R.D. *Complexo granitóide São Roque, SP: tipografia, litoquímica e tipologia do zircão*. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geologia Regional. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Unesp, Rio Claro, 1993.
- ANDREAE, M.O.; TALBOT, R.W.; BERRESHEIM, H.; BEECHER, K. M. *Precipitation chemistry in Central Amazonia*. Journal of Geophysical Research, 1990, vol. 95, pp. 987-999.
- ARRAIS, J.C.P. *Caracterização geológica e tecnológica de rochas ornamentais dos granitóides porfiróides dos maciços Sorocaba, São Francisco, São Roque, Ibiúna, Piedade e Caucaia, sudeste do estado de São Paulo*. Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Geologia Regional. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Unesp, Rio Claro, 2006, 222p.
- BAIN, D. C., ROE, M. J., DUTHIE, D. M. L., THOMSON, C. M. *The influence of mineralogy on weathering rates and processes in an acid-sensitive granitic catchment*. Applied Geochemistry, 2001, vol. 16, pp. 931-937.
- BARTH, T. F. W. *Abundance of the elements, areal averages and geochemical cycles*. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1961, vol. 23, pp. 1-8.
- BERNER, E. K, BERNER, R. A. *Global environment. Water, air and geochemical cycles*. Prentice Hall, 1996, 367p.
- BOEGLIN, J. L.; PROBST, J. L. *Physical and chemical weathering rates and CO₂ consumption in a tropical lateritic environment: the upper Niger basin*. Chemical Geology, 1998, vol. 148, pp. 137-156.

- BONOTTO, D.M. *Aplicações hidrogeoquímicas dos isótopos naturais das séries do U (4n+2) e Th (4n) no Morro do Ferro, Poços de Caldas (MG)*. Tese de Doutorado. Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas. USP, São Paulo, 1986, 378p.
- BONOTTO, D.M. *Comportamento hidrogeoquímico do ²²²Rn e isótopos de urânio ²³⁸U e ²³⁴U sob condições controladas de laboratório e em sistemas naturais*. Tese de Livre Docência. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Unesp, Rio Claro, 1996, 203 p.
- BONOTTO, D.M. *Radioatividade nas águas: da Inglaterra ao Guarani*. São Paulo: Editora UNESP, 2004, 251p.
- BONOTTO, D.M.; SILVEIRA, E.G. *Geoquímica do Urânio Aplicada às Águas Minerais*. São Paulo: Editora UNESP, 2006, 160p.
- BONOTTO, D.M.; FUJIMORI, K.; MOREIRA-NORDEMANN, L.M. *Determination of weathering rate of the Morro do Ferro Th-REEs deposit, Brazil using U-isotope method*. Applied Radiation and Isotopes, 2007, vol. 65, pp. 474–481.
- BRAGA, B.; HESPANHOL I., CONEJO, J.G.L.; BARROS, M.T.L.; SPENSER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. *Introdução à Engenharia Ambiental*. São Paulo: Editora Prentice Hall, 2002, 305p.
- BRANNSTROM, C. *Projeto Marca D'água: Relatórios Preliminares, 2001*. Disponível em http://www.marcadagua.org.br/medio_tiete.pdf, acesso em 13 de fevereiro de 2006.
- CARVALHO, I.G. *Fundamentos da geoquímica dos processos exógenos*. Salvador, Editora Bureau Ltda. Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, 1995, 213 p.
- CETESB. (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). *Variáveis de qualidade das águas*. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp>, acesso em 25/10/2005.
- CETESB. (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). *Decreto n° 8.468, de 8 de setembro de 1976. Aprova o regulamento da Lei n° 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a Prevenção e Controle da Poluição do Meio Ambiente*. Disponível em http://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/portugues_leis_dec.asp, acesso em 25/04/06.
- CHERNICHARO, C.A.L. *Pós tratamento de efluentes de reatores anaeróbios*. Projeto PROSAB. Belo Horizonte, 2001, 118p.
- CONAMA. (Conselho Nacional do Meio Ambiente). *Resolução n° 357, de 17 de março de 2005*. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano.cfm?codlegitipo=3>, acesso em 26/04/2006.

- CONAMA. (Conselho Nacional do Meio Ambiente). *Resolução nº 303, de 20 de março de 2002*. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html>, acesso em 06/03/2008.
- CONCEIÇÃO, F.T. *O método do desequilíbrio isotópico do urânio aplicado no estudo do intemperismo na bacia do Rio Corumbataí*. Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Unesp, Rio Claro, 2000, 142p.
- CONCEIÇÃO, F.T.; BONOTTO, D. M. *Relações hidroquímicas aplicadas na avaliação da qualidade da água e diagnóstico ambiental na bacia do Rio Corumbataí (SP)*. Geochimica Brasiliensis, 2002, vol. 16(1), pp. 1-21.
- CONCEIÇÃO, F.T.; BONOTTO, D. M. *Use of U-isotopes disequilibrium to evaluate the weathering rate and fertilizer-derived uranium at São Paulo State*. Environmental Geology, 2003, vol. 44 (4), pp. 408-418.
- CONCEIÇÃO, F. T.; BONOTTO, D. M. *Weathering rates and anthropogenic influences in a sedimentary basin, São Paulo State, Brazil*. Applied Geochemistry, 2004, vol. 19(4), pp. 575-591.
- CONCEIÇÃO, F.T., SARDINHA, D. S., SOUZA, A.D.G., BONOTTO, D.M. *Hydrochemical Relationships at Meio Stream Watershed, São Paulo State, Brazil*. Revista Brasileira de Geociências, 2007, vol. 37, pp. 389-400.
- COWART, J.B.; OSMOND, J.K. *^{234}U and ^{238}U in the Carrizo sandstone aquifer of south Texas*. Isotope Techniques in groundwater hydrology II – Proceedings of a symposium, IAEA, Vienna, 1974, pp. 131-149.
- CLOW, D. W.; DREVER, J. I. *Weathering rates as function of flow through an alpine soil*. Applied Geochemistry, 1996, vol. 132, pp. 131-141.
- CURRIE, L. A. *Limits for Quantitative Detection and Quantitative Determination*. Analytical Chemistry, 1968, vol. 40, pp. 586-593.
- DAEE (*Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo*). Disponível em <http://www.aplicacoes.dae.sp.gov.br/usuarios/fchweb.html>, acesso em 05/06/2007.
- DANA, J. D. *Manual de mineralogia*. Rio de Janeiro: Livro técnico, 1974, 354p.
- DANELON, O. M., MOREIRA-NORDEMANN, L. M. *Ocorrência natural e antropogênica de Cl^- , NO_3^- , NH_4^+ e SO_4^{2-} na bacia do Rio Quilombo (Cubatão - SP)*. Revista Brasileira de Geociências, 1991, vol. 21(1), pp. 96-101.
- DUARTE, C. R. *Radioelementos naturais na área do Projeto Rio Preto (GO)*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Unesp, Rio Claro, 2002, 169p.

- ESPÍNDOLA, E. L. G.; SILVA, J.S.V.; MARINELLI, C.E.; ABDON, M.M. (Org.). *A Bacia Hidrográfica do Rio Monjolinho: uma abordagem ecossistêmica e a visão interdisciplinar*. São Carlos: Editora Rima, 2000, 188p.
- ESPÍNDOLA, E.L.G.; BRIGANTE, J. 2003. *Limnologia Fluvial: Um estudo no Rio Mogi Guaçu*. São Carlos: Editora RIMA, 2003, 255p.
- ESTEVES, F. A. *Fundamentos de Limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência, 1988, 602p.
- FERNANDES, A.M.; MORTATTI, J.; TRIVELI, P.C.O.; BIBIAN, J.P.R.; MORAES, G.M. *Química da chuva e transporte pluvial de solutos em área com cultivo de cana-de-açúcar, Santa Cruz das Palmeiras, SP, Brasil*. In: Congresso Brasileiro de Geoquímica, Atibaia. Anais. Arquivo digital, Sociedade Brasileira de Geoquímica. Atibaia, 2007, 4p.
- FORTI, M. C.; MOREIRA-NORDEMANN, L. M. *Rainwater and throughfall chemistry in a "Terra Firme" Rain Forest: Central Amazonia*. Journal of Geophysical Research, 1991, vol. 96, pp. 415-421.
- GALLOWAY, J. N., LIKENS, G. E., KEENE, W. C., MILLER, J. M. *The composition of precipitation in remote areas of the world*. Journal of Geophysical Research, 1982, vol. 87, pp. 8771-8786.
- GARCIA, J. P. M.; TAKAKI, M.; FREITAS, N .P. F.; LUCHIARI, A.; ARGOUD, L.; FILHO, N. L. S.; SANCHES, C.; PEÇANHA, M. P. *Caracterização geoambiental da bacia da represa Itupararanga, bacia do rio Sorocaba*. Disponível em <<http://www.sositupararanga.com.br>>, acesso em 23/08/04.
- GARRELS, R. M., MACKENZIE, F. T. *Origin of the chemical composition of some springs and lakes*. In: Equilibrium concepts in natural waters systems. American Chemical Society, Advances in Chemistry Series, 1967, 67p.
- GIBBS, R. J. *The geochemistry of the Amazon river system*. Geological Society of America Bulletin, 1967, vol. 78, pp. 1203-1232.
- GIBBS, R. J. *Mechanisms controlling world water chemistry*. Science, 1970, vol. 170, pp. 1088-1090.
- GIBBS, R. J. *Water chemistry of Amazon river*. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1972, vol. 36, pp. 1061-1066.
- GODOY, A. M. *Caracterização faciológica, petrográfica e geoquímica dos maciços Sorocaba e São Francisco – SP*. Tese de Doutorado do Programa de Pós Graduação em Geociências. Instituto de Geociências. USP, São Paulo, 1989, 221 p.

- GODOY, A.M.; FIGUEIREDO, M.C.H. *Caracterização faciológica e petrográfica do Maciço Granitóide Sorocaba (SP)*. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, São Paulo. Anais. Sociedade Brasileira de Geologia, São Paulo, 1991a, pp. 131-138.
- GODOY, A.M.; FIGUEIREDO, M.C.H. *Mapeamento faciológico e petrográfico dos maciços granitóides São Francisco e Pirapora (SP)*. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, São Paulo. Anais. Sociedade Brasileira de Geologia, São Paulo, 1991b, pp. 139-145.
- GODOY, A.M.; ZANARDO, A.; ARTUR, A.C.; OLIVEIRA, M.A.F.; MORALES, N.; HACKSPACHER, P.C. GALEMBECK, T.M.B. *Rochas granitóides da Folha São Roque - SP*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, São Paulo. Anais. Sociedade Brasileira de Geologia, São Paulo, 1992, vol. 1, pp. 356-378.
- GODOY, A.M.; OLIVEIRA, M.A.F.; HACKSPACHER, P.C. *Geoquímica das rochas granitóides da Folha São Roque*. Revista Geociências, 1996a, vol. 15, pp. 67-88.
- GODOY, A.M.; HACKSPACHER, P.C.; OLIVEIRA, M.A.F. *Geologia da região de Sorocaba*. Revista Geociências, 1996 b, vol. 15, pp. 89-110.
- GODOY, A.M.; HACKSPACHER, P.; SOUZA, C.A.; MALAGUTTI FILHO, W. *Levantamento gravimétrico preliminar da folha São Roque - SP- 390*. Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador. Anais. Sociedade Brasileira de Geologia, Salvador, 1996c, pp. 246-263.
- GODOY, A.M. *Estudos geológicos das rochas granitóides e metamórficas e suas aplicações como rochas ornamentais e de revestimento: sistematização crítica da produção técnico-científica*. Tese de Livre Docência. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Unesp, Rio Claro, 2003, 243p.
- GRASBY, S. E., HUTCHEON, I. *Chemical dynamics and weathering rates of a carbonate basin Bow River, southern Alberta*. Applied Geochemistry, 2000, vol. 15, pp. 67-77.
- HACKSPACHER, P. C., OLIVEIRA, M. A. F. de, GODOY, A. M. *Controle do Nível Metamórfico e da Disposição dos Corpos Granitóides pela Tectônica Dn+3/Transcorrente na Folha Cabreúva*. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, São Paulo. Anais. Sociedade Brasileira de Geologia, São Paulo, 1991, pp.151-154.
- HACH. *Water Analysis Handbook*. Hach Company, Loveland, Colorado, USA, 2nd ed., 1992, 831p.
- HASUI, Y. *Tectônica da área das folhas São Roque e Pilar do Sul*. Tese de Livre Docência. Instituto de Geociências, USP, São Paulo, 1973, 189 p.

- HASUI, Y. 1975. *Evolução polifásica do Pré-Cambriano a oeste de São Paulo*. Boletim do Instituto de Geociências da USP, São Paulo, vol. 6, pp. 95-108.
- HASUI, Y.; SADOWSKI, G.R. *Evolução Geológica do Pré-Cambriano na Região Nordeste do Estado de São Paulo*. São Paulo, Revista Brasileira de Geociências, 1976, vol. 6, pp. 182-200.
- HASUI, Y.; SADOWSKI, G.R.; CARNEIRO, C.D.R. *Considerações sobre a estratigrafia do Pré-Cambriano na Região de São Paulo*. Boletim do Instituto de Geociências da USP, São Paulo, 1976, vol. 7, pp. 107-112.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI, C.A. *Os granitos e granitóides da Região de Dobramentos Sudeste nos estados de São Paulo e Paraná*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, Recife. Anais. Sociedade Brasileira de Geologia, Recife, 1978, vol. 6, pp.2594-2608.
- HERMES, L.C.; SILVA, A. DE S. *Avaliação da qualidade das águas: manual prático*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004, 55p.
- HENNIES, W.T.; HASUI, Y.; PENALVA, F. *O falhamento transcorrente de Taxaquara*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, Curitiba. Anais. Sociedade Brasileira de Geologia, Curitiba, 1967, pp.59-168.
- HODSON, M. E., LANGAN, S. J., WILSON, M. J. *A sensitivity analysis of the PROFILE model in relation to the calculation of soil weathering rates*. Applied Geochemistry, 1996, vol. 11, pp. 835-844.
- HODSON, M. E. *Comments on "Calculations of weathering rate and soil solution chemistry for forest soils in the Norwegian–Russian border area with the PROFILE model"* by G. Koptsik, S. Tevedal, D. Aamlid and K. Venn. Applied Geochemistry, 2002, vol. 17, pp. 117–121.
- IPT (Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado De São Paulo). *Relatório Zero da Bacia do Rio Sorocaba e Médio Tietê*. São Paulo, 2000, 277p.
- IPT (Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo). *Relatório Técnico n° 80 401- 205. Atualização do relatório de situação dos recursos hídricos da Bacia do Sorocaba e Médio Tietê (Relatório Zero) como subsídio á elaboração do Plano de Bacia*. São Paulo, 2005. 420p.
- JONHSON, N. M., LIKENS, G. E., BORMANN, F. H., PIERCE, P. S. *Rate of chemical weathering of silicate minerals in New Hampshire*. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1968, vol. 32, pp. 531-545

- JULIANI, C.; BELJAVSKIS, P.; SCHORSCHER, H.D. *Petrogênese do vulcanismo e aspectos metalogenéticos associados – Grupo Serra do Itaberaba na região de São Roque, SP*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, Goiânia. Anais. Sociedade Brasileira de Geologia, Goiânia, 1986, vol.2, pp.530-547.
- KEENE W. C., PSZENNY A. A. P., GALLOWAY J. N., HAWLEY M. E. *Sea-salt corrections and interpretation of constituent ratios in marine precipitation*. Journal of Geophysical Research, 1986, vol. 91, pp. 6647-6658.
- KOPTSIK, G., TEVEDAL, S., AAMLID, D., VENN, K. *Calculations of weathering rate and soil solution chemistry for forest soils in the Norwegian-Russian border area with the PROFILE model*. Applied Geochemistry, 1999, vol. 14, pp. 173-185.
- LANGAN, S. J., REYNOLDS, B., BAIN, D. C. *The calculation of base cations release from the chemical weathering of soils derived from Paleozoic greywackes and shales in upland U. K.* Geoderma, 1996, vol. 69, pp. 275-285.
- LANGMUIR, D. *Uranium solution equilibria at low temperatures with applications to sedimentary ore deposits*. Geochemistry Cosmochimica Acta, 1978, vol. 42, pp. 547-569.
- LAND, M., INGRI, J., ÖHLANDER, B. *Past and present weathering rates in northern Sweden*. Applied Geochemistry, 1999, vol. 14, pp. 761-774.
- LARA, L. B. L. S.; ARTAXO, P.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L.; CAMARGO, P. B.; KRUSCHE, A.; AYERS, G. P.; FERRAZ, E. S. B.; BALLESTER, M. V. *Chemical composition of rainwater and anthropogenic influences in the Piracicaba River basin, Southeast Brazil*. Atmospheric Environment, 2001, vol. 35, pp. 4937-4945.
- MARTINI, I. P., CHESWORTH, W. *Weathering, soils and paleosols*. Elsevier Science Publications, Amsterdam, 1992, pp. 407 – 443.
- MELLO, W.Z. *Precipitation chemistry in the coast of the Metropolitan Region of Rio de Janeiro, Brazil*. Environmental Pollution, 2001, vol. 114, pp. 235-242.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Portaria nº 518/GM em 25 de março de 2004*. Disponível em <http://dtr2001.saude.gov.br/sas/PORTARIAS/Port2004/GM/GM-518.htm>, acesso em 25/11/07.
- MOREIRA-NORDEMANN, L. M. *Etude de la vitesse d'alteration des roches au moyen de l'uranium utilisé comme traceur naturel. Application á deux bassins du nord-est du Brésil*. These Univ. Paris VI, 1977, 162p.
- MOREIRA-NORDEMANN, L. M. *Use of $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ disequilibrium in measuring chemical weathering rate of rocks*. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1980, vol. 44, pp. 103-108.

- MOREIRA-NORDEMANN, L. M. *Salinity and weathering rate of rocks in a semi-arid region*. Journal of Hydrology, 1984, vol. 71, pp. 131-147.
- MOREIRA-NORDEMANN, L. M.; DANELON, O.M.; FORTI, M.C.; ESPIRITO SANTO, C.M.; SARDELA, D.D.; LOPES, J.C.; FILHO, B.M.; ABBAS, M.M. *Caracterização química das águas de chuva de Cubatão*. São José dos Campos, INPE, 1986, 63p.
- MOREIRA-NORDEMANN, L. M., DANELON, O. M., MAGALHÃES, A. L., FERREIRA, C., PANITZ C. M. N., SANTIAGO, M. M., SIVA FILHO, E., SOUZA, C. F.. *Impactos Ambientais na Precipitação da Costa Brasileira*. Proceedings of 3º Cong. Bras. De Geoquímica e 1º Cong. De Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, 1991, vol. 1, pp. 406-409.
- MOREIRA-NORDEMANN, L. M.; GIRARD, P.; RÉ POPPI, N. *Química da precipitação atmosférica na cidade de Campo Grande – MS*. Revista Brasileira de Geofísica, 1997, vol. 15, pp. 35-44.
- NÉGREL, P., ROY, S. *Chemistry of rainwater in the Massif Central (France): a strontium isotope and major element study*. Applied Geochemistry, 1998, vol. 13, pp. 941-952.
- NEVES, B.B.B.; CORDANI, U.G. *Tectonic evolution of South America during the Late Proterozoic*. Precambrian Research, 1991, vol. 53, pp. 23-40.
- ODUM, E.P. *Ecologia*. Editora Guanabara, Rio de Janeiro, 1988, 433p.
- OLIVEIRA, M. A. F. de; GODOY, A. M.; ZANARDO, A.; ARTUR, A. C.; HACKSPACHER, P. C.; MORALES, N. *Geologia da Folha São Roque-SP*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, Balneário de Camboriú. Anais. Sociedade Brasileira de Geologia, Balneário de Camboriú, 1992, vol.2, pp.126-127.
- OLIVEIRA, M. A. F. de, GODOY, A. M., HACKSPACKER, P. C., MORALES, N. *Geologia da Folha São Roque, SP - 1:50.000*. Revista Geociências, 1998, vol.17, pp 61-72.
- PEDRO, G., SIEFFERMANN, G. *Weathering of rocks and formation of soils*. Review in Modern Problems of Geochemistry. UNESCO, 1979, pp. 39-55.
- PIPER, A. M. *A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses*. Transactions American Geophysical Union, 1944, vol. 25, pp. 914-928.
- PORTO, F. A. *Estabelecimento dos parâmetros de controle da poluição*. In: Porto, S. M., Cleary, R. W., Coimbra, R. M, Eiger, S., Luca, S. J., Nogueira, V. P. O., Porto, F. A. (ed.), Hidrologia Ambiental. São Paulo, EDUSP, 1991, pp. 375-390.

- PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA – Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. *Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo código florestal.* Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L4771.htm, acesso em 06/03/2008.
- PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA – Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. *Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.* Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm, acesso em 06/03/2008.
- REBELLO, E. *Anomalias Climáticas e seus Impactos no Brasil durante evento “El Niño” de 1982-83 e Previsão para o evento “El Niño” de 1997-98.* Instituto Nacional de Meteorologia. Brasília, 1997, 4p.
- SANUSI A., WORTHAM H., MILLET M, MIRABEL P. *Chemical composition of rainwater in eastern France.* Atmospheric Environment, 1996, vol. 30, pp. 59-71.
- SELLES, M. I. *Revitalização de rios.* Rio de Janeiro: SEMADS 2001. Cooperação Técnica Brasil - Alemanha, Projeto PLANÁGUA SEMADS/ GTZ. 96p.
- SEMHI, K., SUCHET, P. A., CLAUER, N., PROBST, J. L. *Impact of nitrogen fertilizers on the natural weathering-erosion process and fluvial transport in the Garonne basin.* Applied Geochemistry, 2000, vol. 15, pp. 865-878.
- STANDARD METHODS *Standard methods for the examination of water and wastewater.* American Public Health Association, Washington, 1999, 20º ed., 663p.
- SVERDRUP, H., WARFVINGE, P. *Calculating field weathering rates using a mechanistic geochemical model PROFILE.* Applied Geochemistry, 1993, vol. 8, pp. 272-282.
- TASSINARI, C.C.G.; CAMPOS NETO, M.C. *Precambrian continental crust evolution of southeastern São Paulo State, Brazil: based on isotopic evidences.* Geochimica Braziliensis, 1988, vol. 2, pp. 175-183.
- TOLEDO, M. C. M., OLIVEIRA, S. M. B., MELFI, A. *Intemperismo e formação do solo.* In: Teixeira, W., Toledo, M. C. M., Fairchild, T. R., Taioli, F. (ed.). Decifrando a Terra. Oficina de textos, São Paulo, 2000, pp. 139-166.
- TUCCI, C. E. M. *Hidrologia.* Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001, pp. 443-484.
- TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; ARANTES JUNIOR, J.D.; TUNDISI, J. E.M.; MANZINI, N.F.I; DUCROT, R. *The response of Carlos Botelho (Lobo, Broa) reservoir to the passage of cold fronts as reflected by physical, chemical, and biological variables.* Brazilian Journal of Biology. vol. 64 n.1 São Carlos, 2004.

- TUNDISI, J.G. *Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez*. São Carlos, Editora Rima, 2^oed., 2005, 248p.
- TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. ABE, D.S.; ROCHA, O.; STARLING, F. *Limnologia de águas interiores: conservação e recuperação de ecossistemas aquáticos*. In: Rebouças A. C.; Braga, J.B.; Tundisi, J.G. (org). *Águas Doces no Brasil: capital ecológico uso e conservação*. 3 ed. Escrituras editora, São Paulo, 2006, pp 203-240.
- VALLADARES, G. S. *Sistema de Gestão Ambiental da ABAG/RP*. Disponível em, <http://www.abagrp.cnpm.embrapa.br/areas/pedologia.htm>, acesso em 27/12/2006.
- VIEIRA, B. M.; FORTI, M. C.; TAVARES, M. F. M.; MOREIRA-NORDEMANN, L. M. *Na, Ca, K, Mg e Cl atmosféricos na região leste do Estado de São Paulo*. Revista Brasileira de Geofísica, 1988, vol. 6, pp. 17-23.
- VOM SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 2^o ed. Belo Horizonte: Editora da Universidade Federal de Minas Gerais, 1996, 243p.

- WETZEL, R.G. *Limnology*. Philadelphia: Saunders College, 1983, 767 p.
- WILLIAMS M. R., FISHER T. R., MELACK J. M. *Chemical composition and deposition of rain in the central Amazon Brazil*. Atmosphere Environment, 1997, vol. 31, pp. 207-217.
- WILSON T. R. S. *Salinity and the major elements of sea water*. In Riley, J. P., Skirrow, G. (eds), *Chemical Oceanography*. vol. 1, 2 ed., Academic, Orlando, Fla., 1975, pp. 365 - 413.
- WHITE, A. F., BLUM, A. E. Effects of climate on chemical weathering in watersheds. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1995, vol. 59, pp. 1729-1747.

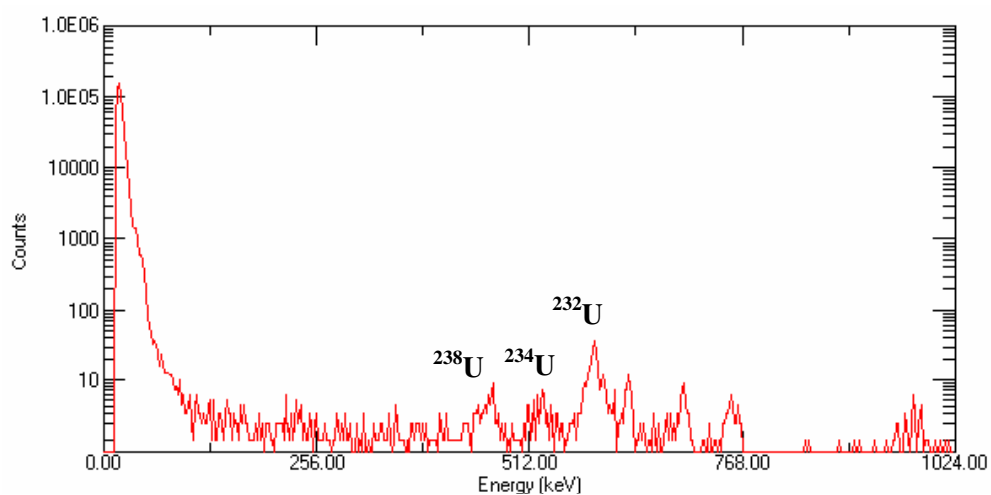
II – APÊNDICE

Figura 1a. Espectro alfa obtido para a amostra do granito Caucaia (Rocha R4).

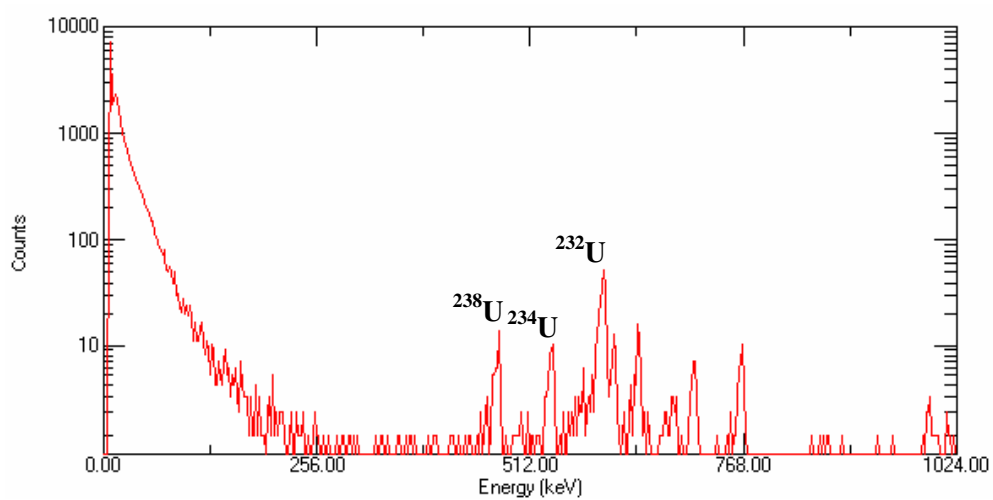


Figura 2a. Espectro alfa obtido para a amostra do granito São Francisco (Rocha R9).

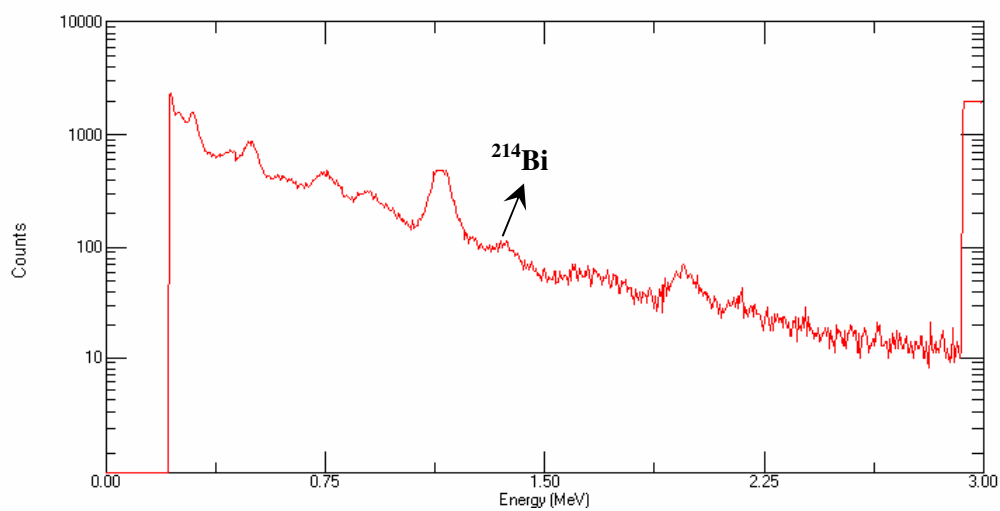


Figura 3a. Espectro gama obtido para a amostra de gnaiss migmatítico (Rocha R2).

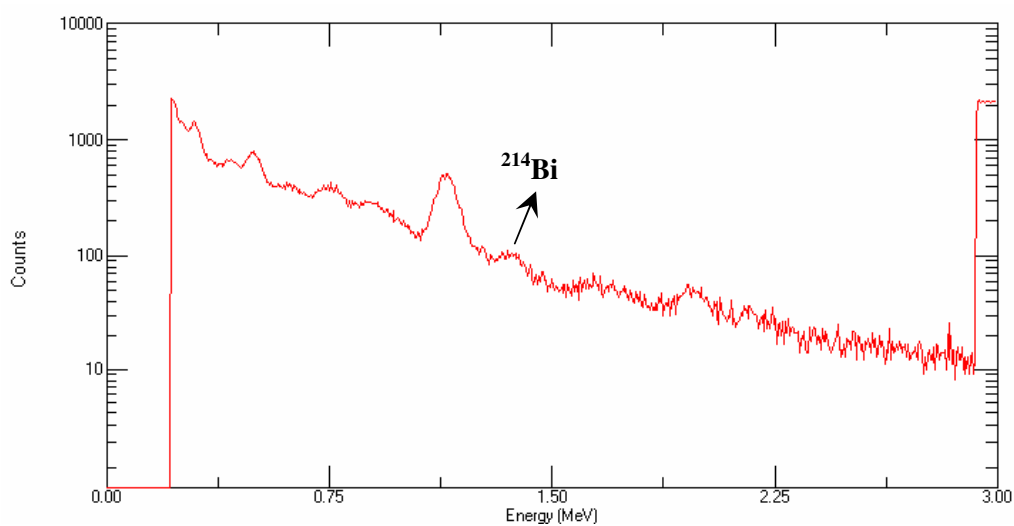


Figura 4a. Espectro gama obtido para a amostra de granito São Roque (Rocha R12).

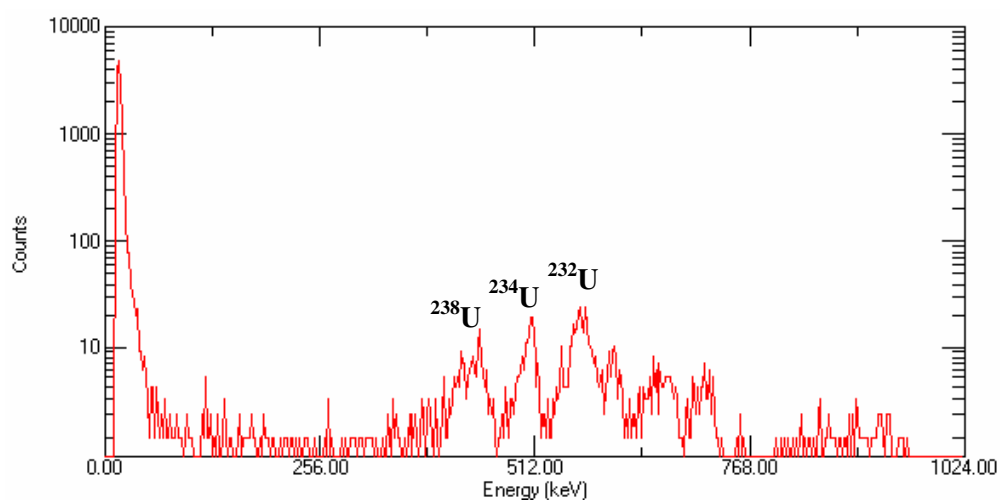


Figura 5a. Espectro alfa obtido para a amostra de solo alterado do granito Ibiúna (S2).

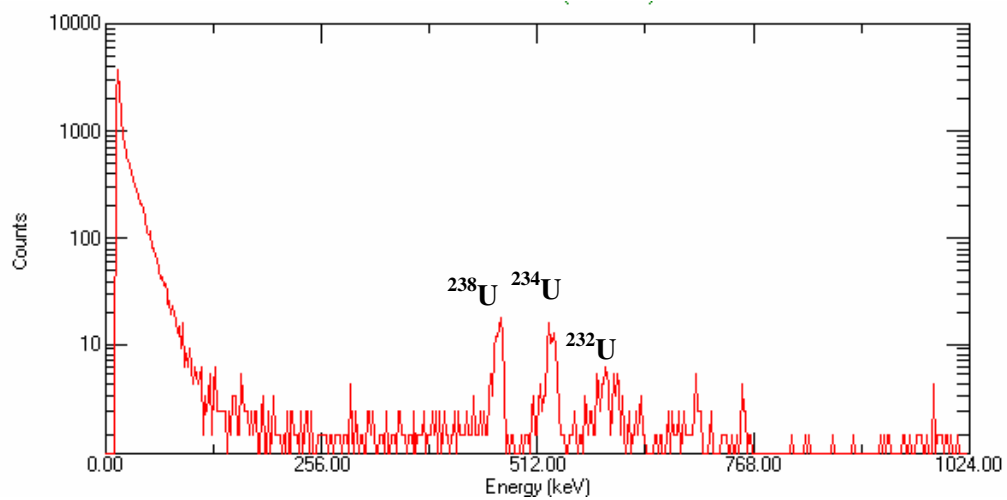


Figura 6a. Espectro alfa obtido para a amostra de água coletada no dia 13/08/06 no Rio Sorocaba (P7).

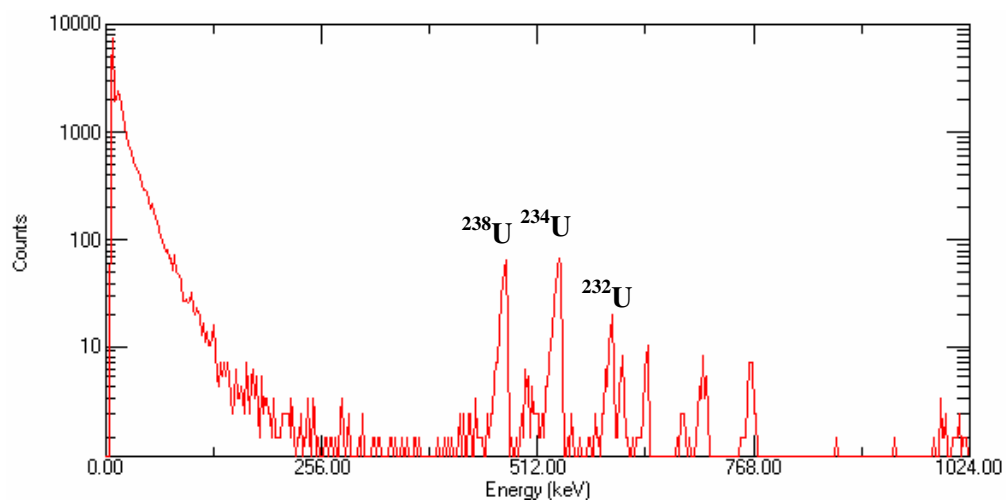


Figura 7a. Espectro alfa obtido para a amostra de água coletada no dia 18/10/06 no Rio Sorocaba (P7).

Tabela 1a. Correlação entre todos os parâmetros obtidos para as amostras de águas de chuva.

	<i>Cond.</i>	<i>pH</i>	<i>Ca²⁺</i>	<i>Mg²⁺</i>	<i>Na⁺</i>	<i>K⁺</i>	<i>HCO₃⁻</i>	<i>Cl⁻</i>	<i>PO₄³⁻</i>	<i>SO₄²⁻</i>	<i>NO₃⁻</i>	<i>Al</i>	<i>Fe</i>	<i>Mn</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>
<i>Cond.</i>	1																
<i>pH</i>	0,22	1															
<i>Ca²⁺</i>	-0,21	0,25	1														
<i>Mg²⁺</i>	-0,22	-0,15	0,12	1													
<i>Na⁺</i>	-0,35	0,06	0,55	0,06	1												
<i>K⁺</i>	-0,11	0,04	0,72	-0,02	0,42	1											
<i>HCO₃⁻</i>	-0,10	-0,29	-0,65	0,01	0,01	-0,34	1										
<i>Cl⁻</i>	-0,13	-0,30	-0,75	-0,11	-0,20	-0,47	0,80	1									
<i>PO₄³⁻</i>	-0,20	-0,33	-0,21	-0,24	0,18	-0,11	0,39	0,55	1								
<i>SO₄²⁻</i>	0,03	0,07	-0,59	0,17	-0,28	-0,34	0,53	0,59	0,27	1							
<i>NO₃⁻</i>	0,56	-0,17	-0,62	0,21	-0,42	-0,39	0,38	0,46	0,15	0,36	1						
<i>Al</i>	0,05	0,28	0,07	0,03	0,11	-0,34	-0,31	-0,07	-0,09	-0,21	0,09	1					
<i>Fe</i>	-0,10	0,23	0,61	-0,05	-0,04	0,60	-0,43	-0,44	-0,19	-0,35	-0,49	-0,50	1				
<i>Mn</i>	0,19	-0,29	-0,37	0,32	-0,36	-0,21	0,24	0,27	0,18	0,21	0,66	-0,15	-0,16	1			
<i>Ni</i>	0,04	0,30	0,48	0,20	0,29	0,04	-0,40	-0,53	-0,44	-0,29	-0,32	0,44	0,02	-0,14	1		
<i>Pb</i>	-0,27	0,07	0,51	-0,16	0,46	0,38	-0,18	-0,49	-0,19	-0,35	-0,69	-0,32	0,40	-0,34	0,51	1	
<i>Zn</i>	0,15	0,30	0,65	-0,12	0,17	0,79	-0,49	-0,63	-0,40	-0,44	-0,40	-0,34	0,75	-0,23	0,26	0,52	1

Tabela 2a. Parâmetros físico-químicos e químicos na bacia do Alto Sorocaba durante o período seco. P1 e P4 = Rio Una, P2 e P5 = Rio Sorocabaçu, P3 e P6 = Rio Sorocamirim e P7 e P8 = Rio Sorocaba.

Ponto de coleta	Vazão (m³/s)	Cond. (µS/cm)	Temp (°C)	pH	OD	TDS	TSS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
Primeira Coleta 13/08/06																
P1	0,32	40,00	20,20	6,70	6,60	50,00	15,00	7,55	1,34	3,54	3,63	20,00	1,56	1,84	36,00	3,96
P2	0,51	30,00	17,70	6,70	6,30	30,00	20,00	3,96	0,92	2,38	1,42	15,00	1,28	1,98	30,00	4,52
P3	0,77	40,00	17,60	7,00	6,40	30,00	20,00	4,17	1,46	2,79	2,52	14,00	2,03	2,01	25,00	4,40
P4	0,82	190,00	16,90	6,70	2,90	130,00	25,00	11,69	1,62	59,84	3,82	23,00	44,64	4,30	80,00	7,72
P5	1,73	30,00	17,70	6,70	6,40	60,00	30,00	4,90	0,95	2,76	1,89	17,00	3,66	3,10	63,00	6,96
P6	3,27	30,00	21,60	6,80	6,00	50,00	30,00	8,50	1,48	5,33	3,17	15,00	2,43	2,28	55,00	4,84
P7	5,95	100,00	21,60	6,80	5,00	90,00	15,00	7,03	1,42	15,06	2,98	19,00	17,05	3,02	64,00	6,28
P8	9,61	30,00	19,80	7,20	7,00	15,00	5,00	5,49	1,36	5,37	2,06	8,00	0,75	0,08	12,00	0,44
Segunda Coleta 20/09/06																
P1	0,59	50,00	22,00	7,00	6,70	60,00	36,00	7,89	2,40	7,56	6,51	22,00	1,35	1,48	34,00	3,52
P2	0,96	30,00	19,10	7,10	6,80	40,00	28,00	4,83	1,31	4,71	2,42	16,00	0,91	1,39	28,00	4,26
P3	1,45	40,00	18,70	7,30	6,90	40,00	28,00	4,70	1,92	5,66	2,71	18,00	1,86	1,51	19,00	3,64
P4	1,53	210,00	18,90	7,10	2,90	150,00	36,00	11,90	2,90	61,90	7,30	25,00	40,31	3,81	77,00	7,42
P5	3,24	30,00	18,80	7,10	6,50	80,00	44,00	4,99	1,32	7,24	2,91	18,00	3,22	2,48	59,00	6,60
P6	6,14	40,00	21,10	7,20	6,60	60,00	40,00	9,22	1,90	6,54	4,00	18,00	2,18	1,86	51,00	3,96
P7	11,16	130,00	19,00	7,00	5,00	110,00	41,00	7,44	2,31	16,80	3,22	20,00	15,03	2,56	59,00	6,04
P8	9,01	30,00	21,20	7,50	7,00	20,00	10,00	6,19	1,50	6,19	2,11	8,00	0,72	0,08	11,00	0,44
Terceira Coleta 18/10/06																
P1	0,64	50,00	22,30	7,00	7,00	80,00	38,00	8,68	2,71	7,68	6,70	30,00	1,23	0,92	27,00	2,96
P2	1,04	30,00	20,20	7,10	6,90	60,00	40,00	5,26	1,43	4,96	2,71	17,00	0,80	0,84	24,00	4,02
P3	1,57	40,00	20,50	7,30	7,00	60,00	38,00	6,86	2,00	6,25	2,80	24,00	1,56	0,59	15,00	3,26
P4	1,66	250,00	20,10	7,20	3,10	180,00	50,00	12,80	3,00	68,50	7,63	42,00	38,21	2,86	64,00	6,98
P5	3,51	30,00	20,80	7,20	6,90	100,00	51,00	5,81	1,52	7,78	2,90	27,00	2,65	1,97	39,00	4,44
P6	6,66	40,00	22,10	7,30	6,90	80,00	48,00	10,70	2,11	6,72	4,11	32,00	1,97	1,43	26,00	3,52
P7	12,11	140,00	20,50	7,10	5,30	140,00	50,00	8,83	2,42	18,60	3,31	30,00	13,56	2,17	46,00	5,28
P8	9,96	30,00	23,20	7,80	7,30	20,00	11,00	6,61	1,60	6,93	2,60	10,00	0,70	0,08	10,00	0,44

Tabela 3a. Parâmetros físico-químicos e químicos na bacia do Alto Sorocaba durante o período chuvoso. P1 e P4 = Rio Una, P2 e P5 = Rio Sorocabaçu, P3 e P6 = Rio Sorocamirim e P7 e P8 = Rio Sorocaba.

Ponto de coleta	Vazão (m³/s)	Cond. (µS/cm)	Temp (°C)	pH	(mg/L)											
					OD	STD	STS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
Quarta Coleta 23/11/06																
P1	0,30	50,00	23,10	7,10	7,20	100,00	40,00	9,68	2,80	7,97	6,93	37,00	1,02	0,86	20,00	2,58
P2	0,48	30,00	20,40	7,40	7,40	100,00	43,00	5,83	1,62	5,09	3,21	21,00	0,59	0,83	18,00	3,82
P3	0,73	40,00	20,80	7,40	7,50	70,00	41,00	6,97	2,47	6,70	3,30	31,00	1,35	0,57	12,00	2,84
P4	0,77	270,00	21,00	7,30	3,50	260,00	62,00	13,41	3,84	69,11	8,20	44,00	36,31	2,75	56,00	5,72
P5	1,63	30,00	21,90	7,30	7,30	120,00	60,00	5,95	1,63	7,87	3,01	32,00	2,04	1,94	21,00	3,96
P6	3,08	40,00	23,60	7,20	7,20	100,00	55,00	10,42	2,70	6,97	4,71	42,00	1,45	1,40	15,00	2,82
P7	5,60	150,00	22,30	7,30	5,40	170,00	60,00	9,04	2,80	19,85	3,60	32,00	10,17	2,07	26,00	4,84
P8	8,79	30,00	26,80	8,10	7,50	50,00	13,00	6,83	1,91	7,42	2,70	12,00	0,59	0,08	9,00	0,44
Quinta Coleta 19/12/06																
P1	0,50	50,00	27,90	7,30	7,20	120,00	41,00	9,85	3,08	8,33	8,93	44,00	0,39	0,68	12,00	2,20
P2	0,81	30,00	23,60	7,50	7,40	140,00	46,00	6,22	1,85	5,28	3,42	28,00	0,32	0,77	8,00	2,64
P3	1,22	50,00	24,10	7,50	7,50	80,00	44,00	7,25	2,61	6,91	3,50	42,00	0,72	0,55	11,00	2,76
P4	1,28	290,00	24,20	7,50	3,60	300,00	70,00	15,44	4,08	70,71	9,03	46,00	32,86	2,45	47,00	5,36
P5	2,71	40,00	25,60	7,40	7,40	140,00	66,00	6,53	2,11	8,05	3,85	35,00	1,02	1,92	14,00	3,52
P6	5,15	40,00	31,30	7,40	7,40	120,00	60,00	10,81	2,90	7,55	4,91	44,00	0,77	1,35	12,00	2,64
P7	9,37	160,00	26,90	7,50	5,50	190,00	65,00	10,10	3,10	20,31	4,01	40,00	9,33	1,93	21,00	4,16
P8	7,22	40,00	28,20	8,20	7,90	60,00	15,00	7,05	1,94	7,56	2,93	12,00	0,47	0,06	9,00	0,44
Sexta Coleta 10/01/07																
P1	1,67	60,00	23,70	7,30	7,30	240,00	70,00	10,11	3,35	9,07	9,04	30,00	0,22	0,23	6,00	2,20
P2	2,71	40,00	22,60	7,40	7,40	200,00	50,00	7,03	2,00	5,93	3,66	17,00	0,32	0,26	7,00	2,64
P3	4,09	50,00	22,80	7,50	7,50	100,00	49,00	8,82	2,71	7,46	4,11	24,00	0,34	0,22	10,00	2,08
P4	4,32	400,00	22,70	7,60	3,90	360,00	75,00	16,70	4,22	72,00	9,74	42,00	28,21	1,23	13,00	5,02
P5	9,14	40,00	22,90	7,50	7,40	160,00	70,00	7,38	2,45	8,83	3,91	27,00	0,42	0,37	8,00	3,08
P6	17,33	50,00	25,60	7,60	7,50	140,00	63,00	11,32	3,41	7,54	5,10	32,00	0,45	0,25	11,00	2,44
P7	31,50	190,00	23,70	7,60	5,80	210,00	68,00	10,84	3,80	24,51	4,14	30,00	8,91	0,82	12,00	3,84
P8	11,00	50,00	25,40	8,30	8,10	80,00	20,00	7,56	2,00	9,22	3,10	10,00	0,33	0,07	8,00	0,44

Tabela 4a. Resultados das análises de alumínio, ferro e chumbo nas amostras de águas fluviais da bacia.

<i>Pontos de coleta</i>	<i>Alumínio (mg/L)</i>								
	<i>seco/inverno</i>			<i>chuvoso/verão</i>			<i>Média</i>		
	<i>13/8/2006</i>	<i>20/9/2006</i>	<i>18/10/2006</i>	<i>23/11/2006</i>	<i>19/12/2006</i>	<i>10/1/2007</i>	<i>geral</i>	<i>seco</i>	<i>chuvoso</i>
<i>P1</i>	0,170	0,420	0,560	0,620	0,680	0,710	0,527	0,383	0,670
<i>P4</i>	0,240	0,800	0,820	0,870	0,950	0,960	0,773	0,620	0,927
<i>P2</i>	0,230	0,330	0,410	0,520	0,810	0,780	0,513	0,323	0,703
<i>P5</i>	0,410	0,470	0,560	0,670	0,740	0,840	0,615	0,480	0,750
<i>P3</i>	0,520	0,680	0,670	0,710	0,700	0,860	0,690	0,623	0,757
<i>P6</i>	0,650	0,880	0,910	0,930	0,950	0,980	0,883	0,813	0,953
<i>P7</i>	0,440	0,560	0,580	0,690	0,740	0,810	0,637	0,527	0,747
<i>P8</i>	0,140	0,270	0,400	0,540	0,630	0,650	0,438	0,270	0,607
	<i>Ferro (mg/L)</i>								
<i>P1</i>	0,210	0,580	0,600	0,710	0,810	2,180	0,848	0,463	1,233
<i>P4</i>	0,260	0,770	0,860	0,930	1,000	2,410	1,038	0,630	1,447
<i>P2</i>	0,420	0,460	0,540	0,560	0,590	1,600	0,695	0,473	0,917
<i>P5</i>	0,530	0,600	0,680	0,710	0,730	1,840	0,848	0,603	1,093
<i>P3</i>	0,690	0,800	0,850	0,880	0,940	2,010	1,028	0,780	1,277
<i>P6</i>	0,750	0,850	0,870	0,940	0,980	2,200	1,098	0,823	1,373
<i>P7</i>	0,440	0,670	0,760	0,780	0,810	1,430	0,815	0,623	1,007
<i>P8</i>	0,040	0,110	0,150	0,230	0,280	0,320	0,188	0,100	0,277
	<i>Chumbo (mg/L)</i>								
<i>P1</i>	0,001	0,040	0,059	0,066	0,072	0,080	0,053	0,033	0,073
<i>P4</i>	0,001	0,078	0,083	0,086	0,088	0,092	0,071	0,054	0,089
<i>P2</i>	0,001	0,064	0,066	0,069	0,070	0,076	0,058	0,044	0,072
<i>P5</i>	0,001	0,071	0,077	0,078	0,079	0,084	0,065	0,050	0,080
<i>P3</i>	0,001	0,035	0,039	0,040	0,044	0,048	0,035	0,025	0,044
<i>P6</i>	0,001	0,046	0,047	0,052	0,056	0,060	0,044	0,031	0,056
<i>P7</i>	0,001	0,056	0,061	0,072	0,076	0,086	0,059	0,039	0,078
<i>P8</i>	0,001	0,015	0,017	0,020	0,023	0,024	0,017	0,011	0,022

Tabela 5a. Resultados das análises de manganês, níquel e zinco nas amostras de águas fluviais da bacia.

<i>Pontos de coleta</i>	<i>Manganês (mg/L)</i>								
	<i>seco/inverno</i>			<i>chuvoso/verão</i>			<i>Média</i>		
	<i>13/8/2006</i>	<i>20/9/2006</i>	<i>18/10/2006</i>	<i>23/11/2006</i>	<i>19/12/2006</i>	<i>10/1/2007</i>	<i>geral</i>	<i>seco</i>	<i>chuvoso</i>
P1	0,002	0,040	0,072	0,080	0,085	0,151	0,072	0,038	0,105
P4	0,004	0,053	0,078	0,084	0,087	0,223	0,088	0,045	0,131
P2	0,004	0,030	0,041	0,052	0,066	0,099	0,049	0,025	0,072
P5	0,004	0,037	0,046	0,047	0,069	0,108	0,052	0,029	0,075
P3	0,004	0,049	0,054	0,055	0,069	0,090	0,054	0,036	0,071
P6	0,004	0,066	0,071	0,085	0,095	0,099	0,070	0,047	0,093
P7	0,004	0,069	0,072	0,077	0,093	0,114	0,072	0,048	0,095
P8	0,002	0,013	0,020	0,027	0,029	0,030	0,020	0,012	0,029
	<i>Níquel (mg/L)</i>								
P1	0,001	0,019	0,024	0,026	0,037	0,039	0,024	0,015	0,034
P4	0,001	0,029	0,030	0,033	0,046	0,048	0,031	0,020	0,042
P2	0,001	0,025	0,026	0,028	0,040	0,043	0,027	0,017	0,037
P5	0,001	0,029	0,030	0,031	0,045	0,047	0,031	0,020	0,041
P3	0,001	0,024	0,029	0,032	0,043	0,050	0,030	0,018	0,042
P6	0,001	0,026	0,031	0,033	0,046	0,053	0,032	0,019	0,044
P7	0,001	0,027	0,029	0,035	0,046	0,050	0,031	0,019	0,044
P8	0,001	0,012	0,013	0,013	0,014	0,017	0,012	0,009	0,015
	<i>Zinco (mg/L)</i>								
P1	0,012	0,089	0,095	0,096	0,098	0,123	0,086	0,065	0,106
P4	0,014	0,122	0,213	0,226	0,232	0,352	0,193	0,116	0,270
P2	0,004	0,074	0,085	0,087	0,095	1,018	0,227	0,054	0,400
P5	0,006	0,095	0,098	0,099	1,029	1,04	0,395	0,066	0,723
P3	0,004	0,064	0,072	0,075	0,087	0,114	0,069	0,047	0,092
P6	0,006	0,091	0,096	0,098	1,017	1,034	0,390	0,064	0,716
P7	0,008	0,103	0,163	0,171	0,834	0,860	0,357	0,091	0,622
P8	0,007	0,027	0,029	0,032	0,034	0,035	0,027	0,021	0,034

Tabela 6a. Correlação entre todos os parâmetros obtidos para as amostras de águas superficiais do Rio Sorocaba (P7).

<i>Cond.</i>	<i>pH</i>	<i>T °C</i>	<i>STD</i>	<i>STS</i>	<i>OD</i>	<i>Ca²⁺</i>	<i>Mg²⁺</i>	<i>Na⁺</i>	<i>K⁺</i>	<i>HCO₃⁻</i>	<i>Cl⁻</i>	<i>PO₄³⁻</i>	<i>SO₄²⁻</i>	<i>NO₃⁻</i>	<i>Al</i>	<i>Fe</i>	<i>Mn</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	<i>Q</i>	
1																						
<i>pH</i>	1																					
<i>T °C</i>	0,73	1																				
<i>STD</i>	0,92	0,99	1																			
<i>STS</i>	0,91	0,94	0,94	1																		
<i>OD</i>	0,97	0,97	0,98	0,94	1																	
<i>Ca²⁺</i>	0,92	0,98	0,99	0,91	0,98	1																
<i>Mg²⁺</i>	0,99	0,96	0,95	0,94	0,97	0,94	1															
<i>Na⁺</i>	0,98	0,94	0,95	0,88	0,98	0,96	0,98	1														
<i>K⁺</i>	0,90	0,99	0,98	0,89	0,94	0,96	0,94	0,93	1													
<i>HCO₃⁻</i>	0,60	0,81	0,80	0,82	0,76	0,82	0,66	0,63	0,78	1												
<i>Cl⁻</i>	0,89	0,98	0,99	0,96	0,95	0,93	0,90	0,90	0,97	0,85	1											
<i>PO₄³⁻</i>	0,99	0,91	0,92	0,85	0,96	0,93	0,97	0,99	0,89	0,57	0,86	1										
<i>SO₄²⁻</i>	0,90	0,98	0,99	0,92	0,96	0,97	0,93	0,94	0,98	0,82	0,99	0,89	1									
<i>NO₃⁻</i>	0,90	0,99	0,99	0,92	0,97	0,99	0,93	0,94	0,98	0,84	0,97	0,91	0,98	1								
<i>Al</i>	0,95	0,99	0,98	0,96	0,97	0,96	0,98	0,95	0,98	0,76	0,98	0,92	0,97	0,97	1							
<i>Fe</i>	0,96	0,84	0,84	0,77	0,90	0,86	0,93	0,96	0,83	0,42	0,77	0,99	0,81	0,83	0,86	1						
<i>Mn</i>	0,94	0,91	0,42	0,89	0,96	0,91	0,87	0,89	0,85	0,68	0,88	0,88	0,84	0,86	0,93	0,84	1					
<i>Ni</i>	0,92	0,95	0,56	0,93	0,98	0,93	0,92	0,89	0,91	0,77	0,93	0,88	0,90	0,92	0,97	0,81	0,99	1				
<i>Pb</i>	0,90	0,88	0,39	0,87	0,98	0,89	0,84	0,82	0,82	0,72	0,89	0,83	0,84	0,84	0,91	0,77	0,98	0,97	1			
<i>Zn</i>	0,79	0,91	0,82	0,87	0,76	0,84	0,90	0,84	0,93	0,71	0,82	0,82	0,85	0,91	0,87	0,78	0,77	0,83	0,69	1		
<i>Q</i>	0,27	0,06	0,44	0,02	0,11	0,14	0,05	0,13	0,26	0,45	0,14	0,34	0,03	0,03	0,03	0,46	0,02	0,09	0,06	0,09	1	