UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL E ESTUDO DO
COMPORTAMENTO DO CHUMBO, ZINCO E BORO
EM ÁREA DEGRADADA POR INDÚSTRIAS CERÂMICAS -
REGIÃO DOS LAGOS DE SANTA GERTRUDES, SP**

André Luiz Bonacin Silva

Orientador: Prof. Dr. Raphael Hypolito

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

SÃO PAULO
2001

DEDALUS - Acervo - IGC

30900007193

Ficha catalográfica preparada pelo Serviço de Biblioteca e Documentação do
Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo

Bonacin Silva, André Luiz

Caracterização ambiental e estudo do comportamento do chumbo, zinco e boro em área degradada por indústrias cerâmicas – região dos lagos de Santa Gertrudes, SP / André Luiz Bonacin Silva – São Paulo, 2001.

230 p.: il. + Anexos

Dissertação (Mestrado): IGc/USP

Orient.: Hypolito, Raphael

1. Meio Ambiente. 2. Hidrogeoquímica. 3. Áreas Contaminadas. 4. Santa Gertrudes. 5. Chumbo. 6. Zinco. 7. Boro. 8. Cerâmica. I. Caracterização ambiental e estudo do comportamento do chumbo, zinco e boro em área degradada por indústrias cerâmicas – região dos lagos de Santa Gertrudes, SP

Dedico este trabalho principalmente a minha mãe, pelo carinho, perseverança e fé,
mesmo em momentos de dificuldades.

Ao meu orientador, pela confiança depositada!

A F. Kafka, F. W. Nietzsche, N. Maquiavel, J.S.Bach e tantos outros, pelas valiosas lições
de vida.

“Constituem objetivos fundamentais da República Federativa do Brasil: I – construir uma sociedade livre, justa e solidária; II – garantir o desenvolvimento nacional; III – erradicar a pobreza e a marginalização e reduzir as desigualdades sociais e regionais; IV – promover o bem de todos, sem preconceitos de origem, raça, sexo, cor, idade e quaisquer outras formas de discriminação” (Art. 3º - Dos Princípios Fundamentais, Constituição Federal Brasileira, 1988).

“(…) IX – é livre a expressão da atividade intelectual, artística, científica e de comunicação, independentemente de censura ou licença; X – são invioláveis a intimidade, a vida privada, a honra e a imagem das pessoas (…)” (Art. 5º , Capítulo I - Dos Direitos e Deveres Individuais e Coletivos, Título II – Dos Direitos e Garantias Fundamentais, Constituição Federal Brasileira, 1988).

“Vossa razão e vossa paixão são o leme e as velas de vossa alma navegante. Se vossas velas ou vosso leme se quebram, só podereis ficar derivando ou permanecer imóveis no meio do mar. Pois a razão, reinando sozinha, restringe todo impulso; e a paixão, deixada a si, é um fogo que arde até sua própria destruição” (Gibran Khalil Gibran).

“Não basta ensinar ao homem uma especialidade, porque se tornará assim uma máquina utilizável e não uma personalidade. É necessário que se adquira um sentimento, um senso prático daquilo que vale a pena ser empreendido, daquilo que é belo, do que é moralmente correto” (A. Einstein).

Sic luceat lux ! (...)

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao conjunto de pessoas que possibilitaram a execução e conclusão deste projeto de pós-graduação, em primeiro lugar, ao Prof. Dr. Raphael Hypolito, pela amizade, dedicação e intenso engrandecimento científico. Em especial, pela imensa paciência no período de conclusão da dissertação.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pelo auxílio financeiro (Projeto de Auxílio à Pesquisa 98/06842-1) e bolsa de mestrado (processo 97/12827-2), sem os quais não seria possível executar o projeto.

A todos da indústria cerâmica CEDASA S/A, de Santa Gertrudes, em nome do proprietário Edvaldo José Pascon, da encarregada de segurança do trabalho Dirce Cecatto, dos funcionários Beto, sr. Pedro, Sandro e Maurício. Pela amizade, auxílio nos trabalhos de campo e cordialidade; pela coragem em tratar da questão ambiental com seriedade e abertura.

Ao Sindicato das Indústrias da Construção, Mobiliário e de Cerâmica de Santa Gertrudes e demais ceramistas, em nome do Presidente do Sindicato, João Carlos Buschinelli (indústrias cerâmicas Buschinelli Ltda.) e do Secretário Executivo Marcelo Piva, pela aceitação dos estudos na região dos lagos.

Aos engenheiros José Ferreira Assis e Moraci G. de Oliveira (CETESB – Piracicaba), pela amizade, pelas valiosas sugestões e pela grande colaboração à pesquisa. Deve-se ao empenho pessoal do eng. J. Assis o sucesso na criação do Grupo Técnico do Projeto Corumbataí Cerâmicas.

À Dra. Dorothe C. P. Casarini (CETESB – SP), pela sugestão da área, sem a qual este projeto não se realizaria.

A Marcelo Filipov e Maristela, pela amizade e pela grande paciência nos trabalhos de edição final, e ao Prof. Dr. Fernando Fujimura (Laboratório de Computação, Pesquisa e Desenvolvimento Mineral – LAPDEM, EP-USP), pela gentileza na impressão dos volumes finais.

A todos os colegas do laboratório QUIMLAB – Química & Metrologia, Nilton, Denilson, Raimundo e Goretti, pelas análises químicas, paciência e valiosas sugestões.

Ao aluno de química (IQ-USP) Márcio Henrique Terra, pelo valioso auxílio nos trabalhos de campo e experimentais, bem como no dia a dia do projeto de pesquisa.

A meu irmão Alexandre, pelos trabalhos em fotos e figuras.

À Mirna Mangini Ferracini, pela digitalização de mapas e pela extrema paciência.

Às pessoas que contribuíram de alguma forma ao projeto: aos colegas Sílvia Cremonez, Claudia Cristina Castro Gonzalez, Benedito Ubiratan (Paquita), Sílvia Maria, Fernando Nadal Junqueira Villela e demais colegas; aos estagiários Janaina Ferreira Marques e Edson Rogério Batello (Laboratório de Hidrogeoquímica III - CEPAS/GSA/IGc-USP); ao físico Flavio M. S. Carvalho (Laboratório de Raios X, DMG/IGc-USP); ao engenheiro Isaac Jamil Sayeg (Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV, GSA/IGc-USP); ao técnico de campo Sérgio Ataíde Martins (CEPAS/GSA/IGc-USP); ao "Biotita" e sr. Valter (CEPAS/GSA/IGc-USP); aos demais funcionários e colegas do IGc-USP.

Ao IPT (em nome de Tânia de Oliveira Braga, Ângelo José Consoni, da equipe do Laboratório de Física dos Solos, de toda equipe de campo de Fernando Campagnolli / *piston-core* e demais colegas), CPTI e REGEA (em nome do geólogo Oswaldo Y. Iwasa, da secretária Denise, Priscilla, Borges e demais colegas associados) e IRRIGART (em nome do geólogo, Dr. Antonio Melhem Saad); CETESB - Piracicaba (tecnólogo Sérgio Horninki e demais funcionários); CETESB - SP (Dr. Geraldo Einsinki, Dr. Rodrigo Cunha, Dr. José Eduardo Bevilacqua e outros, pelas sugestões).

Aos amigos Eulália Maria Gomes Citroni, Francis Priscilla Vargas Hager, Fernando C. Breviglieri, Renata B. Carvalho, José Luiz Albuquerque Filho (IPT), Carlos Eduardo Gomes Carneiro, Mauro César Bidin, Liaw Yih Der, Célia Alves Surita, Pamela Alejandra Searle Cauas, Celso Aluísio Graminha e Marília Rondani, pela amizade, incentivo, valiosas sugestões e consideração.

Igualmente agradeço a todos os docentes do IGc-USP, em particular ao Dr. Claudio Riccomini, Dr. Johan H. D. Schorscher, Dr. Daniel Atencio, Dr. Joel B. Sígolo, Dr. João Batista Moreschi, Dra. Lília Mascarelhas Sant'Agostino, Dr. Fabio Taiolli, Dr. Alberto Pacheco, Dra. Mary E. C. B. Oliveira, Dr. Uriel Duarte, Dr. George R. Sadowiski, Dr. Fabio Ramos Dias de Andrade, Dr. Paulo César Fonseca Giannini e Dr. Paulo Roberto dos Santos, que, de alguma forma, apoiaram, incentivaram ou auxiliaram-me durante o mestrado.

SUMÁRIO

Dedicatória.....	i
Agradecimentos.....	iii
Lista de Figuras.....	vii
Lista de Quadros.....	xi
Lista de Tabelas.....	xiii
Lista de Fotos.....	xix
Lista de Siglas, Abreviaturas e Símbolos.....	xxv
Resumo.....	xxvi
Abstract.....	xxviii
1. INTRODUÇÃO.....	001
2. OBJETIVOS.....	006
3. LOCAL DE ESTUDOS.....	007
4. SÍNTESE BIBLIOGRÁFICA.....	012
4.1. Definições gerais e legislação vigente.....	012
4.2. Aspectos geoquímicos de interesse.....	028
4.3. Comportamento do chumbo, zinco e boro.....	037
4.4. Indústria cerâmica de materiais de revestimento.....	050
5. DADOS REGIONAIS.....	053
5.1. Pólo cerâmico regional de Santa Gertrudes.....	053
5.2. Bacia hidrográfica do córrego da Fazenda Itaqui.....	057
5.3. Geologia.....	059
5.4. Hidrogeologia.....	065
5.5. Geomorfologia.....	067
5.6. Pedologia.....	070
5.7. Clima e disponibilidade hídrica superficial.....	071

6. INVESTIGAÇÕES EFETUADAS.....	075
6.1. Áreas investigadas, materiais e métodos gerais.....	075
6.2. Geologia local e processos da dinâmica superficial.....	095
6.3. Solos e sedimentos associados.....	108
6.4. Sedimentos de fundo de lagos.....	121
6.5. Sedimentos de leito de ravinas e pequenos cursos d'água.....	129
6.6. Hidrogeologia local.....	132
6.7. Águas superficiais – córregos da Fazenda Itaqui e associados.....	153
6.8. Águas superficiais – lagos.....	160
6.9. Águas superficiais – ravinas.....	163
6.10. Água de chuva.....	165
6.11. Materiais e resíduos industriais.....	169
7. INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS.....	180
7.1. Caracterização ambiental geral da área de estudos.....	180
7.2. Comportamento do chumbo, zinco e boro.....	191
7.3. Medidas mitigadoras e de recuperação emergenciais.....	195
8. CONCLUSÕES.....	198
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	202
ANEXOS.....	230

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1.1 - Localização da área de estudos, em Santa Gertrudes, SP.....	007
Figura 3.1.2 - Vista geral da área de estudos - "região dos lagos de Santa Gertrudes" - com córrego da Fazenda Itaqui, lagos e indústrias cerâmicas.....	008
Figuras 3.1.3 e 3.1.4 - Fotos aéreas, respectivamente, de 1972 e 1995, que demonstram a modificação da paisagem, primeiramente pela atividade de mineração e, em seguida, pela expansão das indústrias cerâmicas e da área urbana de Santa Gertrudes (Fotos originais: BASE, 2000). Observação: IC = indústria cerâmica em operação.....	011
Figura 4.1.1 - Amplitude relativa entre os conceitos de contaminação, poluição e degradação, a partir das definições de ABNT (1993), SÁNCHEZ (1998) e GLOEDEN (1999).	015
Figura 4.1.2 - Síntese da legislação brasileira e do Estado de São Paulo, sobre áreas contaminadas (CETESB, 1999).....	019
Figura 4.3.1 - Diagrama Eh-pH para o sistema Pb-S-C-O-H (BROOKINS, 1988).....	039
Figura 4.3.2 - Diagrama Eh-pH para o sistema Zn-S-C-O-H (BROOKINS, 1988).....	044
Figura 4.3.3 - Diagrama Eh-pH para o sistema B-O-H (BROOKING, 1988).....	047
Figura 4.4.1 - Síntese dos processos da indústria cerâmica utilizada em Santa Gertrudes (modificado de MASSON, 1998; CHRISTOFOLETTI, 1999).....	052
Figura 5.2.1 - Bacia hidrográfica do córrego da Fazenda Itaqui.....	058
Figura 5.2.2 - Localização de Santa Gertrudes na Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) – 5 (Piracicaba, Capivari e Jundiaí) e das demais UGRHIs do Estado de São Paulo (CARNESECA, 1998; SRH, 1998).....	057
Figura 5.3.1 - Mapa geológico do Estado de São Paulo - trecho na região de Santa Gertrudes (IPT, 1981a). Unidades presentes: Pc = Fm. Corumbataí, JKβ = Fm. Serra Geral (rochas intrusivas básicas) e TQr = Formação Rio Claro.....	059

Figura 5.3.2 - Mapa geológico da Folha Campinas - trecho na região de Santa Gertrudes (DAEE & UNESP, 1982). Unidades presentes: Formação Corumbataí, rochas intrusivas básicas e Depósitos cenozóicos.....	059
Figura 5.3.3 - Colunas estratigráficas com unidades geológicas presentes em Santa Gertrudes: A = IPT (1981a); B = FRANÇA & POTTER (1988); C = MATTOS (1995).	061
Figura 5.3.4 - Mapa geológico simplificado da bacia do Paraná (POTTER & FRANÇA, 1988)	062
Figura 5.3.5 - Perfil geológico W-E, compreendendo a região do domo de pitanga, a W, e a borda leste da bacia do Paraná, na qual se localiza Santa Gertrudes (DAEE & UNESP, 1982).....	065
Figura 5.7.1 - Histograma com precipitações médias mensais históricas do posto pluviométrico do DAEE situado em Santa Gertrudes (dados brutos obtidos em DAEE, 1998).....	072
Figura 5.7.2 - Histograma com precipitações mensais do posto pluviométrico da UNESP situado em Rio Claro (dados de 1998 a 2000, obtidos em UNESP, 2000).....	073
Figura 5.7.3 - Mapa de isoietas da região de Santa Gertrudes, a partir dos levantamentos hidrológicos de DAEE (1988, 1994).	074
Figura 6.1.1 - Vista dos três principais locais investigados na área de estudos.....	076
Figura 6.1.2 - Estratégias de planejamento, de escolha de locais-alvo, amostragem e análises utilizadas em Santa Gertrudes.	077
Figura 6.1.3 – Mapa esquemático com pontos de amostragem e de investigação efetuados na área de estudos de detalhe.	078
Figura 6.1.4 - Perfil SW-NE na ÁREA II, desde a indústria Poliglass até o córrego da Fazenda Itaqui, passando pelos lagos 3 e 4 – parte central da área de estudos.....	079
Figura 6.1.5 – Localização da área de referência em relação à área de estudos.....	082
Figura 6.1.6 - Fluxograma de preparo e encaminhamento de amostras sólidas.....	085
Figura 6.1.7 - Representação de classes texturais de solos/sedimentos pelo diagrama de SHEPPARD (1954).....	088
Figura 6.1.8 - Esquema de filtração de amostras líquidas.....	091

Figura 6.2.1 - Projeção polar de acamamento (laminação e estratificação plano-paralela) da Formação Corumbataí, com caimentos predominantes para NW, com baixo ângulo.....	102
Figura 6.2.2 - Rosácea com direções de caimento predominantes de fraturas medidas em pelitos da Fm. Corumbataí (total de medidas: 163).....	102
Figura 6.4.1 – Amostragem de sedimentos de fundo de lagos.....	122
Figura 6.5.1 – Amostragem de sedimentos de leito de drenagens e ravinas.....	130
Figura 6.6.1 – Amostragem de águas subterrâneas.....	133
Figura 6.6.1 - Esquema geral dos poços de monitoramento instalados em Santa Gertrudes.	134
Figura 6.6.2 - Representação de <i>datum</i> topográfico localizado no poço de monitoramento PM-5, utilizado como referência de nível na análise hidrogeológica na área de estudos de detalhe.....	134
Figura 6.6.3 - Esquema geral do lisímetro (fechado) instalado em Santa Gertrudes (adaptado de ASTM, 1998)	137
Figura 6.6.4 - Esquema do funcionamento de lisímetro instalado em Santa Gertrudes (adaptado de ASTM, 1998).....	137
Figura 6.6.5 – Resultados da SEV-1, efetuada nas proximidades da área de estudos de detalhe (área I).....	147
Figura 6.6.6 – Resultados da SEV-2, efetuada nas proximidades da área de estudos de detalhe (área I).....	148
Figura 6.6.7 – Resultados da SEV-3, efetuada entre a indústria Poliglass e o lago 4 (área II).....	149
Figura 6.6.8 – Perfil P1, com GPR, efetuada na área de estudos de detalhe (área I) com antenas de 50 e 100MHz.	151
Figura 6.6.9 – Perfis P2 e P3, com GPR, efetuados na área de estudos de detalhe (área I) com antena de 100MHz.	151
Figura 6.6.10 – Perfil P4, com GPR, efetuada na área de estudos de detalhe (área I) com antenas de 50 e 100MHz.	152
Figura 6.7.1 – Amostragem de águas superficiais – córrego da Fazenda Itaqui.....	154

Figura 6.7.2 - Resultados de sólidos dissolvidos totais (SDT) nas águas do córrego da Fazenda Itaqui, analisadas em diferentes períodos.	155
Figura 6.7.3 - Resultados de pH das águas do córrego da Fazenda Itaqui, analisadas em diferentes períodos.	155
Figura 6.7.4 - Resultados de Eh das águas do córrego da Fazenda Itaqui, analisadas em diferentes períodos.	156
Figura 6.7.5 - Resultados de chumbo nas águas do córrego da Fazenda Itaqui, analisadas em diferentes períodos.....	156
Figura 6.7.6 - Resultados de zinco nas águas do córrego da Fazenda Itaqui, analisadas em diferentes períodos.....	157
Figura 6.7.7 - Resultados de boro nas águas do córrego da Fazenda Itaqui, analisadas em diferentes períodos.....	157
Figura 6.7.8 - Resultados de teores médios de sódio, potássio, cálcio e magnésio nas águas do córrego da Fazenda Itaqui, analisadas em diferentes períodos.....	158
Figura 6.8.1 – Amostragem de águas superficiais - lagos.....	161
Figura 6.9.1 – Amostragem de águas superficiais - feições erosivas.....	164
Figura 6.10.1 - Amostragem de água de chuva.....	167
Figura 6.11.1 - Fluxograma de linha de produção da indústria CEDASA S/A.....	170
Figura 6.11.2 - EDS - Pb identificado em lodo de decantação – amostra L-XXX-2.....	177
Figura 6.11.3 - EDS - Pb identificado em lodo de decantação – amostra L-CED-2....	177
Figura 6.11.4 - Esquema do experimento utilizando soxhlet (H ₂ O deionizada + CO ₂)	178
Figura 6.11.5 - Esquema do experimento utilizando soxhlet (H ₂ O deionizada + HNO ₃ 0,5M).	178
Figura 7.1.1 - Modelo conceitual da configuração atual da área de estudos.....	181
Figura 7.1.2 – Configuração do lago 2 com suas entradas (FI-L2, PCD-1 e RAV2-L2) e saída (L2-L1).	184
Figura 7.1.3 – Concentrações de chumbo encontradas na área de estudos de detalhe.....	186
Figura 7.1.4 – Fontes potenciais, mecanismos de transporte e exposição de populações a contaminantes.....	190

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1.1 - Relação de marcos e instrumentos legais federais do Brasil relacionados à qualidade das águas.	023
Quadro 4.1.2 - Relação de marcos e instrumentos legais do Estado de São Paulo relacionados à qualidade das águas.	026
Quadro 4.3.1 – Principais compostos de chumbo utilizados na indústria cerâmica....	041
Quadro 4.3.2 – Parâmetros limites para o chumbo nos padrões de qualidade das águas (classe 2), lançamento de efluentes e potabilidade (em mg.L ⁻¹).....	043
Quadro 4.3.3 – Valores orientadores de referência, alerta e intervenção de chumbo em solos do Estado de São Paulo (em mg.kg ⁻¹).....	043
Quadro 4.3.4 – Parâmetros limites para o zinco nos padrões de qualidade das águas (classe 2), lançamento de efluentes e potabilidade (em mg.L ⁻¹).....	046
Quadro 4.3.5 – Valores orientadores de referência, alerta e intervenção de zinco em solos do Estado de São Paulo (em mg.kg ⁻¹).....	046
Quadro 4.3.6 – Parâmetros limites para o boro nos padrões de qualidade das águas (classe 2), lançamento de efluentes e potabilidade (em mg.L ⁻¹).....	049
Quadro 5.6.1 - Classes, símbolos e descrições de solos existentes Santa Gertrudes, segundo IAC (1999)	070
Quadro 5.7.1 - Estimativa da disponibilidade hídrica superficial da bacia hidrográfica do córrego da Fazenda Itaqui e da área de estudos, em Santa Gertrudes, a partir dos levantamentos hidrológicos de DAEE (1988, 1994).	074
Quadro 6.1.1 - Análises efetuadas em materiais sólidos: parâmetros analisados, laboratórios, métodos e equipamentos utilizados.	086
Quadro 6.1.2 - Etapas, frações extraídas, reagentes e condições experimentais utilizadas nas extrações sequenciais seletivas.....	090
Quadro 6.1.3 - Métodos analíticos empregados na determinação de espécies químicas em amostras de água (superficiais, subterrâneas e de chuva) e soluções.....	092
Quadro 6.3.1 - Resultados de análises por difratometria de raios X (DRX).....	110

Quadro 6.3.2 – Resultados de análises por difratometria de raios X (DRX).....	115
Quadro 6.3.3 – Resultados de análises por difratometria de raios X (DRX).....	116
Quadro 6.3.4 – Resultados de análises de chumbo a partir de experimentos de extração seqüencial seletiva em amostras do ponto PM-ZERO (área de referência). 119	
Quadro 6.3.5 – Resultados de análises de chumbo a partir de experimentos de extração seqüencial seletiva em amostras do ponto PM-5 (área de estudos de detalhe – área I).....	119
Quadro 6.3.6 – Resultados de análises de chumbo a partir de experimentos de extração seqüencial seletiva em amostras do ponto PM-3 (área de estudos de detalhe – área I).....	120
Quadro 6.3.7 – Resultados de análises de zinco a partir de experimentos de extração seqüencial seletiva em amostras do ponto PM-ZERO (área de referência).....	120
Quadro 6.3.8 – Resultados de análises de zinco a partir de experimentos de extração seqüencial seletiva em amostras do ponto PM-5 (área de estudos de detalhe – área I).....	120
Quadro 7.1.1 – Síntese das análises de Pb, B e Zn efetuadas na área de estudos....	194

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.3.1 – Produto de solubilidade de sais de chumbo (BACCAN <i>et al.</i> , 1991)...	039
Tabela 5.1.1 - Evolução dos dados de produção do pólo cerâmico de Santa Gertrudes.....	054
Tabela 5.1.2 - Dados de produção das indústrias cerâmicas situadas na área de estudos, em Santa Gertrudes.....	055
Tabela 5.1.3 - Dados sócio-econômicos de Santa Gertrudes e do Estado de São Paulo.....	056
Tabela 5.4.1 - Dados técnicos de poços tubulares situados na região dos lagos de Santa Gertrudes e arredores.....	068
Tabela 5.7.1 - Precipitações médias mensais históricas de posto pluviométrico do DAEE situado em Santa Gertrudes.	072
Tabela 5.7.2 - Balanço hídrico-climatológico do município de Rio Claro, segundo método de THORNTHWAITE & MATTER (1955).....	072
Tabela 6.1.1 - Limites de detecção das análises de elementos maiores efetuadas em materiais sólidos no <i>Activation Laboratories</i> (Canadá).	086
Tabela 6.1.2 - Limites de detecção das análises de elementos traço efetuadas em materiais sólidos no <i>Activation Laboratories</i> (Canadá).	086
Tabela 6.1.3 - Limites de detecção das análises de elementos maiores, efetuadas no <i>Activation Laboratories</i> (Canadá).	093
Tabela 6.1.4 - Limites de detecção das análises de demais elementos em amostras de água efetuadas no <i>Activation Laboratories</i> (Canadá).....	093
Tabela 6.1.5 - Limites de detecção de elementos maiores das análises efetuadas em amostras de água no QUIMLAB, SP.....	093
Tabela 6.1.6 - Limites de detecção de ânions das análises efetuadas em amostras de água no QUIMLAB, SP.....	093
Tabela 6.1.7 - Limites de detecção de Pb, Zn e B das análises efetuadas em amostras de água no QUIMLAB, SP.....	093

Tabela 6.1.8 - Limites de detecção de demais elementos das análises efetuadas em amostras de água no QUIMLAB, SP.....	093
Tabela 6.1.9 - Métodos analíticos empregados pelo GREENLAB (RS) na determinação de espécies químicas em amostras de materiais industriais (esmaltes, corantes, resíduos).	094
Tabela 6.2.1 - Resultados de análises granulométricas efetuadas em pelitos da Formação Corumbataí, coletadas na área de estudos em Santa Gertrudes, SP.....	098
Tabela 6.3.1 - Resultados de análises químicas - elementos maiores (%), efetuadas em amostras de solo coletadas na área de referência (amostragem a cada 15cm).....	109
Tabela 6.3.2 - Resultados de análises químicas – demais elementos analisados (em mg. kg ⁻¹), efetuadas em amostras de solo coletadas na área de referência (amostragem a cada 15cm).....	109
Tabela 6.3.3 - Resultados de análises de pH, CTC (capacidade de troca catiônica) e teor de matéria orgânica em amostras coletadas na área de referência.....	110
Tabela 6.3.4 - Resultados de análises granulométricas em amostras coletadas na na área de referência.....	110
Tabela 6.3.5 - Resultados de análises químicas - elementos maiores (%), efetuadas em amostras de solo coletadas na área de estudos de detalhe (amostras a cada 15cm).....	111
Tabela 6.3.6 - Resultados de análises químicas – demais elementos analisados (em mg. kg ⁻¹), efetuadas em amostras de solo coletadas na área de estudos de detalhe (amostragem a cada 15cm).....	112
Tabela 6.3.7 - Resultados de análises químicas - elementos maiores (%), efetuadas em amostras de solo coletadas na área de estudos de detalhe (níveis A, B e C).....	112
Tabela 6.3.8 - Resultados de análises químicas – demais elementos analisados (em mg. kg ⁻¹), efetuadas em amostras de solo coletadas na área de estudos de detalhe (níveis A, B e C).	113
Tabela 6.3.9 - Resultados de análises granulométricas em amostras coletadas na área de estudos de detalhe.	113
Tabela 6.3.10 - Resultados de análises de pH, CTC (capacidade de troca catiônica), SB (soma de bases) e teor de matéria orgânica em amostras coletadas na área de estudos	

de detalhe.	114
Tabela 6.3.11 - Resultados de análises químicas - elementos maiores (%), efetuadas em amostras de solo coletadas na área II (amostragem a cada 15cm).....	115
Tabela 6.3.12 - Resultados de análises químicas – demais elementos analisados (em mg. kg ⁻¹), efetuadas em amostras de solo coletadas na área II (amostragem a cada 15cm).	116
Tabela 6.3.13 - Resultados de análises granulométricas em amostras coletadas na área II.....	116
Tabela 6.3.14 - Resultados de análises pH, CTC e matéria orgânica em amostras coletadas na área II.....	116
Tabela 6.3.15 - Resultados de análises químicas em amostras de rochas e solos típicos da região - elementos maiores (%).	117
Tabela 6.3.16 - Índice de geoacumulação (I_{geo}) das amostras de perfis de solo coletadas em área impactada.	118
Tabela 6.4.1 - Resultados de análises químicas em amostras de sedimentos de fundo dos lagos da área de referência - elementos maiores (%).	123
Tabela 6.4.2 - Resultados de análises químicas em amostras de sedimentos de fundo dos lagos da área de referência - metais, B, As e Se (mg.kg ⁻¹).	123
Tabela 6.4.3 - Resultados de análises químicas em amostras de sedimentos de fundo dos lagos da área I - elementos maiores (%).	124
Tabela 6.4.4 - Resultados de análises químicas em amostras de sedimentos de fundo dos lagos da área I - metais, B, As e Se (mg.kg ⁻¹).	125
Tabela 6.4.5 - Resultados de análises químicas em amostras de sedimentos de fundo dos lagos da área II - elementos maiores (%).	125
Tabela 6.4.6 - Resultados de análises químicas em amostras de sedimentos de fundo dos lagos da área II - metais, B, As e Se (mg.kg ⁻¹).	125
Tabela 6.4.7 - Resultados de análises químicas em amostras de sedimentos de fundo dos lagos - elementos maiores (%).	125
Tabela 6.4.8 - Resultados de análises químicas em amostras de sedimentos de fundo dos lagos - metais, B, As e Se (mg.kg ⁻¹).	125
Tabela 6.4.9 - Resultados de análises de pH, CTC (capacidade de troca catiônica) e	

teor de matéria orgânica em amostras sedimentos de fundo de lagos.....	126
Tabela 6.4.10 - Resultados de análises granulométricas em amostras sedimentos de fundo de lagos.....	127
Tabela 6.4.11 - Índice de geoacumulação (I_{GEO}) das amostras de sedimentos de fundo de lagos.....	127
Tabela 6.5.1 - Resultados de análises químicas em amostras de sedimento de leito em córregos e ravinas - elementos maiores (%).....	129
Tabela 6.5.2 - Resultados de análises químicas em amostras de sedimento de leito em córregos e ravinas - metais, B, As e Se (ppm).....	131
Tabela 6.6.1 - Dados de profundidade de nível d'água dos poços de monitoramento.....	139
Tabela 6.6.2 - Resultados dos ensaios de condutividade hidráulica saturada (K) em amostras "indeformadas" coletadas em Santa Gertrudes.....	140
Tabela 6.6.3 - Resultados das análises de porosidade efetiva, retenção específica e densidade aparente em amostras "indeformadas" coletadas em Santa Gertrudes.....	140
Tabela 6.6.4 - Valores de K (condutividade hidráulica saturada) obtidos em <i>bail-down tests</i>	141
Tabela 6.6.5 - Resultados de análises químicas de chumbo efetuadas em poços de monitoramento ($\mu\text{g. L}^{-1}$).....	142
Tabela 6.6.6 - Resultados de análises químicas de boro (mg. L^{-1})..	142
Tabela 6.6.7 - Resultados de análises químicas de zinco ($\mu\text{g. L}^{-1}$).....	143
Tabela 6.6.8 – Valores médios dos resultados de análises químicas de amostras de águas subterrâneas - elementos maiores (mg.L^{-1}).	143
Tabela 6.6.9 - Valores médios dos resultados de análises químicas de amostras de águas subterrâneas – metais pesados ($\mu\text{g.L}^{-1}$).	144
Tabela 6.6.10 - Resultados médios de análises <i>in situ</i> em correlação com teores de chumbo e boro em águas subterrâneas dos poços PM-3, PM-5 e PM-15.....	144
Tabela 6.6.11 - Resultados médios de análises <i>in situ</i> em correlação com teores de chumbo e boro em águas subterrâneas dos poços PM-7, PM-8 e PM-10.....	145
Tabela 6.6.12 - Dados de condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$), Eh (mV), pH, B ($\mu\text{g.L}^{-1}$), Pb	

($\mu\text{g.L}^{-1}$) e Zn ($\mu\text{g.L}^{-1}$) de amostras de água de cacimbas.....	145
Tabela 6.6.13 - Resultados de análises químicas nas investigações iniciais, em amostras de água de cacimbas - elementos maiores (mg.L^{-1}).....	145
Tabela 6.6.14 - resultados de análises químicas em amostras de água de cacimbas, galeria e fontes - metais pesados e demais elementos traço ($\mu\text{g.L}^{-1}$).....	146
Tabela 6.6.15 - Dados de condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$), Eh (mV), pH e Pb ($\mu\text{g.L}^{-1}$) de amostras de água da zona não saturada.	146
Tabela 6.7.1 – Dados de análises de íons “particulados” efetuadas em pontos de amostragem do córrego da Fazenda Itaqui.	158
Tabela 6.7.2 - Dados de análise <i>in situ</i> em amostras de água de pequeno curso d’água situado na área de estudos de detalhe.....	159
Tabela 6.7.3 - Dados de análise em amostras de água de pequeno curso d’água situado na área de estudos de detalhe - elementos maiores (mg.L^{-1}).....	159
Tabela 6.7.4 - Dados de análise em amostras de água de pequeno curso d’água situado na área de estudos de detalhe - metais pesados ($\mu\text{g.L}^{-1}$).....	159
Tabela 6.7.5 - Dados de análise em amostras de água de pequeno curso d’água situado na área de estudos de detalhe - demais elementos ($\mu\text{g.L}^{-1}$).....	159
Tabela 6.8.1 - Dados de análise <i>in situ</i> em amostras de água de lagos.....	160
Tabela 6.8.2 - Resultados de análises químicas em amostras de água de lagos - elementos maiores (mg.L^{-1}).	162
Tabela 6.8.3 - Resultados de análises químicas em amostras de água de lagos – demais elementos ($\mu\text{g.L}^{-1}$).	162
Tabela 6.9.1 - Dados parciais de análise <i>in situ</i> em amostras de águas de ravinas...	163
Tabela 6.9.2 - Resultados de análises químicas em amostras de água de ravinas - elementos maiores ($\mu\text{g.L}^{-1}$).....	163
Tabela 6.9.3 -Resultados de análises químicas em amostras de água de ravinas - metais-pesados, As, Se e B ($\mu\text{g.L}^{-1}$).....	165
Tabela 6.10.1 - Resultados de análises químicas em água de chuva, coletadas em pluviômetros com deposição total - Pb ($\mu\text{g.L}^{-1}$).....	168
Tabela 6.10.2 - Resultados de análises químicas em água de chuva, coletadas em	

amostradores com deposição total em curto espaço de tempo - Pb ($\mu\text{g.L}^{-1}$).....	168
Tabela 6.11.1 - Resultados de análises químicas em pisos de diferentes etapas do processo de produção - elementos maiores (%).....	173
Tabela 6.11.2 - Resultados de análises químicas em pisos de diferentes etapas do processo de produção – metais, B, As e Se (mg.kg^{-1}).....	173
Tabela 6.11.3 - Resultados de análises de pH, CTC e matéria orgânica em pisos de diferentes etapas do processo de produção.....	173
Tabela 6.11.4 – Composição média de esmaltes - indústria CEDASA (JOHNSON MATHEY,1999).....	174
Tabela 6.11.5 - Resultados de análises químicas de pigmentos (CED-PIG1 e CED-PIG2) e esmaltes (CED-ESM1 e CED-ESM2) coletados na linha de produção da indústria CEDASA, em mg.kg^{-1}	174
Tabela 6.11.6 - Resultados de análises químicas em amostras de lodos, resíduos sólidos industriais - metais, B, As e Se (ppm).....	175
Tabela 6.11.7 - Resultados de análises de pH, CTC e matéria orgânica em lodos, resíduos industriais.....	176
Tabela 6.11.8 - Resultados de análise granulométrica em lodos, resíduos industriais.....	176
Tabela 6.11.9 - Análises efetuadas em efluentes líquidos coletados nos tanques de decantação da indústria CEDASA.....	177
Tabela 6.11.10 – Análises químicas de chumbo e zinco em soluções obtidas com extrator sohxlet (em mg.L^{-1}).....	179

LISTA DE FOTOS

Foto 3.1.1 – Vista geral da área de estudos – “região dos lagos de Santa Gertrudes” (cedida pela CETESB – escritório de Piracicaba).	009
Foto 3.1.2 - Vista da antiga indústria Poliglass, atualmente desativada. Notar resíduos industriais esbranquiçados dispostos diretamente sobre o solo.....	009
Foto 3.1.3 - Vista da entrada do pesqueiro (“pesque e pague”), situado na porção central da área de estudos. Notar a indústria Poliglass, a montante.....	009
Foto 3.1.4 - Locais para “descanso” de argila (1); antiga cava de mineração aterrada (2); lago gerado de antiga cava (3); e curso do córrego da Fazenda Itaqui (4).....	010
Foto 3.1.5 – Local com disposição de rejeito e/ou estéril de mineração de argila, com ausência de medidas de prevenção a processos erosivos.	010
Foto 5.1.1 - Vista parcial das áreas urbana e de concentração de indústrias cerâmicas em Santa Gertrudes, SP, às margens da rodovia Washington Luís. A área de estudos (“região dos lagos de Santa Gertrudes”), correspondendo à porção mais montante da bacia hidrográfica do córrego da Fazenda Itaqui, situa-se na margem direita desta rodovia, em sentido a São Paulo.	054
Foto 6.1.1 - Vista parcial da parte oeste na área de estudos (ÁREA I), com destaque para a área de estudos de detalhe, o córrego da Fazenda Itaqui e o lago 2.....	078
Foto 6.1.2 - Vista da parte central da área de estudos (ÁREA II), a partir da antiga indústria Poliglass: na margem esquerda do córrego da Fazenda Itaqui, há os lagos 3, 4 e do pesqueiro (inclusive lago 5); na margem direita, a montante, as indústrias cerâmicas.	079
Foto 6.1.3 – Vista parcial da porção central da área de estudos (ÁREA II). À montante, a antiga indústria Poliglass; no vale, lagos do pesqueiro (inclusive lago 5), lagos 3 e 4.	080
Foto 6.1.4 - Vista da porção montante da área de estudos (ÁREA III): nos fundos, da esquerda para a direita, três indústrias cerâmicas, em cujos terrenos há nascentes do	

córrego da Fazenda Itaqui (indicadas com N); na parte central, lagos 6 a 10. Aos arredores, áreas de aterro com resíduos das indústrias cerâmicas.....	080
Foto 6.1.5 - Vista da “área de referência”, localizada fora da influência direta das indústrias. Notar o lago “ZERO”, o poço de monitoramento PM-ZERO e o local de nascentes do córrego da Fazenda Itaúna.	081
Foto 6.1.6 – Amostragem de solo com trado holandês, para instalação de poço de monitoramento.....	083
Foto 6.1.7 - Embalagem de amostra sólida em saco plástico, a partir de sondagem com trado holandês.	083
Foto 6.1.8 – Amostragem de sedimento de fundo do lago 2 com equipamento do tipo <i>piston-core</i>	084
Foto 6.2.1 - Mina a céu aberto para extração de rochas pelíticas da Formação Corumbataí, utilizadas como matéria-prima para as indústrias cerâmicas.....	096
Foto 6.2.2 - Pelitos marrom-avermelhados, fraturados, da Formação Corumbataí – afloramento R-COR-6.	096
Foto 6.2.3 - Amostras de pelitos roxo-avermelhados, não fraturados, da Formação Corumbataí - amostra R-COR-1-1.	096
Foto 6.2.4 - Amostra de pelitos fraturados da Formação Corumbataí, alterados intempericamente - amostra R-COR-1-2.	097
Foto 6.2.5 - Amostras de pelitos esverdeados da Formação Corumbataí - amostra R-COR-9-1.	097
Foto 6.2.6 - Pelito com argilominerais e quartzo, de textura fina. Transição de porção mais alterada, de coloração laranja-avermelhada (parte inferior da foto), rica em óxidos férricos, para nível mais preservado (parte superior). Amostra R-COR-9-2, Fm. Corumbataí. Microscópio óptico, ND, 2,5x.	097
Foto 6.2.7 - Camada predominantemente arenosa, de coloração amarelada (no centro da foto), intercalada a pelitos arroxeados, de granulação mais fina (níveis inferior e superior na foto) da Fm. Corumbataí - afloramento R-COR-2.....	098
Foto 6.2.8 - Intercalações de níveis pelíticos, de granulação mais fina e coloração marrom (parte inferior, na foto), contendo principalmente argilominerais, e níveis	

argiloso-síltico-arenosos, contendo numerosos grãos de quartzo (parte superior). Amostra R-COR-2-3, Fm. Corumbataí, microscópio óptico, NC, 5x.....	098
Foto 6.2.9 – idem Foto anterior, com ND. Amostra R-COR-2-3 - Formação Corumbataí.....	098
Foto 6.2.10 – Solo laterítico, de alteração da Fm. Corumbataí, típico da região.....	099
Foto 6.2.11 - Horizonte com lateritas ferruginosas parcialmente desagregadas pela ação de águas pluviais, aflorante em ravina, entre indústria cerâmica e o lago 2 (ponto RS-COR-3).....	100
Foto 6.2.12 - Amostras de lateritas ferruginosas cole-tadas no afloramento do ponto RS-COR-3 (Foto anterior).....	100
Foto 6.2.13 - Concreções nodulares oolíticas goethíticas (amostra RS-COR-3-1). Seção polida, ND, aumento no microscópio de 2,5x.	100
Foto 6.2.14 – Detalhe em trincheira do ponto POLI-L4 (ÁREA II, entre a indústria Poliglass e o lago 4), com material síltico-argiloso acinzentado subjacente a solo de alteração de pelitos marrom-avermelhados da Fm. Corumbataí.....	101
Foto 6.2.15 - Pelito com argilominerais (70-80%) e grãos de quartzo (5-10%), além da presença de material fibroso e corpúsculos arredondados de coloração preta (material orgânico). Amostra POLI-L4-B. Microscópio óptico, ND, 5x.....	101
Foto 6.2.16 - Afloramento alterado intempericamente, com corpo intrusivo de rocha ígnea básica, de coloração acinzentada, em contato com solo de alteração de pelitos marrom-avermelhados da Fm. Corumbataí (contato de atitude N45E/60SE), ÁREA III.....	101
Foto 6.2.17 - Detalhe da foto anterior, em afloramento alterado intempericamente, com corpo intrusivo de rocha ígnea básica (Fm. Serra Geral), de coloração acinzentada, em contato com solo de alteração de pelitos marrom-avermelhados da Formação. Corumbataí.	102
Foto 6.2.18 – Escoamento superficial, intensificado por águas pluviais. Ponto R-COR-2.	103
Foto 6.2.19 – Escoamento superficial intenso e formação de feições erosivas. Ponto E-INCO.....	103

Foto 6.2.20 – Vista geral do terreno entre as indústrias cerâmicas e o lago 2, com o desenvolvimento de feições erosivas.....	104
Foto 6.2.21 – Formação de sulcos, em terreno entre indústrias cerâmicas e o lago 2.....	104
Foto 6.2.22 – Evolução da foto anterior, com sulcos e uma ravina central.....	104
Foto 6.2.23 – Evolução da foto anterior, com ravinas e sulcos.....	104
Foto 6.2.24 – Início de processo erosivo em área de estocagem de argila.....	104
Foto 6.2.25 – Continuação da foto anterior, com lago 2 a jusante.....	104
Foto 6.2.26 – Entrada da ravina 2, trazendo áreas pluviais e sedimentos ao lago 2 – ponto RAV2-L2.....	105
Foto 6.2.27 – Mesmo local da foto anterior, apenas duas semanas depois, com marcante assoreamento.	105
Foto 6.2.28 – Vista parcial de boçoroca (altura = 6m; largura = 3m; comprimento = 80m) em local com antiga canaleta de lançamento de efluentes industriais.....	106
Foto 6.2.29 - <i>Piping</i> associado à boçoroca da foto anterior, em local imediatamente a montante da área de estudos de detalhe.	106
Foto 6.2.30 – Vista de área aterrada, entre esta indústria Poliglass, e os lagos 3, 4 e 5 (no vale). Notar coloração avermelhada do lago 3.....	106
Foto 6.2.31 – Mesmo local da foto anterior, com desenvolvimento de feições erosivas.....	106
Foto 6.2.32 – Assoreamento no lago 7, como consequência de avanço e erosão de aterro de indústria cerâmica. Local situado a jusante de uma das nascentes do córrego da Fazenda Itaquí.	107
Foto 6.2.33 – Talude instabilizado e erodido em aterro de indústria cerâmica. No local, foram dispostos resíduos industriais (principalmente cacos de pisos cerâmicos) e entulho de construção.	107
Foto 6.2.34 – Escoamento superficial – notar a interação entre os fatores fratura, topografia e escoamento das águas. Ponto R-COR-3.....	107
Foto 6.4.1 - Canos cortados para retirada de amostras de sedimento de fundo de lago coletadas com <i>piston-core</i>	121

Fotos 6.4.2 - Canos cortados para retirada de amostras com diferenças de horizonte - sedimentos de fundo de lago coletados com <i>piston-core</i>	121
Fotos 6.4.3 - Canos cortados para retirada de amostras com diferenças de aspecto - sedimentos de fundo de lago coletados com <i>piston-core</i>	121
Foto 6.4.4 - Processo de separação, com espátula, de amostras com diferentes horizontes - sedimentos de fundo de lago coletados com <i>piston-core</i>	123
Foto 6.4.5 - Local de coleta de sedimentos de leito do lago 2, situado próximo às margens (ponto L2-1C) e à área de estudos de detalhe. Notar resíduos esbranquiçados nos sedimentos mais superficiais.	128
Foto 6.5.1 - Local de coleta de sedimento de leito de pequeno curso d'água situado na área de estudos de detalhe (ponto PCD-3) - notar resíduo esbranquiçado.....	129
Foto 6.6.1 - Poço de monitoramento (PM-3), utilizado em Santa Gertrudes.....	134
Foto 6.6.2 - Coleta de amostra de solo "indeformada" (SG-H-1) - área de estudos de detalhe.	135
Foto 6.6.3 - Coleta de amostra de solo "indeformada" (SG-H-2) em trincheira aberta com enxadão, localizada nas proximidades das indústrias cerâmicas.....	135
Foto 6.7.1 - Ponto FI-2 (córrego da Fazenda Ita-qui), situado na ÁREA II, próximo ao pesqueiro.....	153
Foto 6.7.2 - Ponto FI-4 (córrego da Fazenda Itaqui), localizado no final da área de estudos, a jusante da ÁREA III.....	153
Foto 6.8.1 – Amostragem de água de lago com garrafa <i>van Door</i>	160
Foto 6.9.1 - Efluentes líquidos industriais com pH elevado, lançados na ravina 2 (área I), entre indústria cerâmica e o lago 2.	165
Foto 6.9.2 - Resíduos dispostos inadequadamente no terreno da antiga indústria Poliglass, próximo à ravina que conduz águas pluviais deste local ao lago 4.....	165
Foto 6.10.1 - Vista do pluviômetro PL-2 e amostragem de água de chuva.....	166
Foto 6.11.1 - Vista geral da indústria CEDASA S/A, em Santa Gertrudes.....	169
FotoS 6.11.2-A a -G - linha de produção da indústria CEDASA S/A, em Santa Gertrudes: A = prensa (aos fundos) e secador; B e C = linha de esmaltação, na qual os pisos recebem esmaltes e corantes em moldes; D = forno (a temperatura alcança cerca de 1.120°C); E = detalhe da chaminé do forno; F = pisos pós-forno; G = estoque de	

pisos cerâmicos acabados, para expedição/venda.....	171
Foto 6.11.3-A a -G (geração de resíduos sólidos e efluentes líquidos a partir da linha de esmaltação / passagem de corantes - indústria CEDASA S/A, Santa Gertrudes): A = estoque de matérias-primas utilizadas para a produção de esmaltes (vidrados etc.); B = linha de esmaltação, onde há coleta de resíduos, que seguem por canaletas até tanques de decantação; C = tanques de decantação que recebem resíduos para tratamento físico-químico; D = tratamento físico-químico, com colocação de base (NaOH) e flocculante, ou polímero sintético; E = decantação pós-tratamento; F = coleta e separação do lodo de fundo para secagem, armazenamento, reutilização ou disposição; G = coleta do líquido sobrenadante do tratamento físico-químico (efluente líquido com pH em geral maior que 8) e recirculação.....	172
Foto 6.11.4 – Partícula com chumbo identificado em amostra de lodo de decantação - amostra L-XXX-2.....	177
Foto 6.11.5 – Partícula com chumbo identificado em amostra de lodo de decantação - amostra L-CED-2.....	177
Foto 6.11.6 – Vista de “cacos” – pisos descartados por perdas no processo produtivo das indústrias cerâmicas.....	179

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABAS	Associação Brasileira de Águas Subterrâneas
ABC	Associação Brasileira de Cerâmica
ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária
ABGE	Associação Brasileira de Geologia de Engenharia
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRH	Associação Brasileira de Recursos Hídricos
AC	Área Contaminada
ACTLABS	<i>Activation Laboratories</i> - Canadá
AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
APC	Área Potencialmente Contaminada
ASC	Área Suspeita de Contaminação
ASTM	<i>American Society for Tests and Materials</i>
ATSDR	<i>Agency for Toxic Substances and Disease Registry</i>
CEDASA	CEDASA – Indústria Cerâmica S/A
CEPAS	Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas – IGc - USP
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
DMG	Departamento de Mineralogia e Geotectônica – IGc - USP
DRX	Difratometria de Raios X
EDS	<i>Energy Dispersion System</i>
EAA	Espectrofotometria de Absorção Atômica
EM	Método Eletromagnético Indutivo
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i> - USA
ESALQ	Escola Superior de Agricultura Luiz de Queirós
FI	Córrego da Fazenda Itaqui
GAC	Gerenciamento de Área Contaminada
GPR	<i>Ground Penetrating Radar</i>

GSA	Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental – IGc - USP
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICP/ICP-MS	<i>Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry</i>
IGc	Instituto de Geociências - USP
IGC	Instituto Geográfico e Cartográfico
I _{geo}	Índice de Geoacumulação
INAA	<i>Instrumental Neutron Activation Analysis</i>
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
JCPDS	<i>Joint Committee on Powder Diffraction Standards</i>
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MOD	Matéria Orgânica Dissolvida
PL	Pluviômetro
PM	Poço de Monitoramento
PRAD	Plano de Recuperação de Áreas Degradadas
PRODESP	Companhia de Processamento de Dados do Estado de São Paulo
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SB	Soma de Bases
SEV	Sondagem Elétrica Vertical
SG	Santa Gertrudes
SMA	Secretaria do Meio Ambiente – Estado de São Paulo
SRHSO	Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras
TAC	Termo de Ajustamento de Conduta
TFSA	Terra Fina Seca ao Ar
UGRHI	Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UNESP	Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
UNICAMP	Universidade de Campinas
USP	Universidade de São Paulo
XRF	<i>X-Ray Fluorecence Spectroscopy</i>

RESUMO

Na composição de fritas, esmaltes e corantes, empregados na indústria cerâmica, são utilizadas quantidades expressivas de chumbo, zinco, boro e outros elementos potencialmente tóxicos ao meio ambiente.

O pólo cerâmico de Santa Gertrudes, SP, onde se situa a área de estudos, é o maior do gênero do país e responsável por mais da metade da produção nacional de pisos e revestimentos cerâmicos esmaltados.

A área, conhecida como “região dos lagos de Santa Gertrudes”, situa-se na bacia hidrográfica do córrego da Fazenda Itaqui e nela foram dispostos de forma inadequada resíduos das linhas de esmaltação das indústrias cerâmicas, gerando contaminação ou poluição ambiental. Com o avanço de aterros por parte das indústrias, a paisagem tem sofrido intensas modificações. Somam-se, ainda, processos da dinâmica superficial, como erosão, transporte e deposição de sedimentos, assoreamento etc., que devido à inexistência de práticas conservacionistas, têm amplificado a degradação da área.

A partir dessa realidade, foram efetuadas investigações em solos, sedimentos, águas subterrâneas e superficiais, visando a caracterização ambiental da área e o estudo do comportamento do chumbo, zinco e boro, elementos tipicamente associados aos resíduos industriais nela descartados.

Os lagos, antigas cavas de extração de argila, atualmente abandonados ou utilizados para lazer ou pesca, apresentam elevadas concentrações de chumbo, zinco e boro nos sedimentos de fundo, bastante acima daqueles tomados como referência.

Nas águas superficiais, não há concentrações elevadas desses elementos, exceto no caso do boro, principalmente em épocas de chuvas intensas.

Em terrenos recentes, formados por aluviões e áreas aterradas com contribuição de resíduos industriais, as concentrações de chumbo, zinco e boro no solo chegam também a ser muitas vezes maiores que as do solo tomado por referência. Nestes locais, foram gerados aquíferos livres, em cujas águas subterrâneas foram detectadas concentrações elevadas de chumbo e boro, acima dos padrões de potabilidade.

Verificou-se que o comportamento (retenção e mobilidade) dos três elementos encontra-se intimamente ligado ao pH, à presença de matéria-orgânica, partículas

coloidais, óxidos/hidróxidos e carbonatos. A mobilidade ocorre em sua forma de íons simples; de ácidos pouco dissociados, como o ácido bórico; por fenômenos de sorção ligados a materiais particulados em suspensão aquosa etc. A fixação, por outro lado, dá-se pelos fenômenos de precipitação, sorção etc.

A conformação topográfica, os processos da dinâmica superficial e a natureza argilosa de seus solos e sedimentos, somados às conclusões aqui observadas, indicam que a área de estudos é confinada, com solos e sedimentos dos lagos como depositários dos principais contaminantes ou poluentes.

O boro, devido a sua acentuada solubilidade, pode encontrar-se disponível e, eventualmente, migrar para locais a jusante da área de estudos.

A área tem sofrido intensa degradação ambiental, no entanto, tem havido conscientização da população local e mudança de mentalidade por parte dos industriais (a exemplo da indústria cerâmica CEDASA), que sob monitoramento da CETESB, tem iniciado a implementação de medidas que visam recuperá-la.

ABSTRACT

In the composition of glazes and colourings, employed in the ceramics industry, a great quantity of lead, zinc, boron and other elements which are potentially toxic to the environment are used.

The ceramics industrial complex of Santa Gertrudes, state of São Paulo, on which the studies are based is the biggest of its kind in Brazil and it is responsible for more than half of the national production of glazed ceramics covering.

The area, known as "Region of the lakes of Santa Gertrudes" is located at the hydrographical drainage basin of Fazenda de Itaquí stream in which industrial wastes from the plants were inadequately disposed, generating environmental contamination or pollution. With the increase of landfill areas caused by the industries, the landscape has suffered intense modifications.

In addition, exogenous processes, such as erosion, transport and deposition of sediments, sanding up etc. have amplified the degradation of the area due to the lack of conservationist practices.

Based on this reality, some investigations were carried out on soils, sediments, surface and groundwater, aiming at the environmental characterisation of the area, as well as the study of the behaviour of lead, zinc and boron, elements which are typically associated with industrial ceramics wastes.

The lakes, old clay mining caves presently abandoned or used for fishing or leisure show high concentrations of lead, zinc and boron in the bottom sediments, very much higher than those taken as references.

In surface water, there is minimal concentration of these elements except in the case of boron, mainly in intense rainy seasons.

In recent lands, formed by alluvial and landfill areas with contributions from industrial wastes, the concentrations of lead, zinc and boron in the soil gets to be much more than those in the soils taken as references. In these lands, unconfined local aquifers were generated, and their groundwater has elevated concentration of lead and boron, higher than the potable standards.

It was verified that the behaviour (retention and mobility) of the three elements find themselves intimately linked to pH, the presence of organic matter, colloid particles, oxides/hydroxydes and carbonates. The mobility occurs as simple ions, as weak acids like boric acid, though the phenomenon of sorption linked to particle material in aqueous suspension etc. The fixation, on the other hand, is caused by precipitation, sorption etc.

The topographic conformation, the exogenous processes and the naturally clayed granulation of soils and sediments, summer up the conclusion herein observed, indicate that the area studied is confined, with bottom sediments of the lakes as depots of the principal contaminants or pollutants.

The boron, due to its accentuated solubility, could be available and eventually migrate downstream of the studied area.

Although the Region of the lakes of Santa Gertrudes has suffered intense environmental degradation, there has been an awareness in the local population and a mentality change on the part of the industries (an example is that of the ceramics industry CEDASA Ltd.), that under the monitoring of CETESB (Environmental Agency of the state of São Paulo), has started out recovery measures.

1. INTRODUÇÃO

À preservação do meio ambiente, acham-se diretamente envolvidos estudos sobre águas subterrâneas e superficiais, solos e sedimentos, diagnóstico, caracterização, mitigação, remediação e gerenciamento de áreas contaminadas ou potencialmente contaminadas por resíduos produzidos pelo homem. Assim, a contaminação ou poluição ambiental, dada a gravidade de suas conseqüências, tem sido uma das grandes preocupações do meio científico e tecnológico na atualidade.

Associados à contaminação ambiental, ocorrem quase sempre os termos elemento(s)-traço e/ou metal(is) pesado(s) que, em suas várias formas iônicas ou moleculares, podem representar o papel de poluentes ou contaminantes dos solos, águas, alimentos etc.

No estudo dos problemas de contaminação, diversas abordagens têm sido efetuadas. KABATA-PENDIAS & PENDIAS (1984), ADRIANO (1986), BRADY (1989), McBRIDE (1989, 1994), TAN (1993) e ALLOWAY (1995), por exemplo, descrevem com grande propriedade os processos e mecanismos geoquímicos e biogeoquímicos associados principalmente a solos.

BEAR (1972), CUSTÓDIO & LLAMAS (1973, 1996), MOORE & RAMAMOORTHY (1984), MOORE (1989), DOMENICO & SCHWARZ (1990), ANDERSON & WOESSNER (1992), FEITOSA & MANOEL FILHO (1997), FETTER (1993, 1994), APPELO & POSTMA (1993), BEAR *et al.* (1993), RIGHETTO (1998) e outros, descrevem processos hidrológicos, hidrogeológicos e hidrogeoquímicos.

FORNASARI FILHO *et al.* (1992) e ABGE (1992, 1998) descrevem processos do meio físico ou da dinâmica superficial, como erosão, transporte e deposição de sedimentos, assoreamento, movimentação de massa, inundação etc.

Todas estas abordagens são importantes em pesquisas ambientais envolvendo intervenções antrópicas. No caso de estudos em áreas com disposição ou lançamento de resíduos industriais, também se faz necessário conhecer os principais processos, matérias-primas e produtos das indústrias envolvidas, bem como seu histórico de atividades.

Investigações ambientais indicam que metais pesados ou elementos-traço, como por exemplo o chumbo, não são essenciais ou benéficos aos organismos vivos, nem mesmo nos níveis considerados extremamente baixos de concentração. Outros, embora não tipicamente tóxicas, podem assim tornar-se quando em concentrações elevadas. Outro agravante está no fato que essas espécies químicas podem ser acumulativas a organismos vivos.

Quando, por alguma ação do homem, seus teores excedem os padrões ou limites máximos permissíveis (potabilidade, qualidade, intervenção etc.), o estudo de seu comportamento hidroggeoquímico reveste-se de extrema importância.

Historicamente, os primeiros estudos no Brasil com metais pesados no solo estavam mais associados a fins agronômicos (macro e micronutrientes), a exemplo de CATANI & KÜPPER (1946), CATANI & GALO (1951), VALADARES (1975), VALADARES & CATANI (1975), BATAGLIA *et al.* (1976), entre outros.

No âmbito da geoquímica ou da hidroggeoquímica, diversos estudos abordaram o comportamento de elementos-traço e/ou de metais pesados na zona não saturada em solos de clima tropical, podendo-se citar: SZIKSZAY *et al.* (1986, 1990, 1992a, 1992b,

e 1992c), TOLEDO *et al.* (1995), ALEXANDRE *et al.* (1995), ALEXANDRE (1995, 1996), ASSUNÇÃO (1996), AMARANTE (1997), SÍGOLO (1998) etc.

Outros estudos têm contemplado o comportamento de elementos-traço associados a uma fonte específica de contaminação e/ou à zona saturada, como ALMODOVAR (1995, 2000), REBOUÇAS (1996), SHINZATO & HYPOLITO (1997), SHINZATO (1997, 1999), SHINZATO *et al.* (1997), SURITA *et al.* (1997), ANJOS (1998) e SURITA (1999).

Assim, embora os estudos de contaminação do solo e águas por algumas espécies químicas já datem de algumas décadas, nem todos eles têm levado em consideração uma óptica integrada, em nível de detalhe, desde a disposição ou lançamento do contaminante, até sua dinâmica nos ciclos hidrológico e geoquímico.

O estudo do comportamento hidrogeoquímico de determinadas espécies químicas associadas às transformações resultantes da disposição de resíduos industriais em solos de clima tropical, observando as interações água – rocha / solo / sedimento, implica em importante contribuição ao entendimento das conseqüências ambientais da ação antrópica.

O pólo cerâmico de Santa Gertrudes, SP, onde se situa a área de estudos, é o maior do gênero no país, sendo responsável por mais da metade da produção nacional de pisos e revestimentos cerâmicos esmaltados (PIVA *et al.*, 1997; MASSON, 1998; CHRISTOFOLETTI, 1999).

Muitos elementos potencialmente tóxicos (Pb, Zn, Cr, Ni, Cu etc.) são utilizados pela indústria cerâmica, notadamente na elaboração de fritas, esmaltes, pigmentos e corantes (SOUZA, 1973; VLACK, 1973; ITC & AICE, 1992; FAGUNDES, 1997). Além disso, também são utilizadas grandes quantidades de boro, sendo que mais da metade

da produção deste elemento destina-se à indústria de cerâmica e esmaltes cerâmicos (MOORE, 1989). A liberação de grandes quantidades destes elementos potencialmente tóxicos no meio natural, quer pela disposição de resíduos sólidos, quer pelo lançamento de efluentes líquidos ou gasosos, constitui-se em significativa fonte de contaminação ou poluição ambiental.

A área de estudos, denominada "região dos lagos de Santa Gertrudes" pela existência de grande quantidade de lagos, situa-se na bacia hidrográfica do córrego da Fazenda Itaqui, subafluente do rio Corumbataí, em uma das regiões mais degradadas ambientalmente no Estado de São Paulo (BARTH, 1987; SALATI, 1997). Nela, foram lançados efluentes líquidos e dispostos resíduos industriais das linhas de esmaltação, com teores consideráveis de Pb, Zn e B e, em menor quantidade, de outros elementos (Cr, Ni, Ba, Zr etc.), utilizados nos processos da indústria cerâmica.

Os lagos não são naturais, mas resultantes da inundação de antigas cavas de extração de argila da Formação Corumbataí, aflorante na região e utilizada como matéria-prima nas indústrias cerâmicas.

Este trabalho efetuou investigações de campo (estudos geológico-estruturais, hidrogeológicos, geoquímicos, geofísicos e dos processos da dinâmica superficial), análises diversas (química, mineralógica, granulométrica etc.) e experimentos em laboratório, sendo analisados solos, sedimentos, águas (subterrâneas, superficiais e de chuva) e materiais industriais. Nestas investigações, foram determinados os principais poluentes ou contaminantes provenientes das atividades das indústrias cerâmicas e estudado o comportamento do chumbo, zinco e boro, selecionados devido a suas elevadas concentrações encontradas no meio ambiente local e a sua estreita associação com os materiais e resíduos das indústrias cerâmicas.

Além disso, aproveitou-se a ocasião dos trabalhos de campo para colaborar com atividades de educação ambiental à população local, e de orientação técnica a algumas das indústrias cerâmicas da região, principalmente em relação à geração, disposição e lançamento de resíduos industriais e suas conseqüências ambientais. Espera-se, assim, ter auxiliado na minimização dos problemas ambientais, na administração de conflitos e efetivado a interação entre universidade e comunidade. Registra-se aí a grande colaboração da indústria cerâmica CEDASA, de Santa Gertrudes.

A região dos lagos de Santa Gertrudes é piloto na execução de estudos de gerenciamento e gestão ambiental de microbacias envolvendo a CETESB e o Sindicato das Indústrias da Construção, Mobiliário e de Cerâmica de Santa Gertrudes, em cooperação técnica com o governo do Canadá. Há inclusive um Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) entre a CETESB e o Sindicato das Indústrias, que contempla o compromisso das indústrias de recuperar a área.

Este trabalho, envolvendo a Universidade e demais agentes sociais, vem de encontro à óptica interdisciplinar, inerente e tão necessária aos estudos ambientais. As conclusões deste trabalho deverão auxiliar na tomada de decisões e na efetuação de medidas mitigadoras dos impactos pretéritos e atuais das indústrias à bacia do córrego da Fazenda Itaqui, além de contribuir para o equacionamento e prevenção de problemas futuros.

Para reforçar todos estes compromissos e interações, foi criado, em 21 de fevereiro de 2001, o Grupo Técnico de Trabalho do "Projeto Corumbataí Cerâmicas" (DIÁRIO OFICIAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2001), cuja função principal é acompanhar os trabalhos de recuperação da bacia hidrográfica do córrego da Fazenda Itaqui.

2. OBJETIVOS

Caracterizar a área de estudos do ponto de vista ambiental, tendo em vista a contaminação ou degradação associada às atividades das indústrias cerâmicas.

Estudar o comportamento do chumbo, zinco e boro em solos, sedimentos, águas subterrâneas e superficiais.

Utilizar os resultados e conclusões obtidas para investigações de maior detalhe (mecanismos de mobilidade, fixação e transporte de íons contaminantes; caracterização tecnológica de resíduos industriais das linhas de esmaltação) e em sua recuperação ambiental.

3. LOCAL DE ESTUDOS

A área de estudos situa-se no município de Santa Gertrudes, região de Rio Claro, SP (Figura 3.1.1), cujo acesso, a partir da cidade de São Paulo, faz-se pelas rodovias Anhanguera (SP-330) e Washington Luís (SP-310).

FIGURA 3.1.1 - Localização da área de estudos, em Santa Gertrudes, SP.

Trata-se de um vale cujos corpos d'água - córrego da Fazenda Itaqui, pequenos cursos d'água afluentes e conjunto de lagos associados - são alimentados por nascentes localizadas em seus entornos, nas proximidades das indústrias cerâmicas (Figura 3.1.2, Foto 3.1.1). Devido à presença dos lagos, é informalmente denominado de "região dos lagos de Santa Gertrudes".

Em termos de levantamentos plani-altimétricos, situa-se na folha São Carlos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (escala 1:50.000, de 1981), e nas folhas Santa Gertrudes II (número 066/090) e Bairro Assistência (número 066/091) do Instituto Geográfico e Cartográfico - IGC (escala 1:10.000, de 1979).

Como não havia levantamentos confiáveis, para a elaboração de mapas em escala de detalhe contendo os locais de investigação e pontos de amostragem, foram considerados aqueles utilizados nos estudos efetuados pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB (CETESB, 1997a, 1997b, 1997c, 1998c), além de observações e levantamentos de campo.

FIGURA 3.1.2 - Vista geral da área de estudos - "região dos lagos de Santa Gertrudes" - com córrego da Fazenda Itaqui, lagos e indústrias cerâmicas.

Quanto ao uso e ocupação atual, foram constatadas as seguintes atividades: oito indústrias cerâmicas em operação; uma indústria de “fritas” desativada (a antiga indústria Poliglass – Foto 3.1.2); um empreendimento pesqueiro (lagos de “pesque e pague” – Foto 3.1.3); diversas áreas aterradas; cavas de mineração de argila desativadas; uma indústria de isopores; pequenos sítios; áreas com cultivo de cana-de-açúcar e de mata ciliar.

FOTO 3.1.1 – Vista geral da área de estudos – “região dos lagos de Santa Gertrudes” (cedida pela CETESB – escritório de Piracicaba).

FOTO 3.1.2 - Vista da antiga indústria Poliglass, atualmente desativada. Notar resíduos industriais esbranquiçados dispostos diretamente sobre o solo.

FOTO 3.1.3 - Vista da entrada do pesqueiro (“pesque e pague”), situado porção central da área de estudos. Notar a indústria Poliglass, a montante.

As indústrias cerâmicas e a antiga Poliglass perfazem cerca de 0,22km², que corresponde a aproximadamente 15% da área de estudos. Atualmente, ao menos duas delas estão sofrendo expansão de área construída e, segundo CARTAZ CERÂMICO (2001), outras cinco indústrias em breve estarão sendo inauguradas, uma delas situada no local de estudos.

Nos sítios, há pequenas áreas de cultivo (banana, hortaliças etc.) e criação de animais (gado bovino, suíno etc.), localizadas sob influência direta das indústrias ou em áreas nas quais foram dispostos resíduos industriais. Nesta condição também está o pesqueiro, localizado no centro da área de estudos, amplamente freqüentado pela população de Santa Gertrudes e região para fins de pesca e lazer.

As áreas de mineração abandonadas deram lugar aos lagos e, ao que consta nos relatos da CETESB, não apresentam Plano de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD, estando muitas delas assoreadas ou preenchidas parcial ou totalmente por aterros clandestinos. Associadas a esses locais, encontram-se áreas com disposição de rejeito e/ou estéril de argila extraída das minerações, em alguns casos misturados com resíduos industriais (Fotos 3.1.3 e 3.1.4).

As fotos aéreas das Figuras 3.1.4 e 3.1.5, respectivamente de 1972 e 1995, evidenciam a modificação da paisagem. Nota-se que, inicialmente, havia predomínio de atividade mineraria, com extração de argila e geração de cavas que deram lugar a lagos artificiais, à medida que vinham sendo abandonadas. Paralelamente, houve grande expansão das indústrias cerâmicas. Outro aspecto relevante nestas fotos foi o avanço da área urbana de Santa Gertrudes em sentido à rodovia Washington Luís.

FOTO 3.1.4 - Locais para "descanso" de argila (1); antiga cava de mineração aterrada (2); lago gerado de antiga cava (3); e curso do córrego da Fazenda Itaqui (4).

FOTO 3.1.5 - Local com disposição de rejeito e/ou estéril de mineração de argila, com ausência de medidas de prevenção a processos erosivos.

FIGURAS 3.1.3 e 3.1.4 - Fotos aéreas, respectivamente de 1972 e 1995, que demonstram a modificação da paisagem, primeiramente pela atividade de mineração e, em seguida, pela expansão das indústrias cerâmicas e da área urbana de Santa Gertrudes (Fotos Aéreas originais de BASE, 2000). Obs.: IC = indústria cerâmica atualmente em operação.

4. SÍNTESE BIBLIOGRÁFICA

4.1. Definições gerais e legislação vigente

Uma síntese com as principais definições, leis, normas e padrões para os temas de interesse a esta pesquisa é apresentada a seguir.

Processos do meio físico e da dinâmica superficial

Considerando a indissociabilidade entre componentes naturais e ações humanas, o **meio físico** pode ser conceituado como o meio definido pelas interações de componentes predominantemente abióticos, quais sejam, materiais terrestres (solos, rocha, água, ar) e tipos naturais de energia (gravitacional, solar, energia interna da Terra e outras), incluindo suas modificações decorrentes da ação biológica e humana (FORNASARI FILHO *et al.*, 1992).

Este termo também está presente na Resolução CONAMA 1/1986, que distingue três meios para abordagem de estudos de impactos ao meio ambiente: meio físico, meio biológico e meio socioeconômico (SENADO FEDERAL, 2000).

O caráter atual e dinâmico dessas interações leva ao conceito de **processos do meio físico**, entendidos como uma sucessão de fenômenos que ocorrem, num determinado tempo e espaço, no próprio meio físico, e cujas alterações impostas pelo homem podem gerar impactos e afetar a qualidade ambiental (ABGE, 1992).

São exemplos de processos do meio físico: erosão, assoreamento, movimentos de massa, inundação, subsidências e colapsos, oscilações da superfície potenciométrica etc. (ABGE, *op. cit.*). Escoamento superficial, eutrofização, abrasão, entre outros, citados em FETTER (1994), PORTO (1998), RIGHETTO (1998) e ABGE (1998), também podem ser considerados processos do meio físico.

Esses conceitos são utilizados, basicamente, em estudos de áreas impactadas ou degradadas, na interação entre duas escolas: a geologia de engenharia (ABGE, 1992, 1998; FORNASARI FILHO *et al.*, 1992) e a geomorfologia (BLOOM, 1988; COOKE & DOOMKAMP, 1990; GUERRA & CUNHA, 1994, 1996).

ABGE (1998), a partir da realidade brasileira, associa todos esses processos à **dinâmica superficial** da Terra, e lista os principais agentes ou veículos (águas, ventos

etc.) e forças (gravidade, marés, radiação solar, calor interno da Terra) desencadeadores.

Erosão é o processo de desagregação e remoção de partículas do solo ou de fragmentos e partículas de rochas, pela ação combinada da gravidade com a água, vento, gelo e/ou organismos (plantas e animais). Pode ser natural ou geológica, que se desenvolve em condições de equilíbrio com a formação do solo, e acelerada ou antrópica, cuja intensidade é superior à da formação do solo, não permitindo a sua recuperação natural (ABGE, 1992).

A erosão acelerada pode ser de dois tipos: erosão laminar, ou em lençol, quando causada por escoamento difuso das águas das chuvas, resultando na remoção progressiva dos horizontes superficiais do solo; e erosão linear, quando causada por concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial, resultando incisões na superfície do terreno na forma de sulcos, ravinas e boçorocas e solapamento de margens de canal (ABGE, 1998).

Das feições lineares, os **sulcos** são pouco profundos (inferiores a 50cm) e podem ser mais facilmente corrigidos através de manejo do solo. As **ravinas** são feições de maior porte (superior a 50cm), profundidade variável, de forma alongada e não atingem o nível d'água subterrânea.

As **boçorocas** (do tupi guarani *yby*, terra e *sorok*, rasgar ou romper) em geral têm dimensões superiores às ravinas, normalmente são ramificadas e atingem o nível d'água. Ocorrem principalmente em cabeceiras de drenagens, onde há uma convergência e concentração natural dos fluxos superficiais e subterrâneos de água, favorecendo sua formação e avanço. No desenvolvimento desta feição, atuam tanto a ação da água de escoamento superficial quanto dos fluxos d'água subsuperficiais, através do fenômeno de *piping*, uma erosão interna, que provoca o carreamento de partículas do interior do solo, formando "tubos" vazios, que geram colapsos e escorregamentos laterais do terreno, alargando a boçoroca.

O **assoreamento** é um processo do meio físico, resultado direto de feições erosivas decorrentes da alteração do equilíbrio da paisagem, principalmente pela ação antrópica. Consiste na acumulação de partículas sólidas (sedimentos) em meio aquoso ou aéreo, ocorrendo quando a força do agente transportador natural (curso d'água, vento) é sobrepujada pela força da gravidade ou quando a supersaturação das águas ou ar permite a deposição de partículas sólidas (ABGE, 1992, 1998).

Contaminação, poluição, degradação e impacto ambiental

Segundo BRANCO (1991) e CUNHA (2000), a palavra **poluir** deriva do latim *polluere*, que significa sujar, manchar, corromper; **contaminar** também tem origem latina, *contaminare*, significando contagiar, infectar, misturar, sujar, infectar.

BRANCO (1965) *apud* BRANCO (*op. cit.*), enfocando ambientes aquáticos, considera o termo **contaminação** como “a transmissão, pela água, de elementos, compostos ou microorganismos que possam prejudicar a saúde do homem ou de animais que a bebem. Assim, a água desempenha o papel de veículo do agente contaminante e não de ambiente ecológico alterado”. **Poluição**, segundo este autor, “caracteriza-se muito mais por seus efeitos ecológicos, que produzem transformações do meio ambiente, de forma a se tornar impróprio ao desenvolvimento normal das populações aquáticas”.

ABNT (1993) define **poluição ambiental** como “degradação da qualidade ambiental, resultante de atividades que direta ou indiretamente: prejudiquem a saúde, segurança e o bem-estar das populações; criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; afetem desfavoravelmente a biota; afetem as condições sanitárias do meio ambiente; lancem matérias ou energias em desacordo com os padrões de qualidade ambiental estabelecidos”. Segundo esta referência, **contaminação** é “a introdução no meio ambiente (água, solo ou ar) ou em alimentos de organismos patogênicos, de substâncias tóxicas ou radioativas em concentrações nocivas à saúde, ou de elementos que possam afetar a saúde do homem. É um caso particular de poluição”.

EPA (1994, 1996) definem **contaminante** como “qualquer coisa encontrada na água (incluindo microorganismos, minerais, produtos químicos, radionuclídeos etc.) que possa ser nociva ou prejudicial à saúde humana”.

GLOEDEN (1999) define **poluição** como “qualquer alteração ou transformação das características do meio, de forma a afetar a saúde, segurança e bem estar do homem e a vida da fauna e flora”. Considera, ainda, **contaminação** como “um caso particular de poluição, associado a afetar a saúde pública”.

CETESB (1999) adota uma visão pragmática e considera os termos **poluição** e **contaminação** como sinônimos, por serem amplamente utilizados na literatura especializada e legislação ambiental.

ATSDR (2000) define **contaminação** como "qualquer substância ou material que é inserido a um sistema (meio ambiente, corpo humano, comida etc.) onde normalmente não é encontrado". Define também **contaminação ambiental** como "a presença de substâncias perigosas no meio ambiente e, sob o ponto de vista da saúde pública, é associada à afetação da saúde ou qualidade de vida dos seres humanos vivendo ou trabalhando próximos à contaminação".

Como se nota, há predominância de duas vertentes na literatura: uma delas, majoritária, que considera contaminação como um caso particular de poluição (este, um termo mais amplo) e com conotação de risco à saúde humana ou pública; outra, que os considera como sinônimos.

Outro termo normalmente encontrado na literatura especializada é **degradação**. Segundo SÁNCHEZ (1998), é o mais amplo, inclusive englobando o termo poluição: "significa a ocorrência de alterações negativas das suas propriedades físicas (alterações na estrutura ou grau de compactidade, erosão, assoreamento etc.) e/ou a alteração de características químicas (processos como a salinização, lixiviação, deposição ácida, introdução de poluentes etc.)".

A Figura 4.1.1 representa a amplitude relativa entre esses conceitos.

Na Legislação Ambiental Federal do Brasil e do Estado de São Paulo, o termo mais aplicado e claramente definido é **poluição**, enquanto o emprego do termo **contaminação** é limitado a algumas citações (GLOEDEN, 1999).

FIGURA 4.1.1 – Amplitude relativa entre os conceitos de contaminação, poluição e degradação, a partir das definições de ABNT (1993), SÁNCHEZ (1998) e GLOEDEN (1999).

Em São Paulo, a Lei Estadual 997/1976, que é regulamentada pelo Decreto Estadual 8468/1976, define poluição do meio ambiente como “a presença, o lançamento ou a liberação, nas águas, no ar ou no solo, de toda e qualquer forma de matéria ou energia, com intensidade, em quantidade, de concentração ou com características em desacordo com as que forem estabelecidas em decorrência desta Lei, ou que tornem ou possam tornar as águas, o ar ou solo: impróprios, nocivos ou ofensivos à saúde; inconvenientes ao bem-estar público; danosos aos materiais, à fauna e à flora; e prejudiciais à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade” (CETESB, 2001).

Esta definição favorece assumir os dois termos como sinônimos, pois nela está incluído o conceito de risco e/ou danos à saúde das pessoas e a outros bens a proteger (GLOEDEN, 1999). Por outro lado, como lembra este autor, poder considerar uma área contaminada como um tipo particular de área degradada, tal qual definido por SÁNCHEZ (1998), propicia a utilização da Legislação Federal* existente nos casos de adoção de medidas de remediação de áreas contaminadas.

Há, ainda, o termo **impacto ambiental** cujo conceito, segundo ABGE (1992, 1998), “está associado à idéia de alteração ou efeito ambiental considerado significativo ou importante por meio de uma avaliação especificamente dirigida ao empreendimento investigado, podendo ser negativo ou positivo”.

Pela definição de ABNT (1993), **impactos ambientais** são “alterações que os ecossistemas podem sofrer, principalmente por ação antrópica, sendo algumas de caráter irreversível”. Considera ainda que **degradação da qualidade ambiental** é “uma alteração adversa das características do meio ambiente e, por conseguinte, a ação humana pode vir a: desencadear ou amplificar determinados processos naturais, que causem degradação; induzir ou causar diminuição da qualidade e interferir na quantidade de recursos hídricos disponíveis em uma determinada bacia hidrográfica e/ou hidrogeológica”.

* a Política Nacional do Meio Ambiente, criada pela Lei Federal 6938/1981, introduz instrumentos de planejamento ambiental, determina a responsabilização e penalidades para casos de poluição. Tem por objetivo “a recuperação de áreas degradadas” e “ao poluidor cabe a obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados”. Segundo esta lei, “são considerados bens a proteger: a saúde e o bem estar da população; a fauna e a flora; a qualidade do solo, das águas e do ar; os interesses de proteção à natureza/paisagem; a ordenação territorial e planejamento regional e urbano; a segurança e ordem pública” (GLOEDEN, 1999; MMA, 2000; SENADO FEDERAL, 2000).

Áreas contaminadas e termos correlatos

GLOEDEN (1999), revisando as definições de áreas contaminadas (ACs) em outros países, sugere que os seguintes fatores devem ser considerados para o Brasil e, especificamente, para o Estado de São Paulo:

- a presença de poluentes ou contaminantes na área;
- fontes de contaminação, contaminantes ou bens a proteger que possam ser atingidos;
- realçar que os contaminantes podem se concentrar ou serem transportados nos vários compartimentos do meio ambiente;
- introduzir a noção do termo via de transportes de contaminantes, não considerada nas definições estrangeiras apresentadas;
- considerar a ocorrência de danos ou riscos aos bens a proteger, conforme tendência adotada por vários países.

A partir destas premissas, GLOEDEN (*op. cit.*) e CETESB (1999) definem **área contaminada** como “área, local ou terreno onde há comprovadamente poluição ou contaminação, causada pela introdução de quaisquer substâncias ou resíduos que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural”.

Segundo esta definição, em áreas contaminadas, os poluentes ou contaminantes podem concentrar-se em subsuperfície nos diferentes compartimentos do ambiente, por exemplo, solo, rochas, materiais utilizados para aterrar os terrenos, nas águas subterrâneas, ou de forma geral, nas zonas não saturada e saturada. Também podem concentrar-se nas paredes, nos pisos e nas estruturas de construções. Podem ser transportados a partir desses meios, propagando-se por diferentes vias (ar, águas subterrâneas e superficiais, o próprio solo), alterando suas características naturais ou qualidades e determinados impactos negativos e/ou riscos sobre os bens a proteger, localizados na própria área ou em seus arredores.

Outros termos são encontrados na literatura: áreas potencialmente contaminadas e áreas suspeitas de contaminação, sítio (*site*) contaminado, terrenos ou solos contaminados e solo poluído (SÁNCHEZ, 1998).

Segundo CETESB (1999), **áreas potencialmente contaminadas** (APCs) são “aquelas onde estão sendo ou foram desenvolvidas atividades potencialmente contaminadoras, isto é, onde ocorre ou ocorreu o manejo de substâncias cujas características físico-químicas, biológicas e toxicológicas podem causar danos ou riscos aos bens a proteger”.

Segundo a mesma referência, **áreas suspeitas de contaminação** (ASCs) são “aquelas nas quais, durante a realização da etapa de avaliação preliminar, foram observadas falhas no projeto, problemas na forma de construção, manutenção ou operação do empreendimento, indícios ou constatação de vazamentos e outros. Essas constatações induzem a suspeitar da presença de contaminação no solo e nas águas subterrâneas e/ou em outros compartimentos do meio ambiente”.

Uma síntese das legislações federal e do Estado de São Paulo sobre áreas contaminadas é apresentada na Figura 4.1.2, segundo CETESB (*op. cit.*).

Recuperação, remediação e avaliação de risco ambiental

No Brasil, diferentes termos são utilizados para descrever os processos pelos quais uma área contaminada recebe intervenções, visando a contenção, isolamento, remoção ou redução das concentrações dos contaminantes. Na literatura, são utilizados os termos recuperação, remediação e restauração de áreas contaminadas (CUNHA, 1998; SÁNCHEZ, 1998; GLOEDEN, 1999; CETESB, *op. cit.*).

Deve-se entender por **recuperação** de uma área contaminada “o processo de aplicação de medidas corretivas necessárias para isolar, conter, minimizar ou eliminar a contaminação, visando a utilização dessa área para um determinado uso”. Esta definição considera que o princípio da aptidão para um determinado uso é mais viável técnica e economicamente que o princípio da multifuncionalidade (restaurar as condições naturais, viabilizando todos os tipos de uso de uma área), principalmente em países onde os recursos são mais escassos (GLOEDEN, *op. cit.*).

Já as medidas de **remediação** podem ser divididas, basicamente, em dois tipos: medidas de contenção ou isolamento da contaminação, e medidas para o tratamento dos meios contaminados, visando eliminação ou redução da contaminação a níveis aceitáveis ou previamente definidos. Deve-se considerar, que medidas de contenção e tratamento podem ser adotadas conjuntamente. Pode-se, desta forma, considerar que

o termo **recuperação** engloba **remediação** (contenção e tratamento) e **compatibilização** ao uso atual ou futuro da área (GLOEDEN, 1999).

FIGURA 4.1.2 – Síntese da legislação brasileira e do Estado de São Paulo, sobre áreas contaminadas (CETESB, 1999).

Quando não há normas ou padrões de referência para avaliação da contaminação de um local por determinado(s) composto(s), uma abordagem possível é a **avaliação de risco ambiental** (EPA, 1989; BURMASTER & LEHR, 1991). Ela é utilizada pela agência ambiental americana (*United States Environmental Protection Agency* - EPA) desde 1983 e, no Brasil, tem recebido crescente atenção (BERNARDES JÚNIOR, 1995; CUNHA, 1998; entre outros). Estas avaliações levam em conta, basicamente, a saúde humana e as condições de exposição específicas para o local investigado.

Gerenciamento de áreas contaminadas

O gerenciamento de áreas contaminadas (GACs) visa minimizar os riscos a que estão sujeitos a população e o meio ambiente, por meio de um conjunto de medidas que assegurem o conhecimento das características dessas áreas e dos impactos por elas causados, proporcionando os instrumentos necessários à tomada de decisão quanto às formas de intervenção mais adequadas (CETESB, 1999).

São considerados dois processos como base para o GACs: **identificação e recuperação**. Durante a execução destas etapas, em função do nível de informação referente a cada uma das áreas de estudo, estas podem ser classificadas em **áreas potencialmente contaminadas (APCs)**, **áreas suspeitas de contaminação (ASCs)** e **áreas contaminadas (ACs)**.

Dentre os instrumentos de GACs, recentemente, CETESB (1998b), DIAS *et al.* (1998) e CASARINI (em preparação) propuseram a adoção de valores de referência de qualidade e intervenção. Assim, como adequação de metodologias internacionais para as condições do Estado de São Paulo, sugerem a formalização de um sistema baseado nos seguintes valores orientadores:

Valor de referência de qualidade (R), que indica o nível de qualidade para um solo considerado limpo* ou a qualidade natural das águas subterrâneas.

Valor de intervenção (I), que indica o nível de contaminação acima do qual, existe risco à saúde pública. Assim, uma área será considerada contaminada (AC) se as concentrações de elementos ou substâncias de interesse ambiental estiverem acima do valor de intervenção (I), ou seja, que induzam um risco de efeito deletério sobre a saúde pública, requerendo alguma forma de intervenção.

* Um solo pode ser considerado "limpo" quando a concentração de um elemento ou substância de interesse ambiental é menor ou igual ao valor de ocorrência natural (CASARINI, em preparação).

Valor de alerta (A)*, indica a alteração das propriedades funcionais e, quando excedido, requer investigações detalhadas e monitoramento. Uma área suspeita de contaminação (ASC) é aquela em que as concentrações de determinados elementos ou substâncias, após uma avaliação preliminar, indicam alteração da qualidade em relação ao valor de referência (R). Estas concentrações anômalas denominam-se valor de alerta (A).

Grau de contaminação e I_{geo} (Índice de geoacumulação)

Para avaliar, de forma expedita, o grau de contaminação do solo e sedimentos, pode-se utilizar índices que relacionam a concentração de um constituinte de ocorrência natural e sua concentração após a impactação. Geralmente as variabilidades dos parâmetros de interesse são obtidas após a normalização dos dados, permitindo obter medidas de referência adimensionais, conhecidas como fator enriquecimento (E) (MIDDLETON & GRANT, 1990 *apud* COVELLI & FONTOLAM, 1997; BELKIN & SPARCK, 1993; GONÇALVES, 1997; SURITA, 1999).

Outra forma para avaliar o grau de contaminação é através do Índice de Geoacumulação (I_{geo}) (MÜLLER, 1969 *apud* COVELLI & FONTOLLAM, *op. cit.*; SURITA, *op. cit.*):

$$I_{geo} = \ln (C_n / 1,5 B_n) \quad (1)$$

C_n = concentração do elemento n após a impactação;

B_n = concentração do elemento de ocorrência natural.

O valor numérico 1,5 é um fator para correção de possíveis diferenças nos valores iniciais devido a variações litológicas.

O grau de contaminação pode ser estabelecido de acordo com o aumento dos valores das classes do I_{geo} , de 1 a 6, obtidas pela relação C_n / B_n : classe 1 ($I_{geo} = 1,5 - 3,0$), classe 2 ($3,0 - 6,0$), classe 3 ($6,0 - 12,0$), classe 4 ($12,0 - 24,0$), classe 5 ($24,0 - 48,0$) e classe 6 ($48,0 - 96,0$). I_{geo} classe zero ($C_n / B_n < 1,5$) indica acúmulo mínimo ou ausência de contaminação e grau 6, grau máximo. Pode-se ter evidência de contaminação quando $C_n/B_n > 1,5$.

FOSTNER *et al.* (1993) estabeleceram as seguintes classes de contaminação a partir do I_{geo} : muito forte (I_{geo} maior ou igual a 5), forte a muito forte (4 – 5), forte (3 – 4), moderada a forte (2 – 3), moderada (1 – 2), ausente a moderada (0 – 1) e praticamente ausente (menor ou igual a 0).

* O valor I é adotado como a média aritmética entre o valor de referência de qualidade (R) e o valor de intervenção (I) (CASARINI, em preparação).

Legislação, normas e padrões sobre qualidade das águas

À luz das influências antrópicas, a qualidade das águas não se relaciona necessariamente à sua pureza, mas sim ao seu uso. Assim, ela pode ser considerada boa ou ruim para um determinado uso, lembrando que, dentro de uma visão integrada, solos, águas superficiais e subterrâneas são indissociáveis.

O gerenciamento da qualidade das águas exige formas de acompanhamento da alteração de suas variáveis indicadoras. Este acompanhamento deve, na medida do possível, ser explicitado em números, através de **critérios** (estabelecidos de forma científica, associando concentrações ou níveis a efeitos no meio ambiente) e **padrões** (valores-limites estabelecidos por lei para serem atendidos no manancial destinado a um determinado uso), constantes em normas, padrões e legislações (PORTO, 1998).

A partir da literatura disponível, nota-se que a maioria das **normas técnicas** (ABNT, 1987a, 1987b, 1987c, 1987d, 1989, 1990, 1992, 1993, 1995, 1996a, 1996b), não obstante sua importância, têm caráter voluntário, não sendo, portanto, obrigatórias e de cunho legal. Já os **padrões**, em sua maioria, são utilizados como instrumentos legais (SILVA, 1975; MUNN, 1979; FEEMA, 1990; LAROUSSE, 1999; SÁNCHEZ, 2001).

Nas ciências ambientais, são de uso corrente os padrões de qualidade ambiental e dos componentes do meio ambiente, bem como os padrões de lançamento de poluentes. Esses padrões são como limites quantitativos e qualitativos oficiais, regularmente estabelecidos (FEEMA, *op. cit.*).

Segundo MUNN (1979), **padrões de qualidade ambiental** são “condições limitantes da qualidade ambiental, muitas vezes expressas em termos numéricos, usualmente estabelecidos por lei e sob jurisdição específica, para a proteção da saúde e do bem-estar dos homens”. ABNT (1993) define-os como “o conjunto de parâmetros e respectivos limites, que definem a qualidade exigida para o meio ambiente”.

ABNT (*op. cit.*) define **padrões de qualidade das águas** como o “conjunto de parâmetros e respectivos limites, como por exemplo, concentrações de poluentes, em relação aos quais os resultados dos exames de uma amostra de água são comparados aquilatando-se a qualidade da água, para um determinado fim”. Também define **padrões de potabilidade** como “o conjunto de parâmetros e respectivos limites, como,

por exemplo, temperatura, concentração de determinadas substâncias e índices de coliformes, que devem ser atendidos pela água destinada ao abastecimento público”.

Os **padrões de lançamento de efluentes líquidos**, definidos por FEEMA (1990) como “padrões a serem obedecidos pelos lançamentos diretos e indiretos de efluentes líquidos, provenientes de atividades poluidoras, em águas interiores ou costeiras, superficiais ou subterrâneas...”.

Quanto à **legislação**, POMPEU (1977) *in* POMPEU (1999) cita a expressão Direito da Águas: “conjunto de princípios e normas jurídicas que disciplinam o domínio, uso, aproveitamento e preservação das águas, assim como a defesa contra suas danosas consequências”.

A **legislação federal** pode ser encontrada em SALVADOR (1989), ABRH (1991, 2000), POMPEU (1999), GEOCITIES (2000), MMA (2000), SENADO FEDERAL (2000), VARGAS HAGER (2000) e CETESB (2001). Alguns dos principais marcos e instrumentos legais estão relacionados no Quadro 4.1.1, destacando-se, quanto à qualidade das águas, a Resolução CONAMA 20/1986 (“padrões de qualidade”) e a Portaria 36/1990, do Ministério da Saúde (“padrões de potabilidade”).

Embora haja grande quantidade de leis ou instrumentos legais federais, em geral são mais aplicados às águas superficiais, havendo carência ou inexistência em relação a águas subterrâneas. Na verdade, ainda não há legislação federal específica e atualizada sobre a proteção da qualidade das águas subterrâneas, havendo apenas o Projeto de Lei 7127, de 1986. Discussões têm sido efetuadas no sentido de se reverter esta situação (ABAS, 1997, 1998, 1999).

Como lembra REBOUÇAS (1999), “muito embora se fale de gestão integrada a partir da Lei das Águas, de 1997, esta coloca em destaque as águas superficiais, sem considerar a indissociabilidade com as águas subterrâneas no ciclo hidrológico”.

QUADRO 4.1.1 – Relação de marcos e instrumentos legais federais do Brasil relacionados à qualidade das águas.

Lei ou instrumen- to legal federal	Discriminação e principais pontos de interesse
Decreto Federal 24643, de 1934	“Código de Águas”. É o marco inicial da legislação de controle da qualidade das águas no Brasil, estabelecendo o conceito de “águas públicas de uso comum”. Regulamentou o aproveitamento dos recursos hídricos e estabeleceu como proprietário o abastecimento público, reforçando a necessidade de manter-se sua qualidade.

(continua)

(continuação)

Lei ou instrumento legal federal	Discriminação e principais pontos de interesse
Decreto Federal 50877, de 1961	Dispôs sobre o lançamento de resíduos tóxicos ou oleosos nas águas interiores, constituindo a primeira legislação federal específica sobre poluição das águas. Estabeleceu a exigência de tratamento dos resíduos líquidos, sólidos ou gasosos, domiciliares ou industriais, antes do seu lançamento às águas interiores ou litorâneas. Previu também a classificação das águas, de acordo com seus usos preponderantes. Pela primeira vez foi definido em lei federal o termo poluição, aplicado às águas: "qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas das águas que possa implicar prejuízo à saúde, à segurança e ao bem-estar das populações e, ainda, comprometer sua utilização para fins agrícolas, industriais, comerciais, recreativos e, principalmente a existência normal da fauna aquática".
Decreto-lei Federal 303, de 1967	Criou o Conselho Nacional de Controle da Poluição Ambiental, estendendo o conceito de poluição aos ambientes aéreo e terrestre e introduzindo a expressão "meio ambiente".
Decreto-lei Federal 1413, de 1975	Dispôs sobre o controle da poluição do meio ambiente provocado por atividades industriais.
Decreto Federal 76389, de 1975	Sobre as medidas de prevenção e controle da poluição industrial.
Lei Federal 6225, de 1975	Discriminação, pelo Ministério da Agricultura, de regiões para execução obrigatória de planos de proteção ao solo e combate à erosão.
Decreto Federal 76470, de 1975	Criou o Programa de Conservação dos Solos.
Lei Federal 6766, de 1979	Sobre o parcelamento do solo urbano.
Lei Federal 6803, de 1980	Diretrizes básicas para o zoneamento industrial. Entre outros dispositivos, a lei previu o licenciamento para implantação, operação e ampliação de estabelecimentos industriais naquelas áreas, sendo de competência dos órgãos estaduais de proteção ao meio ambiente.
Lei Federal 6938, de 1981	Definiu a Política Nacional do Meio Ambiente e criou o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente).
Resolução CONAMA 1, de 1986	Definições, responsabilidades, critérios básicos e diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental (AIA).
Resolução CONAMA 20, de 1986	Alterou os critérios de classificação dos corpos d'água da União, estabelecidos anteriormente pela Portaria 013/1976, do Ministério do Interior. Acrescentou diversos parâmetros e alterou padrões relativos a vários componentes, tornando-os mais restritivos. Propôs o enquadramento dos corpos d'água federais, com o estabelecimento do nível de qualidade (classe) a ser alcançado e/ou mantido em um segmento de corpo d'água ao longo do tempo. Estabeleceu que a classificação dos corpos d'água federais deve ser efetuada com base nos usos preponderantes, através de nove classes de qualidade, sendo cinco delas para águas doces.
Resolução CONAMA 20, de 1986 (continuação)	Essas classes consideram a classificação das águas quanto à salinidade: águas doces (≤ 500 ppm), salobras (entre 500 e 3000ppm) e salinas (≥ 3000 ppm).

(continua)

(continuação)

Lei ou instrumento legal federal	Discriminação e principais pontos de interesse
Constituição do Brasil, de 05.10.1988, em seus Artigos 20 a 24, 26, 30, 43, 49, 68, 200 e 231, sobre Recursos Hídricos	Foi um dos grandes marcos na questão hídrica brasileira, por tornar os recursos hídricos de domínio público, e por tratar de "recursos hídricos" e não de "águas". Estabeleceu, em seu Art. 23, a competência supletiva dos Estados e municípios para "proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer das suas formas", e, no Art. 24, a competência dos Estados para "legislar corretamente sobre (...) conservação da natureza, defesa do solo e recursos naturais, proteção do meio ambiente e controle da poluição".
Portaria 36, Ministério da Saúde, de 1990	Padrões de potabilidade, em vigor a partir de 1992.
Lei 9433, de 1997	"Lei das Águas". Definiu a organização administrativa que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos.
Lei 9605, de 1998	"Lei de Crimes Ambientais". Anistia temporária a esta lei, através da Medida Provisória 1710, de 07.08.1998.
Projeto de Lei 7127, de 1986	Dispõe sobre águas subterrâneas, define critérios de outorgas de direitos de seu uso e outras providências. Sua alteração ou promulgação está indefinida.

Fontes: SALVADOR (1989), ABRH (1991, 2000), POMPEU (1999), GEOCITIES (2000), MMA (2000), SENADO FEDERAL (2000), VARGAS HAGER (2000).

No Estado de São Paulo, os recursos hídricos são geridos pela Secretaria Estadual de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras (SRHSO) na questão quantitativa e pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SMA) na questão qualitativa (VARGAS HAGER, 2000). Dentro da estrutura da SMA, a CETESB é a agência ambiental do Estado, encarregada da realização de ações de controle, licenciamento, fiscalização e monitoramento das atividades potencialmente poluidoras (SMA, 1997, 1998).

A legislação do Estado de São Paulo pode ser encontrada em ABRH (1991, 2000), POMPEU (1999), GEOCITIES (2000), LEGISLATIVO ESTADUAL DE SÃO PAULO (2000), VARGAS HAGER (2000) e CETESB (2001). Alguns dos principais marcos e instrumentos legais estão relacionados no Quadro 4.1.2.

Quanto às águas superficiais, destaca-se o Decreto 8468/1976 ("padrões de qualidade das águas e de lançamento de efluentes").

Quanto às águas subterrâneas, o Decreto Estadual 32955/1991, regulamentou a Lei Estadual 6134/1988, e segundo seu Art. 14, "nenhuma atividade desenvolvida poderá poluir, de forma intencional ou não, as águas subterrâneas".

Segundo o Art. 15, "todos os projetos de implantação de empreendimentos de alto risco ambiental (...) e quaisquer outras fontes de grande impacto ambiental ou de

periculosidade e risco para as águas subterrâneas deverão conter uma detalhada caracterização da hidrogeologia e vulnerabilidade de aquíferos, assim como medidas de proteção a serem adotadas".

Sobre a disposição de resíduos, o Art. 16 estabelece que "os resíduos sólidos, líquidos ou gasosos provenientes de quaisquer atividades, somente poderão ser transportados ou lançados se não poluírem águas subterrâneas".

Sobre a potabilidade das águas, o Art. 18 dita que "as águas subterrâneas destinadas a consumo humano deverão atender aos padrões de potabilidade fixados na legislação sanitária".

QUADRO 4.1.2 – Relação de marcos e instrumentos legais do Estado de São Paulo relacionados à qualidade das águas.

Lei ou instrumento legal Estadual	Discriminação e principais pontos de interesse
Lei Est. 997, de 1976	Sobre o Controle da Poluição do Meio Ambiente.
Decreto Estadual 8468, de 1976	Regulamenta a Lei Estadual 997/1976. Foi alterado pelos decretos estaduais 11720, 12045, 15425, 12266, 17299, 18386, 22032, 23128, 27399 e 28313. É considerado um dos principais instrumentos legais, enquadrando as águas interiores em quatro classes (Art. 18): - Classe 1: destinadas ao abastecimento doméstico, sem tratamento prévio ou com simples desinfecção; - Classe 2: destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional, à irrigação de hortaliças ou plantas frutíferas e à recreação de contato primário (natação, esqui-aquático e mergulho); - Classe 3: destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional, à preservação de peixes em geral e de outros elementos da fauna e da flora e à dessedentação de animais; - Classe 4: destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento avançado, ou à navegação, à harmonia paisagística, ao abastecimento industrial, à irrigação e a usos menos exigentes. Neste decreto, também são definidos padrões de lançamento de efluentes líquidos em corpos d'água estadual (Art. 18) e em sistemas de esgotos providos de tratamento (Art.19-A).
Decreto Estadual 10755, de 1977	Enquadramento dos corpos d'água receptores do Decreto 8468/1976. Foi alterado pelo Decreto 24839/1986.
Decreto Estadual 24932, de 1986	Instituiu o Sistema Estadual do Meio Ambiente e criou a Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SMA).
Lei Estadual 6134, de 1988	Sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo. É considerada uma das únicas legislações brasileiras específicas sobre a preservação da qualidade das águas subterrâneas.

(continua)

(continuação)

Lei ou instrumento legal Estadual	Discriminação e principais pontos de interesse
Constituição Estadual, de 1989	Seção II - dos Recursos Hídricos.
Lei Estadual 7663, de 1991	Sobre a Política Estadual e Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
Decreto Estadual 32955, de 1991	Regulamentou a Lei 6134/1988, sobre águas subterrâneas.
Lei Est. 8275, de 1993	Criou a Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras.
Decreto Estadual 36787, de 1993	Ajustou o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH) e o Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos (CORHI), criados pelo Decreto 27576/1987, às disposições da lei 7663/1991.
Lei Est. 8275, de 1993	Criou a Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras.
Decreto Estadual 36787, de 1993	Ajustou o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH) e o Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos (CORHI), criados pelo Decreto 27576/1987, às disposições da lei 7663/1991.
Decreto Estadual 37300, de 1993	Regulamenta o Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO), criado pela Lei 7663/1991.
Decreto Estadual 41258, de 1996.	Outorga e Fiscalização.
Portaria e Decreto 717, de 1996	Do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), sobre outorga de uso da água.
Decreto Estadual 41679, de 1997	Composição e funcionamento do Conselho Estadual de Saneamento (CONESAN).
Lei Estadual 9866, de 1997	Sobre diretrizes e normas para a proteção e recuperação das bacias hidrográficas dos mananciais de interesse regional do Estado.

Fontes: ABRH (1991, 2000), POMPEU (1999), GEOCITIES (2000), LEGISLATIVO ESTADUAL DE SÃO PAULO (2000), VARGAS HAGER (2000), CETESB (2001).

4.2. Aspectos geoquímicos de interesse

Elementos-traço e metais pesados

Embora haja grande quantidade de definições e denominações (elementos-traço, metais-traço, metais pesados, micronutrientes, microelementos, elementos menores, inorgânicos-traço), há consenso dentro das Ciências da Terra de que são considerados **elementos-traço** aqueles cuja concentração é inferior a 0,1% (1000ppm) nos materiais naturais. Para ciências bioquímicas ou biomédicas, são aqueles cujo teor nas plantas e tecidos animais é inferior a 0,01% (ADRIANO, 1986).

Este autor define elementos-traço como "aqueles de ocorrência em sistemas naturais ou perturbados e que, quando presentes em concentrações suficientes, são tóxicos para os seres vivos". São: As, Ag, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, F, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Ti, Tl, V e Zn. Fe e Al não entram em sua classificação, por serem considerados elementos maiores.

Investigações ambientais indicam que alguns dos elementos-traço, como Ag, Be, Cd, Pb e Hg, em suas várias formas iônicas ou moleculares, não são **essenciais** ou **benéficos** aos organismos vivos, nem mesmo nos níveis considerados extremamente baixos de concentração. Outros, entretanto, como Cu, Mn, Ni e Zn, podem apresentar propriedades **micronutrientes** aos organismos vivos dentro de certos limites, os quais ultrapassados, passam a exibir toxidez (SCHWARZ, 1978; ADRIANO, *op. cit.*).

MCBRIDE (1994) alerta para os elementos que representam potencial risco para a saúde pública, elegendo os **metais prioritários**: As, Be, Sb, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Se, Ag, Tl e Zn. Embora alguns destes elementos não sejam metais, do ponto de vista de classificação química, são de importância aos estudos ambientais pela possibilidade de toxicidade.

O termo **metal pesado** também apresenta grande quantidade de definições na literatura. Segundo PHILLIPS (1981) *apud* ALLOWAY (1995), metal pesado é um termo aplicado a um grande grupo de elementos-traço, importantes tanto industrial quanto biologicamente e, embora uma definição não completamente satisfatória do ponto de vista químico, é mais amplamente usada para os elementos com densidade maior que 6 g/cm³. Para ADRIANO (1986), são elementos com densidade maior que 5g/cm³.

BARCELÓ & POSCHENRIEDER (1992) e PUNZ & SIEGHARDT (1993) *apud* MALAVOLTA (1994) definem metal pesado como o conjunto heterogêneo de

elementos com densidade maior que 5g.cm^{-3} , ou que possui número atômico maior que 20. A expressão engloba metais, semimetais e ametais como o selênio (Se). Segundo MALAVOLTA (1994), imprópria ou não, a expressão metal pesado parece ter sido a mais usada para designar metais classificados como poluentes do ar, água, solo, alimentos e forragens, como Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, Co, Ni, V, Al, Ag, Cd, Cr, Hg e Pb.

Para HILLERT (1997), a denominação metal pesado tem sido utilizada entre os formuladores de políticas públicas para se referir a alguns metais com alto potencial toxicológico, cujas concentrações têm aumentado significativamente nos solos das zonas urbanas e agrícolas, por causa de atividades antrópicas.

Segundo KABATA-PENDIAS & PENDIAS (1984) e McBRIDE (1994), outros termos, alguns deles pouco apropriados, têm sido utilizados na literatura na denominação comum de metais pesados: elementos tóxicos, metais tóxicos, contaminante, poluente etc.

Segundo HYPOLITO (1998), podem ser considerados metais pesados os elementos químicos metálicos com densidades superiores a 5g.cm^{-3} . Segundo este autor, alguns elementos comumente citados na literatura como metais pesados não se enquadram em tal definição: Se, Be, Al, Ba, As etc. As justificativas são: o selênio, embora carcinogênico, é um ametal e com densidade de $4,79\text{g.cm}^{-3}$. Berílio, alumínio e bário, embora metais tóxicos em certas concentrações, apresentam baixas densidades ($1,86$, $2,71$ e $3,59\text{g.cm}^{-3}$, respectivamente); no caso do Al, além da densidade, trata-se de um elemento maior. O As, embora seja um contaminante conhecido e apresente densidade de $5,73\text{g.cm}^{-3}$, é um semimetal.

HYPOLITO (*op. cit.*) aconselha, assim, a utilizar o termo metal pesado somente para os elementos metálicos com densidades superiores a 5g.cm^{-3} . Para os demais elementos, seriam aplicados termos específicos, como por exemplo "o arsênio é um semimetal tóxico quando...". Desconsiderando-se a questão da densidade (5 ou 6g.cm^{-3}), esta definição de metal pesado parece a mais rigorosa.

Historicamente, os primeiros estudos com elementos-traço ou mesmo metais pesados no solo estavam mais associados a fins agronômicos (macro e micronutrientes). A existência de adjetivos "contaminante", "poluente" e similares é mais recente, sendo mais intensamente utilizados a partir da década de 1970, com a detecção de concentrações anômalas, principalmente em centros urbanos e industriais (ALLOWAY, 1995).

A ATSDR (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry*) e a EPA (*Environmental Protection Agency*), agências norte-americanas, apresentam "listas de prioridade de substâncias perigosas". Segundo o *ranking* de 1997, que inclui mais de 200 substâncias inorgânicas e orgânicas, o As ocupa a primeira posição, seguido do Pb. Outros elementos ocupam posições prioritárias ou intermediárias: Ni (49^a), Zn (65^a), Cu (136^a), Se (142^a) etc. Boro não aparece nesta lista (ATSDR, 1999a).

Mobilidade e fixação no solo

Solo é um componente-chave de ecossistemas terrestres, sujeito a variações de curto-prazo em suas propriedades. É resultante da atuação interativa de diversos fatores: rocha-fonte, clima, topografia, atividade biológica, tempo e atividade humana. É um sistema dinâmico, heterogêneo e complexo, que apresenta fases sólida (orgânica e/ou mineral), líquida e gasosa. Suas propriedades são resultantes de equilíbrios físicos e químicos entre estas três fases, dentro das dinâmicas interna e externa da Terra (JENNY, 1941; VIEIRA, 1985 *apud* GALETI, 1989; ALLOWAY, 1995).

Os minerais presentes no solo são, usualmente, resultantes da decomposição química de fragmentos de rocha ou minerais secundários, incluindo argilominerais, óxidos e hidróxidos de Fe, Al, Mn etc. e alguns carbonatos. A matéria orgânica inclui organismos vivos (mesofauna e microorganismos), restos de vegetais e animais mortos e húmus. Os materiais sólidos arranjam-se espacialmente em agregados, cujos espaços vazios são preenchidos por gases ou líquidos (ALLOWAY, *op. cit.*).

Em regiões com intemperismo químico atuante, tais quais as de clima tropical e subtropical, processos físico-químicos de alteração supérgena atuantes nas rochas pré-existentes (ígneas, metamórficas ou sedimentares) serão decisivos na definição no conteúdo de metais pesados e outros elementos-traço no solo.

Inicialmente, o teor tende a ser semelhante ao da rocha de origem, que por sua vez é consequência do conteúdo presente nos minerais que constituem a rocha original. Com o passar do tempo, no entanto, a quantidade destes elementos irá mudar, devido à influência de reações e mecanismos como sorção (sorção e dessorção), co-precipitação, complexação orgânica, seletividade de agentes adsorventes, dissolução, hidratação, desidratação, oxidação, redução, carbonatação etc. (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1984).

Esses diferentes mecanismos e reações são controladores da mobilidade e fixação de íons no solo. Além disso, há um conjunto de propriedades-chave que interferem no comportamento dos constituintes do solo: presença, tipo e quantidade de matéria orgânica, argilominerais, óxidos e hidróxidos de Fe, Mn e Al; pH do solo; capacidade de troca iônica (catiônica e aniônica); reações de óxido-redução; superfície específica; textura; temperatura; densidade aparente etc. (ALLOWAY, 1995; ARTEAGA, 1996).

Geoquimicamente, um elemento introduzido no solo pode terminar em uma ou mais das seguintes formas: dissolvido em solução do solo; preso a sítios de troca em constituintes sólidos orgânicos ou inorgânicos; incorporado ou fixado a minerais; precipitado com outros componentes; ou incorporado a materiais biológicos. As duas primeiras formas são denominadas móveis ou biodisponíveis; as demais, são relativamente imóveis, embora às vezes possam se tornar mais móveis e biodisponíveis com o tempo (ADRIANO, 1986).

Os mais importantes mecanismos que afetam o comportamento e a biodisponibilidade de metais nos solos são aqueles relacionados à adsorção de metais da solução sobre as partículas sólidas do solo (ALLOWAY, *op. cit.*). Além disso, sua quantidade no solo, bem como os processos geoquímicos nele atuantes, poderá sofrer mudanças significativas quando da presença de atividades humanas (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, *op. cit.*).

pH do solo

O conceito de pH está relacionado à concentração de íons H^+ da solução presente nos poros, estando em equilíbrio com as cargas de superfície das partículas do solo. É uma propriedade do solo afetada por suas heterogeneidades naturais, pela adsorção de H^+ na superfície das partículas, por mudanças no potencial redox, por mecanismos do solo que tamponam o pH (incluindo íons hidróxi-aluminosos, carbonatos, reações de troca iônica etc.), entre outros (ALLOWAY, *op. cit.*).

Os valores mais usuais de pH do solo são entre 4 e 8,5, com extremos entre 2 e 10,5, sendo que a maior parte dos metais pesados é menos móvel sob condições alcalinas (FULLER, 1977 *apud* ADRIANO, *op. cit.*).

Segundo TAN (1993), uma maneira relativamente simples de se verificar se as cargas de superfície das partículas do solo são positivas, negativas ou nulas, é a verificação do Δ pH, obtido por:

$$\Delta \text{ pH} = \text{pH} (\text{H}_2\text{O}) - \text{pH} (\text{H}_2\text{O} + \text{KCl}) \quad (2) \quad \text{onde:}$$

$\text{pH} (\text{H}_2\text{O})$ = leitura do pH pela extração de solução do solo apenas com água destilada;

$\text{pH} (\text{H}_2\text{O} + \text{KCl})$ = leitura do pH pela extração de solução do solo com solução de KCl.

Neste caso, se o $\Delta \text{pH} < 0$, as cargas de superfície são predominantemente positivas e vice-versa. Quando $\Delta \text{pH} = 0$, tem-se o ponto de carga zero.

Capacidade de troca catiônica - CTC

A troca iônica é um mecanismo reversível pelo qual íons retidos na superfície de uma fase sólida são substituídos por quantidade equivalente de outros íons, quer estes estejam em solução numa fase líquida, quer estejam ligados a outra fase sólida. Essas trocas ocorrem sem que haja, necessariamente, sensível alteração ou decomposição da fase sólida (BRADY, 1989).

Quando a troca envolve cátions, recebe a denominação de troca catiônica, e pode ser expressa pela capacidade de troca catiônica – CTC, que é a quantidade de cátions adsorvida de forma reversível (em mols de carga positiva) por unidade em massa de material sólido (McBRIDE, 1994).

Em muitos casos, há certa seletividade ou preferência por determinado cátion por parte do sólido adsorvente, condicionada, dentre outros fatores, pela valência e grau de hidratação dos cátions trocáveis (BRADY, *op. cit.*).

Em geral, a CTC dos solos é muito superior a sua capacidade de troca aniônica, devido à grande quantidade de cargas negativas sobre superfícies de colóides do solo. Essas cargas negativas são de dois tipos: cargas permanentes (devido a substituições isomórficas, sendo independentes do pH) e cargas dependentes do pH (sobre bordas de argilominerais, sobre polímeros húmicos e óxidos/hidróxidos). Os solos minerais apresentam valores de CTC de até 60 cmol.kg^{-1} , e nos solos orgânicos este valor pode exceder 200 cmol.kg^{-1} (ALLOWAY, 1995).

Argilominerais

Definições e características sobre os argilominerais podem ser encontradas em DANA (1969), BAILEY (1980), BRINDLEY & BROWN (1980), CAILLÈRE *et al.* (1982),

BATES & JACKSON (1987), BRADY (1989), McBRIDE (1994), entre outros. São substâncias cristalinas, pertencentes ao grupo dos filossilicatos, sendo silicatos hidratados, essencialmente de Al e, às vezes, de Mg e Fe e quantidades menores de outros elementos (Ca, Na, K, Cr, Mn, Li). Caracterizam-se pela pequena dimensão e pela habilidade em reter quantidades substanciais de água e/ou íons na superfície da partícula. Raramente ocorrem na forma pura nos solos e, em geral, têm colóides húmicos e óxidos/hidróxidos precipitados ligados a eles. Este complexo organo-mineral desempenha papel muito importante no controle das concentrações iônicas no solo.

Os argilominerais do grupo da caulinita (tipo 1:1) são formados pela superposição de uma camada tetraédrica (T) a uma octaédrica (O), originando um folheto que se repete sucessiva e perpendicularmente ao eixo C cristalográfico. Não contêm cátions interplanares e têm espaço interplanar de 7Å. Apresentam superfície específica entre 5 e 40 m².g⁻¹ e CTC entre 3 e 20 cmol.kg⁻¹, sendo valores relativamente pequenos, se comparados a de outros argilominerais. Por serem, em geral, os argilominerais mais freqüentes nos solos de clima tropical, são de grande relevância para o estudo do comportamento de metais. Solos com caulinita, dadas suas características estruturais (pouco ou nenhuma substituição isomórfica) apresentam remoção catiônica acentuada ou pouca sorção, entretanto, a presença de OH⁻ expostos na superfície e em arestas quebradas de partículas caulíníficas torna-a receptora de cátions (WHITE, 1987 *apud* ALLOWAY, 1995; McBRIDE, *op. cit.*; SANT'ANNA, 1994).

Dentre os argilominerais do tipo 2:1, o subgrupo das micas dioctaédricas contém as espécies muscovita, paragonita e illita, e espaçamento interplanar variando entre 9,6 e 10,0 Å. A illita apresenta menor regularidade no empilhamento das camadas que as micas bem cristalizadas e comumente ocorre misturada a outros argilominerais. É um nome geral para materiais sedimentares, presentes em folhelhos argilosos ou taguás, de espaçamento basal de 10 Å. Apresenta superfície específica entre 100 e 200 m².g⁻¹ e CTC entre 10 e 40 cmol.kg⁻¹, ocupando, entre os argilominerais, uma posição intermediária entre caulinitas, com valores mais baixos, e esmectitas e vermiculitas, com valores mais elevados (GOMES, 1989; SOUZA SANTOS, 1989; WHITE, 1987 *apud* ALLOWAY, *op. cit.*; SANT'ANNA, *op. cit.*).

Ainda dentre os argilominerais 2:1, o grupo da esmectita tem como principal subgrupo o da montmorillonita, que inclui as espécies montmorillonita e nontronita,

dioctaédricas e com espaço interplanar variando de 14,5 a 15,5 Å. Os cristais de montmorilonita são de dimensões muito reduzidas (dimensão média 0,15 µm), tem espessura muito mais fina que a da illita e da caulinita e limites muito irregulares. De forma geral, as esmectitas apresentam elevados valores de superfície específica (700 a 800 m².g⁻¹) e de CTC (80 a 120 cmol.kg⁻¹) (GOMES, 1989; WHITE, 1987 *apud* ALLOWAY, 1995; SANT'ANNA, 1994).

Estruturas em camadas interestratificadas são muito comuns na natureza, ou seja, uma dada partícula de um argilomineral pode ser constituída pelo empilhamento de camadas unitárias alternadas, por exemplo de illita e montmorillonita. Os interestratificados representam estados metaestáveis ou de transição que se verificam normalmente na evolução ou transformação (BRINDLEY & BROWN, 1980; GOMES, *op. cit.*; SANT'ANNA, *op. cit.*).

Óxidos de Fe, Al e Mn

Óxidos e hidróxidos de Fe, Al e Mn desempenham importante papel no comportamento de metais no solo. Eles geralmente ocorrem na fração argila, estão usualmente misturados com argilominerais e apresentam, com frequência, estrutura desordenada. Em regiões de clima tropical, podem ser mais abundantes que argilominerais. Nos perfis de solos, precipitam a partir das soluções percolantes, ocorrendo nas seguintes formas: como "capas" ou revestimento em partículas do solo, onde estão com frequência misturados como argilas; preenchendo vazios; ou segundo nódulos concêntricos (ALLOWAY, *op. cit.*).

No caso do ferro, essas precipitações inicialmente formam ferri-hidróxidos gelatinosos (por exemplo, 5 Fe₂O₃. 9 H₂O) e, gradualmente, sofrem desidratação até formas mais estáveis às condições supérgenas, como a goethita. Goethita (α-FeO.OH) e hematita (α-Fe₂O₃) são os óxidos de ferro mais frequentemente encontrados. Limonita (FeO.OH . nH₂O) é um termo de campo usado para se referir a óxidos de ferro hidratados de identificação incerta. Dentre os óxidos de Mn, os mais freqüentes são birnessita, hollandita e litiosforita (ALLOWAY, *op. cit.*; KLEIN & HURLBUT JR., 1993).

Em relação à dinâmica dos metais no solo, óxidos de Fe e Mn co-precipitam e adsorvem cátions presentes nas soluções intersticiais do solo, como os de Co, Cr, Cu, Pb, Mn, Mo, Ni, V e Zn, e ânions, como HPO₄²⁻ e AsO₄³⁻. Há, neste caso, relação direta

com o pH (e Δ pH) do solo. Outros fatores controladores da quantidade desses óxidos no solo são as condições redox e atividades de microorganismos (ALLOWAY, 1995).

No caso do alumínio, o óxido mais freqüente é a gibbsita (α -Al(OH)₃ ou α -AlO.OH), que é um produto de alteração e hidrólise de minerais silicáticos de alumínio, característico de climas quentes tropicais e subtropicais. No meio natural, os hidróxidos de alumínio apresentam-se como partículas muito finas, com dimensões que podem chegar àquelas dos colóides (KLEIN & HURLBUT JR., 1993; TAN, 1993; ALLOWAY, *op. cit.*).

Matéria orgânica

Os constituintes orgânicos dos solos e sedimentos recentes são importantes agentes de intemperismo, bem como da mobilização e fixação de elementos-traço.

A matéria orgânica do solo é freqüentemente dividida, nos estudos, em substâncias não-húmicas e húmicas. As não-húmicas são substâncias bioquímicas como aminoácidos, carboidratos, ácidos orgânicos, lipídios, óleos e graxas, que ainda não foram transformadas a partir da forma com que foram sintetizadas. As húmicas são substâncias amorfas, ácidas, de coloração amarelada, marrom a preta, polieletrólíticas, de peso molecular relativamente elevado e que têm uma grande variedade de grupos funcionais, como carboxila, fenóis, entre outros (CHEN & STEVENSON, *apud* ALLOWAY, *op. cit.*; TAN, *op. cit.*).

A composição típica de húmus é de: 44-53% de C, 3,6-5,4% de H, 1,8-3,6% de N e 40-47% de O. Tradicionalmente, húmus tem sido separado em laboratório em três frações: humina, que é insolúvel em álcalis e ácidos; ácidos húmicos, que são solúveis em álcalis e insolúveis em ácidos; e ácidos fúlvicos, que são solúveis tanto em álcalis, quanto em ácidos. As diferenças entre ácidos húmicos e fúlvicos variam em função do peso molecular, dos conteúdos de C e de O, da acidez e da CTC (FLOAIG *et al.*, 1975, HAYES & SWIFT, 1979, WHITE, 1987 *apud* ALLOWAY, *op. cit.*).

Além de estarem envolvidas nos mecanismos de CTC, as substâncias húmicas também absorvem metais formando quelatos, ou solubilizam-nos através de complexos (ALLOWAY, *op. cit.*).

Nas águas naturais, há uma série de substâncias orgânicas dissolvidas, que compõem a matéria orgânica dissolvida (MOD), sendo seu nível médio nos rios e lagos

de $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$, com cerca de 20% deste representado por substâncias húmicas (THURMAN, 1986).

Extrações seqüenciais seletivas

Como se sabe, os estudos relacionados à contaminação de solos e sedimentos por metais pesados ou elementos-traço têm avançado sensivelmente nos últimos anos. Parece consenso que a determinação pura e simples da concentração total de um determinado elemento, embora seja informação útil em estudos em áreas contaminadas, não propicia informação adicional sobre a mobilidade e fixação de seus íons (modificado de BEVILACQUA, 1996).

A forma segundo a qual um determinado íon ocorre no solo é altamente complexa e depende de grande número de fatores. Por outro lado, os processos de remediação e/ou mitigação só podem ser efetuados e desenvolvidos, conhecendo a natureza das ligações com que esses íons acham-se presos aos constituintes do solo. A natureza dessas ligações, como se verificou, depende das características dos componentes do solo aos quais se acham ligados os íons poluentes.

Ainda o melhor instrumento para se localizar onde ocorrem essas associações são as extrações seqüenciais, que se revestem de grande importância uma vez que permitem que se determine a que fração ou fase os íons metálicos acham-se ligados.

Os métodos analíticos utilizados para avaliar o fracionamento químico de íons metálicos em solos e sedimentos são, de maneira geral, baseados em extrações utilizando reagentes apropriados, podendo-se citar, entre outros: LINDSAY (1979), TESSIER *et al.* (1979), KERSTEN & FÖRSTENER (1986), BECKETT (1989), PULS *et al.* (1992), QUEVAUVILER *et al.* (1993, 1997), AZIKAINEN & NIKOLAIDIS (1994), DAVIDSON *et al.* (1994), MESTER *et al.* (1998), PEREZ-CID *et al.* (1998), QUEVAUVILER (1998a, 1998b), ARIZA *et al.* (2000) e KOT & NAMIESNIK (2000).

4.3. Comportamento do chumbo, zinco e boro

Chumbo

O chumbo é o elemento mais pesado do Grupo IVA, com densidade de $11,35 \text{ g.cm}^{-3}$. Na natureza, os íons de chumbo ocorrem segundo dois estados de oxidação (Pb^{2+} e Pb^{4+}), sendo Pb^{2+} o dominante (ADRIANO, 1986).

O raio iônico do Pb^{2+} é de 124 pm e pode ser substituído, isomorficamente, por K^+ , Mn^{2+} e Ba^{2+} em sítios tetraédricos de silicatos ou por Ca^{2+} em carbonatos e apatitas (MALAVOLTA, 1994; ALLOWAY, 1995). Segundo ADRIANO (*op. cit.*), pode substituir K^+ , Sr^{2+} , Ba^{2+} e mesmo Ca^{2+} e Na^+ , sendo fixado em sítios minerais.

O conteúdo médio de chumbo é de 13 a 16 mg.kg^{-1} na crosta terrestre e de $14,8 \text{ mg.kg}^{-1}$ na crosta continental (KRAUSKOPF, 1967; HEINRICHS *et al.*, 1980 *apud* ALLOWAY, *op. cit.*; MASON & MOORE, 1982).

Em rochas sedimentares, apresenta teores médios de 20-23 ppm em folhelhos e lamitos (siltitos e argilitos), 7-10 ppm em arenitos e 9-71 ppm em calcários e dolomitos (ADRIANO, *op. cit.*; NRIAGU, 1978 *apud* ALLOWAY, 1995).

A concentração natural de chumbo no solo é originária das rochas parentais. Segundo KABATA-PENDIAS & PENDIAS (1984), as concentrações naturais de chumbo em solos superficiais de diversos países variam de 3 a 189 ppm, enquanto a maioria dos valores gira em torno de 10 a 67 ppm e a média é de 32 ppm.

Devido à ação antrópica, muitos solos apresentam-se enriquecidos com chumbo, sendo que dados recentes mostram de nenhum outro elemento de características tóxicas ao meio ambiente tem sofrido maior modificação em seu ciclo biogeoquímico que o chumbo (HUTCHINSON & MEENA, 1987).

Segundo autores citados por SILVA (1995), nos solos agrícolas, o teor varia de 2 a 200 ppm, concentrando-se nas camadas superficiais. Em solos onde há jazidas, foram encontradas concentrações de 3000 a 5000 ppm, com conseqüente toxicidade às plantas e aos animais. De forma geral, os teores comumente encontrados nos solos estão entre 15 e 25 ppm.

Segundo CETESB (1997d), altas concentrações de chumbo, acima de 100 ppm, provavelmente refletem efeitos de poluição, e o valor de 70 ppm tem sido estabelecido como limite superior de concentração para solos naturais.

De modo geral, a concentração diminui à medida que a profundidade do perfil do solo aumenta, sendo seu acúmulo observado nos primeiros centímetros da superfície, principalmente associado à matéria orgânica (BRADY, 1989).

O Pb antropogênico mostra o mesmo tipo de distribuição, embora em alguns casos possa descer a 30-45 cm. Segundo CETESB (1997d), em um solo que recebeu lodo de esgoto durante 6 anos, verificou-se que 90% dos metais estavam nos primeiros 15 cm do solo.

Diversos fatores influenciam na disponibilidade do chumbo no solo: presença, tipo e quantidade de matéria orgânica, argilominerais, óxidos e hidróxidos de Fe, Mn e Al; pH do solo; capacidade de troca catiônica; reações de óxido-redução; superfície específica; textura etc. O pH parece ser o mais importante deles (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1984; ALLOWAY, 1995).

Segundo URE & BERROW (1982) *apud* SÍGOLO (1998), os enriquecimentos de chumbo em ambientes tropicais apresentam sempre forte associação com os óxidos e hidróxidos de ferro dos horizontes lateríticos.

Na atmosfera, o chumbo ocorre devido principalmente à emissão proveniente da queima de gasolina por automotores e em locais próximos de minerações.

Nas águas naturais, sua presença e sua estabilidade acham-se estreitamente relacionadas às condições de pH e Eh o que pode ser constatada através de diagramas $pH = pH(Eh)$, como os apresentados por GARRELS & CHRIST (1964) e BROOKINS (1988), a exemplo da Figura 4.3.1.

Em meio redutor, o chumbo é pouco solúvel e bastante estável na forma de PbS (galena) e de $PbSO_4$ (anglesita). Como $PbCO_3$ (cerussita) ocorre em ambiente oxidante e meio neutro ou alcalino (FETTER, 1993).

Os efeitos do pH na especiação do chumbo podem ser verificados em experimentos efetuados por HAHNE & KROONTJE (1973) *apud* ADRIANO (1986). No sistema $Pb-OH^-$, à medida que o pH aumenta, há passagem, na solução, de Pb^{2+} para $[Pb(OH)]^+$, sendo esta espécie predominante com pH entre 6 e 10. Em meio alcalino, há formação de $Pb(OH)_2$, $[Pb(OH)_3]^-$ e $[Pb(OH)_4]^{2-}$, este predominante em valores elevados de pH (superiores a 11,5).

FIGURA 4.3.1 - Diagrama Eh-pH para o sistema Pb-S-C-O-H (BROOKINS, 1988).

O íon Cl^- , móvel, estável e onipresente em solos naturais, pode ser um agente complexante importante, competindo com complexantes orgânicos. A especiação do sistema Pb-Cl⁻ é função da concentração de Cl⁻, predominando Pb^{2+} em baixas concentrações. À medida que a concentração de Cl⁻ aumenta, são formados $[\text{PbCl}]^+$, PbCl_2 , $[\text{PbCl}_3]^-$ e $[\text{PbCl}_4]^{2-}$ (HAHNE & KROONTJE, 1973 *apud* ADRIANO, 1986).

Em solos não originários de rochas carbonáticas, a solubilidade do Pb pode ser regulada por $\text{Pb}(\text{OH})_2$, $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Pb}_4\text{O}(\text{PO}_4)_2$ ou $\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$, dependendo do pH (SANTILLAN-MEDRANO & JURINAK, 1975 *apud* ADRIANO, *op. cit.*).

Como se verifica, o estudo do comportamento geoquímico do chumbo em solos e sedimentos é extremamente complexo. Por outro lado, em geral, é pouco móvel, como se verifica pelos produtos de solubilidade da Tabela 4.3.1.

TABELA 4.3.1 – Produto de solubilidade de sais de chumbo (BACCAN *et al.*, 1991).

	PbCO_3	PbCl_2	$\text{Pb}(\text{OH})_2$	PbSO_4	PbS
K_s	$1,6 \cdot 10^{-13}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-16}$	$1,9 \cdot 10^{-8}$	$7,0 \cdot 10^{-28}$

Estudos relacionados à especiação do chumbo em águas de rios (Austrália – Yurrah, EUA – Susquehama e Alemanha - Reno) realizados por MC DUFFIE *et al.* (1976), DE GROOT *et al.* (1976) e HART & DAVIES (1981) *apud* MOORE & RAMAMOORTHY (1984), indicaram que ele acha-se associado principalmente a materiais em suspensão (entre 45 e 70% do total).

Segundo MOORE (1989), a quantidade total de chumbo nas águas superficiais é bastante variável, mas tipicamente menor que $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$.

O chumbo tem sido notado em concentrações anômalas em alguns vegetais e sabe-se que alguns tipos de alimentos agem como dispersores deste elemento no homem (MOIR & THORNTON *apud* SÍGOLO, 1998). Além disso, alguns vegetais tendem a acumular chumbo em áreas de solos contaminados e, neste caso, podem acelerar a possibilidade de afetar o ser humano (KHAN, 1980 *apud* SÍGOLO, 1998).

Fontes antropogênicas de chumbo

Historicamente, o chumbo tetraetilico tem sido considerado como a maior fonte antropogênica de Pb no meio ambiente, em função de ter sido colocado como aditivo da gasolina desde a década de 1920 (TAVARES, 1990 *apud* ANJOS, 1998). No Brasil, ocorreu sua substituição parcial pelo álcool na década de 1980.

Segundo ATSDR (1999 b, c), nos Estados Unidos, a fonte de chumbo no ar resultante da queima de gasolina passou de 90% na primeira metade do século 20, para menos de 35% nos últimos anos. Em termos mundiais, atualmente 69,5% da produção de Pb é utilizada para fabricação de baterias, 11,2% em pigmentos, 6,4% em laminados e o restante em outros usos (ligas, material bélico etc.) (WILSON, 1997).

ALLOWAY (1995), CETESB (1997d), TAVARES (1996) *apud* ANJOS (*op. cit.*) e ATSDR (1999 b, c) citam diversas fontes de poluição por chumbo: emissões a partir da moagem e transporte de minerais (PbS , PbO , PbSO_4), da exaustão de automóveis (halogenados como o PbBr_2 , PbBrCl , Pb(OH)Br etc.) e incineradores, da queima de carvão; pigmentos e tintas; agrotóxicos, a exemplo do arsenato de chumbo (PbHAsO_4), utilizado em pomares para o controle de insetos daninhos; pesticidas orgânicos; baterias; material bélico; lodo de esgoto; liberação de chumbo de encanamentos e soldas nas águas a serem consumidas; alimentos cultivados em áreas contaminadas; carne bovina, principalmente fígado; alimentos enlatados; cigarros; tinturas de cabelo; papel de jornal e anúncios coloridos; cosméticos etc.

KABATA-PENDIAS & PENDIAS (1984) *apud* CETESB (1997d) apresenta exemplos de concentrações de chumbo em solos contaminados de diversos países: Alemanha, Estados Unidos, Grã-Bretanha, Grécia, Holanda etc. Em áreas de mineração, foram encontrados teores de 15 a 13000 ppm; em áreas de indústrias de processamento de metais, há concentrações de 72 a 18500 ppm; em jardins urbanos, de 6 a 75240 ppm; em locais de disposição de lodo, de 60 a 425 ppm; em áreas próximas a rodovias e aeroportos, de 114 a 7000 ppm.

Nas indústrias cerâmicas, o chumbo é amplamente empregado como fundente (Quadro 4.3.1), devido a seu baixo ponto de fusão (327,5°C). Também é utilizado como pigmento (FAGUNDES, 1997).

QUADRO 4.3.1 – Principais compostos de chumbo utilizados na indústria cerâmica (FAGUNDES, 1997).

Composto	Fórmula química	Função
Antimoniato de chumbo	PbSb_2O_6	Pigmento
Carbonato básico de chumbo	$2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$	Fundente
Cromato de chumbo	PbCrO_4	Fundente
Óxido de chumbo	PbO	Fundente
Tetraóxido de chumbo	Pb_3O_4	Fundente
Silicato de chumbo	PbSiO_3	Fundente
Bissilicato de chumbo	$\text{PbO} \cdot 2\text{SiO}_2$	Fundente
Sulfeto de chumbo	PbS	Fundente

Efeitos nocivos do chumbo à saúde humana

O homem ingere entre 0,2 e 2 mg de Pb diariamente. No sangue e tecidos moles (por exemplo, fígado e rim), o tempo de retenção é de cerca de um mês. Sua eliminação dá-se através da urina ou por componentes das unhas e do cabelo. A forte ligação entre este metal e a queratina dos cabelos e das unhas permite que se faça uma avaliação da quantidade de metais absorvidos pelo organismo, através do exame denominado mineralograma, efetuado no fio de cabelo. Além disso, o crescimento lento destes tecidos queratinosos permite que um histórico da intoxicação seja traçado (MOORE, 1989; CORONA, 1999).

A maior parte do chumbo é incorporada ao tecido ósseo, devido à semelhança entre as propriedades dos compostos de chumbo e cálcio. Por deslocar o cálcio dos ossos, processos degenerativos como a osteoporose podem ser observados após uma

exposição prolongada. Os sintomas agudos de intoxicação incluem dor abdominal, constipação, diarreia, linha escura na gengiva, fraqueza muscular, anemia, perda do apetite, mielopatia, náusea etc.

De forma geral, os efeitos do chumbo à saúde humana dependem da intensidade e da duração à exposição, sendo que, por razões de ordem neurológica, metabólica e comportamental, as crianças são mais vulneráveis que os adultos. Dentre os efeitos mais comuns, citam-se: decréscimo de quociente de inteligência (QI); efeitos sobre o sistema nervoso, com déficit nas funções cognitivas; diminuição das funções sensoriais motoras, nervosas involuntárias e renais; retardamento do crescimento e problemas na audição em crianças; possibilidade de partos prematuros e do nascimento de bebês com baixo peso etc. (WHO, 1995; ATSDR, 1999 b, c).

Segundo TAVARES (1990) *apud* ANJOS (1998), o chumbo inibe a formação de hemoglobina, provocando um bloqueio metabólico e aumentando as concentrações de PbS no sangue. Os sintomas no sistema nervoso afetado são: ataxia, convulsões e até coma. A exposição a longo prazo pode causar danos renais, efeitos no coração e alteração da pressão arterial.

Estudos efetuados em seres humanos não têm demonstrado com rigor a possibilidade do chumbo vir a causar câncer, entretanto pesquisas expondo roedores a altas doses de do metal levaram ao desenvolvimento de tumores (EPA, 1999a; ATSDR, 1999b).

A intoxicação por chumbo, quando em alto grau, necessita de tratamento rápido e eficiente. Os tratamentos orais consistem na utilização de vitaminas, minerais e aminoácidos sulfurados (CORONA, 1999).

Os limites para o chumbo em água segundo padrões vigentes de qualidade das águas, lançamento de efluentes e potabilidade são apresentados no Quadro 4.3.2.

O Quadro 4.3.3 apresenta valores de referência, alerta e intervenção para chumbo nos solos do Estado de São Paulo (CASARINI, em preparação).

QUADRO 4.3.2 - Parâmetros-limites para o chumbo nos padrões de qualidade das águas (classe 2), lançamento de efluentes e potabilidade (em mg.L⁻¹).

Padrões de qualidade das águas superficiais*		Padrões de lançamento de efluentes		Padrão de potabilidade
Resolução CONAMA 20/1986	Decreto Estadual 8468/1976	Em corpos d'água – Decr. Estadual 8468/1976**	Em sistemas de esgotos com tratamento – Decr. Est. 8468/1976***	Portaria 36/Min. da Saúde, de 19.01.1990
0,03	0,1	0,5	1,5	0,05

Fonte: MMA (2000), CETESB (2001). Obs.: * = classe 2; ** = Art. 18; *** = Art. 19A.

QUADRO 4.3.3 – Valores orientadores de referência, alerta e intervenção de chumbo em solos do Estado de São Paulo (em mg.kg⁻¹).

Valor de referência	Valor de alerta	Valores de intervenção		
		Área agrícola	Área residencial	Área industrial
17	100	200	300	1200

Fonte: CASARINI (em preparação).

Zinco

O zinco é um metal pertencente ao Grupo II B, divalente (Zn²⁺) em todos os compostos, apresenta densidade de 7,133 g.cm⁻³ e ponto de fusão de 419,6°C. É um elemento essencial para seres humanos, animais e vegetais superiores, sendo também considerado micronutriente das plantas (ADRIANO, 1986; MALAVOLTA, 1994; ALLOWAY, 1995).

A maioria das rochas da crosta terrestre contém Zn em concentrações variáveis: 50 - 60 ppm em rochas ígneas básicas; até 130 ppm em ígneas ácidas; 80 ppm em metamórficas (xistos) e certas sedimentares (argilitos); 30-40 ppm em barros loéssicos e argilas glaciais; 20 ppm em calcários e 16 ppm em arenitos (ALLOWAY, *op. cit.*).

O teor de zinco total no solo é muito variável, de traço a 900 ppm, com a média entre 50 e 100 ppm (AUBERT & PINTA, 1977 *apud* SÍGOLO, 1998).

Em análises efetuadas em solos do município de Piracicaba, SP, BRASIL SOBRINHO (1966) encontrou teores entre 10 e 254 ppm. VALADARES & CATANI (1974), também em São Paulo, relacionaram os teores totais com o material de origem: nos solos oriundos de rochas básicas, o teor variou entre 89 e 236 ppm; nos solos hidromórficos, a concentração esteve entre 77 e 97 ppm. Em latossolos vermelho-escuros, e em podzólicos vermelho-amarelos, o teor varia de 26 a 94 ppm. Os teores

mais baixos estão presentes em sedimentos modernos arenosos: 4-14 ppm. Segundo estes estudos, de modo geral, a distribuição do Zn no perfil é relativamente uniforme.

A partição do Zn em várias formas é baseada nos modos pelos quais se comporta diante da extração por diferentes agentes químicos. Seu conteúdo total no solo pode ser dividido nas seguintes formas de ocorrência, de acordo com ADRIANO (1986): (a) íons Zn^{2+} livres, e/ou em complexos orgânicos na solução do solo; (b) Zn adsorvido e trocável na fração coloidal do solo, composta por partículas de argila, compostos húmicos e hidróxidos de Fe e Al; e (c) minerais secundários e complexos insolúveis na fase sólida do solo.

Nas águas naturais, sua presença e sua estabilidade acham-se estreitamente relacionadas às condições de pH e Eh o que pode ser constatada através de diagramas pH = pH (Eh), como os apresentados por GARRELS & CHRIST (1964) e BROOKINS (1988), a exemplo da Figura 4.3.2. No sistema Zn-O-H-S-C, há predomínio de Zn^{2+} em meio oxidante e ácido até levemente alcalino. Com o aumento do pH, encontram-se mais estáveis as espécies ZnCO_3 (smithsonita), ZnO e ZnO_2^{2-} . Em ambiente redutor, predomina ZnS .

FIGURA 4.3.2 - Diagrama Eh-pH para o sistema Zn-S-C-O-H (BROOKINS, 1988).

Os efeitos do pH na especiação do zinco podem ser verificados em experimentos efetuados por HAHNE & KROONTJE (1973) *apud* ADRIANO (1986): Zn^{2+} é a espécie predominante com $pH < 8$. É substituído por $Zn(OH)_2$ com pH entre 8 e 11, e por $[Zn(OH)_3]^-$ e $[Zn(OH)_4]^{2-}$ com $pH > 11$. Assim, Zn^{2+} existe em forma hidratada em soluções ácidas ou neutras, sendo precipitado como $Zn(OH)_2$ quando em soluções alcalinas. Com excesso de bases, o hidróxido pode redissolver-se formando $[Zn(OH)_3]^-$ e $[Zn(OH)_4]^{2-}$.

O zinco forma muitos complexos em solução aquosa, como $[Zn(NH_3)_4]^{2+}$, $[Zn(CN)_4]^{2-}$, dentre outros (SCHAMBERGER, 1977 *apud* ADRIANO, 1986).

MCBRIDE (1994) observa que em solos contaminados por altos valores de Zn, ocorre tendência de precipitação de óxidos, hidróxidos e hidrocarbonetos de Zn, em pH abaixo de 6, estando a solubilidade do Zn limitada a pH maiores.

Fontes antropogênicas de zinco

A maior parte do zinco produzido no mundo é utilizada na indústria de ferro e aço (35%), ligas diversas (30%), em latão e bronze (20%) (MOORE, 1989).

Nas indústrias cerâmicas, o zinco é empregado em pigmentos e materiais vidrados, principalmente como ZnO (FAGUNDES, 1997).

Segundo NRIAGU & PACYNA (1988) *apud* MOORE (1989) a quantidade total de zinco adicionado às águas superficiais por fontes antrópicas é de 77000 a 373000 toneladas/ano.

Efeitos nocivos do zinco à saúde humana

Um homem de 70 kg ingere 10-15 mg de Zn por dia. O zinco é importante em diversas funções enzimáticas: na síntese protéica, de DNA e RNA; no metabolismo de carboidratos; na divisão e crescimento das células etc. Entretanto, a ingestão excessiva produz sintomas tóxicos: febre, diarreia, vômito e irritações gastrointestinais. Segundo MOORE (*op. cit.*) e EPA (1999b), não há estudos indicando carcinogenicidade em animais e seres humanos.

Os limites para o zinco em água segundo padrões vigentes de qualidade das águas, lançamento de efluentes e potabilidade são apresentados no Quadro 4.3.4.

O Quadro 4.3.5 apresenta valores de referência, alerta e intervenção para zinco nos solos do Estado de São Paulo (CASARINI, em preparação).

QUADRO 4.3.4 - Parâmetros-limites para o zinco nos padrões de qualidade das águas (classe 2), lançamento de efluentes e potabilidade (em mg.L^{-1}).

Padrões de qualidade das águas superficiais*		Padrões de lançamento de efluentes		Padrão de potabilidade
Resolução CONAMA 20/1986	Decreto Estadual 8468/1976	Em corpos d'água – Decr. Estadual 8468/1976**	Em sistemas de esgotos com tratamento – Decr. Est. 8468/1976***	Portaria 36/Min. da Saúde, de 19.01.1990
0,18	5,0	5,0	5,0	5,0

Fonte: MMA (2000), CETESB (2001). Obs.: * = classe 2; ** = Art. 18; *** = Art. 19A.

QUADRO 4.3.5 – Valores orientadores de referência, alerta e intervenção de zinco em solos do Estado de São Paulo (em mg.kg^{-1}).

Valor de referência	Valor de alerta	Valores de intervenção		
		Área agrícola	Área residencial	Área industrial
60	300	500	1000	1500

Fonte: CASARINI (em preparação).

Boro

O boro é um não metal pertencente ao Grupo III A, com densidade de $2,34\text{g.cm}^{-3}$. É o único não metal pertencente ao grupo de micronutrientes das plantas, porém não é essencial para animais e o homem (ADRIANO, 1986).

O mineral mais importante de boro é a quernita ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$), sendo a matéria-prima mais importante para a indústria de ácidos bóricos e seus sais. Outros boratos importantes são: colemanita ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$), bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$), borocalcita ($\text{Ca B}_4\text{O}_7 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$), boronatrocalcita ($\text{NaCa B}_5\text{O}_9 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$), boracita ($\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$), ulexita ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) e pandermita ($\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$) ou ($\text{Ca}_5\text{B}_{12}\text{O}_{23} \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$). Também pode estar presente em silicatos, como a turmalina. Pode ocupar a posição de Si^{4+} em sítios tetraédricos de alguns minerais, mas em geral, a dissolução de minerais portadores de B por processos intempéricos é lenta (ADRIANO, *op. cit.*; MERCK, 1990; KLEIN & HURLBUT, 1993).

Sua concentração média na crosta é de 10 ppm, sendo, em geral, as maiores concentrações em rochas sedimentares (KRAUSKOPF, 1967; MASON & MOORE, 1982).

Pela desagregação da rocha-mãe o conteúdo de boro nos solos oscila segundo a origem, entre 1 e 100 ppm. O boro hidrossolúvel, disponível para as plantas, encontra-se nos solos geralmente abaixo de 1 ppm. Consideram-se 25 ppm como valor limite tolerável para o conteúdo total de boro nos solos de cultivo (MERCK, 1990).

Suas propriedades químicas assemelham-se às do silício, apresentando comportamento de semicondutor. Devido a sua grande afinidade com o oxigênio, não se encontra na natureza em estado livre e sim, em estado combinado, em forma de ácido bórico $[B(OH)_3]$, um eletrólito fraco, ou como sais de ácidos bóricos, com fórmula geral $H_{n-2}B_nO_{2n-1}$. Em ambientes naturais, soluções contêm principalmente $B(OH)_3$, $B(OH)_4^-$ e, com concentrações elevadas, ocorrem formas poliméricas como tetraboratos ($B_4O_7^{2-}$) (MERCK, *op. cit.*). De modo geral, a química dos compostos do boro é algo complexa (JOLLY, 1966).

A Figura 4.3.2 apresenta o diagrama Eh-pH do B para o sistema B-O-H, segundo BROOKINS (1988).

FIGURA 4.3.3 - Diagrama Eh-pH para o sistema B-O-H (BROOKING, 1988).

O conteúdo total de B no solo não serve de indicador de fitodisponibilidade, devido à grande insolubilidade do B nativo. Assim, o B extraível (ou disponível) é a forma universalmente aceita para diagnósticos ambientais, sendo que, em geral, menos de 5% do B total é disponível. Já as formas não disponíveis são: adsorvido a partículas do solo; ligado a compostos orgânicos; ou fixado a sítios minerais (BERGER & TROUG, 1980 *apud* ADRIANO, 1986).

Vários mecanismos podem fixar o boro no solo: troca aniônica; precipitação de boratos insolúveis com sesquióxidos; sorção de íons borato e ácido bórico molecular; formação de complexos orgânicos e adsorção a argilominerais. (ADRIANO, *op. cit.*). Diversos trabalhos tratam com propriedade dos mecanismos de mobilidade e fixação de íons de boro no solo, dentre os quais, ELRASHIDI & O'CONNOR (1982) e GOLBERG *et al.* (1993, 2000).

Em análises efetuadas em águas superficiais do Canadá, ex-URSS, Reino Unido e Suécia, foram encontradas concentrações de boro tipicamente inferiores a $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$, sendo que valores $<0,05 \text{ mg/L}$ são os mais freqüentes (MOORE, 1989). Não foram encontrados dados referentes a rios e lagos de clima tropical.

Fontes antropogênicas de boro

Segundo MOORE (*op. cit.*), mais de 50% da produção de boro destina-se à indústria de cerâmica e esmaltes cerâmicos, seguido da indústria de sabões e detergentes (8-40%) e produtos agrícolas.

O aumento do aproveitamento industrial dos compostos de boro, especialmente o emprego de perborato sódico na produção de detergentes modernos, faz com que aumente a quantidade de boro introduzida nos cursos de d'água, já que os boratos passam através das instalações usuais de tratamento de águas residuais sem que modifique a concentração. O conteúdo de boro nas águas naturais é (MERCK, 1990):

- águas naturais superficiais não influídas: $0,01 - 0,05 \text{ mg/L}$;
- águas naturais residuais carregadas: $0,10 - 0,40 \text{ mg/L}$.

Efeitos nocivos do boro à saúde humana

O homem ingere cerca de 1,3 a 4,5 mg de boro por dia, sendo 75% eliminado através da urina (MOORE, *op. cit.*).

Segundo EPA (1999), não há dados disponíveis sobre a carcinogenicidade do boro em seres humanos. Em animais, estudos efetuados em cães e ratos levaram a valores de dose letal de 29 e 58 mg.kg⁻¹.dia⁻¹, respectivamente. Dentre os efeitos da exposição destes animais a boro, constam: atrofia de testículos e, em menor escala, atrofia de ovários e perda de peso de diversos órgãos (cérebro, pulmões, rins etc.).

Os limites para o boro em água segundo padrões vigentes de qualidade das águas, lançamento de efluentes e potabilidade são apresentados no Quadro 4.3.6. Não há valores de referência, alerta e intervenção para solos, nem potabilidade das águas, o que revela pouca informação a respeito deste elemento.

QUADRO 4.3.6 - Parâmetros-limites para o boro nos padrões de qualidade das águas (classe 2), lançamento de efluentes e potabilidade (em mg.L⁻¹).

Padrões de qualidade das águas superficiais*		Padrões de lançamento de efluentes		Padrão de potabilidade
Resolução CONAMA 20/1986	Decreto Estadual 8468/1976	Em corpos d'água – Decr. Estadual 8468/1976**	Em sistemas de esgotos com tratamento – Decr. Est. 8468/1976***	Portaria 36/Min. da Saúde, de 19.01.1990
0,75	5,0	5,0	5,0	-

Fonte: MMA (2000), CETESB (2001). Obs.: * = classe 2; ** = Art. 18; *** = Art. 19A.

Em geral, o boro é uma substância indesejável na água potável. Segundo a Comunidade Européia as águas para consumo humano não devem superar 1,0 mg.L⁻¹ de boro; segundo os padrões do governo canadense, não devem ultrapassar 5,0mg.L⁻¹ (MERCK, 1990).

4.4. Indústria cerâmica de materiais de revestimento

Cerâmica pode ser definida num sentido mais amplo do que implica a definição da palavra “olaria” (*pottery*). A palavra grega *keranos* significa “coisa queimada”; assim, o moderno termo cerâmica, que inclui cerâmica branca, esmalte, refratários, vidros, cimentos, materiais de construção civil e abrasivos, não é incompatível com o uso original (SOUZA, 1973).

Segundo ABC (2000), cerâmica compreende todos os materiais inorgânicos, não-metálicos, obtidos após tratamento térmico em temperaturas elevadas. Dependendo do produto a ser obtido e das propriedades desejadas, as matérias-primas são selecionadas e submetidas a uma série de operações, sendo que, pelo menos em uma delas, ocorre tratamento térmico em temperaturas elevadas. Nesta operação, pode ocorrer uma série de alterações nas características das matérias-primas como: perda de massa, mudanças na estrutura cristalina, surgimento de novas fases cristalinas e formação de fase vítrea.

Os materiais cerâmicos são fabricados a partir de matérias-primas classificadas em naturais e sintéticas, sendo que as naturais mais utilizadas industrialmente são: argilas, caulim, quartzo, feldspato, filito, talco, calcita, dolomita, magnesita, cromita, bauxita, grafita e zircônio. No caso de Santa Gertrudes, são utilizadas principalmente argilas, provenientes da extração em minas a céu aberto da Formação Corumbataí, aflorante na região (MASSON, 1998).

Os principais setores da indústria cerâmica são: cerâmica vermelha; cerâmicas ou materiais de revestimento; cerâmica branca; materiais refratários; isolantes térmicos; fritas e corantes; abrasivos; vidro, cimento e cal; cerâmica de alta tecnologia ou cerâmica avançada etc.

Cerâmicas ou materiais de revestimento compreendem os materiais usados na construção civil para revestimento de paredes, piso e bancadas tais como azulejos, placas ou ladrilhos para piso e pastilhas. Fritas e corantes são importantes matérias-primas para diversos segmentos cerâmicos cujos produtos requerem determinados acabamentos (ABC, *op. cit.*).

Frita (ou **vidrado fritado**) é um vidro moído, fabricado por indústrias especializadas, a partir da fusão da mistura de diferentes matérias-primas. É obtida através do aquecimento a altas temperaturas e resfriamento rápido da mistura

adequada de matérias-primas: refratários, opacificadores, pigmentos, agentes suspensores e eletrólitos e fundentes (VLACK, 1973).

O pó da frita é aplicado na superfície do corpo cerâmico, que após a queima, adquire aspecto vítreo. Este acabamento tem por finalidade aprimorar a estética, tornar a peça impermeável, aumentar a resistência mecânica e melhorar ou proporcionar outras características. O esmalte ou vidrado é uma massa cerâmica que tem grande proporção de fundentes (é o caso de compostos com chumbo, devido a seu baixo ponto de fusão, ao redor de $327,5^{\circ}\text{C}$) e é aplicada a frio sobre a peça que, a seguir, é aquecida até fusão quando ocorre a vitrificação completa. Ele é fabricado pela moagem a úmido de uma mistura de frita e argila.

Corantes constituem-se de óxidos puros ou pigmentos inorgânicos sintéticos obtidos a partir da mistura de óxidos ou de seus compostos. Os **pigmentos** são fabricados por empresas especializadas, inclusive por muitas das que produzem fritas, cuja obtenção envolve a mistura das matérias-primas, calcinação e moagem. Os corantes são adicionados aos vidrados (cru, frita ou híbrido) ou aos corpos cerâmicos para conferir-lhes colorações das mais diversas tonalidades e efeitos especiais (ABC, 2000).

Por conterem quantidades apreciáveis de metais tóxicos, por exemplo chumbo, as fritas e esmaltes ou vidrados constituem materiais potencialmente contaminantes do meio ambiente.

Processos das indústrias cerâmicas de materiais de revestimento

Na indústria de pisos e revestimentos cerâmicos, há um conjunto de processos nos quais a matéria-prima, após extração, estocagem e sazonalidade, é submetida à preparação da massa crua (cominuição ou britagem e moagem; classificação granulométrica; homogeneização e dosagem de água, dos componentes químicos e da composição mineralógica), conformação (prensagem, colagem, injeção etc.), secagem, esmaltação (passagem de vidrado cerâmico e de corantes) e queima a temperaturas superiores a 950°C , para, então, obtenção de produtos cerâmicos (GASPAR JÚNIOR, 1998; MASSON, 1998; CHRISTOFOLETTI, 1999).

A Figura 4.4.1 sintetiza os processos utilizados pela maioria das indústrias de Santa Gertrudes.

FIGURA 4.4.1 - Síntese dos processos da indústria cerâmica utilizada em Santa Gertrudes (modificado de MASSON, 1998; CHRISTOFOLETTI, 1999).

Resíduos das indústrias cerâmicas

ITC & AICE (1992) descrevem com propriedade os principais resíduos sólidos e efluentes líquidos e gasosos da indústria cerâmica.

São resíduos sólidos industriais aqueles em estado sólido e semi-sólido que resultam da atividade industrial, incluindo-se os lodos provenientes das instalações de tratamento de águas residuárias, aqueles gerados em equipamentos de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tomem in-viável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam soluções economicamente inviáveis, em face da melhor tecnologia disponível (CETESB, 1993).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT editou um conjunto de normas para padronizar, em nível nacional, a classificação desses resíduos: ABNT (1987a, 1987b, 1987c, 1987d).

5. DADOS REGIONAIS

5.1. Pólo cerâmico de Santa Gertrudes

A indústria de revestimento cerâmico, vista sob o panorama nacional, é descrita em trabalhos como os de TANNO *et al.* (1994), SALTINI *et al.* (1995), PIVA *et al.* (1997), GASPER JÚNIOR (1998), CHRISTOFOLETTI (1999), entre outros.

Há mais de uma centena de indústrias, cujos maiores pólos produtores estão localizados nas regiões de Santa Gertrudes e Mogi Guaçu, no Estado de São Paulo, e Criciúma, em Santa Catarina. Essas indústrias respondem por mais de 22000 empregos diretos, produzindo cerca de 290 milhões de m²/ano.

O mercado consumidor interno brasileiro concentra-se na região sudeste, notadamente na região metropolitana de São Paulo. Embora haja boa aceitação pelos produtos nacionais, o consumo *per capita* do brasileiro ainda é considerado baixo (2,5 m²/habitante), se comparado ao de outros países – por exemplo, na Espanha, é de 5,5 m²/habitante. Além disso, o valor agregado dos pisos brasileiros ainda é considerado baixo (média de US\$ 106.33/m² de piso exportado), se comparado a alguns países europeus: US\$ 649.26/m² no caso italiano e US\$ 498.60/m² no espanhol.

No Estado de São Paulo, os pólos cerâmicos estão associados às Províncias Geomorfológicas da Depressão Periférica (caso de Santa Gertrudes) e Planalto Ocidental. Os principais pólos são: Itu - Campinas, Tatuí - Campinas, Tambaú - Vargem Grande do Sul, Panorama - Paulicéia, José Bonifácio - Nova Avanhandava, Santa Gertrudes - Cordeirópolis, Barra Bonita - Barueri, Mogi-Guaçu - Itapira e Ourinhos – Palmital (TANNO *et al.*, *op. cit.*).

O pólo cerâmico de Santa Gertrudes-Cordeirópolis ou simplesmente pólo de Santa Gertrudes, por concentrar mais da metade das indústrias neste município (Foto 5.1.1), compreende também os municípios de Rio Claro, Itacemápolis, Araras, Limeira e Piracicaba. É o maior do país, encontra-se em acelerada expansão e é responsável por 3500 empregos diretos e cerca de 8000 indiretos (GASPAR JÚNIOR, *op. cit.*).

A Tabela 5.1.1 apresenta a evolução dos dados de produção do pólo de Santa Gertrudes, a partir de informações fornecidas pelo Sindicato das Indústrias local.

Historicamente, a região de Santa Gertrudes iniciou a produção cerâmica entre os anos de 1918 e 1930, representando apenas telhas paulistas e francesas e, posteriormente, manilhas e lajotões coloniais. Desde então, as empresas passaram de

um estágio praticamente artesanal para a produção de revestimento cerâmico esmaltado, em sua grande maioria via seca, utilizando o processo de monoqueima rápida (PIVA *et al.*, 1997).

Informações cadastrais e de produção disponíveis sobre as indústrias cerâmicas localizadas na área de estudos, são apresentadas na Tabela 5.1.2.

Estimativas de CETESB (1998a) sugeriram produção média mensal, em 1998, de aproximadamente 450 toneladas de resíduos sólidos pelas indústrias cerâmicas do pólo de Santa Gertrudes, indicando expressiva redução em relação a 1996 (cerca de 1500 toneladas mensais). Considerado o grande aumento da produção industrial de pisos observado no período (Tabela 5.1.1), estes números são positivos, entretanto ainda indicam que grande quantidade de carga poluidora potencial tem sido gerada.

FOTO 5.1.1 - Vista parcial das áreas urbana e de concentração de indústrias cerâmicas em Santa Gertrudes, SP, às margens da rodovia Washington Luís. A área de estudos ("região dos lagos de Santa Gertrudes"), correspondendo à porção mais montante da bacia hidrográfica do córrego da Fazenda Itaqui, situa-se na margem direita desta rodovia, em sentido a São Paulo.

TABELA 5.1.1 - Evolução dos dados de produção do pólo cerâmico de Santa Gertrudes.

Informação	1995	1996	1997	1998	1999
Produção (mês de dezembro, em milhões de m ²)	6,61	8,42	10,62	12,00	16,00*
Participação no mercado nacional	32%	40%	50%	60%	75%*

Fonte: CHRISTOFOLETTI (1999); * = estimativa.

TABELA 5.1.2 - Dados de produção das indústrias cerâmicas situadas na área de estudos, em Santa Gertrudes.

Indústrias Cerâmicas	Quantidade de argila utilizada (kg) / piso (m ²)	Quantidade mensal produzida (m ²)	Período analisado	Resíduos sólidos gerados (ton/dia)	Período analisado	Res. sólidos estocados (ton)	Res. sólidos reaproveitados (ton)
Cerâmica Santa Gertrudes Ltda.*	16,00 kg/m ²	471.083,00 m ²	Jan./98	1,70 ton/mês	Jan./98	4,01 ton	0,62 ton
Paraluppi, Paraluppi & Cia. Ltda.	16,00 kg/m ²	362.414,00 m ²	Jan./98	13,78 ton/mês	Jan./98	52,74 ton	9,39 ton
CEDASA – Ind. & Com. de Pisos Ltda.	13,00 kg/m ²	369.902,00 m ²	Jan./98	2,04 ton/mês	Jan./98	120,31 ton	0,58 ton
Incopisos II – Ind. & Com. de Pisos Ltda.	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
CEDASA II – Ind. & Com. de Pisos Ltda.**	-	-	-	-	-	-	-
CEPAR - Ind. & Com. Pisos Ltda.	18,70 kg/m ²	328.730,00 m ²	Jan./98	9,32 ton/mês	Jan./98	105,30 ton	6,73 ton
Smaltcolor Colorifício Cerâm. Ind. & Com. Ltda.	18,70 kg/m ²	407.608,00 m ²	Jan./98	7,55 ton/mês	Jan./98	81,74 ton	5,38 ton
Cerâmica Paraluppe Ltda.*	19,00 kg/m ²	201.172,00 m ²	Jan./98	0,96 ton/mês	Jan./98	1,07 ton	0,74 ton
Cer. Buschinelli Ltda.	16,75 kg/m ²	225.000,00 m ²	Set./97	9,00 ton/mês	Set./97	405,00 ton	nd

Fonte: CETESB (1998a). Observações: * = indústria em fase de expansão; ** = indústria a ser inaugurada em breve; nd = informação não disponível.

Outro aspecto ambiental relevante que tem acompanhado a evolução histórica da produção é a diminuição da quantidade de chumbo utilizada principalmente na composição de esmaltes, pigmentos e corantes. É interessante lembrar que o chumbo e suas espécies químicas têm sido considerados como os principais contaminantes da região (CETESB, 1997a, 1997b, 1997c, 1998c).

O acentuado incremento na produção de pisos das indústrias cerâmicas tem sido acompanhado de intenso crescimento demográfico regional nos últimos anos. Segundo dados do IBGE (IBGE, 2001), nos períodos 1991-1996 e 1996-2001, o crescimento anual do município de Santa Gertrudes foi, respectivamente, de 5,44% e 3,97%, contra 1,58% e 2,02% no Estado de São Paulo. Tudo leva a crer que esteja intimamente associado ao incremento das atividades das indústrias cerâmicas.

O perfil do município é de altas taxas de crescimento populacional, urbanização e industrialização, o que significa, outrossim, aumento na demanda por recursos hídricos para usos industrial e de abastecimento público, bem como incremento da geração de cargas poluidoras potenciais.

A Tabela 5.1.3 ilustra essa situação de expansão através de indicadores sócio-econômicos (SEADE, 2001, IBGE, 2001).

TABELA 5.1.3 - Dados sócio-econômicos de Santa Gertrudes e do Estado de São Paulo

Informação	Dados de Santa Gertrudes	Dados do Estado de São Paulo
Taxa geométrica de crescimento anual da população (1991-1996)	5,44%	1,58%
Taxa geométrica de crescimento anual da população (1996-2001)	3,97%	2,02%
Taxa de urbanização (%) - 1996	97,07	93,11
População (%) do Estado - 1996	0,0398	100
População (%) do Estado - 2001	0,0429	100
Nº de estabelecimentos industriais - 1996	45	98082
Nº de hab./estabelecimento industrial - 1996	301,0	347,4
ICMS - % Estadual - 1995	0,0289	100
ICMS - % Estadual - 1999	0,0451	100
Valor adicionado - % no Estado - 1995	0,0334	100
Valor adicionado - % no Estado - 1999	0,0451	100

Fonte: IBGE (2001) e SEADE (2001).

5.2. Bacia hidrográfica do córrego da Fazenda Itaqui

O córrego da Fazenda Itaqui, afluente do ribeirão Claro e subafluente do rio Corumbataí, apresenta bacia hidrográfica com cerca de 13,5 km². A área de estudos, situada na porção mais montante da bacia hidrográfica, apresenta extensão aproximada de 1,5 km² (Figura 5.2.1).

Os principais cursos d'água locais são os córregos da Fazenda Itaqui e seu afluente, córrego da Fazenda Itaúna. Segundo CETESB (1996), em termos de padrões de qualidade, estes cursos d'água e seus afluentes pertencem à classe 2, tanto pelo Decreto Estadual 10755/1977, quanto pela Resolução CONAMA 20/1986.

O córrego da Fazenda Itaqui e sua área de contribuição pertencem à bacia hidrográfica do rio Corumbataí, uma das principais da Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) – 5, do Piracicaba, Capivari e Jundiá (Figura 5.2.2). Segundo BARTH (1987), esta UGRHI apresenta graves problemas de aproveitamento e controle de recursos hídricos. Informações regionais detalhadas podem ser encontradas em BARTH (*op. cit.*), PROCHNOW (1990), CBH - PCJ (1995), SALATI (1996), RUSSO (1997), CETESB (1998 a, b), entre outros.

FIGURA 5.2.2 – Localização de Santa Gertrudes na Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) – 5 (Piracicaba, Capivari e Jundiá) e das demais UGRHIs do Estado de São Paulo (CARNESECA, 1998; SRH, 1998).

FIGURA 5.2.1 - Bacia hidrográfica do córrego da Fazenda Itaqui.

5.3. Geologia

Na área de estudos, afloram rochas (e solos derivados) pertencentes quase que na totalidade à Formação Corumbataí e, em menor proporção, rochas básicas intrusivas associadas à Formação Serra Geral. Também estão presentes terrenos aluvionares recentes.

Deve-se observar que a área tem sido intensamente modificada pela atuação antrópica, com expressivas movimentações de massa, que alteraram a paisagem.

A região de Santa Gertrudes insere-se no contexto geotectônico da bacia do Paraná, em sua borda leste. Os principais mapeamentos geológicos regionais nela efetuados foram: IPT (1981a) e DAEE & UNESP (1982) – Figuras 5.3.1 e 5.3.2. Como se pode notar, Santa Gertrudes está em área de afloramento da Formação Corumbataí e circundada por rochas intrusivas básicas, que ocorrem, notadamente, em sub-superfície.

A litoestratigrafia destas unidades é situada nas colunas propostas por IPT (1981a), FRANÇA & POTTER (1988) e MATTOS (1995) – FIGURA 5.3.3.

FIGURA 5.3.1 - Mapa geológico do Estado de São Paulo - trecho na região de Santa Gertrudes (IPT, 1981a). Unidades presentes: Pc = Fm. Corumbataí, JKβ = Fm. Serra Geral (rochas intrusivas básicas) e TQr = Formação Rio Claro.

FIGURA 5.3.2 - Mapa geológico da Folha Campinas - trecho na região de Santa Gertrudes (DAEE & UNESP, 1982). Unidades presentes: Pc = Formação Corumbataí, = rochas intrusivas básicas e Cz = Depósitos cenozóicos.

Bacia do Paraná

A bacia do Paraná é uma unidade geotectônica estabelecida sobre a Plataforma Sul-Americana a partir do Devoniano Inferior ou do Siluriano. A persistente subsidência dessa bacia, embora com caráter oscilatório, permitiu a acumulação de grande espessura de sedimentos, lavas basálticas e *sills* de diabásio (IPT, 1981a).

Devido à inclinação homoclinal das camadas paleozóicas e mesozóicas em direção à região mais deprimida da bacia, e à resistência oferecida à erosão pelos derrames basálticos cretáceos que suportam a borda em *cuesta* do Planalto Ocidental, escavou-se entre este e os terrenos elevados das rochas cristalinas marginais uma longa depressão. É nela que afloram as camadas paleozóicas e mesozóicas pré-basálticas que constituem a Depressão Periférica paulista, onde se encontra Santa Gertrudes.

Origem e compartimentação tectônico-estrutural

A bacia do Paraná é considerada de comportamento relativamente estável, dissociada de efeitos tectono-térmicos mais agudos, comparada a outras de margem continental. Trata-se de uma bacia intracratônica Sul-Americana, desenvolvida totalmente sobre crosta continental, onde o registro lítico-sedimentar e magmático abrange do Mesopaleozóico ao Cenozóico (CABRAL JÚNIOR, 1991).

A literatura contempla diversos outros trabalhos sobre geotectônica e geologia estrutural da bacia do Paraná: LOCZY (1966), SOARES (1978), FÚLFARO *et al.* (1982), CORDANI *et al.* (1984), ZALÁN *et al.* (1987) etc.

Segundo ZALÁN *et al.* (1987), o arcabouço estrutural da bacia do Paraná mostra marcante padrão de feições lineares em forma de X, divididas em três grupos, de acordo com suas orientações NW-SE, NE-SW e E-W. As duas primeiras são as mais importantes e podem constituir falhas simples ou extensas zonas de falhas. Este padrão também é observado por SOARES *et al.* (1982).

O padrão de cada grupo dessas estruturas é diferente. As falhas com orientação NW-SE foram fortemente reativadas durante o quebramento juro-cretácico do Gondwana, criando, provavelmente, várias outras paralelas a esta direção. As falhas de direção NE-SW geralmente ocorrem com ausência de diques e deformações associadas a estes, e estruturas relacionadas a movimentações transcorrentes são muito comuns. Os lineamentos de direção E-W, que tiveram seu desenvolvimento

CRONO	GRUPO	FORMAÇÃO	LITOLOGIA
FANEROZÓICO	MESOZÓICO	JURÁSSICO	SÃO BENTO
	TRIÁSSICO	SÃO BENTO	SÃO BENTO
	PALEOZÓICO	PERMIANO SUPERIOR	PASSA DOIS
FANEROZÓICO	MESOZÓICO	JURÁSSICO	SÃO BENTO
	TRIÁSSICO	SÃO BENTO	SÃO BENTO
	PALEOZÓICO	PERMIANO SUPERIOR	PASSA DOIS

(A)

FIGURA 5.3.3 - Colunas estratigráficas com unidades geológicas presentes em Santa Gertrudes: A = IPT (1981a); B = FRANÇA & POTTER (1988); C = MATTOS (1995).

(B)

(C)

FIGURA 5.3.4 - Mapa geológico simplificado da bacia do Paraná (POTTER & FRANÇA, 1988).

iniciado a partir do Triássico, são pouco compreendidos. De forma geral, há dois tipos de deformações a eles associados: aquelas ligadas a intrusões ígneas básicas e outras a reativações dos grandes lineamentos (ZALÁN *et al.*, 1987).

Devido à freqüente presença de fraturas em determinados níveis pelíticos da Fm. Corumbataí na área de estudos, a observação e o entendimento dessas estruturas é particularmente interessante, pois elas passam a ser um dos condicionadores da dinâmica hídrica subterrânea.

Grupo Passa Dois

O Grupo Passa Dois, assim designado por WHITE (1908), corresponde à seqüência neopaleozóica da Bacia do Paraná (MENDES, 1967), subdividida nas formações Irati, Corumbataí e Rio do Rasto, sendo a Formação Corumbataí é correlata às formações Serra Alta e Teresina de IPT (1981a).

Formação Corumbataí

A Formação Corumbataí é a unidade litoestratigráfica por depósitos possivelmente marinhos de planícies de maré, incluindo argilitos, folhelhos e siltitos cinza, arroxeados ou avermelhados, com intercalações de bancos carbonáticos, silixitos e camadas de arenitos finos (IPT, 1981a).

Na região-tipo onde ela foi estudada, apresenta, em sua parte inferior, siltitos, argilitos e folhelhos cinzento a roxo - acinzentado nos afloramentos, podendo possuir cimentação calcária e lembrando a formação Serra Alta. Segue-se uma sucessão de camadas siltosas, ritmicamente alternadas com lâminas ou delgadas camadas cuja litologia varia entre argilosa e arenosa fina, tanto vertical como horizontalmente. As cores vermelha e arroxeadas passam a predominar nas partes média e superior da formação, onde também se apresentam lentes e bancos calcários com até cerca de meio metro de espessura, mas não muito freqüentes.

Como estruturas sedimentares, são observadas estratificação e laminação plano-paralela, estratificação cruzada de baixo ângulo, estruturas *flaser*, estratificação rítmica, marcas onduladas, fraturas de ressecamento e brechas intraformacionais (IPT, *op. cit.*).

A literatura contempla diversas outras referências sobre a geologia da Formação Corumbataí, da região de Santa Gertrudes e áreas adjacentes: MENDES (1952), ALMEIDA & BARBOSA (1953), LANDIM (1970), SCHNEIDER *et al.* (1974), GAMA JÚNIOR (1979), MEZZALIRA (1980), RAGONHA (1980, 1984), PERINOTTO & ROESLER (1985), ROESLER *et al.* (1985), SOUSA (1985), SUGUIO & SOUZA (1985), ROHN (1989, 1994, 1995), RICCOMINI *et al.* (1991, 1992), RICCOMINI (1992 a e b), RICCOMINI & VASSILIOU (1993), ROHN & LAVINA (1993), RICCOMINI & FABRINI (1997), SOUSA (1997), TORELLO & SIMÕES (1997), ALARCON (1998).

SOUSA (1985) estabelece que a Formação Estrada Nova é constituída pelos membros Serra Alta (inferior) e Teresina (superior), aflorando nas porções sudoeste e

centro-sul do Estado de São Paulo. Já a Formação Corumbataí, presente no flanco nordeste do Estado, é indivisa.

Segundo esta autora, pelas características das fácies sedimentares e suas associações, são identificados tanto na Formação Estrada Nova, quanto na Formação Corumbataí, depósitos de alto-mar (*offshore*), de zona de transição entre alto-mar (*offshore*) e face de praia (*shoreface*), de planície de maré, de barra de maré e lagunar.

Por outro lado, na Formação Corumbataí teria ocorrido sedimentação principalmente em zonas de transição entre alto-mar e face de praia. A deposição das duas formações teria ocorrido em mar epicontinental, em condições de estabilidade tectônica e aridez climática.

Grupo São Bento

Sob a designação “Série de São Bento”, WHITE (1908) reuniu um conjunto de arenitos predominantemente vermelhos encimados pelas “Eruptivas da Serra Geral”. A parte do pacote arenítico, o mesmo autor denominou São Bento, e as camadas vermelhas, de Rio do Rasto. Posteriormente todo pacote foi denominado de Grupo São Bento, constituído pelas formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral (IPT, 1981a).

Formação Serra Geral e intrusivas associadas

Rochas da Formação Serra Geral correspondem à única manifestação ígnea no município de Santa Gertrudes e arredores. Pela análise de relatórios de perfurações de poços (DAEE & PRODESP, 2000; CEDASA, 2001) e de informações da literatura (DAEE & UNESP, 1982), trata-se de *sills* de dimensões métricas (Figura 5.3.5).

Segundo IPT (1981a), *sills* existem em grandes quantidades nas rochas paleozóicas da Depressão Periférica, onde está Santa Gertrudes, e têm espessuras variáveis, de centimétricas a 150-180 m (LEINZ, 1949; BARBOSA & ALMEIDA, 1949). São geralmente concordantes com as rochas encaixantes, mas também podem ser oblíquos às suas camadas (FÚLFARO *et al.*, 1980). Petrograficamente, têm granulação mais grossa que suas equivalentes basálticas aflorantes no centro-oeste do Estado de São Paulo, são holocristalinas e freqüentemente apresentam textura ofítica.

FIGURA 5.3.5 - Perfil geológico W-E, compreendendo a região do domo de Pitanga, a W, e a borda leste da bacia do Paraná, na qual se localiza Santa Gertrudes (DAEE & UNESP, 1982).

5.4. Hidrogeologia

Informações de relatórios de perfuração de poços tubulares (DAEE, 1981; DAEE & PRODESP, 2000; CEDASA, 2001) e da literatura geológico-hidrogeológica regional serviram de base para a confecção do modelo hidrogeológico conceitual da área de estudos. Insere-se o Grupo Passa Dois (formações Corumbataí e Irati, esta não aflorante em Santa Gertrudes) como aquítarde* entre as unidades litoestratigráficas arenosas subjacentes (formações Pirambóia/Botucatu e Rio Claro) e subjacentes (Grupo Tubarão), com freqüente presença de *sills* de diabásio intercalados.

* seg. FETTER (1994), aquítarde é uma unidade de baixa permeabilidade que pode armazenar águas subterrâneas e também transmiti-las lentamente, de um aquífero para outro. Segundo EPA (2000), aquítarde é uma unidade de permeabilidade relativamente baixa, situada dentro de uma sequência estratigráfica relativa ao aquífero de interesse. É um termo mais freqüentemente utilizado que aquíclode.

Os poços tubulares presentes em Santa Gertrudes, apesar de neles não se captar água da Formação Corumbataí, fornecem informações sobre a estratigrafia da região (Tabela 5.4.1). Analisando estes dados, nota-se que na área de estudos os pelitos desta formação apresentam espessura não superior a poucas dezenas de metros (valores entre 8,5 e 27,0 m), ocorrendo logo abaixo um *sill* de diabásio, com espessura entre 53 e 75m.

Teoricamente, a Formação Corumbataí, por ser constituída por sedimentos de granulometria fina, predominantemente argilosa, apresenta fluxos subterrâneos muito lentos. Segundo FETTER (1994), estes materiais apresentam permeabilidade intrínseca de 10^{-6} a 10^{-3} darcy e condutividade hidráulica entre 10^{-8} e 10^{-11} m.s⁻¹. Entretanto, a existência de porções ou horizontes fraturados confere-lhes propriedades hidráulicas diferentes.

Além disso, há solo de alteração com permeabilidade superior à da litologia subjacente, sugerindo a presença de um aquífero freático local. Somando-se, nas áreas topograficamente mais baixas, situadas no vale do córrego da Fazenda Itaqui, há aluviões recentes com maior quantidade de areia em sua granulometria, conferindo propriedades aquíferas. Estes dois pacotes encontram-se indiferenciados devido à existência de grandes extensões de áreas modificadas e/ou aterradas pela ação antrópica.

De forma simplificada, a área de estudos pode ser entendida, hidrogeologicamente, pela existência de três pacotes, na base para o topo:

- Um corpo ígneo de diabásio (Formação Serra Geral), em forma de *sill*.
- Um pacote sedimentar, representado pela Formação Corumbataí, caracterizado principalmente como aquítarde, às vezes diferenciado hidraulicamente pela presença de fraturas.
- Um pacote sedimentar, heterogêneo, indiferenciado e recente, formado por: solo de alteração (principalmente da Fm. Corumbataí), aluviões e áreas aterradas.

Este último pacote é o de maior interesse a esta pesquisa, por estar sob influência direta de ações antrópicas, particularmente de indústrias locais, que dispuseram ou lançaram resíduos na região.

Aqüitarde Passa Dois – dados regionais

O aquítarde Passa Dois, interposto entre os sistemas aquíferos Botucatu e Tubarão, exerce, regionalmente, um papel passivo quanto à circulação das águas subterrâneas. Possui extensão limitada, é descontínuo e apresenta vazões nos poços que podem variar de 3 a 20 m³/h (CAMPOS, 1993).

DAEE (1981) verificou a predominância de águas bicarbonatadas sódicas, com a maior parte apresentando condutividade elétrica superior a 2000 $\mu\text{S.cm}^{-1}$. Nestas águas podem existir quantidades razoáveis de sulfatos e cloretos e a tendência do meio é ser básico, com grande frequência de valores de pH acima de 8,0.

5.5. Geomorfologia

Segundo ALMEIDA (1964) e IPT (1981b), Santa Gertrudes insere-se na unidade 212 (relevo de colinas amplas) da Zona do Médio Tietê, pertencente à Província Geomorfológica da Depressão Periférica do Estado de São Paulo. São equivalentes, respectivamente, à "Depressão Médio Tietê" e à "Unidade Morfoescultural da Depressão Periférica" de ROSS & MOROZ (1997).

Predominam interflúvios com áreas geralmente maiores que 4km², padrão subdendrítico de drenagens, planícies aluviais interiores restritas e presença eventual de lagos perenes ou intermitentes (IPT, 1981b).

Segundo os levantamentos plani-altimétricos disponíveis (IBGE, 1981; IGC, 1979a, 1979b), as altitudes variam entre 580m (vale) e 610m (encostas) na região dos lagos em Santa Gertrudes.

TABELA 5.4.1 - Dados técnicos de poços tubulares situados na região dos lagos de Santa Gertrudes e arredores*

Proprietário, nº do poço (DAEE) e uso	UTM NS (km)	UTM-EW (km)	Cota (m)	Empresa perfuradora	Ano da perf.	Profundidade (m)	Descrição litológica simplificada	Aquífero explorado	Dados construtivos	Prof. NE (m)	Prof. ND (m)	Q (m³/h)	Q/s (m³/h.m)
Incopisos Ind. e Com de Pisos Ltda. - Filial 2 Nº DAEE: nd Uso: industrial	7512,98	239,96	607,0	JUNDSON-DAS Poços Artesianos Ltda.	1997	234,00	Fm. Corumbataí: 0,00 – 12,7m; Siltito: 12,7 – 18,2m; Diabásio: 18,2 – 82,0m; Siltito: 82,0 – 116,5m; Fm. Irati: 116,5 – 132,0m; Diabásio: 132,0 – 143,0m; Fm. Irati: 146,0 – 174,0m (Mb. Assistência: 159 - 174m); Fm. Itararé: 174,0 – 234,0m	Itararé (sistema aquífero Tubarão)	Perfuração: 0-18,05m (12,5"), 18,05-195m (10"), 195-134m (6") Revestimento: tubo preto (10", 0-18,55m), tubo galv. (18,55-195,5m)	136,75	145,68	6,55	0,738
Incopisos Ind. e Com de Pisos Ltda. - Filial 1 Nº DAEE: nd Uso: industrial	nd	nd	nd	JUNDSON-DAS Poços Artesianos Ltda.	1997	126,00	Fm. Corumbataí: 0,00 – 12,0m; Siltito: 12,0 – 35,5m; Diabásio: 35,0 – 88,0m; Siltito: 88,0 – 122,5m Fm. Irati: 122,5 – 126,0m	Siltito (limite diabásio-Irati)	Perfuração: 0-35m (8,5"), 35-126m (6") Revestimento: tubo galv. (0-30,5m)	12,35	109,60	1,33	0,015
CEDASA, Indústria e Comércio de Pisos Ltda. Nº DAEE: nd Uso: industrial	7514,20	239,20	605,0	SONDAGUA Poços Artesianos Ltda.	1997	230,00	Fm. Corumbataí: 0,00 – 22,0m; Folhelho cinza: 22,0 - 41,0m; Diabásio: 41,0 - 106,0m; Folhelho cinza: 106,0 – 123,0m; Diabásio: 123,0 – 138,0m; Fm. Irati: 138,0 – 170,0m (Mb. Assistência: 150 – 164m); Fm. Tatuí/Fm. Itararé: 170,0 - 230,0m	Itararé (sistema aquífero Tubarão)	Perfuração: 0-6m (12,25"), 6-168m (8"), 168-230m (6") Revestimento: tubo preto (10,25", 0-6; 6", 6-168m)	138,00	168,00	14,40	0,480
DAEE/Prefeitura Municipal Nº DAEE: 218-06 Uso: abastecimento público	7515,20	239,20	570,0	nd	1985	281,00	Fm. Corumbataí: 0,0 – 8,5m; Diabásio: 8,5 – 73,5m; Fm. Irati: 73,5 – 100,0m; Fm. Tatuí: 100,0 – 194,0m; Diabásio: 194,0 – 226,0m; Fm. Itararé: 226,0 – 281,0m	Itararé (sistema aquífero Tubarão)	Perfuração: diâmetros diversos (14" a 8,5") Revestimento: tubo preto (12,25", 0-8,5m; 6", +0,5-267m)	65,23	77,46	27,36	2,237

(Continua)

(Continuação)

Proprietário, nº do poço (DAEE) e uso	UTM NS (km)	UTM-EW (km)	Cota (m)	Empresa perfuradora	Ano da perf.	Profundidade (m)	Descrição litológica simplificada	Aquífero explorado	Dados construtivos	Prof. NE (m)	Prof. ND (m)	Q (m³/h)	Q/s (m³/h.m)
DAEE/Prefeitura Municipal													
Nº DAEE: 718-0029 Uso: abastecimento público	7514,75	239,53	590,0	nd	1963	213,50	nd	nd	nd	nd	Nd	14,0	nd
DAEE/Prefeitura Municipal													
Nº DAEE: 718-0030 Uso: abastecimento público	7514,33	240,73	590,0	I.G.G.	1955	200,00	nd	nd	nd	nd	nd	20,0	nd
DAEE/Prefeitura Municipal													
Nº DAEE: 718-0031 Uso: abastecimento público	75145,35	240,83	590,0	nd	1960	208,00	nd	nd	nd	nd	nd	6,0	nd
DAEE/Prefeitura Municipal													
Nº DAEE: 718-0032 Uso: abastecimento público	7514,05	238,95	615,0	nd	1979	200,00	Fm. Corumbataí: 0,00 – 27,0m Intrusiva básica: 27,0 - 92,0m Fm. Irati: 92,0 - 137,0m Fm. Tatui/Iitararé: 137,0 - 200,0m	Iitararé (sistema aquífero Tubarão)	Perfuração: 11" (0-29m), 8" (29-200m) Revestimento: tubo preto (8", 0-29m)	nd	102,0	8,8	nd
DAEE/Prefeitura Municipal													
Nº DAEE: 718-0033 Uso: abast. público	7513,25	240,05	650,0	Geopesqui- sadora Brás	nd	243,00	nd	nd	nd	nd	nd	8	nd

Fonte: DAEE & PRODESP (2000), CEDASA (2001). Obs.: nd = dado não disponível; * dados existentes, que se referem àqueles constantes em relatórios técnicos dos poços, efetuados após suas perfurações, nem sempre refletindo as condições atuais de exploração. O acesso direto a estes poços, para obtenção de dados de Q, NE e ND não foi possível.

5.6. Pedologia

Na literatura sobre solos do Estado de São Paulo, a maior parte das referências citam que na região de Santa Gertrudes ocorre latossolo vermelho, embora haja certa confusão em relação às unidades presentes, se forem consideradas todas as referências disponíveis: PENTEADO (1969), MONIZ (1972), RADAMBRASIL (1983), OLIVEIRA & PRADO (1984) e IAC (1981, 1999).

Em mapeamento pedológico efetuado na região sudeste do Brasil, RADAMBRASIL (1983) confere à área LATOSSOLO VERMELHO ESCURO DISTRÓFICO (LEd7); segundo MONIZ (1972), predomina LATOSSOLO VERMELHO ESCURO ORTO. No mapa de IAC (1981), há LATOSSOLO ROXO DISTRÓFICO (LRd) a EUTRÓFICO (LRe), possivelmente referindo-se à alteração de diabásios presentes regionalmente.

Regionalmente, segundo OLIVEIRA & PRADO (1984), 52,5% do levantamento efetuado, abrangendo porções dos municípios de Corumbataí, Rio Claro, Santa Gertrudes, Cordeirópolis, Limeira e Itacemópolis, equivalem a latossolos (tipos LE, LEa e Lva). São solos ácidos e de baixa fertilidade.

Segundo PENTEADO (1969), além dos latossolos, também ocorrem solos litólicos, podzólicos vermelho-amarelos e solos hidromórficos de cores cinza e preta, que ocupam várzeas e depressões interfluviais mais arenosas da bacia do rio Corumbataí.

O levantamento mais recente é o de IAC (1999), que adota nova terminologia* na descrição da pedologia do Estado de São Paulo, na qual, por exemplo, podzólicos passam a ser denominados argissolos, e terras roxas estruturadas de nitossolos vermelhos. As unidades presentes em Santa Gertrudes, segundo esta referência, são apresentadas no Quadro 5.6.1: LV4, na área de estudos; LV9 e PVA31, aos arredores.

QUADRO 5.6.1. Classes, símbolos e descrições de solos existentes Santa Gertrudes, segundo IAC (1999).

Classe de solo	Símbolo	Descrição
Latossolo Vermelho	LV 4	Eutróficos e Distróficos + LATOSSOLOS VERMELHOS Distróficos ambos A moderado, textura argilosa, relevo suavemente ondulado

(Continua)

* segundo o recém-publicado Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SBCS), EMBRAPA (1999)

(Continuação)

Classe de solo	Símbolo	Descrição
Latossolo Vermelho	LV 9	Eutroféricos e Distroféricos, relevo suavemente ondulado + NITOSSOLOS VERMELHOS Eutroféricos, relevo ondulado, todos A moderado + NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos, A moderado e chernozêmico, relevo ondulado. Todos textura argilosa.
Argissolo Vermelho - Amarelo	PVA 31	Distróficos abruptos ou não, A moderado, textura média/argilosa e argilosa, relevo ondulado

5.7. Clima e disponibilidade hídrica superficial

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região de Santa Gertrudes é do tipo Cwa, subtropical, seco no inverno e chuvoso no verão, com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C. As temperaturas mais altas ocorrem no período de dezembro a março e as mais baixas no bimestre junho e julho com 17°C de temperatura média (SALATTI, 1997).

Segundo TROPMAIR (1978), o regime de chuvas é tropical, com duas estações definidas:

- período seco, que se estende pelos meses de março a setembro, com menos de 20% das precipitações totais, correspondendo às médias próximas de 250 mm em 20 dias;
- período chuvoso, que se prolonga de outubro a fevereiro, sofrendo a influência da massa tropical, com mais de 80% das precipitações anuais, que atingem a média de 1.100 mm em 60 - 70 dias.

Há um posto pluviométrico da rede de monitoramento do DAEE localizado no município de Santa Gertrudes, cujos dados históricos foram obtidos em DAEE (1998). As precipitações médias mensais históricas (1942-97) deste posto são apresentadas na Figura 5.7.1 e na Tabela 5.7.1. As falhas foram preenchidas pelo método de ponderação regional de TUCCI (1993).

Na Figura 5.7.2 é apresentado histograma com precipitações mensais totais do período janeiro.1998 a março.2000 para o posto pluviométrico da UNESP em Rio Claro/CEAPLA. Este período coincide com as amostragens efetuadas na área de estudos em Santa Gertrudes.

FIGURA 5.7.1 - Histograma com precipitações médias mensais históricas do posto pluviométrico do DAEE situado em Santa Gertrudes (dados brutos segundo DAEE, 1998).

TABELA 5.7.1 - Precipitações médias mensais históricas de posto pluviométrico do DAEE situado em Santa Gertrudes.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total (anual)
P média (mm)	251,2	184,8	156,7	67,9	64,4	42,6	31,1	31,8	67,3	132,7	156,4	204,2	1.391,1

Fonte: dados brutos obtidos em DAEE (1998); período de leitura: janeiro.1942 a dezembro.1997.

FIGURA 5.7.2 - Histograma com precipitações mensais do posto pluviométrico da UNESP situado em Rio Claro (dados de 1998 a 2000, obtidos em UNESP, 2000).

Na Tabela 5.7.2, são apresentados os resultados de balanço hídrico regional de ESALQ (1999), a partir de dados obtidos em Rio Claro.

TABELA 5.7.2 - Balanço hídrico-climatológico do município de Rio Claro, segundo método de THORNTHWAITE & MATTER (1955).

Meses	Número de dias	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	P-ETP (mm)	NEG-AC	ARM (mm)	ALT (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan.	30	24,2	226,0	121,35	104,6	0,0	100,00	0,00	121,4	0,0	104,6
Fev.	28	24,4	205,0	112,70	92,3	0,0	100,00	0,00	112,7	0,0	92,3
Mar.	31	23,8	149,0	112,57	36,4	0,0	100,00	0,00	112,6	0,0	36,4
Abr.	30	21,7	44,0	82,11	-38,1	-38,1	68,31	-31,69	75,7	6,4	0,0
Mai	31	19,4	44,0	61,05	-17,1	-55,2	57,60	-10,71	54,7	6,3	0,0
Jun.	30	18,1	29,0	47,82	-18,8	-74,0	47,72	-9,88	38,9	8,9	0,0
Jul.	31	18,0	20,0	48,37	-28,4	-102,4	35,93	-11,79	31,8	16,6	0,0
Ago.	31	19,8	25,0	62,95	-37,9	-140,3	24,59	-11,35	36,3	26,6	0,0
Set.	30	21,3	53,0	76,79	-23,8	-164,1	19,38	-5,20	58,2	18,6	0,0
Out.	31	22,3	126,0	93,87	32,1	-66,3	51,51	32,13	93,9	0,0	0,0
Nov.	30	23,0	132,0	103,13	28,9	-21,8	80,38	28,87	103,1	0,0	0,0
Dez.	31	23,6	199,0	117,30	81,7	0,0	100,00	19,62	117,3	0,0	62,1
TOTAIS	-	259,6	1252,0	1040,02	212,0	-	785	0,00	956,5	83,5	295,5
MÉDIAS	-	21,6	104,3	86,67	17,7	-	65,5	-	79,7	7,0	24,6

Fonte: ESALQ (1999). T = temperatura média do ar (°C); P = precipitação pluviométrica mensal média (mm); ETP = evapotranspiração potencial (mm); NEG-AC = negativo acumulado (mm); ARM = armazenamento (para 100mm); ALT = alteração do armazenamento (mm); ETR = evapotranspiração real (mm); DEF = déficit (mm); EXC = excesso (mm).

Todas essas informações permitem considerar períodos mais chuvosos para Santa Gertrudes de dezembro a fevereiro e períodos mais secos de junho a agosto, com os demais meses em condições intermediárias.

Estimativa da disponibilidade hídrica superficial

A partir dos levantamentos hidrológicos existentes (DAEE, 1988, 1994), foi estimada a disponibilidade hídrica superficial da bacia do córrego da Fazenda Itaqui e da área de estudos. Esta disponibilidade, como se sabe, é função direta da precipitação pluviométrica da região e os resultados, sendo aproximados devido à questão das escalas, servem apenas para uma idéia da grandeza das vazões.

O Quadro 5.7.1 e Figura 5.7.3 apresentam os resultados obtidos para a bacia hidrográfica como um todo e para a área de estudos, com vazão específica da ordem de 7,7 L/s.km². Para a área de contribuição desta bacia na área de estudos, tem-se uma vazão média de 36,2 L/s, Q_{7,10} de 0,012 m³/s e vazão específica da ordem de 7,6 L/s.km².

QUADRO 5.7.1 - Estimativa da disponibilidade hídrica superficial da bacia hidrográfica do córrego da Fazenda Itaqui e da área de estudos, em Santa Gertrudes, a partir dos levantamentos hidrológicos de DAEE (1988, 1994).

Local (unidade)	Área (km ²)	Isoietas (valores médios)				a	b	P média mm	Q _{esp} (L/s.km ²)	Q _{média} (L/s)	Q _{média} (m ³ /s)	C 7,m	X10	A	B	Q _{7,10} (m ³ /s)
		1155	1165	1175	1185											
Bacia hidrográfica	13,49	0,12	1,81	8,11	3,45	-26,23	0,0278	1176,0	7,6	102,2	0,102	0,8	0,748	0,4951	0,0279	0,032
Área de contribuição - área de estudos	4,70	0,00	0,00	2,70	2,00	-26,23	0,0278	1179,2	7,7	36,2	0,039	0,8	0,748	0,4951	0,0279	0,012

FIGURA 5.7.3 - Mapa de isoietas da bacia hidrográfica do córrego da Fazenda Itaqui, a partir de dados brutos de DAEE (1988, 1994).

6. INVESTIGAÇÕES EFETUADAS

6.1. Áreas investigadas, materiais e métodos gerais

Devido à inexistência de informações conclusivas e de detalhe, e devido à grande heterogeneidade ambiental da área de estudos, foram efetuadas investigações de campo iniciais, visando seu reconhecimento e diagnóstico ambiental.

Essas atividades preliminares proporcionaram o estabelecimento de alvos a serem analisados, dentro dos objetivos centrais do projeto, além de possibilitarem a locação de pontos de amostragem. Neste sentido, também foram considerados dados existentes (CETESB, 1997a, 1997b, 1997c, 1998c), informações verbais obtidas junto às indústrias e seus funcionários, bem como denúncias efetuadas pela população local.

Diversos materiais foram coletados, visando a caracterização ambiental da área de estudos: amostras de sedimentos de fundo de lagos e de leito de cursos d'água; solo superficial; sedimentos/solos inconsolidados em áreas degradadas; águas subterrâneas, superficiais (lagos, do córrego da Fazenda Itaqui e pequenos cursos d'água associados) e de chuva; e materiais industriais.

A partir deste levantamento, foi definida uma malha com pontos de monitoramento de águas superficiais e subterrâneas, cujas atividades de coleta estenderam-se por um ano, em média a cada dois meses. Neste período, alguns locais, considerados prioritários, foram sendo paulatinamente detalhados em suas investigações (amostragens de águas subterrâneas, sedimentos, solos, poços de monitoramento etc.), com adensamento da malha de amostragem inicial.

Em graus decrescentes de detalhamento das investigações, a área de estudos foi compartimentada em três porções, destacadas na Figura 6.1.1.

De forma geral, a estratégia de escolha de locais-alvo, amostragem e análises, levou em consideração a seqüência apresentada na Figura 6.1.2.

O Desenho 1 (ANEXO A) apresenta os pontos amostrados na caracterização ambiental-hidrogeoquímica da área de estudos.

FIGURA 6.1.1 - Vista dos três principais locais investigados na área de estudos.

FIGURA 6.1.2 - Estratégias de planejamento, de escolha de locais-alvo, amostragem e análises utilizadas em Santa Gertrudes.

ÁREA I: lagos 1, 2 e área de estudos de detalhe

A **ÁREA I** situa-se na porção oeste da área de estudos (Figura 6.1.1) e contempla a “área de estudos de detalhe” (Figura 6.1.3; Foto 6.1.1), os lagos 1, 2 (o maior da área de estudos) e arredores.

A área de estudos de detalhe foi o local mais investigado neste trabalho, pois, como se verificará nos resultados, é uma área amplamente contaminada, além de apresentar configuração adequada para os estudos propostos.

FIGURA 6.1.3 – Mapa esquemático com pontos de amostragem e investigação da área de estudos de detalhe.

FOTO 6.1.1 - Vista parcial da parte oeste na área de estudos (ÁREA I), com destaque para a área de estudos de detalhe, o córrego da Fazenda Itaqui e o lago 2.

ÁREA II: antiga indústria POLIGLASS, lagos 3, 4 e do pesqueiro

A **ÁREA II** situa-se na região central da área de estudos (Figura 6.1.1). Em perfil sentido S-N, há: a antiga indústria Poliglass (a montante); os lagos 3, 4 e do pesqueiro (“pesque e pague”); e o córrego da Fazenda Itaqui (Figura 6.1.4, Fotos 6.1.2 e 6.1.3).

Esta porção foi investigada devido à influência direta da indústria Poliglass sobre o pesqueiro e corpos d’água localizados a jusante. No terreno desta indústria, foram dispostos de resíduos industriais de forma inadequada, diretamente sobre o solo. Além disso, havia denúncias da população local sobre o lançamento de efluentes líquidos a jusante, em sentido aos lagos e ao córrego da Fazenda Itaqui.

FIGURA 6.1.4 – Perfil esquemático SW-NE na ÁREA II, desde a indústria Poliglass até o córrego da Fazenda Itaqui, passando pelos lagos 3 e 4.

FOTO 6.1.2 - Vista da parte central da área de estudos (ÁREA II), a partir da antiga indústria Poliglass: na margem esquerda do córrego da Fazenda Itaqui, há os lagos 3, 4 e do pesqueiro (inclusive lago 5); na margem direita, a montante, as indústrias cerâmicas.

FOTO 6.1.3 – Vista parcial da porção central da área de estudos (ÁREA II), na margem esquerda do córrego da Fazenda Itaqui. À montante, a antiga indústria Poliglass; no vale, lagos do pesqueiro (inclusive lago 5), lagos 3 e 4.

ÁREA III: lagos e nascentes do córrego da Fazenda Itaqui

A **ÁREA III** situa-se a leste, na porção mais montante da bacia hidrográfica, onde se tem diversos lagos e as nascentes do córrego da Fazenda Itaqui (Figura 6.1.1; Foto 6.1.4). Esta porção, dada a grande dificuldade de acesso, foi objeto apenas de breve caracterização e, à exceção das nascentes do córrego da Fazenda Itaqui, não sofreu maiores investigações.

FOTO 6.1.4 - Vista da ÁREA III: nos fundos, da esquerda para a direita, três indústrias cerâmicas, em cujos terrenos há três nascentes do córrego da Fazenda Itaqui (indicadas com N1, N2 e N3); na parte central, lagos 6 a 10. Aos arredores, áreas de aterro com resíduos das indústrias cerâmicas.

ÁREA DE REFERÊNCIA

Dada a não existência de padrões de referência para solos, sedimentos de fundo dos lagos, águas subterrâneas e superficiais típicos da região (*background* ou matérias de referência), foi escolhido um local situado fora da influência direta das indústrias, denominado “área de referência” (Figura 6.1.5; Foto 6.1.5).

Trata-se da área na qual se localiza o lago “ZERO”, que origina o córrego da Fazenda Itaúna, principal afluente do córrego da Fazenda Itaqui. Neste local, foram coletadas amostras de solo superficial, sedimentos de fundo do lago e águas superficiais. Mais recentemente, foi instalado um poço de monitoramento e um pluviômetro.

FOTO 6.1.5 - Vista da área de referência, localizada fora da influência direta das indústrias. Notar o lago ZERO, o poço de monitoramento PM-ZERO e o local das nascentes do córrego da Fazenda Itaúna.

LEGENDA

— 600—
— 590— Curvas de nível (equidistância: 10 m)

— Córregos/represas

— Rodovias/estradas

— Indústrias

— Área de estudos e área de referência

LOCAIS DE INVESTIGAÇÃO, AMOSTRAGEM E MONITORAMENTO - ÁREA DE REFERÊNCIA

Águas subterrâneas

○ Poço de monitoramento

Água de chuva

○ Pluviômetro

Lagos/lagoas (sedimentos/águas superficiais)

● Ponto de amostragem de sedimento de fundo (piston-core) e/ou águas superficiais

FIGURA 6.1.5 - Localização da área de referência em relação à área de estudos.

6.1.2. Materiais e métodos gerais

A seguir são apresentados os principais métodos e materiais utilizados para amostragem e análise de amostras sólidas, de água e materiais industriais, sendo que os procedimentos mais específicos descritos nos próprios capítulos (6.2 a 6.11).

I. Amostras sólidas: solos, sedimentos e rochas

Foram coletadas amostras de rochas, solos e sedimentos. Na definição destes tipos, foram utilizados os glossários de ABNT (1989) e SUGUIO (1998).

No caso de solo, sedimentos em meio aéreo e de leito de ravinas, a amostragem foi efetuada com trado manual do tipo simples, em concha (do IGc-USP) ou holandês (da CETESB) – Foto 6.1.6. O mesmo procedimento foi adotado na perfuração de poços de monitoramento, onde foram aproveitadas as amostras coletadas.

Após a coleta, cada amostra foi retirada do trado com auxílio de uma espátula ou pá e armazenada em sacos plásticos, identificados com o código do ponto de amostragem, o intervalo de profundidade e a data de coleta da amostra (Foto 6.1.7).

FOTO 6.1.6 – Amostragem de solo com trado holandês, para instalação de poço de monitoramento.

FOTO 6.1.7 - Embalagem de amostra sólida em saco plástico, a partir de sondagem com trado holandês.

Sedimentos de fundo de lagos e de leito de cursos d'água foram coletados com amostrador de gravidade do tipo *piston-core* (Foto 6.1.8), do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), ou com equipamentos equivalentes.

FOTO 6.1.8 – Amostragem de sedimento de fundo do lago 2 com equipamento do tipo *piston-core*.

As amostras de solo e sedimentos foram coletadas tanto nas áreas degradadas (ÁREAS I, II, III), quanto na área de referência.

De forma geral, os materiais sólidos coletados foram colocados separadamente em caixas para secagem à temperatura ambiente.

Após secagem, as amostras foram desagregadas, homogeneizadas, pesadas, quarteadas e peneiradas (2 mm).

Os fragmentos mais grosseiros ($>2,0$ mm) foram armazenados para eventual descrição macroscópica (aspecto da amostra) ou microscópica (lupa ou microscópio óptico, após confecção de seções delgadas).

A fração menor que 2,0 mm (terra fina seca ao ar – TFSA) foi dividida em várias subamostras, sendo uma parte moída, peneirada (200 *mesh*) e destinada a análises químicas. A parte restante foi dividida e enviada a diferentes laboratórios para as seguintes análises: granulometria, teor de matéria orgânica, pH, CTC (capacidade de troca catiônica), mineralogia, petrografia e experimentos de extrações.

O fluxograma da Figura 6.1.6 apresenta o andamento geral de preparação e encaminhamento de amostras sólidas.

O Quadro 6.1.1 traz os diferentes tipos de análises efetuadas, bem como os locais onde foram realizadas, métodos e/ou equipamentos.

FIGURA 6.1.6 - Fluxograma de preparo e encaminhamento de amostras sólidas.

QUADRO 6.1.1 - Análises efetuadas em materiais sólidos: parâmetros analisados, laboratórios, métodos e equipamentos utilizados.

Parâmetros analisados	Laboratório	Métodos e/ou equipamentos
Análises químicas: SiO ₂ , TiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , MnO, MgO, CaO, Na ₂ O, K ₂ O, P ₂ O ₅ e elementos-traço	Activation Laboratories Ancaster, Canadá	ICP e ICP-MS (plasma), INAA (ativação neutrônica) e XRF (fluorescência de raios X)
pH (H ₂ O e H ₂ O + KCl)	ESALQ-USP, Piracicaba, SP	EMBRAPA (1997)
Matéria orgânica	ESALQ-USP, Piracicaba, SP	Métodos de WALKLEY-BLACK (1934) e EMBRAPA (1997)
	IGc-USP – São Paulo, SP	Gravimétrico / oxidação com H ₂ O ₂ (10%)
CTC - capacidade de troca catiônica	ESALQ-USP, Piracicaba, SP	Métodos de GILLMAN (1979) e EMBRAPA (1997)
Granulometria	ESALQ-USP, Piracicaba, SP	Método do densímetro de EMBRAPA (1997)
	IGc-USP - São Paulo, SP	Peneiramento e pipetagem - método de SUGUIO (1973) – separação da fração argila
Mineralogia e petrografia	IGc-USP - São Paulo, SP	Difratometria de raios X – método do pó. Difratômetro marca SIEMENS, modelo D-5000. Difratogramas com <i>software</i> EVA
		Petrografia / microscopia óptica – microscópio modelo AXIOPLAN, da ZEISS
Micromorfologia e análises químicas (apenas seções-teste)	IGc-USP - São Paulo, SP	MEV – Microscopia eletrônica de varredura (marca LEO, modelo 440i) e EDS (marca OXFORD)

Análises químicas

As análises de amostras sólidas foram efetuadas no *Activation Laboratories* (ACTLABS), em Ancaster, Canadá. Os métodos utilizados foram: ICP/ICP-MS (plasma), INAA (ativação neutrônica) e XRF (fluorescência de raios X). Os limites de detecção utilizados são apresentados nas Tabelas 6.1.1 e 6.1.2.

TABELA 6.1.1 - Limites de detecção das análises de elementos maiores efetuadas em materiais sólidos no *Activation Laboratories* (Canadá).

Espécie	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO ₂	TiO ₂	P ₂ O ₅
L.D. (%)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,005	0,01

Tabela 6.1.2 - Limites de detecção das análises de elementos traço efetuadas em materiais sólidos no *Activation Laboratories* (Canadá).

Elemento	Pb	Zn	B	Co	Cu	Cr	Ag	Cd	Mo	Ni	Ba	As	Se	U	Zr
L.D. (mg.kg ⁻¹)	5	1	2	1	1	1	0,4	0,5	5	1	1	2	3	1	1

Os resultados das análises químicas foram agrupados em constituintes maiores (em %) e demais elementos (em mg.kg^{-1} ou ppm).

Nas tabelas de resultados, "nd" significa "não detectado", ou seja, constituinte lido cuja concentração encontra-se abaixo do limite de detecção (LD) do método analítico.

Difratometria de raios X

Amostras foram analisadas, após preparação com moagem, por difratometria de raios X – DRX (método do pó), para reconhecimento de sua mineralogia básica. Foi utilizado o difratômetro SIEMENS D5000, do Laboratório de Raios X do Departamento de Mineralogia e Geotectônica (DMG) do IGc-USP, operado com tubo de Cu, radiação $K\alpha$, 40kV, 40mA, varredura 2θ entre 2 e 70° , passo de $0,05^\circ$ e tempo variável (0,5-2 s).

Na interpretação dos difratogramas, foi utilizado o *software* EVA, versão 1997, que conta com fichas de identificação do *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (JCPDS), disponível no DMG-IGc-USP.

Como houve interesse na tentativa de identificar minerais ou grupos de minerais da fração argila, algumas amostras foram analisadas em suas frações totais ($< 2 \text{ mm}$) e fração argila. A separação da fração argila foi efetuada na mesma ocasião da análise granulométrica, realizada no Laboratório de Sedimentologia do IGc-USP.

Essas amostras selecionadas foram analisadas tanto *in natura*, quanto glicoladas (tratamento com etilenoglicol, por pelo menos 12h) e aquecidas (aquecimento em forno a 550°C por pelo menos 2h). Neste caso, os difratogramas foram obtidos na faixa 2θ de $2^\circ - 70^\circ$ para amostras naturais e na faixa $2^\circ - 30^\circ$ para as amostras sujeitas a tratamentos prévios.

Análises granulométricas e de matéria orgânica

As análises granulométricas e de matéria orgânica foram realizadas no Laboratório de Sedimentologia do IGc-USP e no Laboratório de Física dos Solos da ESALQ – USP, em Piracicaba.

Na ESALQ, foi utilizado o método de WALKLEY-BLACK (1934) para determinação de matéria orgânica, e o método do densímetro (GILLMAN, 1979; EMBRAPA, 1997) para análises granulométricas.

Algumas análises granulométricas também foram efetuadas no IGc-USP, pelo método de peneiramento e pipetagem (SUGUIO, 1973), sendo previamente atacadas com H_2O_2 (10%). Por método gravimétrico (pesagem), antes e depois do ataque com H_2O_2 , estimou-se o teor de matéria orgânica.

Foi utilizada a classificação de SHEPPARD (1954) para solos e sedimentos (Figura 6.1.7). No caso de amostras de solo, também foram utilizadas as classes texturais de ESALQ (2000), segundo o teor de argila: até 14,9% = arenosa; 15 – 24,9% = média-arenosa; 25-34,9% = média-argilosa; 35-59,9% = argilosa; 60% ou mais = muito argilosa.

Para as amostras de rochas, foi utilizada a classificação de FOLK (1974).

FIGURA 6.1.7 – Representação de classes texturais de solos/sedimentos pelo diagrama de SHEPPARD (1954).

Determinação de pH e ΔpH

Foram adotados os procedimentos de IAC (1986) e EMBRAPA (1997), onde são adicionados 10 mL (10 cm^3) de solo para 25 mL de líquido (água destilada e solução KCL 1N). A mistura é agitada mecanicamente durante 15 minutos e colocada em repouso por 30 minutos. A leitura do pH é efetuada com potenciômetro previamente aferido com soluções-tampão padrão de pH 4,00 e 7,00.

Para obtenção do ΔpH , foram consideradas as leituras com água destilada e solução com KCl (TAN, 1993).

Determinação de CTC

A capacidade de troca iônica do solo (CTC) foi determinada segundo métodos de GILLMAN (1979) e EMBRAPA (1997), com procedimento que inclui a extração dos cátions, analisando-se quantitativamente a solução extraída quanto aos cátions H^+ , Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ :

$$\text{CTC} = \text{SB (soma de bases)} + [\text{H}^+] + [\text{Al}^{3+}], \quad (1)$$

onde:

SB = soma de bases, em mmol.kg^{-1} ; CTC = capacidade de troca catiônica, em mmol.kg^{-1} ; $[\text{H}^+]$ e $[\text{Al}^{3+}]$ = concentrações nas soluções extraídas.

Procedimentos para extrações

Foram efetuadas extrações sequenciais seletivas em amostras de solos e sedimentos. Os procedimentos consistem, basicamente, da adição de reagentes gradualmente mais agressivos, com intuito de extrair os íons a partir do mais fracamente até o mais intensamente ligado aos materiais sólidos.

A fração de íons extraída com cada reagente é função de parâmetros como pH, temperatura, concentração do reagente e, em alguns casos, incidência de radiação, tipo de aquecimento (microondas, sistema aberto, sistema fechado) etc.

As etapas, frações extraídas, reagentes e condições experimentais utilizadas neste trabalho estão apresentadas, sucintamente, no Quadro 6.1.2, modificadas a partir da literatura.

As frações com íons extraídos compreenderam: I - fracamente ligados; II - trocáveis; III - associados a carbonatos; IV - associados a óxidos de ferro, alumínio e manganês; V - ligados à matéria orgânica; VI - fração residual. Para cada experimento, foram utilizados 2 g de amostra da fração < 2 mm, previamente pesados em balança analítica.

A separação das soluções extraídas foi realizada através de centrifugação. A partir de cada etapa de extração, o reagente seguinte foi adicionado ao resíduo proveniente desta centrifugação, após lavagem do mesmo com 20 mL de água

destilada. As soluções extraídas foram filtradas (0,45µm), acidificadas (HNO₃, até pH < 2), acondicionadas em frascos e, em seguida, analisadas.

QUADRO 6.1.2 – Etapas, frações extraídas, reagentes e condições experimentais utilizadas nas extrações sequenciais seletivas.

Etapa da extração	Fração extraída	Reagentes utilizados e condições de extração: pH, temperatura (T) e tempo de extração
1ª	Fração I - íons dissolvidos na água intersticial (fracamente ligados)	Reagentes: água destilada Condições: pH = 7,0, T = 25°C (ambiente), tempo de extração = 10 min.
2ª	Fração II - íons metálicos trocáveis	Reagentes: acetato de sódio (1M) Condições: pH = 8,2 (hidróxido de sódio diluído ou ácido acético), T = 25°C (ambiente), tempo de extração = 10 min.
3ª	Fração III - íons metálicos associados a carbonatos e sulfetos	Reagentes: acetato de sódio (1M) Condições: pH = 5,0 (ácido acético), T = 25°C (ambiente), tempo de extração = 30 min.
4ª	Fração IV - íons metálicos associados a óxidos / hidróxidos	Reagentes: ditionito de sódio (0,3 M), citrato de sódio (0,175 M) e ácido cítrico (0,025M) Condições: pH = 3,5, T = 96°C, tempo de extração = 1h
5ª	Fração V - íons metálicos associados à matéria orgânica	Reagentes: ácido nítrico (0,02 M), peróxido de hidrogênio (30%) e acetato de amônio (3,2 M) Condições: pH = 2,0, T = 85°C, tempo de extração = 5h

II. Amostras de água (subterrânea, superficial e de chuva) e soluções extraídas

Na área de estudos, foram amostradas e analisadas águas (subterrâneas, superficiais e de chuva) em pontos de coleta estrategicamente localizados.

As análises foram efetuadas tanto *in situ*, quanto em laboratório. No primeiro caso, foram medidos parâmetros como pH, Eh (em mV), temperatura (ambiente e da água), condutividade elétrica (em µS/cm), sólidos dissolvidos totais e alcalinidade.

As análises efetuadas em laboratório incluíram, principalmente, elementos de maior interesse (Pb, Zn e B). Na etapa de avaliação inicial, também foram efetuadas algumas análises de elementos maiores (Na, K, Ca, Mg etc.), elementos-traço (Cu, Cd, Co, Cr, Mo, Ni etc.) e ânions (SO₄²⁻, S²⁻, Cl⁻, HCO₃⁻, CO₃²⁻, NO₃⁻, NO₂⁻ e PO₄³⁻).

A seguir, são apresentados os principais métodos de coleta, preservação, preparação e análise de amostras líquidas, utilizados em todos os levantamentos. Partes específicas, referentes às águas subterrâneas/hidrogeologia, águas superficiais/hidrologia superficial e águas de chuva serão apresentadas nos capítulos 6.6 a 6.10.

Coleta, preparação e preservação/conservação de amostras

Cada tipo de amostra de água foi coletada com amostrador específico: bomba a vácuo ou outro sistema semelhante de sucção no caso de poços de monitoramento; amostrador *bailer* para águas superficiais (córrego da Fazenda Itaqui e lagos); pluviômetro para águas de chuva; garrafa *van Door* para água de lagos; diretamente com frascos no caso de pequenos cursos d'água, ravinhas (enxurrada/escoamento superficial a partir de chuva e efluentes líquidos industriais associados) e nascentes do córrego da Fazenda Itaqui.

As amostras coletadas foram deixadas durante 60 minutos para decantação, separando-se aí a **fração sedimentável**. Em seguida, as **frações não sedimentáveis** foram filtradas a vácuo com membrana filtrante ($0,45\ \mu\text{m}$ - esquema na Figura 6.1.8) e colocadas em recipientes de plástico.

Todas as amostras líquidas filtradas, contendo espécies dissolvidas e colóides, foram conservadas em geladeira ou *freezer*.

A partir da filtração, em algumas amostras foi coletado o resíduo (**material "particulado"**) para eventuais análises.

A fim de se evitar quaisquer contaminações, os recipientes foram submetidos a tratamentos prévios segundo as recomendações de DURST (1979).

FIGURA 6.1.8 - Esquema de filtração de amostras líquidas.

Análises *in situ*

As análises efetuadas *in situ* foram realizadas com aparelhos ou *kits* portáteis, uma vez que fatores como temperatura e contato com gases da atmosfera poderiam alterar os resultados dos parâmetros que se pretendia medir.

As medidas de pH e Eh foram efetuadas, potenciometricamente, com equipamento ORION 290A, após calibrações com soluções-tampão com pH 4,01, 7,00 e 10,01, e Eh 97mV e 263mV. A condutividade elétrica foi medida com condutivímetros ORION 295. Esses equipamentos da ORION dispõem de sensor de temperatura e normalizam as medidas para 25°C.

A alcalinidade, capacidade de uma solução de neutralizar ácidos num dado pH de viragem, foi determinada no campo por titulação com ácido sulfúrico. Nas soluções avermelhadas com alta turbidez, freqüentes nas amostras coletadas, não foi possível analisar a alcalinidade.

Análises em laboratório

Na etapa inicial do projeto, visando a caracterização da qualidade das águas da área de estudos, foram efetuadas amostragens mais intensivas. As amostras coletadas foram enviadas para análises completas no *Activation Laboratories Ltd.* (ACTLABS), em Ancaster, Canadá, e no QUIMLAB, em São José dos Campos, SP.

A partir dessas investigações iniciais, alguns pontos foram monitorados durante um ano, com espaçamento de coletas em torno de dois meses. Neste caso, foram analisados, principalmente, Pb, Zn e B, de maior interesse à pesquisa. Estas análises foram efetuadas no QUIMLAB, no qual também foram analisadas as soluções de experimentos de extrações seqüenciais (Pb e Zn).

Para análises expeditas, foram utilizados os laboratórios do Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas – CEPAS, do IGc-USP.

O Quadro 6.1.3 apresenta as técnicas analíticas utilizadas em cada laboratório.

QUADRO 6.1.3 - Métodos analíticos empregados na determinação de espécies químicas em amostras de água (superficiais, subterrâneas e de chuva) e soluções.

Métodos analíticos	Espécies químicas
ICP/ICP-MS (plasma)*	Elementos maiores e traço
Espectrofotometria de absorção atômica (EAA) e forno de grafite**	Pb e Zn
Potenciometria**	B
<i>Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> (EATON <i>et al.</i> , 1995)***	Elementos maiores e traço (Cu, Ni, Cr, Ba), ânions
Fotometria de chama****	Na, K e Li

* = ACTLABS (Ancaster, Canadá); ** = análises de maior interesse, efetuadas no QUIMLAB (São José dos Campos, SP); *** = análises eventuais, efetuadas no QUIMLAB; **** = análises expeditas de controle, efetuadas no Laboratório de Hidrogeoquímica III (CEPAS-IGc-USP).

Nos casos de discrepâncias entre resultados referentes ao mesmo local de coleta mas em períodos diferentes, foram efetuadas novas amostragens e/ou reanálises. Em algumas situações, como em casos de vandalismo de poços de monitoramento, as amostras foram desconsideradas para análise.

As Tabelas 6.1.3 e 6.1.4 apresentam os limites de detecção dos métodos empregados no ACTLABS, Canadá.

TABELA 6.1.3 - Limites de detecção das análises de elementos maiores em amostras de água efetuadas no *Activation Laboratories* (Canadá).

Elemento	Na	K	Mg	Ca	Al	Si	Fe	Mn	Ti
L.D. ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	20	10	1	50	2	50	5	0,1	0,1

TABELA 6.1.4 - Limites de detecção das análises de demais elementos em amostras de água efetuadas no *Activation Laboratories* (Canadá).

Elemento	B	Pb	Zn	Ag	Cd	Co	Cu	Cr	Hg	Mo	Ni	Ba	As	Se	Zr
L.D. ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	1	0,1	0,5	0,2	0,01	0,005	0,2	0,5	0,2	0,1	0,3	0,1	0,03	0,2	0,03

Nas Tabelas 6.1.5 a 6.1.8, são apresentados os limites de detecção para as análises de elementos maiores, ânions, Pb, Zn e B e demais elementos traço, em amostras de água, efetuadas no QUIMLAB.

TABELA 6.1.5 - Limites de detecção de elementos maiores das análises efetuadas em amostras de água no QUIMLAB, SP.

Elemento	Na	K	Mg	Ca	Al	Si	Fe	Mn	Ti
L.D. ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	2	1	0,1	1	30	100	5	2	90

TABELA 6.1.6 - Limites de detecção de ânions das análises efetuadas em amostras de água no QUIMLAB, SP.

Elemento	S^{2-}	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-	F^-
L.D. (mg.L^{-1})	2	1	0,1	1	0,1

TABELA 6.1.7 - Limites de detecção de Pb, Zn e B das análises efetuadas em amostras de água no QUIMLAB, SP.

Elemento	Pb	Zn	B
L.D. ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	1	0,1	25

TABELA 6.1.8 - Limites de detecção de demais elementos das análises efetuadas em amostras de água no QUIMLAB, SP.

Elemento	Cu	Cr	Ni	Ba
L.D. ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	0,2	0,5	0,3	0,1

III. Materiais e resíduos industriais

Foram efetuadas amostragens de materiais e resíduos de indústrias cerâmicas, sendo os resíduos segundo a norma ABNT-NBR-10007 (ABNT, 1987d).

As análises foram efetuadas no GREENLAB (RS) e ACTLABS (Canadá). A Tabela 6.1.9 apresenta os limites de detecção utilizados pelo GREENLAB para análises de esmaltes, corantes e resíduos sólidos industriais. Para as análises efetuadas no ACTLABS, foram considerados os mesmos limites apresentados nas Tabelas 6.1.1 a 6.1.4.

TABELA 6.1.9 - Métodos analíticos empregados pelo GREENLAB (RS) na determinação de espécies químicas em amostras de materiais industriais (esmaltes, corantes, resíduos).

Parâmetro	Método	Limite de Detecção
Alumínio (mg.kg ⁻¹)	E.A.A. – Forno de Grafite	0,001
Bário (mg.kg ⁻¹)	E.A.A. – Forno de Grafite	0,008
Boro (mg.kg ⁻¹)	Ácido Carmínico	0,60
Cádmio (mg.kg ⁻¹)	E.A.A. – Forno de Grafite	0,0001
Cálcio (mg.kg ⁻¹)	E.A.A. – Chama	0,001
Chumbo (mg.kg ⁻¹)	E.A.A. – Forno de Grafite	0,001
Cobalto (mg.kg ⁻¹)	E.A.A. – Forno de Grafite	0,005
Cromo Total (mg.kg ⁻¹)	E.A.A. – Forno de Grafite	0,001
Ferro Total (mg.kg ⁻¹)	E.A.A. – Chama	0,005
Fluoreto (mg.kg ⁻¹)	SPADNS	0,20
Magnésio (mg.kg ⁻¹)	E.A.A. – Chama	0,001
Manganês (mg.kg ⁻¹)	E.A.A. – Chama	0,003
Molibdênio (mg.kg ⁻¹)	E.A.A. – Forno de Grafite	0,006
Níquel (mg.kg ⁻¹)	E.A.A. – Forno de Grafite	0,002
Potássio (mg.kg ⁻¹)	E.A.A. – Chama	0,001
Silício (mg.kg ⁻¹)	E.A.A. – Forno de Grafite	0,01
Sódio (mg.kg ⁻¹)	E.A.A. – Chama	0,005
Titânio (mg.kg ⁻¹)	E.A.A. – Forno de Grafite	0,001
Zinco (mg.kg ⁻¹)	E.A.A. – Chama	0,001

6.2. Geologia local e processos da dinâmica superficial

6.2.1. Materiais e métodos específicos

Foram efetuadas atividades de caracterização das unidades litoestratigráficas presentes na área de estudos, compreendendo: localização dos pontos com descrição e amostragem de rochas, solos e sedimentos associados; breve descrição lito-faciológica; caracterização e medição de estruturas primárias e tectônicas; elaboração de desenhos esquemáticos (*croquis*) e registro fotográfico.

Dentre as amostras coletadas, algumas foram selecionadas para descrição macro e microscópica, bem como para demais análises.

A descrição macroscópica contemplou a caracterização de aspectos como cor, granulação, estruturas sedimentares, mineralogia dos grãos e classificação litológica dos sedimentos, auxiliada por análises granulométricas. Na classificação litológica, foi adotada a proposta de FOLK (1974).

A confecção de seções delgadas foi efetuada no IGc-USP, possibilitando análise petrográfica de algumas amostras. A laminação foi realizada sem a colocação de lamínula, para a eventualidade de análises posteriores por microscopia eletrônica de varredura - MEV.

As descrições petrográficas foram efetuadas no Laboratório de Microscopia Óptica do Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental (GSA) do IGc-USP, com microscópio óptico AXIOPLAN, da ZEISS.

Estereogramas e rosáceas foram confeccionados com *software* STERONET.

Os processos da dinâmica superficial foram descritos e interpretados segundo levantamentos de campo.

6.2.2. Geologia local

Formação Corumbataí – descrição geológica

Rochas paleozóicas da Formação Corumbataí são utilizadas como matéria-prima para as indústrias cerâmicas, sendo extraídas em minas a céu aberto (Foto 6.2.1).

Afloram na região dos lagos de Santa Gertrudes, sendo, basicamente, pelitos (argilitos, siltitos e folhelhos) de coloração predominantemente arroxeada e marrom-

avermelhada, por vezes fraturados, sendo que as porções mais fraturadas sofrem alteração intempérica mais rapidamente (Fotos 6.2.2 a 6.2.4).

Ao microscópio óptico, nota-se laminação plano-paralela, com matriz predominantemente fina, formada essencialmente por argilominerais (70 - 90%), além de quartzo (<1% a cerca de 20%), feldspato (<1% a 5%), materiais opacos (<1% a 10%) e, eventualmente, calcita e micas (em geral, menor que 5%).

Mais raramente, ocorrem tipos com coloração esverdeada (Foto 6.2.5).

Óxidos avermelhados aparecem como minerais secundários, notadamente nas amostras mais alteradas intempericamente (Foto 6.2.6).

Através de DRX, verificou-se mineralogia básica de quartzo, mica (10Å) e caulinita (7Å). Eventualmente, há feldspato, hematita, goethita e calcita.

FOTO 6.2.1 - Mina a céu aberto para extração de rochas pelíticas da Formação Corumbataí, utilizadas como matéria-prima para as indústrias cerâmicas.

FOTO 6.2.2 - Pelitos marrom-avermelhados, fraturados, da Formação Corumbataí – afloramento R-COR-6.

FOTO 6.2.3 - Amostras de pelitos roxo-avermelhados, não fraturados, da Formação Corumbataí - amostra R-COR-1-1.

FOTO 6.2.4 - Amostra de pelitos fraturados da Formação Corumbataí, alterados da intempericamente - amostra R-COR-1-2. FOTO 6.2.5 - Amostras de pelitos esverdeados da Formação Corumbataí - amostra R-COR-9-1.

De forma geral, segundo descrições macroscópicas e de campo, predominam na região os tipos argilito e lamito pela classificação de FOLK (1974).

Quanto às estruturas sedimentares, predominam laminação e estratificação plano-paralela, mas também foram observadas concreções discóides a esferoidais, estruturas do tipo *linsen* e sedimentos rítmicos (pelitos/siltitos arenosos).

Embora predominem amplamente rochas pelíticas, também foram observadas variações faciológicas, ocorrendo camadas arenosas, de granulação mais grossa, intercaladas aos pelitos (Fotos 6.2.7 a 6.2.9). A partir de análises granulométricas (Tabela 6.2.1), estes tipos foram classificados em arenitos argilosos (amostra R-COR-1), segundo FOLK (1974).

FOTO 6.2.6 - Pelito com argilominerais e quartzo, de textura fina. Transição de porção mais alterada, de coloração laranja-avermelhada (parte inferior da foto), rica em óxidos férricos, para nível mais preservado (parte superior). Amostra R-COR-9-2, Fm. Corumbataí. Microscópio óptico, ND, 2,5x.

FOTO 6.2.7 - Camada pré-dominantemente arenosa, de níveis pelíticos, de granulação anterior, com coloração amarelada (no mais fina e coloração marrom no centro da foto), intercalada a (parte inferior, na foto), contendo pelitos arroxeados, de granulação mais fina (níveis inferior e superior na foto) da Fm. Corumbataí - afloramento R-COR-2.

FOTO 6.2.8 - Intercalações de níveis pelíticos, de granulação anterior, com coloração marrom (parte superior) e níveis argiloso-siltico-arenosos, contendo numerosos grãos de quartzo (parte superior). Amostra R-COR-2-3, Fm. Corumbataí, microscópio óptico, NC, 5x.

FOTO 6.2.9 - idem Foto 6.2.8, com ND. Amostra R-COR-2-3 - Formação Corumbataí.

TABELA 6.2.1 - Resultados de análises granulométricas efetuadas em pelitos da Formação Corumbataí, coletadas na área de estudos em Santa Gertrudes, SP.

Amostra*	% areia	% silte	% argila
R-COR-2-1 (nível arenoso, amarelado)	70	8	22
R-COR-2-2 (nível argiloso inferior, roxo-avermelhado)	4	12	84

* afloramento R-COR-2.

Outra variação observada foi a presença de carbonatos em algumas amostras. Neste caso, são intercalações de níveis de pelitos silicáticos com níveis quartzo-carbonáticos. Nos primeiros, há argilominerais (85 - 90%), quartzo (3 - 10%), calcita (<5%), opacos (<5%) e feldspato (<3%). Nas porções carbonáticas, há até 50% de carbonatos, até cerca de 40% de quartzo e cerca de 10% de opacos.

Essas variações corroboram com as descrições da Formação Corumbataí presentes na literatura, inclusive a presença de carbonatos.

De forma geral, a granulação naturalmente argilosa das litologias e solos de alteração da Formação Corumbataí é fator condicionante da retenção de metais potencialmente contaminantes associados à atividade industrial (Pb, Zn etc.). Variações na litologia e nos solos (camadas arenosas, carbonáticas etc.) poderão ocasionar modificações locais das condições hidrogeológicas, com implicações ambientais.

Formação Corumbataí – solos associados

Quanto aos solos da região, predominam os lateríticos*, com cores avermelhadas típicas, resultantes da alteração dos pelitos da Formação Corumbataí (Foto 6.2.10). Do topo para a base, em um perfil de cerca de 3-4 m, tem-se**:

- I - Horizonte marrom-escuro, com partes de coloração marrom-escuro a preta, com maior conteúdo comparativo de matéria-orgânica, pouco espesso, em geral < 15 cm.
- II - Horizonte marrom-avermelhado claro, comparativamente menos argiloso que os demais, com espessura entre 0,8m e 2,0m.
- III - Horizonte marrom-avermelhado escuro, comparativamente mais argiloso que os demais, com espessura entre 0,65m e 1,65m. Há um nível de transição (III-A) para o horizonte situado logo abaixo, com espessura entre 0,15 e 0,45m, onde a tonalidade de marrom-avermelhado é a mais escura do perfil de solo.
- IV - Horizonte vermelho-arroxeadado claro, correspondendo à rocha alterada da Fm. Corumbataí, com estruturas primárias visíveis, notadamente nas partes inferiores (espessura $\geq 1,0$ m).

Horizontes:

- ◀ I
- ◀ II
- ◀ III
- ◀ III-A
- ◀ IV

FOTO 6.2.10 –
Solo laterítico, de
alteração da Fm.
Corumbataí,
típico da região.

* = predomínio de processos de monossilificação e alitização, com formação de caulinita e óxidos/hidróxidos, respectivamente; ** definição informal de horizontes.

Em algumas localidades, há níveis lateríticos notadamente ferruginosos (Fotos 6.2.11 e 6.2.12). Neste caso, são notadas em seções polidas, ao microscópio óptico, nítidas concreções nodulares (oólitos e pisólitos) goethíticas (Foto 6.2.13).

FOTO 6.2.11 - Horizonte com lateritas ferruginosas parcialmente desagregadas pela ação de águas pluviais, aflorante em ravina, entre indústria cerâmica e o lago 2 (ponto R-COR-3).
FOTO 6.2.12 - Amostras de lateritas ferruginosas coletadas no afloramento do ponto R-COR-3 (Foto anterior).
FOTO 6.2.13 - Concreções nodulares oolíticas goethíticas (amostra R-COR-3-1). Seção polida, ND, aumento no microscópio de 2,5x.

Esses solos de alteração, embora presentes em Santa Gertrudes segundo perfis didáticos e bem desenvolvidos, não são de grande interesse a este trabalho, exceto como definição de uma referência (*background*) em áreas não impactadas. Isto deve-se ao fato de que os resíduos das indústrias cerâmicas foram dispostos ou lançados sobre terrenos aluvionares ou áreas de aterros, nos quais predominam sedimentos ou solos inconsolidados - estes serão descritos no Capítulo 6.3.

Intrusivas básicas e transição para a Formação Corumbataí

Na trincheira do ponto POLI-L4, localizado na porção centro-sudeste da área de estudos (ÁREA II), foi verificado material siltico-argiloso acinzentado, em contato com rochas pelíticas marrom-avermelhadas da Formação Corumbataí (Fotos 6.2.14 e 6.2.15).

Trata-se de material de transição, alterado intempericamente, próximo ao contato entre os pelitos da Formação Corumbataí e o *sill* de diabásio subjacente. Esta situação também foi observada nas descrições de relatórios técnicos de poços tubulares ("siltitos e folhelhos acinzentados"), segundo DAEE & PRODESP (2000) e CEDASA (2001).

T3377

No ponto E-INCO, localizado nas proximidades na indústria cerâmica INCOPIOS (parte SE da área de estudos - ÁREA III), a partir de um evento de erosão desencadeado por chuvas de verão e ausência de cobertura vegetal, foi possível verificar contato da Formação Corumbataí com rochas ígneas intrusivas básicas (Fotos 6.2.16 e 6.2.17). Trata-se do único ponto em que foi possível observar este contato litológico na área de estudos.

Em amostra fresca coletada, foi observada ao microscópio petrográfico textura subofítica, com ripas de plagioclásio e cristais de clinopiroxênio.

FOTO 6.2.14 – Detalhe em trincheira do ponto POLI-L4 (ÁREA II, entre a indústria Poliglass e o lago 4), com material siltico-argiloso acinzentado subjacente a solo de alteração de pelitos marrom-avermelhados (Fm. Corumbataí).

FOTO 6.2.15 - Pelito com argilomineais (70-80%) e grãos de quartzo (5-10%), além da presença de material fibroso e corpúsculos arredondados de coloração preta (material orgânico). Amostra POLI-L4-B. Micr.óptico, ND, 5x.

FOTO 6.2.16 - Afloramento alterado intempericamente, com corpo intrusivo de rocha ígnea básica, de coloração acinzentada, em contato com solo de alteração de pelitos marrom-avermelhados da Fm. Corumbataí (contato de atitude N45E/60SE), ÁREA III.

FOTO 6.2.17 - Detalhe da foto anterior, em afloramento alterado intempericamente, com corpo intrusivo de rocha ígnea básica, de coloração acinzentada, em contato com solo de alteração de pelitos marrom-avermelhados da Formação Corumbataí.

Geologia estrutural

O acamamento (laminação e estratificação plano-paralela) da Formação Corumbataí é de baixo ângulo, com caimento predominante para NW (Figura 6.2.1), seguindo a tendência natural da borda leste da bacia do Paraná. Também são notadas estruturas rúpteis nos pelitos da Formação Corumbataí, basicamente fraturas (Figura 6.2.2).

FIGURA 6.2.1 - Projeção polar de acamamento (laminação e estratificação plano-paralela) da Formação Corumbataí, com caimentos predominantes para NW, com baixo ângulo.

FIGURA 6.2.2 - Rosácea com direções predominantes de caimentos de fraturas medidas em pelitos da Formação Corumbataí (total de medidas: 163).

6.2.3. Processos da dinâmica superficial

Dentre os processos da dinâmica superficial de interesse aos estudos ambientais, destacam-se na área de estudos: erosão, transporte e deposição de sedimentos, notadamente por escoamento superficial; assoreamento e inundação. Esses processos podem desencadear alterações significativas na qualidade das águas, solos e sedimentos, principalmente pela potencialidade em transportar, dispor e/ou reter contaminantes relacionados aos resíduos das indústrias cerâmicas.

Esta situação fica mais evidente nos meses chuvosos de verão (Fotos 6.2.18 e 6.2.19), com a intensificação dos processos por eventos de chuvas fortes.

FOTO 6.2.18 – Escoamento superficial, intensificado por águas pluviais. Ponto R-COR-2.

FOTO 6.2.19 – Escoamento superficial intenso e formação de feições erosivas. Ponto E-INCO.

ÁREA I e arredores

Ao norte da ÁREA I, no terreno entre as indústrias cerâmicas e o lago 2, há atuação de processos erosivos, com evolução das feições, de montante para jusante, desde sulcos até ravinas (Fotos 6.2.20 a 6.2.23). Fica evidente a ausência de práticas conservacionistas e sua consequência direta é o assoreamento do lago 2 e cursos d'água a jusante, como se verifica nas Fotos 6.2.24 a 6.2.27.

FOTO 6.2.20 – Vista geral do terreno entre as indústrias cerâmicas e o lago 2, com o desenvolvimento de feições erosivas.

FOTO 6.2.21 – Formação de sulcos, em terreno entre indústrias cerâmicas e o lago 2. FOTO 6.2.22 – Evolução da foto anterior, com sulcos e uma ravina central. FOTO 6.2.23 – Evolução da foto anterior, com ravinas e sulcos.

Foto 6.2.24 – Início de processo erosivo em área de estocagem de argila. Foto 6.2.25 – Continuação da foto anterior, com lago 2 a jusante.

A eficácia dos processos erosivos pôde ser evidenciada pela rapidez do assoreamento do lago 2, notadamente, nos meses mais chuvosos, como se observa nas Fotos 6.2.26 e 6.2.27.

FOTO 6.2.26 – Entrada da ravina 2, trazendo áreas pluviais e sedimentos ao lago 2 – ponto RAV2-L2.

FOTO 6.2.27 – Mesmo local da foto anterior, apenas duas semanas depois, com marcante assoreamento.

Área de estudos de detalhe

A área de estudos de detalhe, situada mais a leste na ÁREA I, é resultado de sedimentação e assoreamento devido à erosão a montante. Estes processos, aliados à configuração topográfica local, com pequenas elevações praticamente confinando o pacote sedimentar gerado, possibilitam a formação de um aquífero livre local (Desenhos 2 e 3, ANEXO A).

Esta situação foi acelerada pela existência de antiga canaleta de despejo de efluentes industriais que, sendo uma feição linear e sendo posteriormente abandonada, evoluiu para uma boçoroca, inclusive com ocorrência de *piping* (Fotos 6.2.28 e 6.2.29).

Fica evidente a atuação em conjunto de diversos processos e condicionantes na configuração atual deste local: topografia; processos da dinâmica superficial, acelerados ou induzidos pela ação humana e, finalmente, o próprio lançamento e deposição de resíduos industriais.

FOTO 6.2.28 – Vista parcial de boçoroca (altura = 6m; largura = 3m; comprimento = 80m) em local com antiga canaleta de lançamento de efluentes industriais.

FOTO 6.2.29 - *Piping* associado à boçoroca da foto anterior, em local imediatamente a montante da área de estudos de detalhe.

ÁREA II e arredores

Na área II, entre a antiga indústria Poliglass e o córrego da Fazenda Itaqui, passando pelos lagos 3, 4 e do pesqueiro, embora em menor intensidade, também tem atuado processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos, e assoreamento (Fotos 6.2.30 e 6.2.31).

É freqüente a ocorrência de inundações nos períodos mais chuvosos, inclusive com transbordamento dos lagos 3, 4 e 5, que, eventualmente, misturam suas águas. Esses processos, segundo moradores locais, resultaram algumas vezes em mortandade de peixes dos lagos, pela atuação de águas portadoras de contaminantes provenientes do terreno da indústria Poliglass, situada a montante.

FOTO 6.2.30 – Vista de área aterrada, entre a indústria Poliglass, e os lagos 3, 4 e 5 (no vale). Notar coloração avermelhada do lago 3.

FOTO 6.2.31 – Mesmo local da foto anterior, com desenvolvimento de feições erosivas.

ÁREA III e arredores

Tal qual se observou na Foto 6.1.4, na ÁREA III atuam de maneira intensiva esses processos da dinâmica superficial, amplificados pelo avanço de aterros sem a contrapartida de medidas conservacionistas. A Foto 6.2.32 mostra o assoreamento praticamente completo do lago 7, como resultado de erosão a montante, em áreas aterradas pelas indústrias cerâmicas (Foto 6.2.33).

FOTO 6.2.32 – Assoreamento no lago 7 , FOTO 6.2.33 – Talude instabilizado e erodido em aterro de indústria cerâmica. Local situado a jusante de uma das nascentes do córrego industrial (principalmente cacos de pisos cerâmicos) e entulho de construção.

Fraturas e fluxo de água

Embora o entendimento estrutural das fraturas subverticais dos pelitos requiera um trabalho mais minucioso de mapeamento de campo, pode-se afirmar que essas estruturas também aparecem como um dos condicionantes dos processos atuantes, influenciando nos fluxos de água subterrâneos, pelo aumento da permeabilidade, e no escoamento superficial, quando com direções das fraturas paralelas ou subparalelas aos gradientes topográficos. Este processo pode ser observado na Foto 6.2.34.

FOTO 6.2.34 – Escoamento superficial – notar a interação entre os fatores fratura, topografia e escoamento das águas. Ponto R-COR-3.

6.3. Solos e sedimentos associados

6.3.1. Matérias e métodos específicos

Foi priorizada a amostragem de solos situados em terrenos aluvionares ou áreas de aterros, pois nestes locais foram dispostos, inadequadamente, resíduos de indústrias cerâmicas, por descarte simples, ou depositados, após transporte desde as fontes de poluição, por processos da dinâmica superficial. Como se situam em terrenos recentes, não consolidados, referem-se a solos imaturos a partir das definições de ABNT (1989) e SUGUIO (1998).

A amostragem foi efetuada com trado manual, aproveitando a perfuração para instalação dos poços de monitoramento. Após a coleta, algumas amostras foram selecionadas para análises diversas, seguindo o roteiro da Figura 6.1.6.

Durante as sondagens a trado, dada a não observação de grandes diferenças visíveis no aspecto, cor e diferenciação em horizontes, foram coletadas amostras correspondentes a intervalos de profundidade de 15 em 15 cm. Neste caso, foram adotados sufixos -1, -2, -3 etc., sendo -1 para a amostra mais superficial e assim por diante (exemplo: PM-16-1 = amostra no intervalo de profundidade de 0 a 0,15m; PM-16-2 = 0,15-0,30m etc.). A última amostra necessariamente foi coletada em zona saturada.

Visando a caracterização de aspectos mais específicos, para algumas das amostras, procurou-se separar três porções: uma tipicamente de zona saturada (abaixo do nível d'água, com sufixo C na identificação da amostra), outra da parte mais superficial (da superfície à profundidade de 15 cm, com sufixo A), além de uma porção intermediária (acima do nível d'água, com sufixo B), que coincide possivelmente com a zona de franja capilar e/ou com a zona de oscilação do nível d'água (exemplo, para o poço de monitoramento número 3: PM-3A, PM-3B e PM-3C).

Nos casos em que a recuperação de amostras na zona saturada (abaixo do nível d'água) foi dificultada por seu caráter friável ou pastoso, a última fração analisada correspondeu, necessariamente, a uma amostra composta, retirada da porção saturada.

Entre as amostras selecionadas, está um conjunto coletado na área de referência (PM-ZERO); vários conjuntos pertencentes à área de estudos de detalhe (ÁREA I); e um conjunto pertencente à ÁREA II, este visando avaliar a influência da indústria Poliglass.

A localização dos pontos amostrados está no Desenho 1 (ANEXO A).

A área de estudos de detalhe foi priorizada, pois nela foram detectados, nos levantamentos iniciais, elevados teores de chumbo e outros elementos contaminantes ou poluentes.

Foram efetuadas análises químicas, granulométricas, de pH e CTC. Algumas amostras também foram selecionadas para experimentos de extração seqüencial.

6.3.2. Análises efetuadas

I. Área de referência

A seguir são apresentados os resultados das análises efetuadas na área de referência. As frações das amostras PM-ZERO coletadas são: PM-ZERO-1 (solo avermelhado, mais superficial; profundidade até 0,15m); PM-ZERO-2 (horizonte laterítico, vermelho-alaranjado, profundidade entre 0,15 e 0,30m); PM-ZERO-3 (solo avermelhado; profundidade entre 0,30 e 0,45m); PM-ZERO-4 (solo avermelhado saturado, abaixo no nível d'água; profundidade entre 0,45 e 0,60m).

Análises químicas

TABELA 6.3.1 - Resultados de análises químicas - elementos maiores (%), efetuadas em amostras de solo coletadas na área de referência (amostragem a cada 15cm).

Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Perda ao fogo	Total
PM-ZERO-1	32,90	23,78	22,08	0,149	0,21	0,11	0,07	0,09	4,869	0,21	15,52	99,98
PM-ZERO-2	30,73	22,25	25,95	0,168	0,17	0,06	0,07	0,06	7,077	0,38	13,50	100,41
PM-ZERO-3	39,21	20,61	21,79	0,111	0,18	0,10	0,06	0,07	6,064	0,12	11,33	99,64
PM-ZERO-4	39,92	19,80	21,42	0,141	0,20	0,09	0,09	0,09	6,475	0,14	11,93	100,29

TABELA 6.3.2 - Resultados de análises químicas – demais elementos analisados (em mg. kg⁻¹), efetuadas em amostras de solo coletadas na área de referência (amostragem a cada 15cm).

Amostra	Pb	Zn	Ni	Cu	Ag	Cd	Ba	Co	Cr	Mo	Zr	B	As	Se	U
PM-ZERO-1	40	92	25	132	0,7	nd	70	24	37	nd	353	15,4	3	5	nd
PM-ZERO-2	31	105	17	85	0,7	nd	58	36	37	nd	399	9,1	5	nd	nd
PM-ZERO-3	32	92	22	86	nd	nd	62	29	66	nd	390	16,6	3	nd	nd
PM-ZERO-4	34	93	23	93	0,8	nd	87	29	62	nd	307	15,4	4	nd	nd

Análises de pH, CTC e de matéria orgânica

TABELA 6.3.3 - Resultados de análises de pH, CTC (capacidade de troca catiônica) e teor de matéria orgânica em amostras coletadas na área de referência.

Amostra	pH (H ₂ O)	pH (H ₂ O + KCl)	Δ pH	Matéria orgânica (%)	CTC (mmol. kg ⁻¹)
PM-ZERO-1	6,9	5,7	+ 1,2	1,2	93,2
PM-ZERO-2	7,3	6,1	+ 1,2	0,9	111,2
PM-ZERO-3	6,6	5,5	+ 1,1	1,0	82,2
PM-ZERO-4	7,2	5,6	+ 1,6	0,7	82,1

Análises granulométricas

TABELA 6.3.4 - Resultados de análises granulométricas em amostras coletadas na área de referência.

Amostra	areia (%)	silte (%)	argila (%)	Classificação de SHEPPARD	Classificação de ESALQ (2000)
PM-ZERO-1	28,8	22,2	49,0	Argila arenosa	Argilosa
PM-ZERO-2	33,5	24,6	41,9	Argila siltico- arenosa	Argilosa
PM-ZERO-3	31,3	26,2	42,5	Argila siltico- arenosa	Argilosa
PM-ZERO-4	27,5	26,5	45,9	Argila siltico- arenosa	Argilosa

Difratometria de raios X

QUADRO 6.3.1 – Resultados de análises por difratometria de raios X (DRX).

Local	Amostra	Mineralogia (Grupos de minerais)
Área de de referência (PM-ZERO)	PM-ZERO-1	Quartzo, illita, caulinita
	PM-ZERO-2	Quartzo, illita, caulinita, hematita/goethita
	PM-ZERO-3	Quartzo, illita, caulinita
	PM-ZERO-4	Quartzo, illita, caulinita, feldspato

As análises indicam solo de textura argilosa, com elevado teor de Al e Fe, ΔpH positivo, CTC entre 82,1 e 111,2 mmol/kg e mineralogia composta basicamente por quartzo, illita e caulinita. O nível d'água na época de coleta situava-se a 0,45m de profundidade.

II. Área de estudos de detalhe

Na área de estudos de detalhe, foram analisadas amostras coletadas na perfuração dos seguintes poços: PM-3, PM-5, PM-15, PM-16, PM-17, PM-21, PM-22, PM-24 e PM-26.

Para os pontos PM-16, PM-17, PM-21 e PM-24, foram analisadas amostras a cada 15 cm. No ponto PM-5, foram analisadas das porções A, B e C. No ponto PM-3, foram coletadas amostras dos dois tipos, através de sondagens situadas uma ao lado da outra (PM-3 e PM-3'), distantes cerca de 10 cm.

A partir da constatação, nas análises iniciais, de que as concentrações mais elevadas estão nos níveis mais profundos amostrados, abaixo do nível d'água, também foram analisadas as porções C dos pontos PM-15 e PM-26.

Os resultados são apresentados a seguir.

Análises químicas

TABELA 6.3.5 - Resultados de análises químicas - elementos maiores (%), efetuadas em amostras de solo coletadas na área de estudos de detalhe (amostras a cada 15cm).

Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Perda ao fogo	Total
PM-3'-1	44,57	20,82	16,01	0,167	0,61	0,28	0,16	1,00	4,501	0,15	11,08	99,34
PM-3'-2	43,25	21,47	16,79	0,122	0,52	0,19	0,13	0,77	4,714	0,15	11,68	99,78
PM-3'-3	49,13	20,21	13,59	0,123	0,72	0,23	0,18	1,28	3,688	0,14	10,40	99,68
PM-3'-4	46,89	20,51	14,44	0,143	0,70	0,41	0,20	1,12	4,036	0,13	10,63	99,21
PM-16-1	51,72	16,98	14,1	0,15	0,66	0,24	0,19	1,06	4,71	0,12	10,08	100,01
PM-16-2	52,56	17,75	12,54	0,15	0,77	0,21	0,23	1,26	3,38	0,12	10,08	99,05
PM-16-3	52,54	18,46	12,62	0,11	0,77	0,20	0,22	1,22	3,42	0,13	10,25	99,94
PM-16-4	49,63	17,86	14,14	0,12	0,62	0,22	0,19	0,98	4,27	0,14	10,76	98,93
PM-17-1	59,59	16,84	12,08	0,11	0,26	0,12	0,08	0,20	1,03	0,09	10,21	100,61
PM-17-2	66,68	16,36	4,37	0,12	0,52	0,17	0,12	1,22	1,39	0,06	9,90	100,91
PM-17-3	68,02	16,19	3,66	0,13	0,61	0,15	0,15	1,56	0,98	0,06	9,25	100,76
PM-17-4	66,71	16,53	4,77	0,12	0,60	0,14	0,16	1,19	0,93	0,07	9,71	100,93
PM-17-5	59,45	14,45	11,03	0,13	0,96	0,20	0,17	1,52	0,81	0,18	10,30	99,2
PM-17-6	62,11	16,11	6,92	0,18	0,90	0,27	0,17	1,58	1,08	0,08	10,16	99,56
PM-21-1	46,54	20,70	15,21	0,116	0,64	0,21	0,15	1,06	4,185	0,14	11,01	99,94
PM-21-2	42,26	22,22	16,49	0,256	0,56	0,25	0,13	0,82	4,376	0,15	12,13	99,65
PM-21-3	55,37	18,10	11,24	0,100	0,90	0,26	0,26	1,82	2,838	0,12	8,87	99,86
PM-21-4	44,80	21,18	15,75	0,159	0,64	0,28	0,16	1,03	4,239	0,13	11,23	99,61
PM-22-1	53,48	18,79	11,27	0,139	0,74	0,32	0,20	1,24	2,972	0,11	9,92	99,18
PM-22-2	48,29	20,04	14,17	0,114	0,64	0,18	0,15	1,10	4,348	0,13	10,41	99,58
PM-22-3	53,22	19,18	11,28	0,134	0,85	0,20	0,24	1,80	1,987	0,11	10,35	99,37
PM-24-1	36,68	23,38	20,99	0,166	0,41	0,20	0,13	0,20	5,578	0,13	12,44	100,31
PM-24-2	49,58	17,17	14,42	0,098	0,91	0,52	0,33	1,05	2,742	0,41	12,09	99,34
PM-24-3	50,96	16,82	14,84	0,108	0,83	1,12	1,02	1,72	1,872	0,12	8,82	97,22
PM-24-4	47,78	17,37	15,52	0,106	0,98	0,98	0,58	1,42	2,343	0,11	9,61	96,80

TABELA 6.3.6 - Resultados de análises químicas – demais elementos analisados (em mg. kg⁻¹), efetuadas em amostras de solo coletadas na área de estudos de detalhe (amostragem a cada 15cm).

Amostra	Pb	Zn	Ni	Cu	Ag	Cd	Ba	Co	Cr	Mo	Zr	B	As	Se	U
PM-3'-1	800	292	38	113	1,2	nd	304	29	81	nd	1737	133	9	nd	4,1
PM-3'-2	471	174	37	119	0,8	nd	241	29	78	nd	721	85	9	nd	4,3
PM-3'-3	563	202	34	98	0,7	nd	318	30	122	nd	820	98,5	9	nd	4,1
PM-3'-4	1021	432	37	101	1,1	nd	433	37	127	nd	2039	275	12	nd	5,1
PM-16-1	600	279	36	103	1,7	nd	357	28	107	nd	1115	59	9	nd	3,5
PM-16-2	445	210	36	86	0,9	nd	362	31	81	nd	610	55	7	nd	3,3
PM-16-3	465	198	38	99	1	nd	356	27	84	nd	600	66	8	nd	3,4
PM-16-4	534	231	38	106	1,1	nd	304	30	81	nd	614	102	9	nd	2,8
PM-17-1	28	64	25	70	1,4	nd	124	17	49	nd	640	20	7	nd	3,3
PM-17-2	16	53	8	29	0,5	nd	261	5	57	nd	240	12	nd	nd	2,6
PM-17-3	15	67	8	26	0,4	nd	318	5	62	nd	201	26	nd	nd	2,6
PM-17-4	16	65	17	40	0,4	nd	292	56	49	nd	237	25	3	nd	4,1
PM-17-5	39	109	24	60	nd	nd	227	48	47	nd	191	28	2	nd	5,2
PM-17-6	36	121	24	69	0,4	nd	231	44	45	nd	189	26	3	nd	3,6
PM-21-1	529	173	36	92	0,5	nd	298	28	101	nd	714	135	7	nd	3,5
PM-21-2	363	168	38	95	0,5	nd	453	33	81	nd	817	81,5	7	nd	3,3
PM-21-3	548	195	30	65	nd	nd	404	29	84	nd	804	96,3	8	nd	3,4
PM-21-4	933	312	36	96	0,5	nd	394	37	101	nd	1662	75,5	11	nd	5,8
PM-22-1	721	576	37	80	0,7	nd	351	30	81	nd	1650	315	7	nd	3,5
PM-22-2	1006	364	34	94	1,1	1,1	382	26	80	nd	2468	119	11	nd	3,3
PM-22-3	2481	586	33	97	1,2	1,3	577	23	242	nd	1331	138	13	nd	3,5
PM-24-1	660	219	42	167	0,9	0,4	266	28	101	nd	700	151	5	nd	3,3
PM-24-2	3803	970	41	246	1,3	0,6	522	33	81	nd	2035	503	9	nd	3,4
PM-24-3	14700	2463	61	1267	6,2	2,4	1104	29	84	nd	6289	2291	13	nd	4,8
PM-24-4	9992	2930	34	207	2,9	2,7	907	37	101	nd	4768	1240	11	nd	7,1

TABELA 6.3.7 - Resultados de análises químicas - elementos maiores (%), efetuadas em amostras de solo coletadas na área de estudos de detalhe (níveis A, B e C).

Amostra	Posição em perfil	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Perda ao fogo	Total
PM-3-A	Porção superficial: profundidade 0-0,15m	45,70	19,94	15,61	0,14	0,55	0,21	0,13	0,82	4,79	0,16	11,12	99,17
PM-3-B	Porção intermediária: imediatamente acima do nível d'água	46,68	20,09	15,19	0,16	0,63	0,21	0,28	0,92	4,53	0,16	10,69	99,54
PM-3-C	Porção abaixo do nível d'água: zona saturada	49,45	18,62	15,46	0,15	0,68	0,26	0,28	1,03	4,98	0,13	9,32	100,36
PM-5-A	Porção superficial: profundidade 0-0,15m	50,89	16,37	15,14	0,15	0,66	0,23	0,17	0,96	6,17	0,13	8,96	99,83
PM-5-B	Porção intermediária: imediatamente acima do nível d'água	55,79	17,47	11,39	0,12	0,91	0,27	0,27	1,54	3,15	0,14	9,42	100,47
PM-5-C	Zona saturada	53,02	18,41	11,30	0,12	0,89	0,36	0,31	1,29	3,05	0,12	10,39	99,26

Amostra	Posição em perfil	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Perda ao fogo	Total
PM-8-A	Porção superficial: profundidade 0-0,15m	48,89	17,37	16,14	0,15	0,76	0,21	0,13	0,96	6,17	0,13	8,99	99,90
PM-8-B	Porção intermediária: imediatamente acima do nível d'água	52,79	18,44	13,35	0,13	0,81	0,27	0,27	1,54	3,15	0,14	9,22	100,11
PM-8-C	Porção abaixo do nível d'água: zona saturada	53,02	17,46	11,90	0,12	0,99	0,37	0,31	1,29	3,05	0,12	10,49	99,12
PM-15-C	Porção abaixo do nível d'água: zona saturada	48,65	17,99	16,52	0,148	0,70	0,24	0,23	1,17	4,360	0,13	9,72	99,88
PM-26-C	Porção abaixo do nível d'água: zona saturada	52,46	18,44	12,43	0,127	0,86	0,27	0,29	1,61	2,913	0,13	9,45	98,98

TABELA 6.3.8 - Resultados de análises químicas – demais elementos analisados (em mg. kg⁻¹), efetuadas em amostras de solo coletadas na área de estudos de detalhe (níveis A, B e C).

Amostra	Pb	Zn	Ni	Cu	Ag	Cd	Ba	Co	Cr	Mo	Zr	B	As	Se	U
PM-3-A	656	223	50	127	nd	nd	276	29	81	nd	558	91	9	nd	4,4
PM-3-B	542	198	42	117	nd	0,5	308	29	78	nd	695	84	9	nd	4,6
PM-3-C	725	278	45	111	nd	0,5	330	30	122	nd	940	150	9	nd	4,1
PM-5-A	666	243	34	96	1,3	nd	295	30	81	nd	588	36	8	nd	2,7
PM-5-B	833	221	31	88	1,1	0,5	414	26	80	nd	587	63	8	nd	3,2
PM-5-C	6077	1256	34	110	2,2	0,7	442	23	242	nd	1674	334	11	nd	3,9
PM-8-A	122	143	31	101	nd	nd	135	30	51	nd	488	36	4	nd	2,7
PM-8-B	113	121	30	98	nd	nd	145	26	70	nd	487	43	4	nd	3,2
PM-8-C	177	156	31	110	nd	nd	189	23	92	nd	474	54	4	nd	3,9
PM-15-C	725	278	45	111	nd	0,5	330	30	122	nd	940	150	9	nd	4,1
PM-26-C	1175	364	35	92	nd	0,5	378	37	128	nd	870	140	9	nd	4,1

Análises granulométricas

TABELA 6.3.9 - Resultados de análises granulométricas em amostras coletadas na área de estudos de detalhe.

Amostra	areia (%)	silte (%)	argila (%)	Classificação de SHEPPARD	Classificação de ESALQ (2000)
PM-3-A	39,9	23,3	36,8	Areia siltico-arenosa	Argilosa
PM-3-B	28,4	24,7	46,9	Argila siltico-arenosa	Argilosa
PM-3-C	30,5	25,0	44,5	Argila siltico-arenosa	Argilosa
PM-5-A	38,0	23,0	39,0	Argila arenosa	Argilosa
PM-5-B	31,0	28,7	40,3	Argila siltico-arenosa	Argilosa
PM-5-C	26,1	37,0	37,0	Silte argiloso	Argilosa
PM-3'-1	32,8	22,7	44,4	Argila arenosa	Argilosa
PM-3'-2	29,6	20,7	49,7	Argila arenosa	Argilosa
PM-3'-3	29,8	22,9	47,3	Argila arenosa	Argilosa
PM-3'-4	39,8	11,2	49,1	Argila arenosa	Argilosa

Amostra	areia (%)	silte (%)	argila (%)	Classificação de SHEPPARD	Classificação de ESALQ (2000)
PM-16-1	28,8	22,2	49,0	Argila arenosa	Argilosa
PM-16-2	33,5	24,6	41,9	Argila siltico-arenosa	Argilosa
PM-16-3	31,3	26,2	42,5	Argila siltico-arenosa	Argilosa
PM-16-4	27,5	26,5	45,9	Argila siltico-arenosa	Argilosa
PM-17-1	41,6	24,0	34,4	Areia siltico-argilosa	Média-argilosa
PM-17-2	41,0	36,9	22,2	Areia siltica	Média-arenosa
PM-17-3	32,5	33,7	33,9	Argila siltico-arenosa	Média-argilosa
PM-17-4	41,1	33,4	25,5	Areia siltico-argilosa	Média-argilosa
PM-17-5	20,7	38,5	40,7	Argila siltica	Argilosa
PM-17-6	35,4	25,9	38,8	Argila siltico-arenosa	Argilosa
PM-21-1	31,8	22,8	45,3	Argila arenosa	Argilosa
PM-21-2	29,7	21,2	49,2	Argila arenosa	Argilosa
PM-21-3	30,8	29,3	39,9	Argila siltico-arenosa	Argilosa
PM-21-4	37,6	28,5	34,0	Areia siltica	Média-argilosa
PM-22-1	30,8	41,0	28,1	Silte argilo-arenoso	Média-argilosa
PM-22-2	39,7	21,3	39,0	Areia argilosa	Argilosa
PM-22-3	53,2	27,1	19,6	Areia siltica	Média-arenosa
PM-24-1	30,1	27,0	42,9	Argila siltico-arenosa	Argilosa
PM-24-2	26,7	36,7	36,6	Silte argilo-arenoso	Argilosa
PM-24-3	22,1	43,3	32,6	Silte argiloso	Média-argilosa
PM-24-4	24,0	46,3	29,7	Silte argilo-arenoso	Média-argilosa

Análises de pH, CTC e de matéria orgânica

TABELA 6.3.10 - Resultados de análises de pH, CTC (capacidade de troca catiônica), SB (soma de bases) e teor de matéria orgânica em amostras coletadas na área de estudos de detalhe.

Amostra	pH (H ₂ O)	pH (H ₂ O + KCl)	Δ pH	Matéria orgânica (%)	CTC (mmol.kg ⁻¹)
PM-3-A	6,5	5,5	+ 1,0	1,5	110,9
PM-3-B	6,7	5,1	+ 1,6	0,9	93,1
PM-3-C	7,0	6	+ 1,0	0,7	112,2
PM-5-A	7,3	5,6	+ 1,7	1,4	83,8
PM-5-B	7,5	5,3	+ 2,2	1,1	80,3
PM-5-C	8,1	6,3	+ 1,8	0,7	102,7
PM-3'-1	7,2	5,8	+ 1,4	1,3	116,0
PM-3'-2	6,6	5,3	+ 1,3	0,9	107,7
PM-3'-3	6,9	5,6	+ 1,3	1,0	111,0
PM-3'-4	7,4	6,2	+ 1,2	1,0	117,8
PM-16-1	6,9	5,7	+ 1,2	0,9	93,2
PM-16-2	7,3	6,1	+ 1,2	0,9	111,2
PM-16-3	6,6	5,5	+ 1,1	0,7	82,2
PM-16-4	7,2	5,6	+ 1,6	0,7	82,1

Amostra	pH (H ₂ O)	pH (H ₂ O + KCl)	Δ pH	Matéria orgânica (%)	CTC (mmol.kg ⁻¹)
PM-17-1	5,7	4,5	+ 1,2	1,7	67,3
PM-17-2	5,7	3,3	+ 2,4	0,3	89,2
PM-17-3	4,9	3	+ 1,9	0,4	99,6
PM-17-4	5,2	3,2	+ 2	0,1	80,7
PM-17-5	5,1	3,4	+ 1,7	0,1	102,2
PM-17-6	5,2	3,6	+ 1,6	0,3	99,2
PM-21-1	6,7	5,2	+ 1,5	1,0	107,8
PM-21-2	6,7	5,8	+ 0,9	0,9	103,2
PM-21-3	7,0	5,9	+ 1,1	0,8	111,9
PM-21-4	7,0	5,7	+ 1,3	0,8	121,4
PM-24-1	7,4	6,5	+ 0,9	2,0	79,0
PM-24-2	7,6	6,0	+ 1,6	3,5	168,0
PM-24-3	8,3	6,9	+ 1,4	4,8	213,0
PM-24-4	8,3	6,9	+ 1,4	4,1	171,0

Difratometria de raios X

QUADRO 6.3.2 – Resultados de análises por difratometria de raios X (DRX).

Local	Amostra	Mineralogia (Grupos de minerais)
Área de estudos de detalhe (PM-3)	PM-3A	Quartzo, illita, caulinita, feldspato, hematita/goethita
	PM-3B	Quartzo, illita, caulinita, feldspato
	PM-3C	Quartzo, illita, caulinita, feldspato
Área de estudos de detalhe (PM-5)	PM-5A	Quartzo, illita, caulinita, feldspato, hematita/goethita
	PM-5B	Quartzo, illita, caulinita, feldspato
	PM-5C	Quartzo, illita, caulinita, feldspato, montmorillonita, zircão
Área de estudos de detalhe (PM-3-1 a PM-3-4)	PM-3-1	Quartzo, illita, caulinita, feldspato
	PM-3-2	Quartzo, illita, caulinita, feldspato, hematita/goethita
	PM-3-3	Quartzo, illita, caulinita, feldspato
	PM-3-4	Quartzo, illita, caulinita, feldspato

III. Área II

Na área II, foram analisadas amostras do ponto PM-12, situado entre a indústria Poliglass e o lago 4. Os resultados são apresentados a seguir.

Análises químicas

TABELA 6.3.11 - Resultados de análises químicas - elementos maiores (%), efetuadas em amostras de solo coletadas na área II (amostragem a cada 15cm)

Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Perda	
											ao fogo	Total
PM-12-1	48,16	16,82	17,24	0,10	0,23	0,10	0,15	0,12	9,16	0,12	8,11	100,31
PM-12-2	49,46	16,66	17,06	0,10	0,49	0,18	0,27	0,61	6,87	0,47	8,13	100,3
PM-12-3	62,79	15,24	8,27	0,07	0,55	0,46	0,75	2,90	0,98	0,16	6,54	98,71

TABELA 6.3.12 - Resultados de análises químicas – demais elementos analisados (em mg. kg⁻¹), efetuadas em amostras de solo coletadas na área II (amostragem a cada 15cm).

Amostra	Pb	Zn	Ni	Cu	Ag	Cd	Ba	Co	Cr	Mo	Zr	B	As	Se	U
PM-12-1	270	83	30	116	nd	nd	88	26	73	nd	733	47	7	nd	3,1
PM-12-2	702	213	35	108	nd	nd	190	25	79	6	618	104	8	nd	3,0
PM-12-3	323	133	31	66	nd	nd	149	14	61	5	546	170	6	nd	2,8

Análises granulométricas

TABELA 6.3.13 - Resultados de análises granulométricas em amostras coletadas na área II.

Amostra	areia (%)	silte (%)	argila (%)	Classificação de SHEPPARD	Classificação de ESALQ (2000)
PM-12-1	39,9	23,3	36,8	Areia siltico-argilosa	Argilosa
PM-12-2	28,4	24,7	46,9	Argila siltico-arenosa	Argilosa
PM-12-3	30,5	25,0	44,5	Argila siltico-arenosa	Argilosa

Análises de pH, CTC e de matéria orgânica

TABELA 6.3.14 - Resultados de análises de pH, CTC e matéria orgânica em amostras coletadas na área II.

Amostra	pH (H ₂ O)	pH (H ₂ O + KCl)	Δ pH	Matéria orgânica (%)	CTC (mmol.kg ⁻¹)
PM-12-1	6,0	5,6	+ 0,4	0,7	43,9
PM-12-2	7,8	6,9	+ 0,9	0,5	207,4
PM-12-3	6,3	5,6	+ 0,7	0,3	85,3

Difratometria de raios X

QUADRO 6.3.3 – Resultados de análises por difratometria de raios X (DRX).

Local	Amostra	Mineralogia (Grupos de minerais)
Área II (PM-12)	PM-12-1	Quartzo, illita, caulinita
	PM-12-2	Quartzo, illita, caulinita
	PM-12-3	Quartzo, illita, caulinita, feldspato

Na área de referência, ocorre a gênese de solos lateríticos típicos, com remoção de Na, K, Si, Mg, Ca e concentração de Fe, Al, Mn e Ti. Tal fato é corroborado pela comparação entre os resultados das amostras do ponto PM-ZERO e os de uma amostra composta de rochas frescas da Formação Corumbataí, coletadas em uma

mina de extração de matéria-prima para as indústrias cerâmicas, em área igualmente não contaminada (Tabela 6.3.15).

TABELA 6.3.15 - Resultados de análises químicas em amostras de rochas e solos típicos da região - elementos maiores (%)

Amostra	Tipo de amostra	Local de coleta	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Perda ao fogo
ROCHA-COR	Amostra composta de rochas da Formação Corumbataí – coleta em área não contaminada	Mina de extração de argila da indústria cerâmica CEDASA	59,18	17,75	8,36	0,08	1,87	0,76	1,88	3,09	0,63	0,13	5,04

Quanto aos elementos traço, há, na área de referência, teores de Pb entre 31 e 40 ppm, Zn entre 72 e 113 ppm, B entre 9,1 e 16,6 ppm, Ni entre 17 e 25 ppm, Cu entre 85 e 132 ppm, Ba entre 58 e 87 ppm, Cd abaixo de 0,5ppm, Cr entre 37 e 66 ppm, Zr entre 307 e 399 ppm e As entre 3 e 7 ppm.

Na área de estudos de detalhe, estes teores elevam-se expressivamente: Pb entre 122 e 14700 ppm, Zn entre 53 e 2930 ppm, B entre 12 e 2291 ppm, Ni entre 8 e 61 ppm, Cu entre 26 e 1267 ppm, Ba entre 124 e 1104 ppm, Cd de abaixo de 0,5 a 2,7 ppm, Cr entre 45 e 242 ppm, Zr entre 189 e 6289 ppm e As entre abaixo de 2 e 13 ppm. Pelos teores diagnosticados, fica evidente sua contaminação, com teores amplamente expressivos de Pb (até 14700ppm), Zn (até 2930ppm) e B (até 2291 ppm).

Chama a atenção a grande quantidade de Zr presente nas amostras. Em menor proporção e frequência, também há teores elevados de Cu, Ba, Cr, Co e Ni.

É visível a heterogeneidade desta área, dada a grande variabilidade dos teores. Assim, em pontos situados mais afastados do centro desta área (a exemplo de PM-8) ou em elevações locais no terreno (a exemplo de PM-17), estes teores estão próximos ou intermediários aos apresentados na área de referência. Em pontos como PM-3, PM-5, PM-15, PM-16, PM-21, PM-22, PM-24 e PM-26, estes teores são bem mais elevados, alcançando os máximos citados anteriormente.

É importante notar que os maiores teores são encontrados nas porções mais profundas, hoje abaixo do nível d'água (níveis -C, -3, -4 etc., dependendo da posição do nível d'água).

Na área II, sob influência da indústria Poliglass, os teores são intermediários, porém superiores aos apresentados na área de referência: Pb entre 270 e 702ppm, Zn entre 83 e 213 ppm etc. Isto evidencia a influência dos resíduos gerados por esta indústria.

6.3.3. Fator de Enriquecimento (E)

Para ilustrar a contaminação dos locais investigados, foi utilizado o I_{geo} (Índice de geoacumulação), cujos resultados estão na Tabela 6.3.16. Como referência, foi utilizada a composição média das amostras do ponto PM-ZERO.

TABELA 6.3.16 - Índice de geoacumulação (I_{geo}) de amostras de perfis de solo.

AMOSTRA	TEOR DE PB NA AMOSTRA (mg.kg ⁻¹)	I_{geo}	GRAU DE CONTAMINAÇÃO (1)	GRAU DE CONTAMINAÇÃO (2)	TEOR DE ZN NA AMOSTRA (mg.kg ⁻¹)	I_{geo}	GRAU DE CONTAMINAÇÃO (1)	GRAU DE CONTAMINAÇÃO (2)
PM-3A	656	2,2	1	moderada a forte	223	0,9	0	ausente a moderada
PM-3B	542	2,0	1	moderada a forte	198	0,8	0	ausente a moderada
PM-3C	725	2,3	1	moderada a forte	278	1,1	0	moderada
PM-5A	666	2,2	1	moderada a forte	243	1,0	0	moderada
PM-5B	833	2,5	1	moderada a forte	221	0,9	0	ausente a moderada
PM-5C	6077	4,5	2	forte a muito forte	1056	2,4	1	moderada a forte
PM-3'-1	800	2,4	1	moderada a forte	292	1,2	0	moderada
PM-3'-2	471	1,9	1	moderada	174	0,6	0	ausente a moderada
PM-3'-3	563	2,1	1	moderada a forte	202	0,8	0	ausente a moderada
PM-3'-4	1021	2,7	1	moderada a forte	432	1,6	1	moderada
PM-16-1	600	2,1	1	moderada a forte	279	1,1	0	moderada
PM-16-2	445	1,8	1	moderada	210	0,8	0	ausente a moderada
PM-16-3	465	1,9	1	moderada	198	0,8	0	ausente a moderada
PM-16-4	534	2,0	1	moderada a forte	231	0,9	0	ausente a moderada
PM-21-1	933	2,6	1	moderada a forte	312	1,2	0	moderada
PM-21-2	363	1,6	1	moderada	168	0,6	0	ausente a moderada
PM-21-3	548	2,1	1	moderada a forte	195	0,8	0	ausente a moderada
PM-21-4	529	2,0	1	moderada a forte	173	0,6	0	ausente a moderada
PM-22-1	721	2,3	1	moderada a forte	576	1,8	1	moderada
PM-22-2	1006	2,7	1	moderada a forte	364	1,4	0	moderada
PM-22-5	2481	3,6	2	forte	586	1,8	1	moderada
PM-24-1	560	2,1	1	moderada a forte	219	0,9	0	ausente a moderada
PM-24-2	3803	4,0	2	forte a muito forte	970	2,4	1	moderada a forte
PM-24-3	14700	5,3	2	muito forte	2463	3,3	2	forte
PM-24-4	9992	5,0	2	muito forte	2930	3,5	2	forte

Obs.: (1) segundo as seis classes de FILHO & MADDOCK (1991); (2) segundo as seis classes de FOSTNER *et al.* (1993).

Através destes dados parciais, observa-se que o grau de contaminação é de ausente a forte para o Zn, e moderado a muito forte para o Pb.

6.3.4. Extrações sequenciais seletivas

Das amostras coletadas, foram efetuados experimentos de extração sequencial seletiva para análise do comportamento do Pb e Zn em vários conjuntos de amostras, sendo selecionados um na área de referência (PM-ZERO-1 a PM-ZERO-4) e dois dos mais contaminados da área de estudos de detalhe (PM-3, PM-5).

Os resultados são apresentados nos Quadros 6.3.4 a 6.3.8.

QUADRO 6.3.4 – Resultados de chumbo a partir de experimentos de extração sequencial seletiva em amostras do ponto PM-ZERO (área de referência).

Amostra	PM-ZERO-1	PM-ZERO-1	PM-ZERO-2	PM-ZERO-2	PM-ZERO-3	PM-ZERO-3	PM-ZERO-4*	PM-ZERO-4*
Fração extraída/analizada	mg.kg ⁻¹	% extraído	mg.kg ⁻¹	% extraído	mg.kg ⁻¹	% extraído	mg.kg ⁻¹	% extraído
I - Fracamente ligado	0,5	2,2	0,5	1,7	0,3	1,4	-	-
II – Trocável	1,0	4,5	1,2	4,1	1,0	4,7	1,0	5,0
III – Carbonatos	2,0	9,0	2,5	8,5	2,0	9,3	2,5	12,6
IV – Óxidos/hidróxidos	9,9	44,4	14,8	50,5	10,9	50,6	10,5	52,8
V – Matéria orgânica	8,9	39,9	10,3	35,2	7,3	34,0	5,9	29,6
Σ (frações I a V)	22,3	100,0	29,3	100,0	21,5	100,0	19,9	100,0
Análise química	40,0	-	41,0	-	35,0	-	34,0	-

* = amostras coletadas na em zona saturada.

QUADRO 6.3.5 – Resultados de chumbo a partir de experimentos de extração sequencial seletiva em amostras do ponto PM-5 (área de estudos de detalhe – área I).

Amostra	PM-5-A	PM-5-A	PM-5-B	PM-5-B	PM-5-C*	PM-5-C*
Fração extraída/analizada	mg.kg ⁻¹	% extraído	mg.kg ⁻¹	% extraído	mg.kg ⁻¹	% extraído
I - Fracamente ligado	1,7	0,5	1,2	0,2	-	-
II – Trocável	10,0	2,9	23,5	3,6	70,9	1,5
III – Carbonatos	39,2	11,5	92,0	14,2	1643,0	33,7
IV – Óxidos/hidróxidos	150,1	43,9	270,0	41,8	1590,0	32,6
V – Matéria orgânica	141,3	41,3	260,0	40,2	1571,3	32,2
Σ (frações I a V)	342,1	100,0	646,7	100,0	4875,2	100,0
Análise química	444,0	-	833,0	-	6077,0	-

* = amostras coletadas na em zona saturada.

QUADRO 6.3.6 – Resultados de chumbo a partir de experimentos de extração seqüencial seletiva em amostras do ponto PM-3 (área de estudos de detalhe – área I).

Amostra	PM-3-A	PM-3-A	PM-3-B	PM-3-B	PM-3-C*	PM-3-C*
Fração extraída/analizada	mg.kg ⁻¹	% extraído	mg.kg ⁻¹	% extraído	mg.kg ⁻¹	% extraído
I - Fracamente ligado	2,5	0,5	2,1	0,5	-	-
II – Trocável	15,0	3,0	15,3	3,7	20,4	3,9
III – Carbonatos	45,0	9,0	52,6	12,7	94,1	18,0
IV – Óxidos/hidróxidos	275,0	55,0	215,3	52,0	258,9	49,5
V – Matéria orgânica	162,5	32,5	128,8	31,1	149,6	28,6
Σ (frações I a V)	500,0	100,0	414,0	100,0	523,0	100,0
Análise química	656,0	-	542,0	-	725,0	-

* = amostras coletadas na em zona saturada.

QUADRO 6.3.7 – Resultados de zinco a partir de experimentos de extração seqüencial seletiva em amostras do ponto PM-ZERO (área de referência).

Amostra	PM-ZERO-1	PM-ZERO-1	PM-ZERO-2	PM-ZERO-2	PM-ZERO-3	PM-ZERO-3	PM-ZERO-4*	PM-ZERO-4*
Fração extraída/analizada	mg.kg ⁻¹	% extraído	mg.kg ⁻¹	% extraído	mg.kg ⁻¹	% extraído	mg.kg ⁻¹	% extraído
I - Fracamente ligado	0,7	1,39	0,7	1,10	0,7	1,07	-	-
II – Trocável	2,9	5,75	4,0	6,29	3,3	5,05	3,7	6,43
III – Carbonatos	5,0	9,92	3,9	6,13	5,7	8,73	5,7	9,91
IV – Óxidos/hidróxidos	18,4	36,51	35,0	55,03	27,3	41,81	25,8	44,87
V – Matéria orgânica	23,4	46,43	20,0	31,45	28,4	43,49	22,3	38,78
Σ (frações I a V)	50,4	100	63,6	100	65,3	100	57,5	100
Análise química	92	-	105	-	92	-	93	-

* = amostras coletadas na em zona saturada.

QUADRO 6.3.8 – Resultados de zinco a partir de experimentos de extração seqüencial seletiva em amostras do ponto PM-5 (área de estudos de detalhe – área I).

Amostra	PM-5-A	PM-5-A	PM-5-B	PM-5-B	PM-5-C*	PM-5-C*
Fração extraída/analizada	mg.kg ⁻¹	% extraído	mg.kg ⁻¹	% extraído	mg.kg ⁻¹	% extraído
I - Fracamente ligado	1,0	0,53	1,5	0,81	-	-
II – Trocável	4,3	2,27	4,7	2,54	19,0	1,83
III – Carbonatos	10,3	5,44	19,2	10,36	259,0	24,89
IV – Óxidos/hidróxidos	84,5	44,59	79,7	43,01	400,5	38,48
V – Matéria orgânica	94,9	50,08	80,2	43,28	381,2	36,63
Σ (frações I a V)	189,5	100,0	185,3	100,0	1040,7	100,0
Análise química	243	-	221	-	1256	-

* = amostras coletadas na em zona saturada.

6.4. Sedimento de fundo de lagos

6.4.1. Materiais e métodos específicos

Diversos trabalhos tratam da amostragem de sedimentos de fundo de lagos, reservatórios etc. (CARVALHO, 1994; BEVILACQUA, 1996; OLIVEIRA, 1996, entre outros). Em Santa Gertrudes, foram coletados com equipamento *piston-core*, sendo que o grau de penetração do tubo amostrador dependeu da espessura e natureza dos materiais coletados. Após a coleta, a amostra foi retirada, embalada e etiquetada. A profundidade da lâmina d'água foi medida no momento da coleta e na mesma oportunidade aproveitou-se para amostrar águas superficiais com garrafa *van Door*.

As Tabelas 6.4.1 e 6.4.2 trazem os resultados das análises químicas efetuadas em sedimentos de fundo de lagos. Em alguns casos, quando a recuperação foi significativa, e havia diferenças de horizontes coletados (cor, textura ou aspecto), foram separadas em diferentes frações e analisadas contando sufixos -A, -B, -C etc., nesta ordem, para significar porções amostradas do topo (próximo ao leito do lago) para a base, em perfil.

A localização dos pontos amostrados está no Desenho 1 (ANEXO A) e na Figura 6.4.1. As Fotos 6.4.1 a 6.2.4 exemplificam os procedimentos adotados para amostras coletadas com *piston-core*.

FOTO 6.4.1 - Canos cortados para retirada de amostras de sedimento de fundo de lago coletadas com *piston-core*.

FOTOS 6.4.2 e 6.4.3 - Canos cortados para retirada de amostras com diferenças de horizonte (6.4.2) ou aspecto (6.4.3) - sedimentos de fundo de lago coletados com *piston-core*.

FIGURA 6.4.1 - Amostragem de sedimentos de fundo de lagos.

FOTO 6.4.4 - Processo de separação, com espátula, de amostras com diferentes horizontes - sedimentos de fundo de lago coletados com *piston-core*.

6.4.2. Análises efetuadas

Área de referência

TABELA 6.4.1 - Resultados de análises químicas em amostras de sedimentos de fundo dos lagos da área de referência - elementos maiores (%).

AMOS-TRA	Intervalo de profundidade dos sedimentos amostrados	Lâmina d'água no local de coleta	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Perda ao fogo
LZERO-1A	0 – 0,30 m	0,75 m	63,23	13,97	9,52	0,10	0,23	0,13	0,14	0,47	3,88	0,11	9,01
LZERO-1B	0,30 – 0,60 m	0,75 m	44,04	21,09	14,02	0,11	0,24	0,18	0,14	0,26	4,10	0,18	14,44
LZERO-2	0 – 0,35 m	1,20 m	43,12	21,12	13,79	0,14	0,25	0,18	0,14	0,29	4,69	0,35	14,83

TABELA 6.4.2 - Resultados de análises químicas em amostras de sedimentos de fundo dos lagos da área de referência - metais, B, As e Se (mg.kg⁻¹).

AMOS-TRA	Intervalo de profundidade dos sedimentos amostrados	Lâmina d'água no local de coleta	Pb	Zn	Ni	Cu	Co	Cr	Mo	Ag	Cd	Ba	Zr	B	As	Se
LZERO-1-A	0 – 0,30 m	0,75 m	49	64	30	106	21	50	6	nd	1,1	183	488	30	9	nd
LZERO-1-B	0,30 – 0,60 m	0,75 m	32	43	20	66	17	46	nd	nd	nd	198	622	32	5	nd
LZERO-2	0 – 0,35 m	1,20 m	37	68	32	110	21	46	nd	nd	1,1	192	496	49	7	nd

Área I

TABELA 6.4.3 - Resultados de análises químicas em amostras de sedimentos de fundo dos lagos da área I - elementos maiores (%)

AMOS-TRA	Intervalo de profundidade dos sedimentos amostrados	Local	Lâmina d'água no local de coleta	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Perda ao fogo
L2-1	0 – 0,25 m	Lago 2	0,22 m	50,72	20,10	11,20	0,10	1,09	0,80	0,58	1,18	2,31	0,14	10,40
L2-1C	0 – 0,25 m	Lago 2	0,23 m	53,33	19,27	6,79	0,08	1,45	1,48	0,92	1,44	1,21	0,17	10,07
L2-3-A	0 – 0,15 m	Lago 2	1,40 m	61,38	15,63	8,86	0,08	1,12	0,35	0,53	2,44	1,80	0,14	7,04
L2-3-B	0,14 – 0,25 m	Lago 2	1,40 m	66,31	14,56	6,59	0,06	1,40	0,34	0,59	3,08	0,81	0,11	5,99
L2-4	0 – 0,35 m	Lago 2	4,93 m	58,59	15,82	7,25	0,06	0,38	0,52	0,37	0,46	5,01	0,14	11,51
L2-6-A	0 - 0,20 m	Lago 2	4,05 m	62,13	14,13	9,61	0,05	0,37	0,10	0,19	0,76	4,13	0,10	7,17
L2-6-B	0,20 – 0,35 m	Lago 2	4,05 m	58,57	16,55	10,01	0,06	0,41	0,09	0,25	0,63	3,98	0,12	8,68
L2-8	0 – 0,30 m	Lago 2	9,50 m	57,40	19,79	7,93	0,06	1,21	0,35	0,35	2,27	1,16	0,10	8,72

TABELA 6.4.4 - Resultados de análises químicas em amostras de sedimentos de fundo dos lagos da área I - metais, B, As e Se (mg.kg^{-1}).

AMOS- TRA	Intervalo de profundidade dos sedimentos amostrados	Local	Lâmina d'água no local de coleta	Pb	Zn	Ni	Cu	Co	Cr	Mo	Ag	Cd	Ba	Zr	B	As	Sé- rie
L2-1	0 – 0,25 m	Lago 2	0,22 m	2171	1857	36	198	21	534	nd	nd	1,6	1557	1494	1660	9	nd
L2-1C	0 – 0,25 m	Lago 2	0,23 m	4178	4195	31	287	13	1150	nd	nd	3,8	3143	2352	3760	8	nd
L2-3-A	0 – 0,15 m	Lago 2	1,40 m	273	233	32	69	10	78	nd	0,4	nd	677	436	38	7	nd
L2-3-B	0,14 – 0,26 m	Lago 2	1,40 m	99	122	30	45	12	77	nd	nd	nd	517	236	22	8	nd
L2-4	0 – 0,35 m	Lago 2	4,93 m	38	88	32	109	18	56	nd	nd	nd	274	456	52	3	nd
L2-6-A	0 - 0,20 m	Lago 2	4,05 m	78	100	20	113	15	37	nd	nd	1,2	225	548	21	4	nd
L2-6-B	0,20 – 0,35 m	Lago 2	4,05 m	46	63	24	162	22	72	5	0,5	0,5	216	438	71	7	nd
L2-8	0 – 0,30 m	Lago 2	9,50 m	634	462	26	67	14	207	5	nd	nd	526	955	342	8	nd

Área II

TABELA 6.4.5 - Resultados de análises químicas em amostras de sedimentos de fundo dos lagos da área II - elementos maiores (%).

[illegible]

TABELA 6.4.6 - Resultados de análises químicas em amostras de sedimentos de fundo dos lagos da área II - metais, B, As e Se (mg.kg⁻¹).

AMOS-TRA	Intervalo de profundidade dos sedimentos amostrados	Local	Lâmina d'água no local de coleta	Pb	Zn	Ni	Cu	Co	Cr	Mo	Ag	Cd	Ba	Zr	B	As	Se
L3-3-A	0 – 0,15 m	Lago 3	0,55 m	75	160	18	62	13	55	5	nd	nd	176	756	22	4	nd
L3-3-B	0,15 – 0,30 m	Lago 3	0,55 m	49	38	19	55	12	55	nd	nd	nd	147	815	15	3	nd
L3-3-C	0,30 – 0,60 m	Lago 3	0,55 m	10	56	26	214	20	24	8	nd	1,2	229	310	nd	nd	nd
L4-3-A	0 – 0,15 m	Lago 4	0,35 m	1437	365	43	130	20	78	8	nd	1,1	376	864	197	20	nd
L4-3-B	0,15 – 0,30 m	Lago 4	0,35 m	56	139	31	118	22	54	nd	nd	nd	135	645	39	3	nd
L4-3-C	0,30 – 0,45 m	Lago 4	0,35 m	21	111	27	147	21	43	nd	nd	nd	123	529	25	4	nd
L4-4-A	0 – 0,15 m	Lago 4	0,30 m	1570	299	43	122	17	71	7	0,4	nd	373	847	89	18	nd
L4-4-B	0,15 – 0,30 m	Lago 4	0,30 m	335	148	28	94	18	71	nd	nd	nd	203	851	61	6	nd
L4-4-C	0,30 – 0,60 m	Lago 4	0,30 m	21	98	24	150	20	37	nd	nd	nd	120	545	17	2	nd
L5-1	0 – 0,25 m	Lago 6	0,30 m	201	100	19	102	14	30	nd	nd	nd	228	450	25	5	nd
L5-2	0 – 0,25 m	Lago 6	0,30 m	139	102	19	107	13	29	nd	nd	nd	301	503	30	4	nd

Área III

TABELA 6.4.7 - Resultados de análises químicas em amostras de sedimentos de fundo dos lagos - elementos maiores (%)

AMOS-TRA	Intervalo de profundidade dos sedimentos amostrados	Local	Lâmina d'água no local de coleta	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Perda ao fogo
L6-1	0 – 0,25 m	Lago 6	0,30 m	61,74	18,07	7,60	0,08	1,10	0,04	0,17	2,56	0,83	0,08	6,81
L7-1	0 – 0,25 m	Lago 7	0,10 m	45,58	21,61	15,35	0,09	0,62	0,33	0,23	0,71	4,20	0,11	11,00
L9A-1	0 – 0,25 m	Lago 9	1,00 m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L10-1	0 – 0,25 m	Lago 10	1,10 m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

TABELA 6.4.8 - Resultados de análises químicas em amostras de sedimentos de fundo dos lagos - metais, B, As e Se (mg.kg⁻¹).

AMOS-TRA	Intervalo de profundidade dos sedimentos amostrados	Local	Lâmina d'água no local de coleta	Pb	Zn	Ni	Cu	Co	Cr	Mo	Ag	Cd	Ba	Zr	B	As	Se
L6-1	0 – 0,25 m	Lago 6	0,30 m	48	47	16	34	12	65	nd	nd	nd	396	276	97	5	nd
L7-1	0 – 0,25 m	Lago 7	0,10 m	229	126	33	96	17	70	nd	nd	1,5	244	663	478	13	nd
L9A-1	0 – 0,25 m	Lago 9	1,00 m	139	119	17	49	13	70	nd	nd	nd	214	234	111	7	nd
L10-1	0 – 0,25 m	Lago 10	1,10 m	234	145	32	110	17	90	nd	nd	nd	332	700	299	11	nd

Como se observa, no local de referência (lago ZERO), os teores de Pb, Zn, B, Cr, Ba e Zr variam, respectivamente, entre 32 e 49 mg.kg⁻¹, 43 e 68 mg.kg⁻¹, 30 e 49 mg.kg⁻¹, 46 e 50 mg.kg⁻¹, 182 e 198 mg.kg⁻¹ e 488 e 622 mg.kg⁻¹. Nas áreas degradadas, os valores máximos encontrados para estes elementos são, respectivamente, 4178 mg.kg⁻¹, 4195 mg.kg⁻¹, 1150 mg.kg⁻¹, 3143 mg.kg⁻¹, 2352

mg.kg⁻¹ e 3760 mg.kg⁻¹, ou seja, aumentam até cerca de **130x**, **100x**, **125x**, **25x**, **17x**, **5x**, respectivamente.

Nos locais os quais foi possível amostrar perfis de sedimentos (amostras com sufixos -A, -B, -C), nota-se que os teores basais são menores que os superficiais, situados nos leitos atuais dos lagos. Nos locais degradados, há variações significativas, a exemplo de L4-3, onde no intervalo mais profundo amostrado é encontrado teor médio de 21 mg.kg⁻¹ e na porção mais superficial, 1437 mg.kg⁻¹, ou seja, um aumento de cerca de **50x**. Em cenário análogo, porém na área de referência (lago ZERO), os teores também aumentam, entretanto com teores bem menos elevados (de 32 para 49 mg.kg⁻¹).

Demais análises

São apresentadas a seguir as análises de pH, CTC, matéria orgânica e granulometria das amostras de sedimentos de fundo de lagos.

TABELA 6.4.9 - Resultados de análises de pH, CTC (capacidade de troca catiônica) e teor de matéria orgânica em amostras sedimento de fundo de lagos.

Amostra	Local	pH (H ₂ O)	pH (H ₂ O + KCl)	Δ pH	Matéria orgânica (%)	CTC (mmol/kg)
LZERO-1	Lago Zero	5,3	4,6	+0,7	2,3	97,7
LZERO-2	(Área de referência)	6,2	4,6	+1,6	5,3	101,6
L2-1	Lago 2	7,7	6,9	+ 0,8	1,5	202,8
L2-1C	(Área I)	8,3	7,8	+ 0,5	1,3	273,7
L3-3-A	Lago 3	6,6	4,6	+2,0	2,7	98,2
L3-3-B	(Área II)	5,9	4,7	+1,2	1,3	108,3
L6-1	Lagos 6 e 7	4,8	3,7	+1,1	0,9	67,1
L7-1	(Área III)	7,9	7,4	+0,5	1,5	152,5

Os valores de ΔpH indicam predomínio de cargas superficiais negativas, favorecendo troca catiônica. Nota-se que os mais elevados valores de pH dos sedimentos (7,7 em L2-1, 7,9 em L7-1 e 8,3 em L2-1C) encontram-se na ÁREA I, nas proximidades da área de estudos de detalhe, na qual foram obtidos os maiores teores de Pb, Zn e B em solos.

Os teores de matéria orgânica acham-se entre 0,9 e 5,3%, e os valores de CTC variam entre 67,1 e 273,7 mmol.kg⁻¹.

TABELA 6.4.10 - Resultados de análises granulométricas em amostras de sedimentos de fundo de lagos.

Amostra	Local	areia (%)	silte (%)	argila (%)	Classificação de SHEPPARD
LZERO-1	Lago Zero	15,0	28,0	57,0	Argila siltica
LZERO-2	(Área de referência)	3,0	30,0	67,0	Argila siltica
L2-1	Lago 2 (Área I)	25,0	33,0	42,0	Argila siltico-arenosa
L2-1C	Lago 2 (Área I)	14,0	39,0	47,0	Argila siltica
L2-3-A	Lago 2 (Área I)	22,8	26,1	51,1	Argila siltica
L2-3-B	Lago 2 (Área I)	22,3	27,6	50,1	Argila siltica
L2-4	Lago 2 (Área I)	39,9	32,6	27,5	Argila siltico-argilosa
L3-3	Lago 3 (Área II)	29,0	33,0	38,0	Argila siltico-arenosa
L6-1	Lagos 6 e 7	4,0	22,0	74,0	Argila siltica
L7-1	(Área III)	22,0	16,0	62,0	Argila arenosa

A composição granulométrica é variável, em geral argilosa.

6.4.3. Fator de Enriquecimento (E)

Em uma primeira avaliação, foi utilizado o I_{geo} (Índice de geoacumulação). Os resultados estão na Tabela 6.4.11.

Como referência, foi utilizada a média das amostras LZERO-2, LZERO-1A e LZERO-1B, fora da influência das indústrias.

TABELA 6.4.11 - Índice de geoacumulação (I_{geo}) de amostras de sedimentos de fundo de lagos.

AMOSTRA	Intervalo de prof. dos sedimentos amostrados	Local	Teor de Pb na amostra ($mg.kg^{-1}$)	I_{geo}	Grau de contaminação (1)	Grau de contaminação (2)	Teor de Zn na amostra ($mg.kg^{-1}$)	I_{geo}	Grau de contaminação (1)	Grau de contaminação (2)
L2-1	0 – 0,25 m	Lago 2	2171	4,3	2	forte a muito forte	1857	3,9	2	forte
L2-1C	0 – 0,25 m	Lago 2	4178	3,6	2	forte	4195	3,1	2	forte
L2-3A	0 – 0,14 m	Lago 2	273	1,5	1	moderada	233	1,0	0	moderada
L2-3B	0,14 – 0,25 m	Lago 2	99	0,5	0	ausente a moderada	122	0,3	0	ausente a moderada
L2-4	0 – 0,35 m	Lago 2	38	-0,4	0	praticamente ausente	88	0,0	0	praticamente ausente
L2-6A	0 – 0,20 m	Lago 2	78	0,3	0	ausente a moderada	100	0,1	0	ausente a moderada
L2-6B	0,20 – 0,30 m	Lago 2	46	-0,2	0	praticamente ausente	63	-0,3	0	praticamente ausente
L2-8	0 – 0,30 m	Lago 2	634	2,4	1	mod. a forte	462	1,7	1	moderada
L3-2A	0 – 0,14 m	Lago 3	75	0,2	0	ausente a moderada	160	0,6	0	ausente a moderada
L3-2B	0,14 – 0,29 m	Lago 3	49	-0,2	0	praticamente ausente	38	-0,8	0	praticamente ausente

AMOSTRA	Intervalo de profundidade dos sedimentos amostrados	Local	Teor de Pb na amostra (mg.kg ⁻¹)	I _{geo}	Grau de contaminação (1)	Grau de contaminação (2)	Teor de Zn na amostra (mg.kg ⁻¹)	I _{geo}	Grau de contaminação (1)	Grau de contaminação (2)
L3-2C	0,29 – 0,57 m	Lago 3	10	-1,8	0	praticamente ausente	56	-0,4	0	praticamente ausente
L4-3A	0 – 0,15 m	Lago 4	1437	3,2	2	forte	365	1,4	0	Moderada
L4-3B	0,15 – 0,32 m	Lago 4	56	-0,1	0	praticamente ausente	139	0,5	0	ausente a moderada
L4-3C	0,32 – 0,45 m	Lago 4	21	-1,0	0	praticamente ausente	111	0,2	0	ausente a moderada
L4-4A	0 – 0,15 m	Lago 4	1570	3,3	2	forte	299	1,2	0	moderada
L4-4B	0,15 – 0,30 m	Lago 4	335	1,7	1	moderada	148	0,5	0	ausente a moderada
L4-4C	0,30 – 0,50 m	Lago 4	21	-1,0	0	praticamente ausente	98	0,1	0	ausente a moderada
L5-1	0,32 – 0,45 m	Lago 5	201	1,2	0	moderada	100	0,1	0	ausente a moderada
L5-2	0 – 0,15 m	Lago 5	139	0,9	0	moderada	102	0,2	0	ausente a moderada
L6-1	0 – 0,25 m	Lago 6	48	-0,2	0	praticamente ausente	47	-0,6	0	praticamente ausente
L7-1	0 – 0,25 m	Lago 7	229	1,4	0	moderada	126	0,4	0	ausente a moderada
L9A-1	0,15 – 0,30 m	Lago 9	139	0,9	0	moderada	119	0,4	0	ausente a moderada
L10-1	0,30 – 0,50 m	Lago 10	234	1,4	0	moderada	145	0,5	0	ausente a moderada

Obs.: (1) seg. as seis classes de FILHO & MADDOCK (1991); (2) seg. as seis classes de FOSTNER *et al.* (1993).

O grau de contaminação é de **praticamente ausente a forte** para o **Zn e Pb**, predominando maior grau de contaminação por Pb. Os valores de I_{geo} são bastante heterogêneos, mas indicam maior contaminação nos pontos L2-1, L2-1C, L2-8, L4-3 e L4-4. Destes, os dois primeiros localizam-se no lago 2 (área I), próximo à área de estudos de detalhe. É nítida a influência da contribuição desta área contaminada, inclusive é visível a olho nu nas épocas de inverno (estiagem), quando o abaixamento do nível de água do lago 2 permite observar resíduos esbranquiçados misturados aos sedimentos (Foto 6.4.5).

FOTO 6.4.5 - Local de coleta de sedimentos de leito do lago 2, situado próximo às margens (ponto L2-1C) e à área de estudos de detalhe. Notar resíduos esbranquiçados nos sedimentos mais superficiais.

6.5. Sedimento de fundo de drenagens e de ravinas

6.5.1. Materiais e métodos específicos

Além dos sedimentos de fundo dos lagos, também foram amostrados sedimentos de leito de cursos d'água superficiais e feições erosivas: a) em dois pontos do córrego Fazenda Itaqui (FI-2 e FI-3); b) em um pequeno curso d'água situado na área de estudos de detalhe (PCD-3 – Foto 6.5.1); c) em três pontos situados em uma ravina (ravina 2), onde foram observados lançamentos de efluentes líquidos industriais. A localização desses pontos é apresentada na Fig. 6.5.1 e no Desenho 1 (ANEXO A).

FOTO 6.5.1 - Local de coleta de sedimento de leito de pequeno curso d'água situado na área de estudos de detalhe (ponto PCD-3) - notar resíduo esbranquiçado.

6.5.2. Análises efetuadas

As Tabelas 6.5.1 e 6.5.2 apresentam os resultados das análises químicas.

Tabela 6.5.1 - Resultados de análises químicas em amostras de sedimento de leito em córregos e ravinas - elementos maiores (%).

AMOSTRA	LOCAL da AMOSTRA	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Perda to fogo
FI-2	Cor. Fazenda Itaqui (próx. aos lagos 3 e 5, área II)	55,71	16,53	6,64	0,06	0,38	0,22	0,28	0,57	3,70	0,10	14,34
FI-4	Córrego da Fazenda Itaqui (entre as áreas I e II)	55,71	16,53	6,64	0,06	0,38	0,22	0,28	0,57	3,70	0,10	14,34
PCD-3	Pequeno curso d'água (área de estudo de detalhe)	49,58	20,58	9,95	0,11	1,06	1,24	0,58	1,22	2,09	0,12	10,77
RAV2-L2-1	Ravina 2, entre as indústrias cerâmicas e o lago 2	41,43	28,90	10,79	0,04	0,54	0,35	0,23	0,59	1,76	0,12	15,33
RAV2-L2-2	Ravina 2, entre as indústrias cerâmicas e o lago 2	45,60	25,07	9,92	0,04	0,57	0,50	0,31	0,85	1,92	0,19	13,85
RAV2-L2-3	Ravina 2, entre as indústrias cerâmicas e o lago 2	62,03	16,44	7,38	0,09	1,17	0,28	0,40	2,38	1,29	0,10	8,07

Tabela 6.5.2 - Resultados de análises químicas em amostras de sedimento de leito em córregos e ravinas - metais, B, As e Se (mg.kg⁻¹).

Elemento	Elemento	Pb	Zn	Ni	Cu	Ag	Cd	Ba	Co	Cr	Mo	Zr	B	As	Se
FI-2	Cor. da Fazenda Itaqui, próximo aos lagos 3 e 5	72	93	24	63	0,5	nd	237	14	65	nd	485	350	6	nd
FI-4	Córr. da Fazenda Itaqui (entre as áreas I e II)	266	183	35	57	nd	1,1	352	11	172	6	707	328	15	nd

Elemento	Elemento	Pb	Zn	Ni	Cu	Ag	Cd	Ba	Co	Cr	Mo	Zr	B	As	Se
PCD-3	Pequeno curso d'água (área de estudo de detalhe)	2804	2265	30	33	nd	2,7	1568	20	1190	nd	8643	2300	9	nd
RAV2-L2-1	Ravina 2, entre as ind. cerâmicas e o lago 2	266	183	35	57	nd	1,1	352	11	472	6	707	278	15	nd
RAV2-L2-2	Ravina 2, entre as ind. cerâmicas e o lago 2	373	485	133	58	0,6	1,0	592	16	1060	nd	1826	771	15	nd
RAV2-L2-3	Ravina 2, entre as ind. cerâmicas e o lago 2	1141	279	32	84	nd	nd	548	19	576	7	432	136	10	nd

Córrego da Fazenda Itaquí

No córrego da Fazenda Itaquí, foram coletadas amostras compostas em dois pontos intermediários: FI-2 (área II, próximo ao pesqueiro) e FI-4 (local mais a jusante na área de estudos, após a área III). Os resultados indicam acréscimo de Pb ao longo do curso d'água e evidenciam concentrações expressivas, de até 266 mg.kg^{-1} de Pb.

Área de estudos de detalhe

A amostra PCD-3, coletada em pequeno curso d'água localizado na área de estudos de detalhe (Foto 6.5.1), é semelhante às amostras L2-1C e L2-1, situadas no lago 2, nas proximidades da foz desse curso d'água com este lago. Como se pode notar, os teores de Pb, Zn e B são elevados (2804 , 2265 e 2300 mg.kg^{-1} , respectivamente), assim como os de Ba (1568 mg.kg^{-1}), Cr (1190 mg.kg^{-1}) e Zr (8643 mg.kg^{-1}), elementos também associados aos resíduos das indústrias cerâmicas.

Ravina 2

Na época da coleta, havia uma ravina desde uma das indústrias cerâmicas até o lago 2 (ravina 2). Nesta feição erosiva, foi observado lançamento de efluentes líquidos provenientes da "estabilização" de lodos de linha de esmaltação. Os elevados teores de Pb (até 1141 mg.kg^{-1}) nos sedimentos de leito evidenciam sua contaminação.

Demais áreas investigadas

Como complementação às investigações iniciais, de diagnóstico, foram obtidas amostras esbranquiçadas em dois pontos da ÁREA III, AT-1 e AT-2 (localização no DESENHO 1, ANEXO A), situados em locais de aterros em expansão das indústrias cerâmicas, e sob ação de erosão. Análises efetuadas indicaram, respectivamente, concentrações de 1785 e 34706 mg.kg^{-1} de Pb, 42 e 4331 mg.kg^{-1} de Zn e 5610 e 17300 mg.kg^{-1} de B. O aspecto das amostras e estes teores claramente evidenciam contaminação associada à atividade das indústrias cerâmicas e sugerem aprofundamento das investigações na ÁREA III.

6.6. Hidrogeologia local

6.6.1. Materiais e métodos específicos

I. Poços de monitoramento, cacimbas e análises físico-químicas

Foram instalados diversos poços de monitoramento, com perfuração a trado manual, com profundidades entre 0,52 e 1,93 m, valores que variaram em função da profundidade do substrato hidrogeológico local representado pelos pelitos da Formação Corumbataí.

A confecção destes poços visou o estudo de unidades aquíferas locais, formadas por sedimentos recentes (aluviões) e materiais de aterro, e a coleta de amostras de água subterrânea para análises químicas.

Foram utilizados tubos de revestimento de PVC de $\frac{3}{4}$ " de diâmetro. As seções filtrantes foram confeccionadas com pequenas ranhuras ao longo de cerca de 50 cm da porção inferior dos tubos, sendo que esta parte recebeu tampão fixo (cap) em sua extremidade e foi encapada com manta bidim. A extremidade superior do tubo de revestimento foi fechada com tampão móvel rosqueável (cap) e lacrada com cadeado. Quando possível, procurou-se deixar a extremidade superior do revestimento elevada em cerca de 10 a 25 cm em relação à superfície. Uma vez instalado o tubo de revestimento, foi injetado pré-filtro Pérola e, em seguida, material de preenchimento (solo) e bentonita umedecida como selante. Por fim, efetuou-se cimentação e construção de caixa de proteção, que constituíram a proteção sanitária.

A localização destes poços é apresentada na Figura 6.6.1 e no Desenho 1 (ANEXO A). A Figura 6.6.2 e a Foto 6.6.1 mostram esquema dos poços instalados em Santa Gertrudes.

Além dos poços de monitoramento, também foram amostradas águas em três cacimbas (C-1, C-2 e C-4), situadas nos entornos da antiga indústria Poliglass.

II. Potenciometria da área de estudos

Devido à inexistência de mapas topográficos em escala de detalhe (1:500 ou maior) confiáveis, a potenciometria da área de estudos foi apenas esquematizada em termos do sentido principal de fluxos subterrâneos. Para isto, foram utilizados dados de profundidade do nível d'água medidos dos poços de monitoramento.

FIGURA 6.6.1 - Amostragem de águas subterrâneas.

Foto 6.6.1 - Poço de monitoramento (PM-3), utilizado em Santa Gertrudes.

Figura 6.6.2 - Esquema geral dos poços de monitoramento instalados em Santa Gertrudes.

III. Potenciometria da área de estudos de detalhe

Na área de estudos de detalhe, foi efetuado levantamento topográfico. Como não havia marco topográfico local (referência de nível), foi definido arbitrariamente como *datum* para os potenciais hidráulicos o substrato hidrogeológico no poço PM-5 (esquema na Figura 6.6.3), este um dos primeiros poços de monitoramento a ter sido instalado e, como será verificado, um dos que apresentam maiores teores de chumbo nas análises de águas subterrâneas.

FIGURA 6.6.3 - Representação de *datum* topográfico localizado no poço de monitoramento PM-5, utilizado como referência de nível na análise hidrogeológica na área de estudos de detalhe.

IV. Estimativa de condutividade hidráulica e demais parâmetros

Para estimar a condutividade hidráulica, foram efetuados ensaios de dois tipos: *bail-down tests*, em campo, e testes com permeâmetro em laboratório.

Testes em permeâmetro com carga constante foram realizados no Laboratório de Física dos Solos do IPT, em amostras "indeformadas" representativas, para estimativa das seguintes características: condutividade hidráulica, retenção específica, porosidade total e densidade aparente.

Foram coletadas amostras de solo da área de estudos, através da abertura de trincheiras e amostras de rocha são em minas de extração de argila da região:

- SG-H-1: conjunto de três amostras de solo da zona não saturada da área de estudos de detalhe (Foto 6.6.2) - consistem de três porções amostradas no mesmo local (com sufixos A, B e C), nas proximidades do poço PM-3, sendo que da porção mais superficial (sufixo A) para a mais basal (C), diminuíram-se os tamanhos dos recipientes de amostragem. Assim, as mesmas foram coletadas em formato de paralelepípedos de dimensões: A = 0,15 x 0,15 x 0,15m; B = (h = 0,15m, l = 0,08 x 0,08 m); e C = (h = 0,13m, l = 0,07 x 0,07m).
- SG-H-2: amostra de horizonte A de solo laterítico típico da região. Visou o entendimento deste horizonte de maior permeabilidade, portanto mais vulnerável a eventuais lançamentos ou disposição de resíduos industriais (Fotos 6.6.3).
- SG-H-3 e SG-H-4: amostras de pelitos da Formação Corumbataí, respectivamente, não fraturada (SG-H-3) e fraturada (SG-H-4) - visaram estudar as camadas argilosas da Formação Corumbataí, consideradas substrato hidrogeológico local.

FOTO 6.6.2 - Coleta de amostra de solo "indeformada" (SG-H-1) - área de estudos de detalhe.

FOTO 6.6.3 - Coleta de amostra de solo "indeformada" (SG-H-2) em trincheira aberta com enxadão, localizada nas proximidades das indústrias cerâmicas.

Após coleta, as amostras foram acondicionadas em manta bidim e fios de *nylon*.

Ensaio do tipo *bail-down* foram realizados principalmente na área de estudos de detalhe, para se estimar a condutividade hidráulica da zona saturada. Como se sabe, é um tipo de *slug-test*, que consiste na retirada de um volume de água conhecido no poço de monitoramento e, conseqüentemente, no rebaixamento do nível d'água. A partir daí, efetua-se a leitura da recuperação do nível d'água. Sua grande vantagem é que, além de rápido e barato, permite-se determinarem os valores de condutividade hidráulica em poços de pequeno diâmetro (DOMENICO & SCHWARZ, 1989).

Os ensaios foram efetuados a partir do bombeamento (bomba a vácuo) de um volume de água do poço. Com o medidor de nível graduado, verificou-se a variação do nível d'água imediatamente após o bombeamento (h_0), bem como sua variação (h) em intervalos de tempo até que o nível voltasse à posição original ou próximo a esta. De acordo com este método, ajusta-se uma reta, num gráfico em escala logarítmica, onde são plotados os valores de tempo e h/h_0 obtidos para cada teste.

Para a estimativa da condutividade hidráulica (K), foi utilizada a equação de FETTER (1994) para o método de Hvorslev (HVORSLEV, 1951), pois é obedecida a condição de $L_e/R > 8$. Por tratar-se de terreno notadamente argiloso, R corresponde ao diâmetro de perfuração ($3'' = 7,62\text{cm}$) e L_e representa o comprimento da seção recoberta por pré-filtro.

V. Zona não saturada

Foi efetuada a instalação de três lisímetros de sucção (modelo adaptado de ASTM, 1998 – Figuras 6.6.4 e 6.6.5). Como o nível d'água local é menor ou igual a 0,50m, foram instalados em série, a profundidades de 0,10m, 0,20m e 0,40m.

O experimento constou de sucção natural (coleta das águas intersticiais apenas por sucção) e sucção induzida (com a colocação de solução de volume e composição conhecida em um tampão cilíndrico instalado aos arredores das cápsulas), esta efetuada no término dos trabalhos de campo e realizada pela não recuperação das águas intersticiais naturais devido à pequena circulação de águas nesta área de terrenos argilosos, e à relativa escassez chuvosa na época da coleta.

Os resultados das análises químicas foram comparados com aqueles obtidos na primeira etapa dos experimentos de extrações seqüenciais, apenas com água destilada.

Figura 6.6.4 - Esquema geral do lisímetro (fechado) instalado em Santa Gertrudes (adaptado de ASTM, 1998).

Figura 6.6.5 - Esquema do funcionamento de lisímetro instalado em Santa Gertrudes (adaptado de ASTM, 1998).

VI. Levantamento geofísico

Foram utilizados três métodos geofísicos na área de estudos: *Ground Penetrating Radar* (GPR), Método Eletromagnético Indutivo (EM) e Eletrorresistividade - Sondagem Elétrica Vertical (SEV).

SEV foi utilizado para geração do modelo conceitual da área de estudos como um todo, em correlação com dados geológicos e de poços tubulares.

GPR e EM foram utilizados na área de estudos de detalhe, visando caracterizar a geometria e base das camadas de terrenos recentes e o topo do substrato hidrogeológico formado por pelitos "duros" da Formação Corumbataí. Estes dados foram correlacionados com sondagens a trado e informações obtidas a partir dos poços de monitoramento.

Método de Eletrorresistividade - Sondagem Elétrica Vertical (SEV)

Foi utilizado arranjo do tipo *Schlumberger*, no qual o espaçamento entre os eletrodos de potencial (M e N) é muito pequeno em relação aos de corrente (A e B). A resistividade determinada é um valor aparente, resultado da contribuição de todo o pacote investigado, geralmente heterogêneo.

A partir dos resultados obtidos, foi efetuada a construção de curva em escala bi-log com o valor da resistividade aparente no eixo das ordenadas, tendo como abcissa o

espaçamento AB/2 correspondente. Esta curva foi utilizada para interpretação dos dados, fornecendo um modelo geoeletrico do ponto investigado, constituído por camadas plano paralelas, cada qual apresentando uma espessura com o respectivo valor de resistividade elétrica verdadeira.

Método Eletromagnético Indutivo (EM)

Foi utilizado o equipamento Geonics EM-31, que operando em uma frequência de 9.8 kHz, possibilita investigações a 3 e 6 metros de profundidade, dependendo do modo de disposição do eixo dipolo das bobinas.

Os caminhamentos eletromagnéticos foram realizados sobre os mesmos perfis de GPR para uma possível correlação de dados.

Ground Penetrating Radar (GPR)

Foi usado equipamento do modelo RAMAC/GPR, marca Malå Geoscience (Suécia), com antenas de 50 e 100 MHz. Um sistema de GPR consiste de quatro módulos principais: antena transmissora, antena receptora, unidade de controle e unidade de armazenamento/visualização dos dados (*notebook*).

6.6.2. Resultados obtidos

I. Rede de poços de monitoramento

Dos 26 poços de monitoramento inicialmente instalados, em apenas alguns deles foram efetuadas amostragens sistemáticas de água, com sua seleção a partir das análises químicas realizadas nas investigações iniciais. Deu-se prioridade à área de estudos de detalhe, por pelas peculiaridades já observadas anteriormente.

A quantidade escolhida de poços visou, em maior escala, a caracterização potenciométrica da área de estudos e, na área de estudos de detalhe, também o estudo do comportamento de determinados íons de maior interesse, como aqueles de chumbo, zinco e boro. Deve-se ressaltar, no entanto, que muitos dos poços foram descartados por problemas de vandalismo.

II. Potenciometria da área de estudos

A partir do levantamento de poços de monitoramento (Tabela 6.6.1), verificou-se que o sentido de fluxo predominante na região dos lagos é de leste para oeste, ao longo do eixo do córrego da Fazenda Itaqui.

TABELA 6.6.1 - Dados de profundidade de nível d'água dos poços de monitoramento.

Nº poço/data da coleta	DEZ/98	FEV/99	ABR/99	AGO/99	DEZ/99	FEV/2000	Δmáxima
Período climático	Chuvas	Chuvas	Início/ estiagem	Estiagem	Término da estiagem	Chuvas***	Chuvas x estiagem
PM-1	0,30	0,44	0,44	0,43	0,45	0,32	0,15
PM-2	0,30	0,33	0,42	0,49	0,47	0,41	0,19
PM-3	0,31	0,30	0,41	0,45	0,42	0,31	0,15
PM-5	0,31	0,36	0,39	0,47	0,41	0,31	0,16
PM-7	0,29	0,36	0,38	0,42	0,38	0,30	0,12
PM-8	0,49	0,54	0,58	0,59	0,57	0,54	0,10
PM-9	0,18	0,14	0,23	0,27	0,23	0,10	0,17
PM-15	-	-	-	0,47	0,35	0,32	0,15
PM-16	-	-	-	0,43	0,35	0,30	0,13
PM-17	-	-	-	0,75	0,76	0,68	0,08
PM-18	-	-	-	1,09	1,06	1,03	0,06
PM-21	-	-	-	0,45	0,40	0,30	0,15
PM-22	-	-	-	0,23	0,13	0,07	0,16
PM-23	-	-	-	0,25	0,13	0,05	0,20
PM-24	-	-	-	0,18	0,16	0,13	0,05
PM-25	-	-	-	0,20	0,15	0,05	0,15
PM-10	0,84	0,91	0,92	0,98	0,85	0,87	0,14
PM-11	0,34	0,37	0,41	0,42	0,41	0,37	0,08
PM-13	0,31	0,39	0,43	0,45	0,40	0,33	0,14
PM-14	0,38	0,46	0,52	0,53	0,57	0,53	0,19
PM-19	-	-	-	0,31	0,26	0,20	0,11
PM-20	-	-	-	0,59	0,55	0,45	0,14
PM-ZERO	-	-	-	0,45	0,30	0,27	0,18

Obs.: * em relação ao *datum* local adotado para a área de estudos de detalhe; ** embora seja um mês tipicamente chuvoso, foi um período atipicamente menos chuvoso que a média histórica. Obs. adicionais: a cor na primeira coluna simboliza a localização dos poços: em vermelho, aqueles situados na área de estudos de detalhe (ÁREA I); em violeta, entre os lagos 1 e 2 (ÁREA I); em amarelo, na área entre a indústria Poliglass, os lagos 3, 4 e pesqueiro (ÁREA II); em verde claro, poços localizados nas proximidades dos lagos a montante (lagos 8 a 11) – ÁREA III; em azul claro, o poço PM-ZERO (área de referência).

III. Potenciometria da área de detalhe

Os Desenhos 2 e 3 (ANEXO A) apresentam os resultados deste levantamento, com potenciometria para os períodos de chuva e estiagem.

IV. Estimativa de condutividade hidráulica e demais parâmetros

A seguir, são apresentados os resultados da estimativa de parâmetros através de *bail-down tests* e testes com permeâmetro.

Testes em laboratório

Os resultados são apresentados nas Tabelas 6.6.2 e 6.6.3.

TABELA 6.6.2 - Resultados dos ensaios de condutividade hidráulica saturada (K) em amostras "indeformadas" coletadas em Santa Gertrudes.

Amostra	Local / tipo de amostra / profundidade (m)	Condutividade hidráulica saturada (mm.h ⁻¹)	Condutividade hidráulica saturada (m.s ⁻¹)
SG-H-1-A-Teste 1	Área de estudos de detalhe; solo, profundidade = 0 – 0,15m	32,98	$9,16 \cdot 10^{-7}$
SG-H-1-A-Teste 2	Área de estudos de detalhe; solos, profundidade = 0 – 0,15m	29,10	$8,08 \cdot 10^{-7}$
SG-H-1-B	Área de estudos de detalhe; solo, profundidade = 0,15 – 0,30m	23,28	$6,47 \cdot 10^{-7}$
SG-H-1-C	Área de estudos de detalhe; solo, profundidade = 0,30 – 0,43m	67,90	$1,89 \cdot 10^{-6}$
SG-H-2-Teste 1	Nas proximidades de indústria cerâmica; solo (horizonte I), profundidade = 0 – 0,30m	16,49	$4,58 \cdot 10^{-7}$
SG-H-2-Teste 2	Nas proximidades de indústria cerâmica; solo (horizonte I), profundidade = 0 – 0,30m	17,46	$4,85 \cdot 10^{-7}$
SG-H-3	Mina de extração de matéria-prima, fora da área de estudos; amostra de pelitos da Fm. Corumbataí (fraturada)	73,82	$1,04 \cdot 10^{-6}$
SG-H-4	Mina de extração de matéria-prima, fora da área de estudos; amostra de pelitos da Fm. Corumbataí (não fraturada)	< 0,01	$< 2,75 \cdot 10^{-10}$

TABELA 6.6.3 - Resultados das análises de porosidade efetiva, retenção específica e densidade aparente em amostras "indeformadas" coletadas em Santa Gertrudes.

Amos- tra	Porosidade total		Porosidade efetiva		Retenção específica		Densidade aparente (g.cm ⁻³)
	(cm ³ /cm ³)	(%)	(cm ³ /cm ³)	(%)	(cm ³ /cm ³)	(%)	
SG-H-1-A-Teste 1	0,59	59	0,21	21	0,38	38	1,41
SG-H-1-A-Teste 2	0,57	57	0,21	21	0,36	36	1,39
SG-H-1-B – Teste 1	0,64	64	0,17	17	0,47	47	1,29
SG-H-1-B – Teste 2	0,58	58	0,23	23	0,35	35	1,35
SG-H-1-C – Teste 1	0,63	63	0,22	22	0,41	41	1,40
SG-H-1-C – Teste 2	0,62	62	0,28	28	0,34	34	1,30
SG-H-2 – Teste 1	0,58	58	0,16	16	0,42	42	1,38
SG-H-2 – Teste 2	0,63	63	0,24	24	0,39	39	1,25

Os resultados indicam que os terrenos recentes formados por solos aluvionares, aterros associados e solos de alteração apresentam condutividade hidráulica saturada da ordem de 10^{-7} m.s⁻¹.

Os pelitos da Fm. Corumbataí, que são o substrato hidrogeológico destes terrenos, tem K, por sua vez, variando em função da presença ou não de fraturas. As

partes não fraturadas são típicas de aquíferos como folhelhos e argilitos ($K \leq 10^{-10} \text{ m.s}^{-1}$); as porções fraturadas, por outro lado, chegam a ter K maior que os solos subjacentes ($K \approx 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$) e revelam propriedades aquíferas*.

Bail-down tests

A Tabela 6.6.4 apresenta os resultados dos *bail-down tests*.

Para cada poço ensaiado, foi construído um gráfico mono-logarítmico $h/h_0 \times t$, para a obtenção de T_0 , correspondente a $t_n - t_{n-1}$ tal que $h_n = 0,37h_0$.

TABELA 6.6.4 - Valores de K (condutividade hidráulica saturada) obtidos em *bail-down tests*.

Poço	Local	Condutividade hidráulica saturada (K), em m.s^{-1}
PM-ZERO	Área de referência	$9,9. 10^{-6}$
PM-1	Área de estudos de detalhe (área I)	$2,3. 10^{-7}$
PM-2	Área de estudos de detalhe (área I)	$2,3. 10^{-7}$
PM-3	Área de estudos de detalhe (área I)	$2,8. 10^{-7}$
PM-5	Área de estudos de detalhe (área I)	$2,3. 10^{-7}$
PM-7	Área de estudos de detalhe (área I)	$1,1. 10^{-7}$
PM-8	Área de estudos de detalhe (área I)	$7,9. 10^{-7}$
PM-9	Área de estudos de detalhe (área I)	$1,8. 10^{-7}$
PM-10	Entre lagos 1 e 2 (área I)	$5,1. 10^{-7}$
PM-15	Área de estudos de detalhe (área I)	$2,3. 10^{-7}$
PM-16	Área de estudos de detalhe (área I)	$2,8. 10^{-7}$
PM-17	Área de estudos de detalhe (área I)	$7,3. 10^{-8}$
PM-21	Área de estudos de detalhe (área I)	$2,3. 10^{-7}$
PM-24	Área de estudos de detalhe (área I)	$5,8. 10^{-7}$
PM-13	Entre lagos 3 e 4 (área II)	$2,3. 10^{-7}$

Estes valores correspondem, em média, a terrenos siltosos segundo a escala de valores de FREEZE & CHERRY (1979), o que corrobora com as análises granulométricas, relativamente bem distribuídas entre as frações areia, silte e argila.

Além disso, é possível correlacionar os resultados obtidos em laboratório com aqueles gerados em ensaios em campo, de tal forma que se pode afirmar que a condutividade hidráulica saturada nos aquíferos locais de terrenos recentes (aluvões, aterros associados etc.) está ao redor de 10^{-6} a 10^{-7} m.s^{-1} .

* valores segundo a escala apresentada em FREEZE & CHERRY (1979).

V. Análises químicas

Poços de monitoramento

Os resultados analíticos de chumbo, zinco e boro, a partir de coletas efetuadas na área de referência (PM-ZERO) e na área de estudos de detalhe (demais poços) encontram-se nas Tabelas 6.6.5 a 6.6.7.

TABELA 6.6.5 - Resultados de análises químicas de chumbo efetuadas em poços de monitoramento ($\mu\text{g. L}^{-1}$)*.

Amostra	DEZ/1998	ABR/1999	MAI/1999	AGO/1999	DEZ/1999	FEV/2000
PM-ZERO	-	-	-	3	3	2
PM-1	93	70	89	98	91	101
PM-2	100	92	106	190	110	110
PM-3	284	546	471	570	500	230
PM-5	253	665	572	760	780	590
PM-7	12	11	10	12	16	12
PM-8	26	9	6	24	21	29
PM-9	45	55	59	73	74	59
PM-10	12	19	12	17	13	9
PM-15	-	-	503	760	600	380
PM-16	-	-	637	630	600	560
PM-17	-	-	87	59	51	66
PM-21	253	665	372	760	780	590
PM-22	-	-	-	34	45	32
PM-24	-	-	-	512	521	503

Obs.: * limite de potabilidade para o chumbo = $50 \mu\text{g. L}^{-1}$; cores em vermelho indicam valores muito acima da potabilidade; cores em laranja indicam valores acima ou ao redor destes limites.

TABELA 6.6.6 - Resultados de análises químicas de boro (mg. L^{-1})*.

Amostra	DEZ/1998	ABR/1999	MAI/1999	AGO/1999	DEZ/1999	FEV/2000
PM-ZERO	-	-	-	2,5	1,5	1,6
PM-1	19,6	10,0	7,5	14,7	14,9	-
PM-2	115,5	98,5	99,0	87,8	81,8	139,0
PM-3	346,0	156,0	139,0	412,0	229,0	326,0
PM-5	393,0	152,0	156,0	504,0	386,0	407,0
PM-7	2,7	1,8	2,5	1,9	2,7	3,9
PM-8	3,9	2,0	2,6	5,0	5,0	5,0
PM-10	5,5	4,0	3,7	4,8	4,9	4,0
PM-15	-	-	132,0	279,7	104,0	127,0

Amostra	DEZ/1998	ABR/1999	MAI/1999	AGO/1999	DEZ/1999	FEV/2000
PM-16	-	-	203,0	295,0	106,0	289,0
PM-17	-	-	3,9	1,6	1,4	-
PM-21	-	-	-	250,0	232,0	306,0
PM-22	-	-	-	3,0	3,9	3,0
PM-24	-	-	-	95,0	83,5	106,0

Obs.: * limite de potabilidade/Canadá = 5,0 mg. L⁻¹; cores em vermelho indicam valores muito acima da potabilidade; cores em laranja indicam valores acima ou ao redor destes limites.

TABELA 6.6.7 - Resultados de análises químicas de zinco (µg. L⁻¹)*.

Amostra	DEZ/1998	ABR/1999	MAI/1999	AGO/1999	DEZ/1999	FEV/2000
PM-ZERO	-	-	-	9	4	4
PM-1	12	19	20	12	13	19
PM-3	46	46	29	32	29	32
PM-5	43	42	36	44	38	29
PM-8	17	-	12	19	14	17
PM-15	-	-	23	19	14	17
PM-16	-	-	23	19	26	29
PM-17	-	-	12	17	20	27
PM-21	-	-	-	23	12	19
PM-22	-	-	-	26	33	24
PM-24	-	-	-	24	34	31

Obs.: * limite de potabilidade para o zinco = 5,0 mg. L⁻¹.

Também foram efetuadas análises químicas de elementos maiores e elementos traço, cujos dados médios são apresentados nas Tabelas 6.6.8 e 6.6.9.

TABELA 6.6.8 – Valores médios dos resultados de análises químicas de amostras de águas subterrâneas - elementos maiores (mg.L⁻¹).

Amostra	Na	K	Mg	Ca	Al	Si	Fe	Mn	Ti
PM-ZERO	22,1	16,5	5,1	16,4	-	-	-	-	-
PM-1	52,5	8,3	10,4	25,0	0,04	6,0	0,09	1,23	0,004
PM-2	205,3	19,9	21,8	27,8	0,03	12,2	0,05	2,52	0,004
PM-3	453,7	20,7	13,7	50,1	0,67	16,7	0,55	0,71	0,093
PM-5	605,1	45,3	14,8	60,0	2,05	14,9	0,76	0,89	0,087
PM-7	6,2	3,0	5,0	7,0	0,07	3,0	0,23	0,57	0,011
PM-8	6,9	2,2	4,4	6,5	0,02	4,0	0,10	1,29	0,023
PM-9	10,5	8,5	7,3	12,5	-	-	-	-	-
PM-10	10,2	3,4	10,8	9,0	-	-	-	-	-
PM-15	412,7	24,7	18,9	37,9	0,40	12,8	0,21	1,45	0,017

Amostra	Na	K	Mg	Ca	Al	Si	Fe	Mn	Ti
PM-16	299,7	12,2	12,7	30,0	0,33	5,1	0,19	1,37	0,014
PM-17	187,3	4,4	3,5	4,9	0,39	20,1	0,21	0,28	0,054
PM-21	411,9	22,7	9,5	40,9	-	-	-	-	-
PM-22	6,9	2,9	2,2	3,0	-	-	-	-	-
PM-24	350,0	24,5	13,0	8,3	-	-	-	-	-
PM-26	515,7	25,9	17,9	27,9	-	-	-	-	-

TABELA 6.6.9 - Valores médios dos resultados de análises químicas de amostras de águas subterrâneas – metais pesados ($\mu\text{g.L}^{-1}$).

Amostra	Ag	Ba	Cd	Co	Cu	Cr	Hg	Mo	Ni	As	Se	Zr
PM-ZERO	nd	-	nd	1,02	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
PM-1	nd	145,4	nd	2,71	20,5	2,0	nd	1,1	3,0	0,4	3,0	0,22
PM-2	nd	345,3	nd	2,22	22,9	nd	nd	2,0	9,0	11,2	3,0	0,75
PM-3	0,5	404,7	0,41	5,03	77,9	3,3	2,3	54,5	20,5	70,5	20,0	12,1
PM-5	0,5	503,7	0,77	5,57	514,2	4,0	4,0	55,4	32,9	63,3	18,9	14,9
PM-7	nd	90,3	0,21	1,87	17,9	nd	nd	nd	2,0	0,14	nd	nd
PM-8	nd	154,3	0,11	3,21	51,3	2,1	nd	nd	2,0	0,11	nd	nd
PM-15	nd	579,0	0,63	3,76	421,4	nd	1,2	50,1	15,2	34,4	18,7	5,4
PM-16	nd	222,7	0,10	2,76	29,9	nd	nd	3,0	14,1	2,0	1,0	0,9
PM-17	nd	87,3	nd	3,05	32,5	nd	nd	0,5	4,0	nd	1,0	1,8

Os resultados indicam que, embora Pb e B sejam os principais contaminantes das águas subterrâneas de aquíferos locais, há valores acima dos padrões de potabilidade também para sódio, ferro, manganês, mercúrio, arsênio e selênio. Valores máximos de bário e níquel também estão próximos a estes limites.

Nas amostras onde foram detectadas elevadas concentrações de algumas espécies químicas como Pb e B, pôde-se observar correlação característica com resultados de análises químicas *in situ*: a água nesses poços apresenta pH > 7 (entre 7,5 e 8,5), sólidos dissolvidos totais (SDT) são elevados e Eh negativo (Tabela 6.6.10).

TABELA 6.6.10 - Resultados médios de análises *in situ* em correlação com teores de chumbo e boro em águas subterrâneas dos poços PM-3, PM-5 e PM-15.

Poço	pH	Eh (mV)	CE ($\mu\text{S/cm}$)	Pb ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	B (mg.L^{-1})
PM-3	8,19	-98,5	2580	Até 580	Até 412,0
PM-5	8,51	-106,6	2730	Até 780	Até 504,0
PM-15	8,12	-63,9	1325	Até 760	Até 279,7

Contrastando com essas características, amostras de poços com menores teores dessas espécies, como em PM-1, PM-7, PM-8 etc. apresentam pH próximo ou

inferior a 7, Eh positivo e valores de SDT comparativamente mais baixos (Tabela 6.6.11).

TABELA 6.6.11 - Resultados médios de análises *in situ* em correlação com teores de chumbo e boro em águas subterrâneas dos poços PM-7, PM-8 e PM-10.

Poço	pH	Eh (mV)	CE ($\mu\text{S/cm}$)	Pb ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	B (mg.L^{-1})
PM-7	6,72	13,1	95	Até 2	Até 3,9
PM-8	6,45	35,0	482	Até 26	Até 5,0
PM-10	6,42	24,5	328	Até 3	Até 5,5

Os ânions predominantes nas águas subterrâneas contaminadas são Cl^- (até 187 mg.L^{-1}) e HCO_3^- (até $55,0 \text{ mg.L}^{-1}$). F^- ocorre até $3,1 \text{ mg.L}^{-1}$, acima dos limites de potabilidade ($1,7 \text{ mg.L}^{-1}$). SO_4^{2-} e NO_3^- estão praticamente ausentes; PO_4^{3-} , NO_2^- e S^{2-} não foram detectados.

Cacimbas

Complementando o levantamento da qualidade das águas subterrâneas, também foram amostradas águas em três cacimbas, que são utilizadas para abastecimento de pequenos sítios ou criação de animais. Os resultados são apresentados nas Tabelas 6.6.12, 6.6.13 e 6.6.14.

TABELA 6.6.12 - Dados de condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$), Eh (mV), pH, B ($\mu\text{g.L}^{-1}$), Pb ($\mu\text{g.L}^{-1}$) e Zn ($\mu\text{g.L}^{-1}$) de amostras de água de cacimbas.

Ponto	C.E. ($\mu\text{S/cm}$)	Eh (mV)	pH	B (mg.L^{-1})	Pb ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Zn ($\mu\text{g.L}^{-1}$)
C-1	100,0 a 551,0	13,9 a 68,7	5,76 a 6,06	2,2 a 4,7	1,1 a 3,0	14,1 a 96,2
C-3	94,1 a 568,0	-12,0 a 72,8	5,70 a 6,15	1,6 a 4,9	1,0 a 27,6	15,4 a 33,0
C-4	12,5 a 39,5	60,0 a 88,4	5,44 a 6,01	1,9 a 4,0	nd	5,0 a 10,0

TABELA 6.6.13 - Resultados de análises químicas nas investigações iniciais, em amostras de água de cacimbas - elementos maiores (mg.L^{-1}).

Amostra	Na	K	Mg	Ca	Al	Si	Fe	Mn	Ti
C-1	42,3	1,2	5,4	12,8	0,023	1,0	0,032	0,113	0,01
C-3	9,2	0,9	1,0	6,5	0,039	3,7	0,172	0,981	0,02
C-4	7,9	0,8	1,1	6,0	0,023	2,5	0,150	0,850	0,01

TABELA 6.6.14 - resultados de análises químicas em amostras de água de cacimbas, galeria e fontes - metais pesados e demais elementos traço ($\mu\text{g.L}^{-1}$).

Amostra	Ag	Ba	Cd	Co	Cu	Cr	Hg	Mo	Ni	Pb	Zn	As	Se	Zr
C-1	nd	113,2	0,20	5,4	25,1	1,1	nd	nd	3,1	1,4	96,2	0,24	0,5	0,02
C-3	nd	36,9	0,04	18,5	5,2	0,7	nd	nd	1,3	1,6	33,0	0,15	nd	0,38
C-4	nd	40,5	0,05	10,3	6,7	1,0	nd	nd	1,2	1,5	40,5	0,13	nd	0,09

Os resultados das análises químicas demonstram que estes locais não são afetados pela contaminação proveniente das indústrias (Pb, B etc.) e há apenas problemas localizados em relação ao ferro e manganês, presentes acima dos limites de potabilidade.

Zona não saturada

A seguir são apresentados resultados de análises efetuadas em amostras de água da zona não saturada.

TABELA 6.6.15 - Dados de condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$), Eh (mV), pH e Pb ($\mu\text{g.L}^{-1}$) de amostras de água da zona não saturada.

Ponto	C.E. ($\mu\text{S/cm}$)	Eh (mV)	pH	Pb (mg.L^{-1})
LIS-0,10	180	-100,0	8,5	0,1
LIS-0,30	300	-102,5	8,5	0,2
LIS-0,40	250	-80,5	8,7	0,2

Estes resultados são correlacionáveis aos obtidos nas extrações sequenciais – fração I (fracamente ligada), adicionando-se as devidas correções com densidade aparente e porosidade efetiva.

VI. Levantamento geofísico

São apresentados a seguir os resultados dos levantamentos geofísicos, cuja localização encontra-se no Desenho 1 (Anexo A).

Sondagem elétrica vertical

As Figuras 6.6.6 a 6.6.8 apresentam os resultados obtidos com sondagem elétrica vertical. Estes dados foram integrados com os de perfuração de poços tubulares profundos para a elaboração do modelo conceitual hidrogeológico da área de estudos.

SEV-1 – proximidades da área de estudos de detalhe (área I)

Figura 6.6.6 – Resultados da SEV-1, efetuada nas proximidades da área de estudos de detalhe (área I).

A camada com resistividade igual a $27 \Omega.m$ corresponde à Fm. Corumbataí. Observa-se pela curva da SEV-1 uma camada muito mais resistiva sob esta, interpretada como o silt diabásio (Fm. Serra Geral), cujo topo está a aproximadamente 8,5 m de profundidade.

SEV-2 – proximidades da área de estudos de detalhe (área I)

Figura 6.6.7 – Resultados da SEV-2, efetuada nas proximidades da área de estudos de detalhe (área I).

Pela SEV-2, os pelitos da Fm. Corumbataí correspondem à camada com resistividade igual a $105 \Omega.m$. Novamente, observa-se a presença da camada muito

mais resistiva subjacente aos pelitos, correspondendo ao sill de diabásio (Fm. Serra Geral), cujo topo está a aproximadamente 7,5 m de profundidade.

SEV-3 - entre a antiga indústria Poliglass e o lago 4 (área II)

Figura 6.6.8 – Resultados da SEV-3, efetuada entre a indústria Poliglass e o lago 4 (área II).

Na SEV-3, não se observa mais a presença do aluvião, o que corrobora com as observações de campo, situando-se um local com gradiente topográfico acentuado. As duas primeiras camadas (1 e 2) correspondem aos sedimentos da Fm. Corumbataí. A seguir, supõe-se a existência de uma camada saturada, a partir da observação dos níveis d'água em cacimbas locais (C-1, C-2 e C-4). A camada mais profunda, com resistividade de 265 Ω .m está relacionada ao sill de diabásio.

Considerações gerais - SEVs

Segundo BRAGA (1997), que realizou estudo utilizando o método da eletrorresistividade na região de Rio Claro, os sedimentos da Fm. Corumbataí apresentam valores de resistividade entre 24 e 58 $\Omega.m$.

A resistividade de diabásios e basaltos do Estado de São Paulo já é bastante conhecida, podendo variar em uma faixa de dezenas a poucos milhares de $\Omega.m$. Os valores das camadas geoeletricas interpretadas como sendo diabásios (535 e 875 $\Omega.m$, SEVs 1 e 2, respectivamente) estão de acordo com os valores obtidos por diversos autores (DAVINO, 1970; ELLERT, 1973; MANIAKAS, 1986).

Estes dados permitiram uma boa aproximação da disposição dos três pacotes principais presentes na área de estudos, da base para o topo: *sill* de diabásio (Fm. Serra Geral), pelitos da Fm. Serra Geral e aluviões/áreas aterradas (terrenos recentes).

GPR e EM - área de estudos de detalhe

Em levantamentos com métodos GPR e EM, efetuados na área de estudos de detalhe, ficou evidente a diferenciação entre a camada de aluvião recente, superior, e os pelitos da Fm. Corumbataí, camada inferior. Observa-se, nesta última, completa atenuação do sinal eletromagnético, decorrência da alta condutividade elétrica que este pacote apresenta, como também foi verificado pelo levantamento eletromagnético.

A espessura da camada de aluvião na área estudada varia entre 2-2,5 e 3,5 m (Figuras 6.6.9 a 6.6.11), adelgaçando-se nas bordas do pacote, de acordo com a interpretação baseada nas seções obtidas com o GPR.

Esses dados foram utilizados, juntamente com informações obtidas em poços de monitoramento e sondagens, para delimitar a disposição de camadas apresentada nos mapas potenciométricos dos Desenhos 2 e 3 (ANEXO A).

FIGURA 6.6.9 – Perfil P1, com GPR, efetuado na área de estudos de detalhe (área I) com antenas de 50 e 100MHz.

FIGURA 6.6.10 – Perfis P2 e P3, com GPR, efetuados na área de estudos de detalhe (área I) com antena de 100MHz.

FIGURA 6.6.11 – Perfil P4, com GPR, efetuado na área de estudos de detalhe (área I) com antenas de 50 e 100MHz.

ÁGUAS SUPERFICIAIS

Foram investigadas águas superficiais do córrego da Fazenda Itaqui (Capítulo 6.7.2), de pequenos cursos d'água associados (Cap. 6.7.3) e de lagos (Cap. 6.8). Em algumas situações, também foram amostradas águas pluviais e/ou associadas a lançamentos de efluentes industriais em ravinas e demais feições erosivas (Cap. 6.9).

Como se sabe, o escoamento superficial é bastante expressivo na área de estudos, o que, além de gerar degradação física por erosão e assoreamento, também pode funcionar como veículo disseminador de contaminantes ou poluentes.

6.7. Córrego da Fazenda Itaqui e cursos d'água associados

6.7.1. Materiais e métodos específicos

Foram monitorados cinco pontos ao longo do percurso do córrego da Fazenda Itaqui, dentro da área de estudos: FI-0 a FI-4 (Figura 6.7.1; Desenho 1, ANEXO A; Fotos 6.7.1 e 6.7.2). O ponto FI-0 corresponde à nascente 1, situada em um sítio na área III; o ponto FI-4 localiza-se na parte mais jusante do córrego na área de estudos.

As amostragens e análises seguiram roteiro apresentado no Capítulo 6.1 e os resultados analíticos de pH, Eh, SDT, chumbo, zinco e boro foram projetados em gráficos de perfis. Além disso, também foram analisadas amostras de material particulado, para verificar o comportamento do chumbo.

FOTO 6.7.1 - Ponto FI-2 (córrego da Fazenda Itaqui), situado na ÁREA II, próximo ao pesqueiro. FOTO 6.7.2 - Ponto FI-4 (córrego da Faz. Itaqui), localizado no final da área de estudo, a jusante da ÁREA III.

6.7.2. Resultados obtidos – córrego da Fazenda Itaqui

A seguir, são apresentados os resultados analíticos a partir de amostragens efetuadas ao longo do córrego da Fazenda Itaqui.

- LEGENDA**
- 600 — Curva de nível (Equidistância de 10m)
 - == Estrada principal/rodovia
 - Estrada secundária
 - Córrego
 - Lagoa/lago
 - Instalação industrial
 - Ponto de amostragem de água do córrego da Fazenda Itaqui

FIGURA 6.7.1 - Amostragem de águas superficiais - córrego da Fazenda Itaqui.

FIGURA 6.7.2 - Resultados de sólidos dissolvidos totais (SDT) nas águas do córrego da Fazenda Itaqui, analisadas em diferentes períodos.

FIGURA 6.7.3 - Resultados de pH das águas do córrego da Fazenda Itaqui, analisadas em diferentes períodos.

FIGURA 6.7.4 - Resultados de Eh das águas do córrego da Fazenda Itaqui, analisadas em diferentes períodos.

FIGURA 6.7.5 - Resultados de chumbo nas águas do córrego da Fazenda Itaqui, analisadas em diferentes períodos.

FIGURA 6.7.6 - Resultados de zinco nas águas do córrego da Fazenda Itaqui, analisadas em diferentes períodos.

FIGURA 6.7.7 - Resultados de boro nas águas do córrego da Fazenda Itaqui, analisadas em diferentes períodos.

FIGURA 6.7.8 - Resultados de teores médios de sódio, potássio, cálcio e magnésio nas águas do córrego da Fazenda Itaqui, analisadas em diferentes períodos.

Os resultados indicam aumento de SDT, elementos maiores, pH, Pb, Zn e B, e diminuição do Eh desde a nascente (FI-0) até o último ponto analisado no córrego da Fazenda Itaqui (FI-4); também indicam variações entre estações seca e chuvosa, sendo que o boro ultrapassa o limite de qualidade para classe 2 ($5,0 \text{ mg.L}^{-1}$) nas épocas mais chuvosas.

É necessário salientar que também foram analisados íons “particulados” em duas ocasiões (uma em estação seca, outra em estação chuvosa), em três pontos do córrego da Fazenda Itaqui: FI-0, FI-2 e FI-4. Os resultados são apresentados na Tabela 6.7.1 e indicam ser este um potencial veículo de transporte de chumbo.

TABELA 6.7.1 – Dados de análises de íons “particulados” efetuadas em pontos de amostragem do córrego da Fazenda Itaqui.

Ponto de amostragem	Estação da coleta	Pb “particulado” (mg.kg^{-1})	Pb “particulado” ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Pb “em solução” ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Pb total ($\mu\text{g.L}^{-1}$)
FI-0	Chuvosa	37,8	18,9	0,5	19,4
FI-0	Estiagem	40,5	20,3	0,8	21,1
FI-2	Chuvosa	95,8	47,9	11,1	59,0
FI-2	Estiagem	110,1	55,1	4,0	59,1
FI-4	Chuvosa	195,3	97,7	19,1	116,8
FI-4	Estiagem	115,8	57,9	6,9	64,8

6.7.3. Pequenos cursos d'água situados na área de estudos de detalhe

Além do córrego da Fazenda Itaqui, também foram amostrados pontos situados em pequenos cursos d'água localizados na área de estudos de detalhe (vide localização nos Desenhos 1, 2 e 3, ANEXO A). São particularmente interessantes, devido à possibilidade de correlação com dados de análises de águas subterrâneas dos poços de monitoramento, visto que o fluxo subterrâneo, observado em minipiezômetros, é efluente. Ademais, um dos pontos amostrados, PCD1-1, representa a entrada de águas superficiais provenientes da área de estudos de detalhe no lago 2.

TABELA 6.7.2 - Dados de análise *in situ* em amostras de água de pequeno curso d'água situado na área de estudos de detalhe.

Amostra	C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Eh(mV)	pH
PCD-1	150	100,0	7,08
PCD-2	127	21,0	6,80
PCD-3	198	-61,0	7,00

TABELA 6.7.3 - Dados de análise em amostras de água de pequeno curso d'água situado na área de estudos de detalhe - elementos maiores (mg.L^{-1}).

Amostra	Na	K	Mg	Ca	Al	Si	Fe	Mn	Ti
PCD-1	6,9	3,9	3,3	6,7	0,002	3,5	0,095	0,035	2,9
PCD-3	15,0	2,0	7,6	14,3	0,010	9,1	0,046	0,092	1,6

TABELA 6.7.4 - Dados de análise em amostras de água de pequeno curso d'água situado na área de estudos de detalhe - metais pesados ($\mu\text{g.L}^{-1}$).

Amostra	Ag	Ba	Cd	Co	Cu	Cr	Hg	Mo	Ni	Pb	Zn
PCD-1	4,6	256,9	0,30	0,937	17,5	1,7	nd	0,2	2,0	5,3	43,4
PCD-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,8	-
PCD-3	nd	194,0	0,01	0,175	1,4	0,9	nd	0,7	0,5	3,5	nd

TABELA 6.7.5 - Dados de análise em amostras de água de pequeno curso d'água situado na área de estudos de detalhe - demais elementos ($\mu\text{g.L}^{-1}$).

Amostra	B*	As	Se	Zr
PCD-1	13,0	0,83	nd	0,053
PCD-3	14,0	0,40	nd	0,053

* mg.L^{-1} .

Estes resultados indicam que o boro é o único elemento com concentrações acima dos padrões de qualidade presente nestes cursos d'água.

6.8. Águas superficiais - lagos

6.8.1. Materiais e métodos específicos

Foram selecionados alguns dos lagos existentes na área de estudos e o lago da área de referência (lago ZERO), para coleta e análise de amostras de água. A localização dos pontos escolhidos está na Figura 6.8.1 e no Desenho 1 (ANEXO A).

As amostragens foram efetuadas com garrafa *van Door* (Foto 6.8.1), a meia profundidade. O procedimento foi o seguinte: a garrafa aberta foi abaixada por cabo de aço até a profundidade de amostragem e, em seguida, fechada com auxílio de um mensageiro. Depois de içada, a válvula da garrafa foi aberta e a amostra transferida para recipientes apropriados.

FOTO 6.8.1 – Amostragem de água de lago com garrafa *van Door*.

6.8.2. Resultados obtidos

TABELA 6.8.1 - Dados de análise *in situ* em amostras de água de lagos.

Amostra	Local	C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Eh(mV)	pH
L1-1	Lago 1 (área I)	173,3	-24,6	7,38
L2-L1	Entre lagos 1 e 2 (área I)	140,3	100	6,92
L2-1C	Lago 2 (área I)	161,2	-49,8	7,82
L2-4	Lago 2 (área I)	121,0	204	6,02
L2-6	Lago 2 (área I)	137,9	162	6,28
L2-8	Lago 2 (área I)	144,5	130	6,22
L3-3	Lago 3 (área II)	121,0	-	-
L4-4	Lago 4 (área II)	158,4	-25,7	-
L6-1	Lago 6 (área III)	294	26,0	7,64
L7-1	Lago 7 (área III)	1473	-17,2	7,26
LZERO-2	Lago ZERO (Referência)	70,0	24,6	6,90

LEGENDA

- 600 — Curva de nível (Equidistância de 10m)
- == Estrada principal/rodovia
- == Estrada secundária
- ~ Córrego
- Lagoa/lago
- Instalação industrial
- Ponto de amostragem - água de lago

FIGURA 6.8.1 - Amostragem de água superficiais - lago

TABELA 6.8.2 - Resultados de análises químicas em amostras de água de lagos - elementos maiores (mg.L⁻¹).

Amostra	Local	Na	K	Mg	Ca	Al	Si	Fe	Mn	Ti
L1-1	Lago 1 (área I)	21,2	4,4	3,8	8,6	0,008	2,4	0,023	0,001	0,001
L2-L1	Entre lagos 1 e 2 (área I)	8,7	3,8	3,2	8,6	0,008	3,0	0,026	0,015	0,001
L2-1C	Lago 2 (área I)	12,9	3,7	4,8	11,0	0,012	5,0	0,028	0,003	0,001
L2-4	Lago 2 (área I)	9,8	3,3	4,5	11,6	0,008	6,4	0,029	0,002	0,001
L2-6	Lago 2 (área I)	9,7	3,4	4,6	11,5	0,008	6,5	0,026	0,001	0,001
L2-8	Lago 2 (área I)	9,9	4,0	4,8	11,2	0,012	7,1	0,032	0,015	0,001
L3-3	Lago 3 (área II)	5,2	2,6	2,3	6,2	0,084	7,7	0,107	0,026	0,002
L3-2	Lago 3 (área II)	13,2	6,2	5,1	13,7	0,074	6,7	0,089	0,015	0,004
L4-4	Lago 4 (área II)	13,8	4,5	2,5	6,9	0,097	9,5	0,314	0,060	0,045
L4-3	Lago 4 (área II)	23,9	4,5	2,5	6,6	0,013	5,2	0,050	0,010	0,001
L6-1	Lago 6 (área III)	105,0	3,3	3,1	4,8	0,096	25,6	0,113	0,043	0,015
L7-1	Lago 7 (área III)	175,0	27,8	37,8	53,9	0,023	16,7	0,108	0,089	0,001
LZERO-2	Lago ZERO (Referência)	2,5	0,7	2,1	4,7	0,003	6,2	0,018	0,012	0,001

TABELA 6.8.3 - Resultados de análises químicas em amostras de água de lagos – demais elementos (µg.L⁻¹).

Amostra	Ag	Ba	Cd	Co	Cu	Cr	Hg	Mo	Ni	Pb	Zn	B*	As	Se	Zr
L1-1	nd	42,9	0,02	0,052	1,6	1,1	nd	2,6	0,6	nd	0,9	5,2	0,92	nd	0,842
L2-L1	nd	63,9	0,02	0,067	0,8	0,7	nd	nd	0,4	1,4	9,8	5,0	0,43	nd	0,014
L2-1C	nd	55,1	0,01	0,049	0,8	0,8	nd	0,3	0,8	1,5	34,0	7,0	0,60	nd	0,022
L2-4	nd	85,8	0,02	0,030	1,0	0,6	nd	0,3	0,7	nd	26,0	4,8	0,28	nd	0,028
L2-6	nd	88,4	nd	0,034	0,6	nd	nd	0,4	0,4	3,4	2,3	4,4	0,27	nd	0,019
L2-8	nd	72,6	nd	0,037	0,5	468	nd	0,4	0,4	nd	20,1	4,9	0,31	nd	0,718
L3-3	nd	36,9	0,06	0,139	4,7	1,1	nd	0,3	1,3	5,6	51,6	1,8	0,37	nd	0,561
L3-2	nd	125,7	0,01	0,075	1,4	31	nd	0,4	0,7	0,5	6,1	3,1	0,60	nd	1,292
L4-4	nd	57,4	0,14	0,366	5,0	1,5	nd	0,7	2,2	13,5	27,1	2,6	1,07	0,3	2,411
L4-3	nd	43,2	nd	0,219	0,9	29	nd	0,5	1,6	1,8	4,9	3,5	1,22	0,3	0,389
L6-1	nd	154,4	0,04	0,591	4,3	3,4	nd	2,2	2,2	25,5	17,7	17,1	2,93	8,9	2,067
L7-1	nd	517,5	nd	0,388	1,4	1,5	nd	5,4	1,1	30,1	15,8	54,2	1,08	nd	0,526
LZERO-2	nd	26,8	nd	0,042	0,9	1,2	nd	nd	0,3	0,3	15,0	0,1	0,17	nd	0,023

* mg.L⁻¹.

Os resultados indicam que, à exceção do boro, os demais elementos não apresentam concentrações expressivas ou acima dos limites de qualidade e potabilidade. Além disso, análises efetuadas em amostras coletadas em três diferentes profundidades dos lagos (mais superficial, a meia profundidade e próximo aos sedimentos de fundo) não demonstraram diferenças significativas ou implicações ambientais.

6.9. Águas superficiais – feições erosivas

6.9.1. Materiais e métodos específicos

Foram amostradas águas superficiais em ravinas, correspondendo a contribuições pluviais e/ou de lançamentos de efluentes líquidos de indústrias. As coletas foram efetuadas diretamente com frascos, contra o sentido de fluxo. A localização dos pontos amostrados está na Figura 6.9.1 e no Desenho 1 (ANEXO A).

6.9.2. Análises efetuadas

A seguir são apresentados os resultados obtidos.

TABELA 6.9.1 - Dados parciais de análise *in situ* em amostras de águas de ravinas.

Amostra	Local	C.E. ($\mu\text{S/cm}$)	Eh (mV)	pH*
RAV2-L2-1-A	Ravina 2 (área I)	610	-	9,0
RAV2-L2-2-A	Ravina 2 (área I)	918	200,0	8,8
RAV2-L2-3-A	Ravina 2 (área I)	622	180,0	9,2
RAV1-FI-1-A	Ravina 1 (área I)	1980	-	8,6
POLIL4-R1-A	Ravina da Poliglass (área II)	1768	-196,8	10,3
POLI-1-A	Terreno da Poliglass	59000	-221,1	10,1
POLI-2-A	Terreno da Poliglass	91000	-189,0	11,2

* pH observado: sempre maior que 8,5.

TABELA 6.9.2 - Resultados de análises químicas em amostras de água de ravinas - elementos maiores (mg.L^{-1}).

Amostra	Na	K	Mg	Ca	Al	Si	Fe	Mn	Ti
RAV2-L2-1-A*	198,0	4,0	6,1	8,1	0,825	9,8	0,047	0,002	0,004
RAV2-L2-1-B**	150,0	2,8	1,1	3,6	0,704	5,3	0,274	0,002	0,002
RAV2-L2-2-A*	118,0	3,0	1,2	6,2	0,552	6,5	0,199	0,002	0,002
RAV2-L2-2-B**	264,0	6,4	4,1	8,5	0,990	10,0	0,396	0,006	0,002
RAV2-L2-3-A*	266,0	6,5	4,3	10,3	0,891	10,0	0,373	0,006	0,012
RAV2-L2-3-B**	119,0	3,3	2,6	8,1	0,310	4,5	0,115	0,002	0,007

*, ** coletadas em épocas diferentes

FIGURA 6.9.1 - Amostragem de águas em ravinas.

TABELA 6.9.3 - Resultados de análises químicas em amostras de água de ravinas - - metais-pesados, As, Se e B ($\mu\text{g.L}^{-1}$).

Amostra	Ag	Ba	Cd	Co	Cu	Cr	Hg	Mo	Ni	Pb	Zn	B***	As	Se	Zr	U
RAV2-L2-1-A*	nd	190,0	0,02	0,25	5,4	nd	nd	7,8	4,5	1,0	1,1	54,70	7,96	0,5	0,47	1,54
RAV2-L2-1-B**	nd	32,3	0,04	0,18	11,3	1,0	nd	4,9	4,2	3,6	12,1	13,40	2,80	0,5	2,22	0,72
RAV2-L2-2-A*	nd	27,3	0,05	0,34	18,7	1,7	nd	5,5	9,4	1,9	37,3	10,9	6,05	1,0	1,42	1,35
RAV2-L2-2-B**	nd	117,5	0,11	0,35	6,6	1,8	nd	14	6,0	9,1	12,2	71,1	8,36	0,8	6,13	2,58
RAV2-L2-3-A*	nd	106,6	0,12	0,36	6,1	1,5	nd	14	6,0	8,5	9,3	71,9	8,52	0,6	5,37	2,87
RAV2-L2-3-B**	nd	45,5	0,04	0,12	8,3	0,8	nd	4,8	3,1	1,6	13,4	14,3	1,98	0,4	0,72	1,50

*, ** coletadas em épocas diferentes; *** mg.L^{-1} .

Na época dos trabalhos de campo, a ravina 2 (pontos RAV2-L2-1, RAV2-L2-2, RAV2-L2-3) recebia efluentes líquidos industriais (Foto 6.9.1), lançados *in natura* e tipicamente com pH elevado (entre 8,5 e 10,5), resultado de tratamento físico-químico de resíduos da linha de esmaltação.

Na antiga indústria Poliglass, hoje desativada, havia acúmulo de resíduos sólidos e líquidos (pontos POLI-1 e POLI-2, Foto 6.9.2). Leituras *in situ* indicaram elevados valores de condutividade elétrica (até 91 mS/cm) e pH (até 11,2), baixo valor de Eh e o agravante da existência de uma ravina (POLI-L4-R) que os conduzia diretamente ao lago 4.

FOTO 6.9.1 - Efluentes líquidos industriais com pH elevado, lançados na ravina 2 (área I), entre indústria cerâmica e o lago 2.

FOTO 6.9.2 - Resíduos dispostos inadequadamente no terreno da antiga indústria Poliglass, próximo à ravina que conduz águas pluviais deste local ao lago 4.

6.10. Água de chuva

6.10.1. Materiais e métodos específicos

Para caracterização de águas de chuva, foram instalados três pluviômetros na área de estudos (PL-1 a PL-3) e um na área de referência (PL-ZERO), cuja localização está na Figura 6.10.1 e no Desenho 1 (ANEXO A).

A Foto 6.10.1 ilustra um dos pluviômetros instalados (PL-2), cuja técnica de amostragem utilizada foi de deposição total.

FOTO 6.10.1 - Vista do pluviômetro PL-2 e amostragem de água de chuva.

Deve-se observar que na água de chuva também podem estar refletidos efeitos das chaminés dos fornos das indústrias cerâmicas, da poeira de materiais finos (argilas em grandes estoques de matéria-prima, muitas vezes ao ar livre) e de interferências externas (por exemplo, queimadas, rodovia Washington Luís).

Também foi colocado um amostrador de água de chuva para coleta em curto período (uma semana), PL-4, visando observar variações nos teores de chumbo entre períodos de maior (PL-ZERO a PL-3) e menor tempo (PL-4) de amostragem.

FIGURA 6.10.1 - Amostragem de água de chuva.

6.10.2. Análises efetuadas

Análises efetuadas em amostras de água de chuva com pluviômetro de deposição total revelaram pH entre 6,8 (estação mais seca) e 7,4 (estação chuvosa) e sólidos dissolvidos totais entre 5,0 mg.L⁻¹ (estação chuvosa) e 30,0 mg.L⁻¹ (primeiras chuvas após estação mais seca).

Constatou-se alta variabilidade nos teores de chumbo em diferentes épocas, o que deve estar associado à heterogeneidade inerente à região e à deposição de material particulado ou de partículas coloidais nos pluviômetros, misturando-se à água de chuva. As Tabelas 6.10.1 e 6.10.2 apresentam os resultados obtidos.

TABELA 6.10.1 - Resultados de análises químicas em água de chuva, coletadas em pluviômetros com deposição total - Pb (µg.L⁻¹).

Amostra	LOCAL	DEZ/98	ABR/99	JUL/99	FEV/2000
PL-ZERO	Área de referência	-	-	109	141
PL-1	Indústria cerâmica (a montante da área I)	119,9	540	750	610
PL-2	Pesqueiro (área II)	-	670	490	910
PL-3	Sítio/ Dona Alda (entre as áreas II e III)	184,9	540	910	1010

Obs.: os períodos amostrados corresponderam há cerca de dois meses.

TABELA 6.10.2 - Resultados de análises químicas em água de chuva, coletadas em amostradores com deposição total em curto espaço de tempo - Pb (µg.L⁻¹).

Amostra	LOCAL	DEZ/98	ABR/99	JUL/99	FEV/2000
PL-4	Área de estudos de detalhe (área I)	49,9	*	*	50,2

Obs.: os períodos amostrados corresponderam há cerca de uma semana. * = período sem chuva.

Os resultados em PL-1 a PL-3 evidenciam que a água de chuva também pode apresentar-se como fonte de chumbo para a região dos lagos. Valores menores encontrados na área de referência (PL-ZERO) sugerem, no entanto, que a migração para fora da área de estudos pode não ser muito expressiva.

Os resultados no amostrador de período de uma semana (PL-4), apresentados na Tabela 6.10.2, sugerem, pelas concentrações comparativamente menores, que a maior parte do chumbo de contribuição atmosférica é por material particulado.

6.11. Materiais e resíduos industriais

6.11.1. Materiais e métodos

Com a cooperação da indústria cerâmica CEDASA S/A, foram coletadas amostras de pisos em diferentes etapas da linha de produção, além de resíduos sólidos e efluentes líquidos industriais que provêm da linha de esmaltação e passagem de corantes. Em menor escala, também foram coletadas amostras de outras indústrias.

Estas amostras foram utilizadas não somente na caracterização dos resíduos industriais atuais (composição química, granulometria etc.), mas também em experimentos que visaram simular sua exposição (disposição e ação intempérica) às condições climáticas da região.

Os resultados obtidos forneceram informações sobre a composição dos resíduos atuais, servindo de comparação para os estudos ambientais efetuados na região dos lagos. Além disso, também estão sendo utilizados em ensaios para verificação de reuso e/ou reaproveitamento de resíduos.

Indústria cerâmica CEDASA S/A

A CEDASA S/A (Foto 6.11.1), é uma das principais indústrias do pólo cerâmico de Santa Gertrudes, produzindo pisos e revestimentos esmaltados.

A Figura 6.11.1 apresenta o fluxograma de produção da empresa, e segundo dados fornecidos em 2000, a produção mensal é de 720000m², utilizando-se cerca de 16 kg de argila/m² e 10 g de esmalte/m² - isto significa que cerca de 11520 toneladas de argila e 7,2 toneladas de esmaltes, mensalmente.

As seqüências de Fotos 6.11.2 e 6.11.3 ilustram as principais etapas do processo industrial, notadamente aqueles relacionados a resíduos industriais.

FOTO 6.11.1 - Vista geral da indústria CEDASA S/A, em Santa Gertrudes.

FIGURA 6.11.1 - Fluxograma de linha de produção da indústria CEDASA S/A.

Como se observa pelo fluxograma, há geração de cinco resíduos potencialmente mais tóxicos, pela presença de metais pesados e outros elementos traço: **lodos** (resíduos sólidos) e **efluentes líquidos** do tratamento físico-químico de resíduos da **linha de esmaltação / corantes**; **pisos descartados pré e pós-forno** (**cacos**); e **efluentes gasosos**, exalados através das **chaminés** dos fornos. São eles que deverão receber atenção para que o meio ambiente não seja contaminado.

FOTOS 6.11.2-A a -G - linha de produção da indústria CEDASA S/A, em Santa Gertrudes: **A** = prensa (aos fundos) e secador; **B** e **C** = linha de esmaltação, na qual os pisos recebem esmaltes e corantes em moldes; **D** = forno (a temperatura alcança cerca de 1.120°C); **E** = detalhe da chaminé do forno; **F** = pisos pós-forno; **G** = estoque de pisos cerâmicos acabados, para expedição/venda.

FOTO 6.11.3-A a -G (geração de resíduos sólidos e efluentes líquidos a partir da linha de esmaltação / passagem de corantes - indústria CEDASA S/A, Santa Gertrudes): **A** = estoque de matérias-primas utilizadas para a produção de esmaltes (vidrados etc.); **B** = linha de esmaltação, onde há coleta de resíduos, que seguem por canaletas até tanques de decantação; **C** = tanques de decantação que recebem resíduos para tratamento físico-químico; **D** = tratamento físico-químico, com colocação de base (NaOH) e floculante, ou polímero sintético; **E** = decantação pós-tratamento; **F** = coleta e separação do lodo de fundo para secagem, armazenamento, reutilização ou disposição; **G** = coleta do líquido sobrenadante do tratamento físico-químico (efluente líquido com pH em geral maior que 8) e recirculação.

6.11.2. Análises efetuadas

I. Pisos da linha de produção

Foram analisados materiais (amostras compostas) da linha de produção da indústria CEDASA:

- P-CED-1: amostra de piso após prensa e secador, anterior à linha de esmaltação;
- P-CED-2: amostra de piso após primeira passada de esmaltes ("engobe");
- P-CED-3: amostra de piso após passada de pigmentação;
- P-CED-4: amostra de piso após a última passada de esmaltes ("cristalina");
- P-CED-5: amostra de piso pós-forno.

Este material também foi aproveitado para extrações-teste com sohxlet.

TABELA 6.11.1 - Resultados de análises químicas em pisos (amostras compostas) de diferentes etapas do processo de produção - elementos maiores (%).

AMOSTRA	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Perda ao fogo	TOTAL
P-CED-1	66,30	14,09	5,26	0,07	2,02	0,98	1,89	3,13	0,605	0,14	5,90	100,39
P-CED-2	65,61	14,07	5,05	0,07	1,92	1,00	1,88	2,90	0,596	0,15	5,85	99,09
P-CED-3	66,54	14,14	5,12	0,08	1,97	1,06	1,95	3,02	0,598	0,16	5,82	100,45
P-CED-4	66,48	14,36	5,16	0,07	1,94	1,07	1,91	2,98	0,601	0,14	6,02	100,71
P-CED-5	68,23	14,88	5,38	0,08	2,15	1,40	2,20	3,10	0,625	0,19	1,38	99,61

TABELA 6.11.2 - Resultados de análises químicas em pisos (amostras compostas) de diferentes etapas do processo de produção – metais, B, As e Se (mg.kg⁻¹).

Amostra	Pb	Zn	Ni	Cu	Co	Cr	Mo	Ag	Cd	Ba	Zr	B	As	Se
P-CED-1	24	102	22	161	13	60	nd	0,4	1,3	596	170	38	3	nd
P-CED-2	74	112	19	123	13	66	nd	2,4	1,3	590	1050	249	4	nd
P-CED-3	83	119	26	121	14	117	nd	1,5	1,4	602	1032	228	6	nd
P-CED-4	114	134	31	106	14	140	nd	1,8	1,4	601	1044	711	7	nd
P-CED-5	100	120	28	105	15	146	nd	1,1	1,5	648	1209	1056	7	nd

TABELA 6.11.3 - Resultados de análises de pH, CTC e matéria orgânica em pisos (amostras compostas) de diferentes etapas do processo de produção.

Amostra	pH H ₂ O	pH KCl	ΔpH	Matéria orgânica mg/kg	CTC (mmol/kg)
P-CED-1	7,9	6,4	+ 1,5	0,5	248,2
P-CED-2	7,8	5,9	+ 1,9	0,4	272,2
P-CED-3	8,3	7,1	+ 1,2	0,4	257,3
P-CED-4	8,6	7,4	+ 1,2	0,4	282,4
P-CED-5	9,4	8,3	+ 1,1	nd	146,6

II. Pigmentos e esmaltes

Foram obtidos dados de análises químicas com o próprio fornecedor de fritas e esmaltes da CEDASA (exemplos na Tabelas 6.11.4), além de análises de esmaltes e pigmentos efetuadas no *Greenlab* (RS) (Tabela 6.11.5), a partir de amostras coletadas na mesma ocasião que a dos pisos P-CED-1 a P-CED-5.

TABELA 6.11.4 – Composição média de vidrados compostos utilizados pela indústria CEDASA, em % (JOHNSON MATTHEY, 1999).

Óxidos	Amostra A	Amostra B	Amostra C	Amostra D	Amostra E	Amostra F
SiO ₂	41,5	59,0	59,5	47,5	59,5	44,5
Al ₂ O ₃	6,5	20,5	17,5	15,5	16,5	9,5
Na ₂ O	8,5	1,5	1,75	2,25	1,75	4,5
K ₂ O	0,9	2,0	1,75	3,5	2,25	0,65
CaO	9,5	2,75	2,75	5,5	2,75	19,5
MgO	0,9	0,75	0,9	0,9	0,25	2,25
Fe ₂ O ₃	0,4	0,4	0,35	0,25	0,15	0,25
PbO	0,85	-	-	-	-	0,6
ZnO	-	-	-	7,5	-	2,25
B ₂ O ₃	28,5	2,75	2,75	3,5	2,25	5,5
ZrO ₂	-	8,0	9,5	5,5	12,5	7,5
TiO ₂	-	0,25	0,25	-	-	-
Li ₂ O	-	-	-	-	-	0,25

TABELA 6.11.5 - Resultados de análises químicas de pigmentos (CED-PIG1 e CED-PIG2) e esmaltes (CED-ESM1 e CED-ESM2) coletados na linha de produção da indústria CEDASA, em mg.kg⁻¹.

Parâmetro	CED – PIG1	CED – PIG2	CED – ESM1	CED – ESM2
Alumínio	7.653	5.192	3.286	5.160
Antimônio	0,38	0,46	0,91	1,08
Bário	3,80	3,10	8,36	10,4
Boro	240,0	250,0	178,5	300,0
Cádmio	0,21	0,60	0,37	0,88
Cálcio	5.229	8,16	52,6	462
Chumbo	178,0	26,0	69,4	126,0
Cobalto	25,5	14,8	21,8	27,1
Cromo Total	47,8	489	0,99	0,97
Ferro Total	382	144	1.408	1.385

Parâmetro	CED – PIG1	CED – PIG2	CED – ESM1	CED – ESM2
Fluoreto	nd	nd	0,85	nd
Magnésio	352	430	316	154
Manganês	7,0	2,97	7,93	43,6
Níquel	5,74	52,0	2,97	7,75
Potássio	714	65,3	1.279	5.184
Silício	34,5	28,7	1.320	2.366
Sódio	4.910	455	4.810	6.980
Titânio	2,85	1,90	3,24	5,10
Zinco	478	278	49,6	484

Obs.: Análises efetuadas no *Green Lab*, Porto Alegre, RS.

Como se pode notar, a composição de esmaltes e pigmentos é muito heterogênea e é grande a quantidade de determinados óxidos utilizados atualmente nas misturas para confecção de esmaltes, destacando-se óxidos de Si, Na, Ca, Al, Zr, B, Pb, Ca e Zn.

III. Resíduos sólidos industriais - lodos

Os resíduos provenientes da linha de esmaltação sofrem tratamento físico-químico com base (aumento do pH) e agentes floculadores, gerando um resíduo sólido (lodo) após coleta do líquido sobrenadante. Amostras deste lodo foram coletadas nas indústrias CEDASA S/A (prefixo L-CED) e em outras indústrias (amostras de prefixo L-XXX). Os resultados encontram-se nas Tabelas 6.11.6 a 6.11.8.

TABELA 6.11.6 - Resultados de análises químicas em amostras de lodos, resíduos sólidos industriais - metais, B, As e Se (mg.kg^{-1}).

Amostra	Pb	Zn	Ni	Cu	Ag	Cd	Ba	Co	Cr	Mo	Zr	B	As	Se
L-XXX-1	5981	12592	136	16	1,0	2,7	14489	44	761	nd	9056	22000	18	nd
L-XXX-2	4879	10331	254	14	1,1	2,3	12797	32	641	10	8573	22000	9	7
L-CED-0	669	347	16	15	1,3	nd	246	7	55	nd	38098	8360	7	nd
L-CED-1	5908	4861	240	18	nd	nd	289	49	1460	nd	19332	28600	35	7
L-CED-2	6000	4671	468	20	nd	nd	314	70	2120	nd	17837	29700	42	nd
L-CED-3	6339	1724	198	64	nd	nd	731	56	1510	nd	28099	24300	30	nd

TABELA 6.11.7 - Resultados de análises de pH, CTC e matéria orgânica em lodos, resíduos industriais.

Amostra	pH H ₂ O	pH KCl	Δ pH	Matéria orgânica (mg.kg ⁻¹)	CTC (mmol _c /kg)
L-XXX-1	9,2	8,7	+ 0,5	0,7	387,1
L-XXX-2	9,1	8,7	+ 0,4	1,1	442,3
L-CED-0	7,8	7,5	+ 0,3	0,5	150,0
L-CED-1	8,4	8,6	+ 0,2	0,5	586,6
L-CED-2	8,7	8,7	0	0,7	654,1
L-CED-3	8,7	8,5	+ 0,2	0,5	499,0

TABELA 6.11.8 - Resultados de análise granulométrica em lodos, resíduos industriais.

Amostra	areia (%)	silte (%)	argila (%)
L-XXX-1	18	58	24
L-XXX-2	12	62	26
L-CED-0	10	54	36
L-CED-1	10	58	32
L-CED-2	4	64	32
L-CED-3	8	56	36

Os resultados evidenciam: heterogeneidade entre resíduos de diferentes indústrias (CEDASA e amostras L-XXX); presença, invariavelmente, de grandes quantidades de chumbo, zinco e boro, exatamente os elementos mais contaminantes da região dos lagos, além de grande quantidade de zircônio.

Teores elevados de níquel, cromo, bário e arsênio também foram constatados e evidenciam a complexidade dos resíduos dessas indústrias; assim, não somente o Pb, Zn e B são potenciais contaminantes ou poluentes, mas também todos os outros metais (Ba, Ni, Cr, Zr etc.) e semi-metais (As etc.) utilizados em grandes quantidades.

Os demais resultados indicam elevada CTC, Δ pH > 0 e grande quantidade de frações silte e argila em todas as amostras, além de pH (H₂O) > 8 na maioria delas.

Análises por MEV e EDS

Em sessão teste, foram efetuadas análises preliminares de algumas amostras de lodos de linha de esmaltação, para se verificar a presença de chumbo (Fotos 6.11.4 e 6.11.5, Figuras 6.11.2 e 6.11.3).

FOTO 6.11.4 – Partícula com chumbo identificado em amostra de lodo de decantação - amostra L-XXX-2.

FIGURA 6.11.2 - EDS - Pb identificado em lodo de decantação – amostra L-XXX-2.

FOTO 6.11.5 – Partícula com chumbo identificado em amostra de lodo de decantação - amostra L-CED-2.

FIGURA 6.11.3 - EDS - Pb identificado em lodo de decantação – amostra L-CED-2.

IV. Efluentes líquidos industriais

De forma análoga aos lodos, também foram coletadas amostras de efluentes líquidos – são o líquido sobrenadante após tratamento físico-químico onde são gerados os lodos. Os resultados encontram-se na Tabela 6.11.9.

TABELA 6.11.9 - Análises efetuadas em efluentes líquidos coletados nos tanques de decantação da indústria CEDASA.

Parâmetros	Amostra 1596/98*	Amostra 1597/98*
pH	9,34	11,52
Bário (mg.L ⁻¹)	<0,1	<0,1
Boro (mg.L ⁻¹)	55	43,5
Cádmio (mg.L ⁻¹)	<0,01	<0,01
Chumbo (mg.L ⁻¹)	9,3	0,4
Cromo (mg.L ⁻¹)	<0,01	<0,01
Zinco (mg.L ⁻¹)	0,23	0,11

* Resultados de análises cedadas pela CEDASA S/A, efetuadas no Laboratório Bioagri, Piracicaba, SP.

Como é de se esperar, o pH destas soluções é elevado e, à exceção do boro, os demais elementos, metais como o chumbo, zinco etc., apresentam baixas concentrações.

6.11.4. Extrações com sohxlet

Visando simular os efeitos da alteração intempérica sobre materiais industriais dispostos na área de estudos, foram efetuados experimentos com extrator sohxlet em duas situações: amostra com H_2O destilada + CO_2 , simbolizando chuva, e situações potencialmente mais agressivas, com amostra + H_2O destilada + HNO_3 (Figuras 6.11.4 e 6.11.5), para avaliar a disponibilidade de íons metálicos (Pb, Zn etc.) ao meio ambiente local.

Os trabalhos baseiam-se em parte no intemperizador de HYPOLITO (1972).

Para acelerar o processo e aumentar a superfície de contato, efetuou-se moagem prévia das amostras de pisos. No caso das amostras de piso pós-forno, também foram realizadas extrações sem moagem para verificar sua estabilidade às intempéries, visto que é muito comum, por perdas no processo produtivo, descartar grandes quantidades de pisos na região dos lagos (Foto 6.11.6).

FIGURA 6.11.4 - Esquema do experimento utilizando sohxlet (H_2O deionizada + CO_2).

FIGURA 6.11.5 - Esquema do experimento utilizando sohxlet (H_2O deionizada + HNO_3 0,5M).

FOTO 6.11.6 – Vista de “cacos” – pisos descartados por perdas no processo produtivo das indústrias cerâmicas.

Os resultados das extrações são apresentados na Tabela 6.11.10.

TABELA 6.11.10 – Análises químicas de chumbo e zinco em soluções obtidas com extrator sohxlet (em mg.L^{-1}).

Amostra de piso	Pb extraído (mg.L^{-1})		Zn extraído (mg.L^{-1})	
	$\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_2$	$\text{H}_2\text{O}+\text{HNO}_3$ (0,5M)	$\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_2$	$\text{H}_2\text{O}+\text{HNO}_3$ (0,5M)
P-CED-1 (com moagem)	0,03	0,19	0,02	0,12
P-CED-2 (com moagem)	0,10	0,48	0,05	0,41
P-CED-3 (com moagem)	0,11	0,82	0,06	0,49
P-CED-4 (com moagem)	0,18	1,69	0,10	0,65
P-CED-5 (com moagem)	0,12	1,44	0,09	0,55
P-CED-5 (sem moagem)	0,05	0,25	0,03	0,11

Estes experimentos mostram que, à medida que são introduzidos esmaltes e corantes previamente ao forno, aumenta a quantidade de Pb e Zn, inclusive disponível.

Durante a passagem pelo forno, é bem provável que parte destes metais seja liberada pelas chaminés. Além disso, os pisos após a passagem pelo forno apresentam pouca disponibilidade destes metais ao meio. A extração com amostra P-CED-5 moída, no entanto, indica que, com o tempo, mesmo estes pisos podem liberar metais potencialmente tóxicos ao meio ambiente.

7. INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS

7.1. Caracterização ambiental da área de estudos

Métodos e técnicas foram empregados na caracterização ambiental da região dos lagos de Santa Gertrudes, uma área degradada por atividades de indústrias cerâmicas, com contaminação ou poluição associada ao lançamento e disposição inadequados de resíduos das linhas de esmaltação destas indústrias.

A área estudada situa-se no alto curso do córrego da Fazenda Itaqui, corpo d'água pertencente à classe 2 pelos Decretos Estaduais 8468/1976 e 10755/1977. Sua bacia hidrográfica apresenta superfície de 13,5 km² e estimativa de vazão específica da ordem de 7,6 L.s⁻¹.km⁻². A precipitação média anual é superior a 1100mm, com clima do tipo Cwa, época mais chuvosa de dezembro a fevereiro e época mais seca de junho a agosto (DAEE, 1988, 1994, 1998; SALATTI, 1997).

A caracterização de campo (estudos hidrogeológicos, de processos da dinâmica superficial etc.), associada a análises diversas (química, granulométrica, experimentos em laboratório etc.) e ao conhecimento do histórico ocupacional, visaram compreender processos que, à luz da influência antrópica, resultaram na configuração atual da área de estudos.

A geologia local compreende principalmente pelitos de idade Permiana da Formação Corumbataí (Grupo Passa Dois), que afloram por toda região. A granulação fina desses pelitos e solos associados é fator naturalmente condicionante da retenção de metais potencialmente tóxicos, como o chumbo.

Analisando dados geofísicos, descrições de campo e da geologia regional, bem como informações de relatórios técnicos de poços tubulares, observou-se que o modelo conceitual da área estudada é formado por três pacotes, da base para o topo (Figura 7.1.1):

- Um corpo ígneo de diabásio, em forma de *sill*, praticamente todo em subsuperfície.
- Um pacote sedimentar, representado pelos pelitos da Formação Corumbataí, caracterizado principalmente como aquítarde, às vezes diferenciado hidráulicamente pela presença de fraturas.
- Um pacote sedimentar, recente, formado por aluviões, áreas aterradas e solo de alteração.

FIGURA 7.1.1 - Modelo conceitual da configuração atual da área de estudos.

Este último pacote sedimentar, indiferenciado, heterogêneo e intensamente modificado por grandes extensões de áreas aterradas, foi objeto de maior interesse neste trabalho, por estar sob influência direta de ações antrópicas, particularmente das indústrias cerâmicas locais. Situa-se principalmente em áreas topograficamente mais baixas, localizadas no vale do córrego da Fazenda Itaqui e arredores.

A conformação da topografia (declividades e geometria, situação de confinamento da bacia em sua porção montante, junto às nascentes e praticamente cercada pelas indústrias cerâmicas), a atuação das chuvas, com intenso escoamento superficial e a inexistência de práticas conservacionistas, têm induzido e/ou acelerado processos da dinâmica superficial, principalmente erosão, transporte, sedimentação e assoreamento. Estes processos amplificam ou são somados à contaminação ou poluição, resultando em degradação da área.

Fraturas subverticais observadas nos pelitos estão associadas a eventos tectônicos regionais pretéritos. Embora seu entendimento requeira um trabalho mais minucioso de mapeamento de campo, elas também aparecem como condicionantes dos processos da dinâmica superficial, influenciando no escoamento superficial, quando com direções de fraturas paralelas aos gradientes topográficos, e nos fluxos de água subterrânea, pelo aumento da permeabilidade.

Esse aumento de permeabilidade foi verificado através de ensaios em laboratório, com permeâmetro, utilizando amostras fraturadas e não fraturadas de pelitos da Fm. Corumbataí. Os resultados indicam que as porções fraturadas apresentam propriedades aquíferas.

De forma geral, observou-se contaminação ou poluição de solos e sedimentos por elevadas concentrações de chumbo, boro e zinco e, em menor frequência e/ou concentração, por outras espécies químicas: Ba, Cr, Cu, Ni, Zr etc. com destaque para o Zr, com quantidades que chegaram a superar 10000 mg.kg^{-1} .

Os materiais e resíduos industriais amostrados permitiram verificar grande heterogeneidade composicional e expressiva quantidade de chumbo, zinco, boro e outros metais (Ba, Cr, Ni, Na, Al etc.) ou semi-metais empregados na confecção de esmaltes e corantes. Experimentos com Soxhlet indicaram que parte desses metais pode disponibilizar-se ao meio ambiente. Isto torna-se ainda mais relevante se for considerada a grande frequência de descarte de pisos na região dos lagos por perdas no processo produtivo das indústrias cerâmicas.

Análises em água de chuva indicaram que há expressiva atuação de material particulado, provavelmente associado às emissões de chaminés das indústrias, e que fornece chumbo para a região dos lagos. Estes resultados sugerem a necessidade de monitoramento e estudos mais detalhados sobre estas fontes potenciais de poluição, associando-se os resultados a levantamentos das direções principais dos ventos e demais interferências, como queimadas, a presença da rodovia Washington Luís etc. Ademais, outros elementos ou seus íons merecem atenção, a exemplo do F^- .

Área de referência

A área de referência localiza-se fora da influência direta das indústrias cerâmicas, não se encontra contaminada e apresenta configuração topográfica e pedo-geológica semelhante à área de estudos.

Nela, foram coletadas amostras de solo (concentrações de Pb, Zn e B, respectivamente, entre 31 e 40 $mg.kg^{-1}$, 92 e 105 $mg.kg^{-1}$ e 9,1 a 16,6 $mg.kg^{-1}$), sedimento de fundo de lago (concentrações de Pb, Zn e B, respectivamente, entre 32 e 49 $mg.kg^{-1}$, 43 e 68 $mg.kg^{-1}$, 30 e 49 $mg.kg^{-1}$), águas subterrâneas (concentrações de Pb, Zn e B, respectivamente, entre 2 e 3 $\mu g.L^{-1}$, 4 e 9 $\mu g.L^{-1}$, 1,5 e 2,5 $mg.L^{-1}$), superficiais (concentrações de Pb, Zn e B, respectivamente, de 0,3 $\mu g.L^{-1}$, 15 $\mu g.L^{-1}$ e 1,5 $mg.L^{-1}$).

Área I

Na área I, há os lagos 1 e 2, além da área de estudos de detalhe.

Como se verificou nas investigações efetuadas, na área I ocorre degradação por assoreamento dos lagos e contaminação, esta notadamente do solo e sedimentos na área de estudos de detalhe (concentrações de Pb, Zn e B de até, respectivamente, 14700 $mg.kg^{-1}$, 2930 $mg.kg^{-1}$ e 2291 $mg.kg^{-1}$) e nos de sedimentos do lago 2 (teores de Pb, Zn e B de até, respectivamente, 4178 $mg.kg^{-1}$, 2171 $mg.kg^{-1}$ e 3760 $mg.kg^{-1}$).

Nas águas superficiais, à exceção do boro, notadamente em épocas de chuva e com concentrações não tão elevados (até 5,8 $mg.L^{-1}$ no córrego da Fazenda Itaqui, até 7,0 $mg.L^{-1}$ no lago 2 e até 14,0 $mg.L^{-1}$ em pequenos cursos d'água), não foi constatada contaminação.

Lago 2 e área de estudos de detalhe

O lago 2 é o maior de todos os presentes na área de estudos, com extensão de aproximadamente 9800 m² e profundidade máxima medida de 9,50m, variando conforme a estação climática. Por situar-se na porção mais jusante na área de estudos, é seu nível de base local.

É interessante observar que, mais recentemente, o córrego da Fazenda Itaqui foi desviado e tem desaguado, praticamente todo, no lago 2, pelo ponto FI-L2 (Figura 7.1.2). Outras entradas deste lago são os pontos PCD-1 (pequeno curso d'água proveniente da área de estudos de detalhe) e RAV2-L2 (a partir da ravina 2).

A única saída do lago 2 é o ponto L2-L1, onde ruma ao lago 1 e, em seguida, prossegue novamente no leito natural do córrego da Fazenda Itaqui.

Análises efetuadas nos pontos PCD-1, FI-L2 e L2-L1 indicaram concentrações de B de 13,0 mg.L⁻¹, 4,9 mg.L⁻¹ e 5,0 mg.L⁻¹.

Isto indica, como era de se esperar, que a área de estudos de detalhe é fornecedora de boro; no entanto, há diluição das concentrações no lago 2, até seu ponto de saída. Esta interpretação é corroborada com as elevadas concentrações de boro encontradas nas águas subterrâneas das porções mais contaminadas da área de estudos de detalhe (até 504 mg.L⁻¹) e com o fato do fluxo subterrâneo ser efluente.

Não é possível efetuar raciocínio análogo ao chumbo e zinco, dada a não observação de concentrações expressivas destes metais nas águas superficiais, ou seja, indicando que sua migração não é importante.

De qualquer forma, as concentrações de boro estão próximas ou acima dos limites de qualidade para cursos d'água estaduais da classe 2 (de 5,0 mg.L⁻¹) e indicam que este elemento, ao contrário dos demais analisados, está presente também nas águas superficiais em quantidades apreciáveis.

A área de estudos de detalhe faz parte da borda de uma antiga cava de extração de argila que, depois de desativada, transformou-se no lago 2. Tem sido submetida a processos de deposição de sedimentos, assoreamento e gênese de solo, processos estes dinâmicos, ainda atuantes e amplificados pela inexistência de medidas conservacionistas a montante, na área fonte de sedimentos.

Soma-se a este cenário a existência de antiga tubulação de lançamento de resíduos industriais no local que, mais recentemente removida, gerou uma boçoroca

em seu lugar, amplificando os processos de transporte e deposição de sedimentos. Há também indícios de disposição direta de resíduos sólidos industriais (pequenos “montes” de resíduos cinza-esbranquiçados, visíveis em alguns locais), colocando a área sob influência direta de resíduos das linhas de esmaltação e pigmentos/corantes de indústrias cerâmicas.

FIGURA 7.1.2 – Configuração do lago 2 com suas entradas (FI-L2, PCD-1 e RAV2-L2) e saída (L2-L1).

No local, confinado geograficamente, desenvolveu-se um aquífero livre local, com espessuras máximas total e saturada de 3,5m e 2,0m, respectivamente. Apresenta como substrato hidrogeológico os pelitos da Formação Corumbataí.

A profundidade do nível d'água, à exceção de alguns altos no terreno, não ultrapassa 0,5m. O fluxo subterrâneo caminha em sentido oeste, ao lago 2, que é o nível de base local. *Bail down tests* efetuados nos poços de monitoramento indicaram valores de condutividade hidráulica saturada entre $7,3 \cdot 10^{-8}$ e $7,9 \cdot 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$, que correspondem, em média, a terrenos siltsos (FREEZE & CHERRY, 1979). O gradiente hidráulico situa-se entre 0,022m/m (nas bordas do aquífero) e 0,01m/m (no centro e próximo aos níveis de base locais) com dispersão das direções, devido às pequenas elevações no terreno.

Este panorama hidrogeológico pode ser visualizado nos Desenhos 2 e 3 (ANEXO A), com a potenciometria hidráulica, respectivamente, para épocas de chuvas e seca.

A Figura 7.1.3 apresenta as concentrações de chumbo encontradas na área de estudos de detalhe, evidenciando a heterogeneidade do local e sua elevada contaminação.

LEGENDA

- Poço de monitoramento
- Lisímetro
- ◊ Pluviômetro
- Ponto de amostragem de águas superficiais - lago
- Ponto de amostragem de águas superficiais e sedimentos de fundo - lago
- Ponto de amostragem de águas superficiais - pequeno curso d'água
- Ponto de amostragem de águas superficiais e sedimentos de leito - pequeno curso d'água

- Córrego e demais cursos d'água
- Lago
- Área sujeita a inundação
- Feição erosiva
- Curva de nível

FIGURA 7.1.3 - Concentrações de chumbo encontradas na área de estudos de detalhe.

Como se verificou, chumbo ocorre acima dos padrões de potabilidade nas águas subterrâneas ($50 \mu\text{g.L}^{-1}$), com concentração máxima de $780 \mu\text{g.L}^{-1}$; o mesmo não ocorre com o zinco (concentração máxima de até $46 \mu\text{g.L}^{-1}$ em comparação com o limite de potabilidade, de $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$).

O pH é variável, sendo entre 7,5 e 8,5 nas áreas mais contaminadas e entre 5,6 e 6,8 nos locais onde se encontram as menores concentrações de espécies químicas.

Ocorrem elevadas concentrações de sódio (até $605,1 \text{ mg.L}^{-1}$), que devem estar influenciando na mobilidade dos íons através de mecanismos de deslocamento.

Os ânions predominantes são Cl^- (até 187 mg.L^{-1}) e HCO_3^- (até $55,0 \text{ mg.L}^{-1}$). F- ocorre até $3,1 \text{ mg.L}^{-1}$, acima dos limites de potabilidade ($1,7 \text{ mg.L}^{-1}$) e pode estar associado à atividade das indústrias cerâmicas - sabe-se de sua utilização, na forma de fluoretos de alumínio, sódio e cálcio, como fundente.

Quanto aos demais ânions, SO_4^{2-} e NO_3^- estão praticamente ausentes; PO_4^{3-} , NO_2^- e S^{2-} não foram detectados.

Os resultados indicam que, embora Pb e B sejam os principais contaminantes das águas subterrâneas de aquíferos locais, há valores acima dos padrões de potabilidade também para sódio, ferro, manganês, mercúrio, arsênio e selênio. Valores máximos de bário e níquel também estão próximos a estes limites.

Em perfil de solos amostrados durante a perfuração dos poços de monitoramento, verificou-se que as maiores concentrações de Pb, Zn e B estão situados nas porções mais profundas, hoje saturadas. Este fato é interpretado como resultado da grande contribuição de contaminantes na época de funcionamento da tubulação de lançamento de resíduos industriais. Uma vez que esta tubulação foi interrompida e retirada sem que se tomassem medidas de combate à erosão, foi substituída por uma boçoroca que, por processos da dinâmica superficial, forneceu grande quantidade de sedimentos que se depositaram sobre os sedimentos mais antigos e mais contaminados. Este histórico gerou, em perfil, as concentrações mais elevadas situadas nas partes mais profundas, hoje saturadas.

De forma geral, a área de estudos de detalhe é uma área amplamente contaminada (solos, sedimentos e águas subterrâneas) por Pb e B, em menor proporção, por Zn (este não nas águas). Em menor frequência, também foram encontrados Zr, Ni, Cr, Cu, Ba e outros elementos potencialmente tóxicos, notadamente nos solos e sedimentos.

O lago 2, situado imediatamente a jusante da área de estudos de detalhe, funciona como depositário de contaminantes ou poluentes em seus sedimentos de fundo, o que é corroborado com as concentrações observadas em amostras coletadas com *piston-core* e com os valores de I_{geo} para Pb e Zn. Por fim, há a necessidade de se examinar o lago 1, não investigado por este trabalho devido a sua inacessibilidade.

A população local, inclusive crianças, freqüentemente transita pela área, atraídas principalmente pelo lago 2, por seu tamanho, para lazer e pesca. Isto revela a necessidade de maior esclarecimento à população (educação ambiental) e, até que se tomem medidas eficazes de recuperação, seria recomendável o isolamento da área.

Além disso, na área de estudos de detalhe, há vegetação típica de várzeas, notadamente de taboas (gênero *Typha*, JOLY, 1991) e locais de criação natural de peixes em pequenos cursos d'água que deságuam no lago 2, o que evidencia a necessidade de se estudar as conseqüências da contaminação ao meio biótico natural, notadamente dos organismos de hábito associado a solos e sedimentos.

Área II

A área II, situada na região central da área de estudos, embora não apresente o mesmo nível de contaminação observado na área I, merece atenção, pois nela há uma indústria abandonada (Poliglass) que, segundo relatos da população local, lançava efluentes líquidos em sentido aos lagos 3, 4 e do pesqueiro.

Na ocasião das investigações de campo, esta indústria já estava desativada e seu passivo ambiental ainda hoje se encontra sob júdice, devido à morte do antigo proprietário. De qualquer forma, foram observadas grandes quantidades de resíduos industriais dispostos inadequada e diretamente sobre o solo. Tais resíduos foram analisados e indicaram elevadas concentrações de Pb, Zn e outros metais. Estes mesmos metais foram encontrados em elevadas concentrações nos sedimentos de lago (até 1570 mg.kg^{-1} de Pb e até 365 mg.kg^{-1} de Zn), notadamente no lago 4, localizado imediatamente a jusante à indústria, evidenciando sua contaminação ou poluição associada à Poliglass.

Nos lagos do pesqueiro ("pesque e pague") foram encontradas concentrações expressivas de chumbo nos sedimentos de lago (até 201 ppm no lago 5), porém não tão elevadas quanto às do lago 4 (1570 mg.kg^{-1}). Mesmo assim, essas concentrações são preocupantes, pois há pesca para consumo humano no pesqueiro. Uma análise

detalhada do meio biótico faz-se necessária para avaliação de eventual bioacumulação ou biomagnificação de chumbo e outros elementos tóxicos, notadamente nos peixes.

Área III

Nesta área, foram efetuadas breves investigações, constatando-se graves problemas de degradação nos lagos 6 a 10, notadamente assoreamento dos lagos 6 e 7 associado ao avanço de aterros de uma das indústrias cerâmicas.

Os aterros são bastante heterogêneos e apresentam em sua composição: rejeito/estéril de mineração de argila; entulhos diversos, inclusive de construção civil; pisos cerâmicos (cacos) resultantes de perdas no processo industrial (quebras, falhas etc.); resíduos industriais das linhas de esmaltação (facilmente identificados pela coloração cinza-esbranquiçada e granulação fina). Estes resíduos, particularmente, apresentam concentrações de Pb e Zn de até cerca de 34000 mg.kg^{-1} e 4300 mg.kg^{-1} , respectivamente, evidenciando contaminação do local.

A extrema heterogeneidade do local é evidenciada pela presença, ao lado dos resíduos industriais, de material argiloso *in situ* ou estéril/rejeito de mineração (Fm. Corumbataí), com concentrações de Pb e Zn ao redor de 35 mg.kg^{-1} e 90 mg.kg^{-1} , respectivamente.

É na área III que se situam as nascentes do córrego da Fazenda Itaqui, sendo que, na época das investigações de campo, pelo menos duas delas (nascentes 2 e 3, no Desenho 1, ANEXO A) situavam-se nas proximidades de indústrias cerâmicas e encontravam-se degradadas ou descaracterizadas.

Nos sedimentos de fundo de lagos, foram encontradas concentrações de até 229 mg.kg^{-1} de chumbo (lago 7), indicando que os aterros, contendo resíduos industriais, são fonte de poluição ou contaminação da área. Na água deste lago, foi detectada concentração de $54,2 \text{ mg.L}^{-1}$ de boro, dez vezes acima dos limites de qualidade vigentes.

Nos lagos 6 a 10, de forma análoga à área I, também foram encontradas pessoas pescando ou nadando, o que evidencia a necessidade de maior esclarecimento à população (educação ambiental) e, até que se tomem medidas eficazes de recuperação, seria recomendável o isolamento da área.

A Figura 7.1.4 apresenta, de forma esquemática e genérica, as principais fontes primárias e secundárias presentes na área de estudos, bem como mecanismos de transporte e exposição das populações aos contaminantes diagnosticados, indicando a necessidade de avaliação de risco na região dos lagos de Santa Gertrudes.

Esta questão é particularmente importante em relação às crianças, devido a sua conhecida maior susceptibilidade a efeitos deletérios da contaminação por chumbo e outros elementos potencialmente tóxicos.

FIGURA 7.1.4 – Fontes potenciais de poluição (primárias e secundárias), mecanismos de transporte e exposição das populações locais a contaminantes presentes na região dos lagos de Santa Gertrudes.

7.2. Comportamento do chumbo, zinco e boro

Estudou-se o comportamento do chumbo, zinco e boro em solos, sedimentos, águas subterrâneas e superficiais.

O **chumbo** é um elemento tipicamente tóxico e pouco móvel.

Nas águas subterrâneas, pelas condições observadas nas áreas mais contaminadas, seu comportamento está estritamente ligado às elevadas concentrações nos solos contaminados, com a percolação de água (zona não saturada) e fluxo subterrâneo (zona saturada).

Com o pH das águas subterrâneas entre 7,5 e 8,5 nestas áreas, o chumbo pode encontrar-se em solução na forma de complexos, como por exemplo $[\text{Pb}(\text{OH})]^+$. Por outro lado, as concentrações de Cl^- , embora elevadas (até 187 mg.L^{-1}), não parecem suficientes para complexá-lo sob a forma de $[\text{PbCl}]$ (HAHNE & KROONTJE, 1973 *apud* ADRIANO, 1986).

A concentração máxima observada em poços de monitoramento foi de $780 \mu\text{g.L}^{-1}$ e, embora elevada e acima do limites de potabilidade, revela a baixa mobilidade do chumbo quando comparada às concentrações dos solos saturados, de até 14700 mg.kg^{-1} . Esta concentração nos solos, acima de 1%, está bem acima dos valores de intervenção para áreas agrícolas, residenciais e industriais (CETESB, em preparação).

A mobilidade do chumbo é observada quando da presença de complexos em solução ou do transporte associado a colóides e/ou material particulado em suspensão aquosa. Pode também sofrer deslocamento devido a elevadas concentrações de sódio em solução (até $605,1 \text{ mg.L}^{-1}$).

A fixação, por outro lado, dá-se através de fenômenos de precipitação, sorção etc. e é facilitada pelo comportamento pouco móvel do chumbo, pela grande quantidade de fração argila (até 50%) e pela alcalinidade do meio. Outra possibilidade de fixação é sob a forma de fosfatos (SANTILLAN-MEDRANO & JURINAK, 1975 *apud* ADRIANO, 1986).

A mineralogia, formada essencialmente por quartzo, caulinita e illita, parece ter pouca influência na retenção do chumbo através de mecanismos de sorção, embora estes mecanismos possam estar associados a compostos amorfos (óxidos/hidróxidos diversos, aluminossilicatos etc.), não detectados por difração de raios X.

Pelos experimentos de extração seletiva, verificou-se que a maior parte do chumbo está fixada a óxidos/hidróxidos (entre 32,6 e 55,0%) e matéria orgânica (entre 28,6 e 55,0%). Também ocorre associado a carbonatos quando em meio alcalino (até 33,7%, nestas condições). Carbonatos, aliás, foram observados nas descrições petrográficas, nas análises de águas subterrâneas (HCO_3^- e CO_3^{2-}) e estão evidenciados pela estabilidade esperada da fase PbCO_3 nas condições de Eh-pH observadas pelos diagramas de GARRELS & CHRISTIE (1964) e BROOKINS (1987). As frações trocáveis e fracamente ligadas são pouco expressivas.

A presença de Eh negativo nas águas subterrâneas pode estar atrelada à matéria orgânica na forma sólida ou em complexos solúveis, como substâncias húmicas, e/ou à presença de sulfetos – estes, no entanto, não foram evidenciados nas análises químicas.

Nas águas superficiais, o chumbo ocorre em baixas concentrações: até $5,3\mu\text{g.L}^{-1}$, $19,1\mu\text{g.L}^{-1}$ e $30,1\mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente em pequenos cursos d'água, no córrego da Fazenda Itaqui e nos lagos - isto mais uma vez evidencia sua baixa mobilidade e migração. Uma única exceção consiste em íons em material particulado, em suspensão aquosa (concentrações de até 195 mg.kg^{-1} ou $97,7\mu\text{g.L}^{-1}$), como se verificou através da análise de amostras do córrego da Fazenda Itaqui.

De forma geral, os ambientes mais comprometidos, com elevadas concentrações de chumbo, são solos, sedimentos e águas subterrâneas da área de estudos de detalhe (ÁREA I); os sedimentos de fundo dos lagos 2 (ÁREA I) e 4 (ÁREA II) e, em menor proporção, lagos 7 (ÁREA III), 3 e 5 (ÁREA II). É esperada, desta forma, sua retenção e pequena contribuição (disponibilidade) para os corpos d'água a jusante. Isto indica que medidas de remediação ou recuperação, em relação ao chumbo, deverão ser por isolamento, tratamento *in situ* e/ou com remoção dos materiais contaminados.

O **zinco**, em geral, apresenta mobilidade relativa mais alta que o chumbo. Além disso, como as fontes de poluição (material-fonte, proveniente das indústrias cerâmicas) não apresentem concentrações tão elevadas quanto às de chumbo, as concentrações de zinco nos solos e sedimentos contaminados, conseqüentemente, também se apresentam menos elevadas - máximo de 2930 mg.kg^{-1} de Zn, em comparação com até 14700 mg.kg^{-1} de Pb.

Esse comportamento reflete-se nas concentrações das águas intersticiais e está controlado por mecanismos de fixação nas condições físico-químicas reinantes.

Nas águas subterrâneas, pelas condições observadas nas áreas mais contaminadas, seu comportamento também está, assim como o chumbo, estritamente ligado às elevadas concentrações nos sedimentos e solos, ao pH das águas intersticiais, à presença de matéria-orgânica, partículas coloidais, óxidos/hidróxidos e, eventualmente, a carbonatos.

Nestas áreas, com o pH entre 7,5 e 8,5, tem-se o favorecimento da formação de Zn(OH)_2 (HAHNE & KROONTJE, 1973 *apud* ADRIANO, 1986).

Pelos experimentos de extração seqüencial, verificou-se que a maior parte do zinco está fixada a óxidos/hidróxidos e matéria orgânica, ou a carbonatos, estes quando em meio alcalino. Carbonatos também estão evidenciados pela estabilidade esperada da fase ZnCO_3 nas condições de Eh-pH observadas pelos diagramas de GARRELS & CHRISTIE (1964) e BROOKINS (1987). As frações trocáveis e “fracamente ligadas” são pouco expressivas.

Mudanças nas condições físico-químicas podem, no entanto, alterar os equilíbrios e disponibilizar o zinco em condições mais ácidas nas formas Zn^{2+} (GARRELS & CHRISTIE, *op. cit.*; BROOKINS, *op. cit.*) e $[\text{Zn(OH)}]^-$ (HAHNE & KROONTJE, 1973 *apud* ADRIANO, *op. cit.*).

De forma geral, os ambientais mais comprometidos, com elevadas concentrações de zinco, são os solos e sedimentos da área de estudos de detalhe (ÁREA I), bem como os sedimentos de fundo dos lagos 2 (ÁREA I) e 4 (ÁREA II). Desta forma, é esperada sua retenção na área de estudos e pequena contribuição (disponibilidade) para os corpos d'água a jusante.

O **boro** é o elemento mais dinâmico entre os três mais investigados. Devido a sua elevada solubilidade, pode encontrar-se disponível em soluções, principalmente na forma de ácidos pouco dissociados (ácido bórico) ou $[\text{B(OH)}_4]^-$. Em concentrações elevadas, tal qual observado nas águas subterrâneas da área de estudos de detalhe (até 504 mg.L^{-1}), podem ocorrer, ainda, como formas poliméricas a exemplo dos tetraboratos ($\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$) (MERCK, 1990).

Elevadas concentrações no solo (até 3660 mg.kg^{-1}) e sedimentos (até 2261 mg.kg^{-1}) indicam que, apesar de sua elevada solubilidade, ele pode também apresentar-se fixado aos constituintes sólidos. Como se sabe, vários mecanismos

podem retê-lo aos materiais sólidos: troca aniônica; precipitação de boratos insolúveis com sesquióxidos; sorção de íons borato e ácido bórico molecular; formação de complexos orgânicos e adsorção a argilominerais. (ADRIANO, 1986).

Os valores positivos de ΔpH da área de estudos indicam que troca aniônica não deve ser um mecanismo relevante. Além disso, parte do boro pode encontrar-se retido nos materiais sólidos, sob a forma de compostos pouco solúveis, formados a altas temperaturas no processo de queima das cerâmicas (boretos de alumínio, carboretos de boro etc.) com estruturas complexas ainda pouco conhecidas (JOLY, 1964).

Síntese das análises efetuadas

O Quadro 7.1.1 apresenta uma síntese com as concentrações de Pb, Zn e B e valores de pH observados nas áreas I, II, III e de referência.

QUADRO 7.1.1 – Síntese das análises de Pb, B, Zn e pH efetuadas na área de estudos.

Local	Elemento	Área I	Área II	Área III	Área de referência
Solos imaturos (sondagens a trado)	Pb (mg.kg ⁻¹)	15 a 14700	270 a 702	35 a 34706*	31 a 40
	B (mg.kg ⁻¹)	12 a 2291	47 a 170	42 a 4331*	9,1 a 16,6
	Zn (mg.kg ⁻¹)	53 a 2930	83 a 213	110 a 17300*	92 a 105
	pH (H ₂ O)	4,9 a 8,3	6,0 a 7,8	-	6,6 a 7,3
Sedimento de fundo de lagos (piston-core)	Pb (mg.kg ⁻¹)	38 a 4178	10 a 1570	48 a 234	32 a 49
	B (mg.kg ⁻¹)	21 a 3760	< 1 a 197	97 a 478	30 a 49
	Zn (mg.kg ⁻¹)	63 a 4195	38 a 365	47 a 145	43 a 68
	pH (H ₂ O)	7,7 a 8,3	5,9 a 6,6	4,8 a 7,9	5,3 a 6,2
Águas subterrâneas (poços de monitoramento)	Pb (µg.L ⁻¹)	6 a 780	< 1 a 8**	3 a 8***	2 a 3
	B (mg.L ⁻¹)	1,4 a 504	3,5 a 21,9**	2,0 a 10,5***	1,5 a 2,5
	Zn (µg.L ⁻¹)	12 a 46	2 a 10**	3 a 20***	4 a 9
	pH (H ₂ O)	6,0 a 8,9	5,7 a 7,0**	5,6 a 7,2***	6,0 a 6,5
Águas superficiais (lagos e cursos d'água)	Pb (µg.L ⁻¹)	< 0,1 a 30,1	0,5 a 13,5	25,5 a 30,1	0,3****
	B (mg.L ⁻¹)	4,4 a 19,5	1,8 a 3,5	0,1 a 54,2	0,1****
	Zn (µg.L ⁻¹)	0,9 a 45,0	4,9 a 51,6	7,2 a 17,7	15,0****
	pH (H ₂ O)	6,0 a 7,8	6,8 a 7,8	5,6 a 7,6	6,9****

* = quatro amostras analisadas, incluindo pontos AT-1 e AT-2; ** = duas amostragens de diagnóstico nos poços PM-12, PM-13 e PM-14; *** = duas amostragens de diagnóstico nos poços PM-10 e PM-11; **** = amostragens de diagnóstico.

7.3. Medidas emergenciais de recuperação e continuidade das investigações

Medidas mitigadoras de cunho emergencial têm sido efetuadas sob supervisão da CETESB e deverão ser amplificadas nas etapas de recuperação da região dos lagos. A elas, somam-se medidas preventivas, notadamente de cunho educativo às populações que transitam pela área sem conhecimento de causa dos problemas de contaminação. Estas medidas devem merecer grande atenção, porém devem ser efetuadas com o devido cuidado para não gerar discussões sem fundamentação técnica ou científica.

Observa-se avanço e mudança na mentalidade dos empresários ceramistas, que começam, em graus diferentes de abertura, a minimizar a geração de resíduos, a não mais dispô-los na região dos lagos, a efetuar medidas de cunho corretivo e a encarar a questão ambiental com a devida atenção.

Duas das grandes conquistas recentes foram a criação de um grupo técnico encabeçado pela CETESB (DIÁRIO OFICIAL, 2001) e a aceitação, por parte dos ceramistas, de se destinar R\$0,0025/m² de piso cerâmico produzido no pólo cerâmico de Santa Gertrudes para a recuperação da região dos lagos. Esta quantia vai representar algo em torno de R\$40000,00/mês, considerando-se as estimativas apresentadas em CHRISTOFOLETTI (1999). Como a produção do pólo tem crescido continuamente, este valor deve ser ainda maior.

Medidas emergenciais incluem o combate a processos erosivos, e ao conseqüente assoreamento de lagos, através de recuperação de taludes e revegetação de áreas descobertas.

Outra medida eficaz foi a remoção de resíduos do terreno da antiga indústria Poliglass, cessando, assim, a principal fonte de poluição da área II. Resta saber, no entanto, como será tratado o passivo ambiental nos solos e sedimentos a jusante da área industrial da Poliglass.

Há também trabalhos junto a indústrias cerâmicas, visando a minimização da geração de resíduos, bem como seu reuso. Esta recuperação, particularmente, ainda é pequena, com retorno ao processo de produção na proporção em massa matéria-prima tradicional (argila) : lodo seco de 1: 1000. Isto evidencia a importância de estudos de caracterização tecnológica para seu reuso ou reaproveitamento para alguma finalidade a ser estabelecida.

De forma geral, os resultados de recuperação até o momento têm sido bastante heterogêneos, como se observa pelas fotos a seguir (Fotos 7.3.1 a 7.3.5).

Enquanto alguns ceramistas já começam a estabelecer auditorias externas e programas de qualidade, que futuramente poderão resultar em sistemas de gestão ambiental (SGA) – como o caso da indústria CEDASA, outros ainda recorrem a práticas perniciosas. Foram observados exemplos recentes de destarte de resíduos industriais misturados a entulhos em determinados locais das áreas I e III. Também é evidente a movimentação de grandes quantidades de material (argila, resíduos etc.) e, conseqüentemente, o avanço ou criação de novos aterros, sem medidas eficazes de combate à erosão e sem levar em conta os impactos do assoreamento a jusante. Isto foi notado nos lagos 2, 6 e 7, sendo que estes eventos implicaram no desaparecimento dos lagos 6 e 7 e na diminuição em área de cerca de 15% do lago 2.

FOTO 7.3.1 - Filtro-prensa adotado pela indústria CEDASA, para otimizar o processo de recuperação de lodos (resíduos) das linhas de esmaltação, pela diminuição de massa (umidade).

FOTO 7.3.2 – Adoção de campânula, ao invés de *spray* de jateamento de esmalte nos pisos. Este processo contribui para minimizar a emissão de *spray* que pode contaminar o ar.

FOTO 7.3.3 – Lago 7, em fevereiro de 2000, com avanço de aterro à direita.

FOTO 7.3.4 - Avanço de aterro no mesmo local da foto anterior, com desaparecimento do lago 7 e assoreamento completo do lago 6. Foto em dezembro de 2000.

FOTO 7.3.5 - Avanço de aterro em sentido ao lago 2, para expansão de uma das indústrias, causando intenso assoreamento do mesmo. Foto em dezembro de 2000.

8. CONCLUSÕES

A área de estudos localiza-se na bacia hidrográfica do córrego da Fazenda Itaqui, sob influência direta de indústrias cerâmicas do pólo cerâmico de Santa Gertrudes, o maior do país. Estas indústrias utilizam grandes quantidades de fritas, esmaltes e corantes, compostos que contêm concentrações expressivas de chumbo, zinco, boro e outros elementos potencialmente tóxicos ao meio ambiente.

A área, conhecida como “região dos lagos de Santa Gertrudes”, situa-se na porção mais a montante da bacia hidrográfica do córrego da Fazenda Itaqui, que contempla inclusive suas nascentes. Nela, foram dispostos ou lançados de forma inadequada resíduos das linhas de esmaltação das indústrias cerâmicas, gerando contaminação ou poluição ambiental por chumbo, zinco e boro e, em menor frequência ou concentração, por bário, cobre, níquel, cromo, zircônio etc.

Tomando por base levantamentos geológicos, geofísicos e hidrogeológicos constatou-se que o modelo conceitual da área é formado por um pacote com três camadas principais, da base para o topo: *sill* de diabásio (principalmente, em subsuperfície), pelitos da Formação Corumbataí (litologia aflorante predominante na região) e por um pacote heterogêneo e recente de sedimentos.

Esse pacote sedimentar recente engloba aluviões e áreas aterradas, por vezes formando aquíferos locais. Tem sido amplamente modificado e degradado por atividades antrópicas, notadamente pelas indústrias cerâmicas e por processos associados à dinâmica superficial.

Das três nascentes do córrego da Fazenda Itaqui, duas delas, por se localizarem próximas às indústrias, encontram-se degradadas. No córrego, em todo seu percurso, os teores de poluentes na água só se apresentam comprometidos em relação ao boro, principalmente em épocas de chuvas mais intensas. Análise de chumbo do material particulado de sedimentos em suspensão aquosa, no entanto, mostrou ser este um dos veículos responsáveis pelo transporte dos íons poluentes aos lagos e ao córrego, especialmente nas épocas de chuvas.

O chumbo e zinco não ocorrem nas águas superficiais em elevadas concentrações, entretanto, encontram-se em grandes quantidades no sedimento de fundo de lagos.

Os lagos são, na realidade, antigas cavas de extração de argila, atualmente abandonados ou utilizados para lazer ou pesca, e apresentam elevadas concentrações de chumbo, zinco e boro nos sedimentos de fundo, respectivamente, até 130, 100 e 125 vezes acima dos sedimentos tomados como referência. O resultado analítico de perfis de sedimentos de fundo do lago mostrou diminuição dos teores de Pb, Zn e B com a profundidade indicando uma aceleração dos processos de deposição e contaminação em épocas mais recentes.

Análises químicas de sedimentos do córrego associados à saída do lago 2 e da área de estudos apresentaram-se isentas de Pb e Zn, indicando serem os lagos depositários contínuos de poluentes das indústrias cerâmicas. A única exceção é o boro, devido a sua alta solubilidade. As águas dos lagos e córregos, portanto, em determinados períodos sazonais de estiagem, não se apresentaram contaminadas.

O solo apresenta-se, em relação aos constituintes maiores, comportamento esperado para materiais sujeitos à ação de clima tropical, com acúmulo em Fe, Al, Mn e Ti na superfície e intensa lixiviação de Na, K, Mg etc. Os teores de Pb, Zn e B, comparados com o solo de referência chegam a ser, respectivamente, 470, 30 e 225 vezes maiores.

O boro, outro elemento poluente, mesmo sendo bastante solúvel, principalmente como H_3BO_3 , encontra-se retido nos materiais sólidos, sob a forma de compostos pouco solúveis, formados a altas temperaturas no processo de queima das cerâmicas e com estruturas complexas ainda pouco conhecidas. Também pode estar fixado por mecanismos de sorção, precipitação etc.

De forma geral, o chumbo e zinco sofrem influência principalmente de parâmetros como pH, presença de carbonato (alcalinidade), matéria orgânica, natureza das partículas coloidais do meio e de óxidos/hidróxidos (Fe, Al etc.).

O chumbo, devido à baixa mobilidade, toxicidade, elevados teores encontrados na região dos lagos e conhecida utilização em materiais da indústria cerâmica, é o principal contaminante na área de estudos em solos e sedimentos, ocorrendo também em quantidades contaminantes em águas subterrâneas de aquíferos livres locais.

O zinco, embora apareça em concentrações elevadas em solos e sedimentos, não ocorre nas águas superficiais e subterrâneas em quantidades contaminantes. Pelas condições de pH observadas, encontra-se retido na forma de $Zn(OH)_2$, $ZnCO_3$ etc., por mecanismos como precipitação, sorção etc.

O boro, por sua vez, aparece em concentrações acima dos limites de potabilidade e qualidade, sendo quase onipresente na maioria dos ambientes amostrados.

Elementos maiores, como por exemplo o sódio, também estão presentes em elevadas concentrações nas águas subterrâneas, principalmente na área de detalhe. As concentrações de sódio são muito elevadas e contribuem com grande parcela para a elevação da força iônica do sistema, interferindo nos equilíbrios químicos, deslocando íons adsorvidos aos materiais sólidos e materiais particulados.

Pode-se afirmar que o transporte dos íons poluentes ocorre através de íons complexos, adsorvidos a partículas coloidais e/ou em particulados em suspensão aquosa.

Devido a sua conformação topográfica, aos processos da dinâmica superficial, à natureza argilosa de seus solos e sedimentos e às conclusões aqui observadas, a área de estudos pode ser considerada confinada, com solos e sedimentos dos lagos como depositários dos principais contaminantes ou poluentes. Uma exceção é o boro, que devido sua acentuada solubilidade, pode encontrar-se disponível e, eventualmente, migrar para locais a jusante da área de estudos.

A compartimentação da área de estudos em três partes (áreas I, II e III), bem como sua comparação com uma área de referência situada fora da influência direta das indústrias, permitiu o entendimento da contaminação ou poluição nos diversos ambientes: solos, sedimentos, águas subterrâneas e superficiais.

A presença de agentes contaminantes levou a sugerir ao proprietário da indústria CEDASA que se efetuasse separação do lodo (resíduo das linhas de esmaltação), com lavagens, secagem e retorno ao processo de fabricação de cerâmicas. Nesse sentido, estão sendo propostos testes visando também o reaproveitamento do lodo para outros fins. Sugeriu-se também a cominuição dos cacos perdidos nas linhas de produção com retorno também ao processo e isto deverá ser testado brevemente.

Embora a área tenha sofrido intensa degradação ambiental, tem havido conscientização da população local e mudança de mentalidade por parte dos industriais, que sob monitoramento da CETESB e participação ativa da CEDASA, tem começado a implementar medidas que visam recuperá-la.

Como se nota, este trabalho não esgotou os estudos ambientais na região dos lagos de Santa Gertrudes, mas seus resultados estão sendo utilizados na definição de medidas de recuperação e nos rumos da destinação da área.

Deve-se, por fim, observar que, embora o Pb, o Zn e outros metais tendam a fixar-se no solo e sedimentos, variações ambientais podem resultar em mudanças destas condições, tal qual observado em experimentos com sohlet.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADRIANO, D.C. (1986) *Trace elements in terrestrial environment*. New York, USA. Springer – Verlag. 533p.
- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY - ATSDR (1999a) CERCLA Priority List of Hazardous Substances. *Artigo de web*. Obtido no site: <http://www.atsdr:atsdr8080.gov/cercla>
- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY - ATSDR (1999b) Lead. Public health statement, 1990. *Artigo de web*. Obtido no site: <http://www.atsdr:atsdr8080.gov>
- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY - ATSDR (1999c) Top 20 hazardous substances: lead - most frequently asked questions. CAS# 7439-92-1, 1993. *Artigo de web*. Obtido no site: <http://www.atsdr:atsdr8080.gov>
- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY - ATSDR (2000) Glossary of terms. *Artigo de web*. Obtido no site: <http://www.atsdr:atsdr8080.gov>
- ALARCON, C.M. (1998) Licófitas da Formação Corumbataí, Grupo Passa Dois, Neopermiano, bacia do Paraná, na região de Artemis, município de Piracicaba, SP, Brasil. São Paulo, 97p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- ALEXANDRE, G.A.L. (1995) Behavior of lead in the unsaturated zone in tropical climate (urban and agricultural area in the State of São Paulo, Brazil). In: CONGRESS OF INTERNATIONAL ASSOCIATION OF HYDROGEOLOGISTS, 26, Alberta, Canada, IAH, B01/CD-ROM.
- ALEXANDRE, G.A.L. (1996) Contribuição ao estudo do comportamento geoquímico do As, Cu, Pb e Zn, originários de pesticidas agrícolas, nas zonas não saturada e saturada em área urbana e agrícola do município de Louveira (SP). São Paulo, 158p., Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- ALEXANDRE, G.A.L.; SZIKSZAY, M.; LIGO, C.V. (1995) Behavior of copper in unsaturated and saturated zones in tropical climate originating from agricultural activities (State of São Paulo, Brazil). In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WATER-ROCK INTERACTION, 8, Vladivostock, Rússia.
- ALLOWAY, B. J. (1995) *Heavy metals in soils*. New York, USA. Blackie Academic & Professional. 368 p.
- ALMEIDA, F.F.M. (1964) Fundamentos geológicos do relevo paulista. *Boletim do Inst.*

Geogr. e Geol., São Paulo, n. 41.

- ALMEIDA, F. F. M. & BARBOSA, O. (1953) Geologia das quadrículas de Piracicaba e Rio Claro, Estado de São Paulo. *Bol. DNPM – DGM*, Rio de Janeiro, 96 p. (Boletim 143).
- ALMEIDA, M.G.; SOUZA, C.M.M. & GUEDES, L. (1999) Determinação e especiação operacional de metais pesados em sedimento lacustre (Lagoa de cima, RJ, Brasil) por extração seqüencial. In: CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 5, Porto Seguro, 1999. *Anais. SBGq*.
- ALMODOVAR, M.L.N. (1995) *Estudo da anomalia de cromo nas águas subterrâneas da região nordeste do Estado de São Paulo, SP*. São Paulo, 101p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- ALMODOVAR, M.L.N. (2000) *A origem natural da poluição por cromo no aquífero adamantina, município de Urânia (SP)*. São Paulo, 199p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- AMARAL, G. (1999) *Como fazer uma tese em geociências?* Campinas. 45p. (Apostila didática, USP/UNICAMP).
- AMARANTE, A. (1997) *Comportamento geoquímico de metais pesados em sedimentos argilosos da Bacia de São Paulo, Suzano - SP*. São Paulo, 98p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTS AND MATERIALS – ASTM (1998) *Standard guide for pore -liquid sampling from the vadose zone*, USA. p. 68-81 (D 4696 – 92).
- ANDERSON, M. P. & WOESSNER, W.W. (1992) *Applied Groundwater Modeling - Simulation of Flow and Advective Transport*. San Diego, USA. Academic Press, Inc. 381p.
- ANJOS, J.A.S.A. (1998) *Estratégias para remediação de um sítio contaminado por metais pesados - estudo de caso*. São Paulo, 157p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- APPELO, A. & POSTMA, D. (1993) *Geochemistry, groundwater and pollution*. Rotterdam, The Netherlands. Brookfield. 536 p.
- ARIZA, J.L.; GIRADEZ, I.; SANCHES-RODAS, D.; MORALES, E. (2000) Metal sequential extraction procedure optimized for heavily polluted and iron oxide rich sediments. *Analytica Chimica Acta*, v. 413, n.2, p. 151-164.
- ARTEAGA, D. H. (1996) *Dinâmica de cádmio, chumbo, cobre, níquel e zinco no sistema solo – planta*. Viçosa, MG. Viçosa, 84p. Dissertação (Mestrado) -

Universidade Federal de Viçosa.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - ABAS (1997) A Lei Federal das Águas Subterrâneas. *ABAS - INFORMA, Boletim Informativo da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas*, São Paulo, n. 72, p.1-9.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - ABAS (1998) O controle das águas subterrâneas em debate. Sobre a lei das águas subterrâneas. *Artigo de web*. Obtido no site: www.abas.org.br
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - ABAS (1999) Águas Subterrâneas – Insumo Básico para o desenvolvimento econômico e social. *ABAS - INFORMA, Boletim Informativo da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas*, n. 97, p.12-13.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA - ABC (2000) Terminologia na indústria cerâmica. *Artigo de web*. Obtida no site: <http://www.abc.org.br>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA - ABGE. (1992) *Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo. ABGE. 247p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA - ABGE (1996) *Ensaio de permeabilidade em solos (orientações para sua execução no campo)*. São Paulo. ABGE. Boletim 4, 30 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA – ABGE (1998) *Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*. Ed.1. São Paulo. ABGE. 587p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (1987a) *Resíduos sólidos – classificação*. Rio de Janeiro, ABNT. 63p. (Norma técnica NBR-10004).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (1987b) *Lixiviação de resíduos sólidos - procedimento*. Rio de Janeiro, ABNT. 10p. (Norma técnica BR-10005).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (1987c) *Solubilização de resíduos sólidos - procedimento*. Rio de Janeiro, ABNT, 2p. (Norma técnica NBR-10006).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1987d) *Amostragem de resíduos sólidos - procedimento*. Rio de Janeiro, ABNT, 25p. (Norma técnica NBR-10007).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1989) *Degradação do solo – terminologia*. Rio de Janeiro, ABNT, 45p. (Norma técnica NBR-10703).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (1990) *Projeto de poço para captação de água subterrânea*. Rio de Janeiro, ABNT, 5 p. (Norma Técnica NBR-12212).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1992) *Construção de poço para captação de água subterrânea*. Rio de Janeiro, ABNT, 6 p. (Norma técnica NBR-12244).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1993) *Glossário de poluição das águas – terminologia*. Rio de Janeiro, ABNT, 94p. (Norma técnica NBR-9896).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1995) *Caracterização de cargas poluidoras em efluentes líquidos industriais e domésticos – procedimento*. Rio de Janeiro, ABNT. 22p. (Norma técnica NBR-13042).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1996a) *Sistema de Gestão Ambiental: Especificação e diretrizes para uso*. Rio de Janeiro, ABNT. 14p. (Norma técnica NBR-ISO-14001).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (1996b) *Sistema de Gestão Ambiental: Diretrizes gerais sobre princípios, sistemas e técnicas de apoio*. Rio de Janeiro, ABNT. 32p. (Norma técnica NBR-ISO-14004).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1997) *Construção de poços de monitoramento e amostragem*. Rio de Janeiro, ABNT, 8p. (Norma Técnica NBR-13895).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS – ABRH (1991) *Hidrologia ambiental*. São Paulo. EDUSP/ABRH. 414p. (Coleção de Recursos Hídricos).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS – ABRH (2000) *Coletânea de legislações estaduais sobre recursos hídricos. Material de web*. Obtido no site: www.abrh.org.br

ASSUNÇÃO, J.C.B. (1996) *Análise mineralógica, geoquímica e textural de lodos gerados e dispostos pela ETE de Barueri - SP: associações com metais pesados e seus efeitos no solo*. São Paulo, 126p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

ATTERBERG, A. (1905) Die rationelle Klassifikation der Sande und Kiese. *Chem. Zeitschr.*, 29, p. 195-198.

AUBERT, H. & PINTA, M. (1977) *Trace elements in soils*. Oxford, Elsevier Scientific. 395p.

- AZIKAINEN, J. M. & NIKOLAIDIS, N. P. (1994) Sequential extraction of chromium from contaminated aquifer sediments. *Ground Water Monitoring and Remediation*, Spring, p.185-191.
- BACCAN, N.; ALEIXO, L.M.; STEIN, E. & GODINHO, O.E.S. (1991) *Introdução à semimicroanálise quantitativa*. Campinas, Editora da Unicamp, 295p.
- BAILEY, S.W. (1980) Summary of recommendations of AIPEA Nomenclature Committee on clay minerals. *American Mineralogist*, 65: 1-7.
- BARCELÓ, J. & POSCHENRIEDER, C. (1992) Respuesta de las plantas a la contaminación por metales pesados. *Suelo y plantas*, 2: 345-361.
- BARTH, F.T. (1987) Fundamentos para gestão de recursos hídricos. In: BARTH, F.T. & POMPEU, C.T. (1987) *Modelos para gerenciamento de recursos hídricos*. São Paulo, ABRH/EDUSP. p.1-91.
- BASE AEROFOTOGRAMETRIA E PROJETOS S/A – BASE (2000) Acervo de fotos aéreas da região de Santa Gertrudes - anos 1972 (069/71 - SP-39-36436/IBC-GERCA) e 1995 (069/95 - O-579/PM-Rio Claro), São Paulo, BASE. (Escala original 1:25000).
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, P.R.; VALADARES, J.M.A.S. (1976) O molibdênio em solos do estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 15, Campinas, 1976. *Anais*. Campinas, p. 107-111.
- BATES, R.L. & JACKSON, L.A. (1987) *Glossary of geology*. St. Alexandria, Am. Geol. Inst., 188p.
- BEAR, J. (1972) *Dynamics of Fluids in Porous Media*. New York, USA. Amer Elsevier. 764 p.
- BEAR, J.; TSANG, C.; MARSILY, G. (eds.) (1993) *Flow contaminant transport in fractured rock*. San Diego, USA. Academic Press. 435 p.
- BECKETT, P.H.T. (1989) The use of extractants in studies on trace metals in soils, sewage sludges and sludge-treated soils. *Advances in soil Science*, 9 p. 143-176.
- BELKIN, H.E. & SPARCK, H.M. (1993) Mercury, arsenic, antimony and selenium contents of sediment from the kuskokwin river, Bethel, Alaska, USA. *Environmental Geology*, v. 22, p. 106-110.
- BERES JR., M & HAENI, F. P. (1991) Application of ground-penetrating-radar methods in hidrogeologic studies. *Ground Water*, v.29, n.3, p.375-386.
- BERNARDES JUNIOR, C. (1995) Avaliação de risco de longo prazo, em casos de

- contaminação de águas subterrâneas como instrumento de gerenciamento e remediação. São Paulo, 192p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- BEVILACQUA, J.E. (1992) Caracterização da labilidade de espécies químicas de chumbo em água do mar, via modelos químicos – Comparação com amostras da região estuarino-lagunar de Cananéia, por voltametria de redissolução anódica. São Paulo, 156p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Química, Universidade de São Paulo.
- BEVILACQUA, J.E. (1996) *Estudos sobre a caracterização e a estabilidade de amostras de sedimentos do rio Tietê*. São Paulo, 171p. Tese (Doutorado) - Instituto de Química, Universidade de São Paulo.
- BLOOM, A.L. (1988) *Superfície da Terra*. Tradução de S. Petri e R. Ellert. São Paulo. Edgard Blücher / EDUSP. 184p.
- BONACIN SILVA, A.L. & HYPOLITO, R. (2001) Hydrogeochemical investigation of the influence of ceramic industry wastes on the Fazenda Itaqui basin, Brazil. In: SCIENTIFIC ASSEMBLY OF THE INT'L. ASSOCIATION OF HYDROLOGICAL SCIENCES, 6, IAHS, Maastricht, Netherlands, 2001. *Proceedings...* IAHS Publ. no. 269, 2001, pp. 361-366.
- BONACIN SILVA, A.L.; HYPOLITO, R. (no prelo) Hydrogeochemistry investigations, using technical-scientific approach, in Fazenda de Itaqui drainage basin, situated in the influence area of glazed ceramics industries of Santa Gertrudes, Brazil – initial results. In: CONGRESS OF INT'L. ASSOCIATION OF HYDROGEOLOGISTS - IAH, 31, München, Germany, 2001. *Expanded Abstract*, IAH, 5p.
- BONACIN SILVA, A.L.; HYPOLITO, R.; ASSIS, J.F.; OLIVEIRA, M.G. (no prelo) Management of contaminated or potentially contaminated areas – the case of Fazenda de Itaqui drainage basin, surrounded by glazed ceramics industries in Santa Gertrudes, Brazil - preliminary results. In: CONGRESS OF INT'L. ASSOCIATION OF HYDROGEOLOGISTS - IAH, 31, München, Germany, 2001. *Expanded Abstract*, IAH, 3p.
- BOUWER, H. & RICE, R.C. (1976) A slug test for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells. *Water Resources Research*, 12, 423-428.
- BRADY, N. C. (1989) *Natureza e propriedade dos solos*. Rio de Janeiro, Ed. Freitas Bastos, 878 p.
- BRAGA, A. C. O. (1997) Métodos geoeletricos aplicados na caracterização geológica e geotécnica: Fm. Rio Claro e Corumbataí, no município de Rio Claro-SP. Rio Claro, 169p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas,

UNESP.

- BRAGA, T. de O. *et al.* (Eds.) (1996) *Auditoria ambiental: uma proposta para empreendimentos mineiros*. São Paulo. 118p. (IPT - Publicação 2451).
- BRANCO, P.M. (1993) *Guia de redação para a área de Geociências*. Porto Alegre, Sagra – DC Luzzatto, 176p.
- BRANCO, S.M. & ROCHA, A.A. (1977) *Poluição, proteção e usos múltiplos de represas*. São Paulo. Editora Edgard Blücher/CETESB. 324p.
- BRANCO, S.M. (1989) Considerações sobre a nova legislação brasileira de qualidade de águas. *Revista do DAE*, São Paulo, v. 49, n. 157, p. 185-187.
- BRANCO, S.M. (1991) A água e o homem. In: ABRH. *Hidrologia ambiental*. São Paulo. EDUSP. p. 3-26.
- BRASIL SOBRINO, M.O.C. (1966) *Fertilidade do solo*. Piracicaba, ESALQ/EDUSP. 384p.
- BRASIL - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (1992) Projeto PIRACENA: uma metodologia para estudos de bacias hidrográficas. Estudo de caso: a bacia do rio Piracicaba. Brasília, MCT. (PADCT II / CIAMB - 01/91-01).
- BRASIL – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2000) Legislação ambiental federal. *Artigo de web*. Obtido no site: www.mma.gov.br
- BRINDLEY, G.W. & BROWN, G. (eds.) (1980) *Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification*. London. Mineralogical Society. 495p.
- BROOKINS, D.G. (1988) *Eh-pH diagrams for geochemistry*. New York. Springer Verlag, 185p.
- BURMASTER, D.E. & LEHR, J.H (1991) It is time to make risk assessment a science. *Groundwater Monitoring Review*, USA, Summer, p. 5-15.
- CABRAL JR., M. (1991) Avaliação do potencial metalogenético da bacia do Paraná no Estado de São Paulo para depósitos sedimentares fosfáticos, evaporíticos e de metais-base. Rio Claro, 238p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP.
- CAILLÈRE, S.; HÉNIN, S. & RAUTUREAU, M. (1982) *Minéralogie des Argiles*. Paris, Masson, 184p.
- CAMPOS, H.C.N.S. (1993) *Caracterização e cartografia das províncias hidrogeoquímicas do Estado de São Paulo*. São Paulo, 179p. Tese (Doutorado) –

Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

- CARNESECA, L. F. (1998) O sistema integrado de recursos hídricos no Estado de São Paulo. *Revista de Águas e Energia Elétrica*. São Paulo: DAEE, outubro/98, p. 57.
- CARTAZ CERÂMICO (2001) Informações sobre o pólo cerâmico de Santa Gertrudes – entrevista com J.C.Buschinelli. Cordeirópolis, n. 9, p. 12.
- CARVALHO, N. O. (1994) *Hidrossedimentologia Prática*. Porto Alegre, CPRM, 372 p.
- CASARINI, D.C.P. (em preparação) Proposta de valores de referência de qualidade e intervenção para rolos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo. CETESB, São Paulo.
- CATANI, R.A. & KÜPPER, A. (1946) Algumas características químicas dos solos do Estado de São Paulo e sua interpretação analítica. Campinas, *Bragantia*, v. 6, n. 4, p. 147-163.
- CATANI, R.A. & GALLO, J.R. (1951) A extração de manganês e suas formas de ocorrência em alguns solos do Estado de São Paulo. Campinas, *Bragantia*, v.11, n. 7-9, p. 255-266.
- CAVALCANTE, I.N. (1990) *Estudo hidrogeológico de terreno cristalino com manto de intemperismo - Área piloto de Atibaia*. São Paulo, 123 p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo.
- CEDASA (2001) Dados sobre poços tubulares e materiais industriais. Relatórios técnicos fornecidos pela empresa CEDASA – Indústria Cerâmica Ltda., Santa Gertrudes, SP.
- CHRISTOFOLETTI, S.R. (1999) Estudo mineralógico, químico e textural das rochas sedimentares da Formação Corumbataí - "jazida Cruzeiro" - e suas implicações nos processos e produtos cerâmicos. Rio Claro, 112p. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista - UNESP.
- COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ – CBH-PCJ (1995) *Relatório de situação dos recursos hídricos*. São Paulo, DAEE. p.1-90.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM (1997) *Hidrogeologia - conceitos e aplicações*. 1ª Edição. Rio de Janeiro, CPRM. 412p.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB (1993) *Resíduos sólidos industriais*. CETESB, São Paulo, 233p.

- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB (1996) *Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo - 1995*. 286p. (Série Relatórios CETESB, ISSN 0103-4103).
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB (1997a) *Recuperação dos lagos de Santa Gertrudes. Relatório técnico 4/97*. CETESB - Regional de Piracicaba, 2p.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB (1997b) *Contaminação de peixes e sedimento de lagoas em Santa Gertrudes*. CETESB, DAHI, 8p. (Parecer técnico 7/97).
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB (1997c) *Lagoas de Santa Gertrudes, poluição por metais*. CETESB, EQSS, 7p. (Parecer técnico 9/97).
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB (1997d) *Estabelecimento de padrões de referência de qualidade e valores de intervenção para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo. Relatório parcial*, CETESB, São Paulo, 110 p.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB (1998a) *Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo - 1997*. 289p. (Série Relatórios CETESB, ISSN 0103-4103).
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB (1998b) *Relatório de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo - 1997*. 106p. (Série Relatórios CETESB, ISSN 0103-4103).
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB (1998c) *Informações cadastrais de indústrias cerâmicas do pólo de Santa Gertrudes*. Piracicaba, CETESB. p.1-3 (Relatório Interno).
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB (1999) *Manual de gerenciamento de áreas contaminadas*. Projeto CETESB – GTZ, Cooperação técnica Brasil – Alemanha, São Paulo, 385p.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB (2001) *Legislação ambiental do Estado de São Paulo: legislação geral, sobre ar, solos e águas. Artigo de web*. Obtido no site www.cetesb.sp.gov.br
- CORDANI, U.G.; BRITO NEVES, B.B.; PORTO, R.; THOMAZ F.A. & CUNHA, F.M.B. (1984) *Estudo preliminar de integração do Pré - Cambriano com os eventos das bacias sedimentares brasileiras*. Rio de Janeiro, Petrobrás, Ciência Técn. Petróleo, Seção de Expl. de Petróleo, 15 p.

- CORONA, J. (1999) Intoxicação por metais pesados - o chumbo. *Artigo de web*. Obtido no site: <http://www.tema10.vitamins.com.br>.
- COVELLI, S.; FONTOLAN, G. (1997) Application of a normalization procedure in determining regional geochemical baselines. *Environmental Geology*, v. 30, p. 34-45.
- CUNHA, A.G. (2000) Dicionário etimológico. Nova Fronteira da língua portuguesa. 2ª Ed. Ed. Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 839p.
- CUNHA, R.C.A. (1989) *Retenção e movimento de zinco em solos do Estado de São Paulo*. São Paulo, 103p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo.
- CUNHA, R. (1998) Avaliação de risco em áreas contaminadas por fontes industriais desativadas – estudo de caso. São Paulo, 152 p. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M. (1973). Hidrologia subterranea. 1Ed. Barcelona. Omega. Tomos I e II.
- CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M. (1996). Hidrologia subterranea. 2Ed. Barcelona. Omega. Tomos I e II.
- DANA, J.D. (1969) *Manual of mineralogy*. Vol. 1, 2. São Paulo, EDUSP. 641p.
- DAVIDSON, C. M., THOMAS, R. P., McVEY, S.E., PERALA, R., LITTLEJOHN, D., URE, A. M. (1994) Evaluation of a sequential extraction procedure for the speciation of heavy metals in sediments. *Analytica Chimica Acta*, 291, p. 277-286.
- DAVINO, A. (1970) Importância do método de eletrorrestividade na determinação da natureza do manto de decomposição em rochas cristalinas. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, São Paulo, n. 19, p. 99-101.
- COOKE, R.V. & DOOMKAMP, J.C. (1990) *Geomorphology in environment management*. Oxford. Clarendon Press, 410p.
- DAVINO, A. (1980) O lacólito de diabásio de Tambaú. Determinação por sondagem elétrica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31. Camboriú. *Anais*, SBG, v. 5, p.2583-2589.
- DAVIS, J. L., ANNAN, A. P. (1989) Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, v.37, n.5, p.531-551.
- DECHEN S.C.F.; DEMATTE, J.L.I. & MARCONI, A. (1993) Caracterização e Micromorfologia de podzolicos e cambissolos desenvolvidos de folhelhos da

Formação Corumbataí, no Estado de São Paulo. *Revista da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo* 17, p. 99-107.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE (1981) Estudo de águas subterrâneas. Região administrativa 5 (Campinas), 3 vol.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE (1988) Regionalização hidrológica do Estado de São Paulo. *Rev. Águas En. El.*, n.14, p.4-10.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE (1994) Manual de cálculo das vazões máximas, médias e mínimas nas bacias hidrográficas do Estado de São Paulo. DAEE, São Paulo. 64p.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE (1998) *Banco de dados pluviométricos do Estado de São Paulo*. CTH/DAEE/SRH. CD-ROM.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE (1999a) *Cadastro de usuários do município de Santa Gertrudes*. Obtido na Divisão de Treinamento e Outorga do DAEE, escritório de São Paulo.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE (1999b) Outorga de poços tubulares. *Artigo de web*. Obtido no site: www.dae.gov.sp.br.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE & PRODESP – COMPANHIA DE PROCESSAMENTO DE DADOS DO ESTADO DE SÃO PAULO. (2000) Dados de poços tubulares do município de Santa Gertrudes, DAEE, São Paulo, Divisão de Outorga e Treinamento.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE & UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL JÚLIO DE MESQUITA. (1982) *Mapa Geológico do Estado de São Paulo*, Folha Campinas, escala 1:250.000.

DIÁRIO OFICIAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (2001) Projeto Corumbataí – Cerâmicas, p.22, 21.02.2001. Imprensa Oficial, São Paulo.

DIAS, C.L.; LEMOS, M.M.G.; CAPELETI, A.; CASARINI, D.C.P. (1998) Derivação de valores de intervenção para chumbo, benzeno e tetracloroetileno, utilizando o modelo de avaliação de risco C-soil, para controle da contaminação de solo e águas subterrâneas no Estado de São Paulo, p. 1-14, CD-ROM.

DOMENICO, P.A. & SCHWARTZ, F.W. (1990) *Physical and chemical hydrogeology*. John Wiley & Sons, New York, 824 pp.

DOWDY, R.H. & VOLK, V.V. (1983) Movement of heavy metals in soil. In: *Chemical Mobility and Reactivity in Soil Systems*, 229-39. Madison, WI, USA, Soil Science Society of America.

- DURST, R.A. (1979). *Monitoring environmental materials and specimen banking*. N.P. Luepke, Martinus Nijhoff Ed., Den Hag, Holanda.
- EATON, A.D.; CLESCERI, L.S.; GREENBERG, A.E. (1995). Standard method for the examination of water and waste water, 19 Ed.
- ELLERT, N. (1973) Aplicação da eletrorresistividade em sedimentos paleozóicos e mesozóicos do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, 3, p.36-47.
- ELRASHIDI, M.A. & O'CONNOR, G.A. (1982) Boron sorption and desorption in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46, p. 27-31.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA (1997) *Manual de métodos de análise de solo*, 2ª Edição. Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA (1999) Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, Rio de Janeiro, 1999, 421p.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA (1989) Risk assessment guidance for superfund – volume I – Human health evaluation manual (part A) – Interim final (EPA/540/1-89/002, USEPA, EUA).
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA (1994) Glossary of Risk Assessment Related Terms. February 1st, 1994. *Artigo de web*. Obtido no site: www.epa.org, em 2000.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA (1996) Drinking Water Glossary, March 26th, 1996. *Artigo de web*. Obtido no site: www.epa.org, em 2000.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA (1997a) Lead and compounds (inorganic). EPA IRIS substance file. CASRN 7439-92-1, 1997. *Artigo de web*. Obtido no site: www.epa.org, em 2000.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA (1997b) Zinc and compounds (inorganic). EPA IRIS substance file. CASRN 7440-66-6, 1997. *Artigo de web*. Obtido no site: www.epa.org, em 2000.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA (1997c) Boron (boron and borates only). EPA IRIS substance file. CASRN 7440-42-8, 1997. *Artigo de web*. Obtido no site: www.epa.org, em 2000.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA (2000) Glossary of Hydrogeologic Terms. *Artigo de web*. Obtido no site: www.epa.org, em 2000.

- ESCOLA SUPERIOR DE AGRONOMIA LUIZ DE QUEIROZ - ESALQ (1999) *Balanço hídrico do município de Rio Claro, segundo método de Thornthwaite & Matter (1955)*. CD-ROM, Balanços hídrico de municípios do Estado de São Paulo, ESALQ, Piracicaba, SP.
- ESCOLA SUPERIOR DE AGRONOMIA LUIZ DE QUEIROZ - ESALQ (2000). *Classificação textural de amostras de solo*. Piracicaba. Laboratório de Física dos Solos – ESALQ. 2p.
- FAGUNDES, A. (1997) *Manual Prático de Introdução à Cerâmica*. Lisboa. Editorial Caminho AS. 394 p.
- FEITOSA, F.A.C. & MANOEL FILHO, J. (1997) *Hidrogeologia: Conceitos e aplicações*. Fortaleza. CPRM. 412 p.
- FERNANDES, A. J. (1997) *Tectônica cenozóica na porção leste da Bacia do Rio Piracicaba e sua aplicação a hidrogeologia*. São Paulo, 224 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- FERNANDES, A. J. (1998) *A circulação de água subterrânea em meios fraturados*. Apostila didática. São Paulo. SMA/SP. 27p.
- FERREIRA, A.B.H. (1995) *Dicionário Aurélio Básico da Língua Portuguesa*. Lisboa. Editora Nova Fronteira, 687p.
- FETTER, C. W. (1993) *Contaminant Hydrogeology*. New York. Macmillan Publishing Company. 485 p.
- FETTER, C. W. (1994) *Applied Hydrogeology*. New York. Macmillan Publishing Company. 691 p.
- FLAIG, W.H.; BEUTELSCPACHER, H.; RIETZ, E. (1975) Chemical composition and physical properties of humic substances. In: *Soil Components*, vol. 1, Organic Components, J.E. Gieseking (ed.). Springer-Verlag, New York, pp. 1-211.
- FOLK, R.L.(1974). *Petrology of sedimentary rocks*. Austin, Hemphill, 182p.
- FORNASARI FILHO, N. *et al.* (1992) *Alterações no meio físico decorrentes de obras de engenharia*. São Paulo, IPT. 162 p. (IPT- Boletim 61).
- FOSTER, S. & GOMES, D.C. (1988) Monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas – una evaluación de métodos y costos. Lima, Peru, WHO/CEPIS, 112p.
- FOSTNER, U.; AHLUF, W.; CALMANO, W. (1993) Sediment quality objectives and criteria development in Germany. *Water Sci. Tech.*, v. 28, n. 8-9, p.307-316.

- FRANÇA, A.B. & POTTER, P.E. (1988) Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de reservatório do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná (Parte 1). *Boletim de Geociências da PETROBRÁS*, n.2, p.147-191.
- FREEZE, R.A. & CHERRY, J.A. (1979) *Groundwater*. New York. Prentice Hall.
- FÚLFARO, V.J. *et al.* (1980) *Revisão estratigráfica da bacia do Paraná*. São Paulo: Paulipetro, Consórcio IPT/CESP (Rel.008/80).
- FÚLFARO, V.J. *et al.* (1982) Compartimentação e evolução tectônica da Bacia do Paraná. São Paulo, *Rev. Bras. Geoc.*, 12(4): 590 - 610.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE - FEEMA (1990) *Conceitos básicos de meio ambiente*. Rio de Janeiro, Imprinta. 211p.
- GALETI, P.A. (1989) *Solos - guia do técnico agropecuário*. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 142p.
- GAMA JÚNIOR, E. (1979) A sedimentação do Grupo Passa Dois (exclusive Formação Irati): um modelo geomórfico. *Rev. Bras. Geoc.*, 9 (1): 1-16.
- GARRELS, R.M. & CHRISTIE, C.L. (1964) *Solutions, Minerals and Equilibria*. Harper & Row, NY, USA. 450pp.
- GASPAR JÚNIOR, L.A. (1998) Estudo mineralógico, químico e textural das rochas sedimentares da Formação Corumbataí (Jazida Perucchi) e suas implicações com a matéria-prima para cerâmica vermelha. Rio Claro, 147p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas - UNESP.
- GEOCITIES (2000) Relação de leis sobre recursos hídricos e temas afins. *Artigo de web*. Obtido no site: www.geocities.com.
- GILLMAM, G.L. (1979) A proposed method of measurement of exchange properties of high-weathered soil. *Australian Journal of Soil Research*, v.17, p. 129-141.
- GLOEDEN, E. (1999) *Gerenciamento de áreas contaminadas na bacia hidrográfica do reservatório Guarapiranga*. São Paulo, 198p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo.
- GOLDBERG, S., FORSTER, H.S., HEICK, E.L. (1993) Boron adsorption mechanisms on oxides, clay minerals, and soils inferred from ionic strength effects. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57, p. 704-708.
- GOLDBERG, S., LESCH, S. M., SUAREZ, D.L. (2000) Predicting boron adsorption by soils using chemical parameters in the constant capacitance model. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64, p. 1356-1363.

- GOMES, C.F. (1989) *Argilas. O que são e para que servem*. Lisboa. Fundação Calouste Gulbenkian. 457p.
- GONÇALVES, C. (1997) Aplicação do método de ativação neutrônica na determinação do mercúrio total e outros elementos de interesse em amostras de solo e sedimento da Serra do Navio, Amapá. São Paulo, 147p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. (1994) *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. R.J. Bertrand Brasil, 458p.
- GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. (1996) *Geomorfologia e meio ambiente*. R.J., Bertrand Brasil, 372p.
- GUIGER, N. *et al.* (1997) *Curso de modelagem matemática em hidrogeologia: VISUAL MODFLOW e modelos de transporte de massa*, Waterloo Hydrogeologic do Brasil, São Paulo, maio de 1997. Apostila didática, curso.
- GUSTAFSON, G. & KRASNY, J. (1994) Crlyaine rock aquíferes: their occurrence, use and importance. *Applied Hydrogeology* 2(2): 64-75.
- HEM, J.D. (1970) Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. Geological Survey. Water Supply, 363pp. (Paper 1473).
- HILLERT, M. (1997) What is a metal and what is a heavy metal? International council on metals and the environment. Newsletter, 5 (4): 1-7. Site: www.ICME.com.
- HOLDGATE, M.W. (1979) *A perspective of environmental pollution*. Cambridge, University Press.
- HUTCHINSON, T.C. & MEENA, K.M. (1987) *Lead, mercury, cadmium and arsenic in the enviroment*. New York. John Wiley.
- HVORSLEV, M.L. (1951) *Time lag and soil permeability in groundwater observations*. US Army Corps of Engineers Waterway Experimentation Station. (Buletin 36).
- HYPOLITO, R. & SHINZATO, M.C. (1996) *Hidroquímica das Águas Naturais: alcalinidade, resíduo seco e determinação de CTC*. Apostila didática. Instituto de Geociências, 23p.
- HYPOLITO, R. (1998) *Curso de pós - graduação "Hidroquímica das Águas Naturais"*, CEPAS, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Texto didático, publicação interna, 50p.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS – IAC (1986) Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do IAC. Campinas, IAC, 94p. (Boletim Técnico,

106).

INSTITUTO AGRONÔMICO CAMPINAS - IAC (1999) Solos do estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico. *Boletim Científico*, 45.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (1981) *Folha plani-altimétrica São Carlos, escala 1: 50.000*.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (2001) Censo 2001. Site: www.ibge.gov.br

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. (1981a) *Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000*. 2 v.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. (1981b) *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, escala 1:1.000.000*. 2 v.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. (1997) *Agência 21 – Documento da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio 92)*. Texto traduzido, cópia obtida no AGAMA – Agrupamento de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente, da DIGEO – Divisão de Geologia do IPT, 615p.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO – IGC (1979a) *Folha plani-altimétrica de Santa Gertrudes II, número 066/090, SF-23-Y-A-I-4-SE-A, escala 1: 10.000*. São Paulo, SP.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO - IGC (1979b) *Folha plani-altimétrica de Bairro Assistência, número 066/091, SF-23-Y-A-I-4-SE-A, escala 1: 10.000*. São Paulo, SP.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA CERÁMICA - ITC & ASOCIACION DE INVESTIGACION DE LAS INDUSTRIAS CERÁMICAS - AICE (1992) *Tratamiento de emisiones gaseosas, efluentes líquidos y residuos sólidos de la industria cerámica*. Barcelona . Ripoll. 191p.

JENNY, H. (1941) *Factors of soil formation*. New York, Mc Graw-Hill. 281p.

JENNY, H. (1978) *The factors of soil formation*. McGraw-Hill, New York.

JOHNSON MATTHEY (1999) *Laudos técnicos de vidrados compostos*. Microcina, Ceramic Materials Division, 1999. São Paulo, 1999 3 p.

JOLY, A.B. (1991) *Botânica – Introdução à taxonomia vegetal*. São Paulo, Editora Nacional. 777p.

- KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. (1984) *Trace elements in soils and plants*. Boca Raton, CRC Press Inc. 315p.
- KERSTEN, M. & FORSTNER, U. (1986). Methodology of sequential extraction of metals. *Wat. Sci. Techn.*, 18:121.
- KHAN, D.H. (1980) *Lead in the environment*. Technical report, Monitoring and Assessment Research Centre, Chelsea College, University of London.
- JOLLY, W.L. (1966). *A química dos não-metais*. São Paulo. Edgard Blücher Ltda / EDUSP. 176p.
- KIRSCH, H. (1972) *Mineralogia aplicada*. 1ª Edição, Tradução: FRANCO, R.R., São Paulo, Polígono, 291p.
- KLEIN, K. & HURLBUT JUNIOR, C.S. (1993) *Manual of mineralogy*. 21 Ed. New York. John Wiley & Sons. 682p.
- KÖCHE, J.C. (1997) *Fundamentos da Metodologia Científica*. Petrópolis, Ed.Vozes.
- KOT, A. & NAMIESNIK, J. (2000). The role of speciation in analytical chemistry. *Trac-trends in Analytical Chemistry*, n. 19, v. 2-3, p. 69-79.
- KRAUSKOPF, K.B. (1967) *Introduction to geochemistry*. McGraw-Hill, New York.
- LANDIM, P.M.B. (1970) *O Grupo Passa Dois na bacia do rio Corumbataí*. Rio de Janeiro, DNPM, 103p. (Boletim 252).
- LAROUSSE, (1999) *Grande dicionário Larousse Cultural da Língua Portuguesa*. Nova São Paulo. Cultural. Brasil. 928p.
- LAYBAUER, L. & BIDONE, E.D. (1998). Partição de metais pesados em águas superficiais impactadas por mineração – Minas do Camaquã, RS. *Geochimica Brasiliensis*, n.12, v.1/2, p. 55-62.
- LEGISLATIVO ESTADUAL DE SÃO PAULO (2000). Legislação do Estado de São Paulo. Obtido em: www.legislativoestadual.sp.gov.br
- LINDSAY, W. L. (1979) *Chemical Equilibria in Soils*. New York. Wiley.
- LOCZY, L. (1966) Evolução paleogeográfica e geotectônica da bacia gondwânica do Paraná e seu embasamento. *Bol. Div. Geol. Min.*, Rio de Janeiro, DNPM, n. 234, p. 1-71.
- LUNTHIN, J.N. (1967) *Drenage de tierras agrícolas*, s.1, Centro Regional de Ayuda Técnica, México.

- MALAVOLTA, E. (1994) Fertilizantes e seu impacto ambiental. Micronutrientes e metais pesados: mitos, mistificação e fatos. Produquímica, São Paulo, 153p.
- MANIAKAS, S. (1986) Estudos geofísicos integrado à geologia da bacia hidrográfica do Baixo Rio Capivari-SP (Subgrupo Itararé e intrusivas associadas). São Paulo, 180p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas - UNESP.
- MANOEL FILHO, J. (1996) *Modelo de dimensão fractal para avaliação de parâmetros hidráulicos em meio fissural*. 197 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo.
- MASON, B. & MOORE, C.B. (1982) *Principles of Geochemistry*, Fourth Edition, John Wiley & Sons, New York, NY, USA.
- MASSON, M.R. (1998) Rochas da formação Corumbataí como matéria-prima para indústria cerâmica: sua influência na qualidade dos produtos. Rio Claro, SP. 133p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Geociências e Ciências Exatas – UNESP.
- MATOS, A. T. (1995) Fatores de retardamento e coeficientes de dispersão – difusão do zinco, cádmio, cobre e chumbo em solos do município de Viçosa – MG. Viçosa, MG, 110p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa.
- MATTOS, S.L.F. (1995) *O contato Passa Dois-Pirambóia na borda leste da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo*. São Paulo, 140p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- MCBRIDE, M.B. (1989) Reactions controlling heavy metal solubility in soils. *Advances in Soil Science*, 10, 1-56.
- MCBRIDE, M.B. (1994) *Environmental geochemistry of soils*. New York, Oxford University Press, 406p.
- MCDUFFIE, B., ELBARBARY, I., HOLLOD, G.J. & TIBERIO, R.D. (1976) Trace metals in rivers-speciation, transport and role of sediments. *Trace Substances in environmental health*, 10, 85-95.
- MCNEILL, J. D. (1990) Use of Eletromagnetic Methods for Groundwater Studies. In: *Geotechnical and Environmental Geophysics, Serie Investigations in Geophysics*. Tulsa: Ed. Stanley H. Ward - Society of Exploration Geophysicists, v.I: Review and Tutorial, p.191-218.
- MENDES, J. C. (1952) A Formação Corumbataí na região do rio Corumbataí: estratigrafia e descrição de lamelibrânquios. *Boletim* 145, FFCL, USP, 120 p.
- MENDES, J.C. (1967) *The Passa Dois Group (The brazilian portion of Paraná basin)*. In: Bigarella, J.J. Becker, R.D. Pinto, I.D. (eds). *Problems in Brazilian Gondwana*

- geology, Curitiba, Cons. Nac. Pesq. Centro Invest. Gondwana, Inst. Geol. (UFP) Comis. Carta Geol. Paraná, p. 166-199.
- MERCK, E. (1990) Determinación colorimétrica y fotométrica de boro com curcúmina. 4p.
- MESTER, Z. CREMISINI, C. GHIARA, E., MORABITO, R. (1998) Comparison of two sequential extraction procedures for metal fractionation in sediment samples. *Analytica Chimica Acta*, v.359, p. 133-142.
- MESTRINHO, S.S.P. (1998) *Estudo do comportamento geoquímico dos metais pesados nos sedimentos da região estuarina do rio Paraguaçu – Bahia*. São Paulo, 135p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- MEZZALIRA, S.R. (1980) Bioestratigrafia do Grupo Passa Dois no Estado de São Paulo, *Bol. Inst. Geol.*, São Paulo, 1 (1): 15-34.
- MILANI, E.J.; FRANÇA, A.B.; SCHNEIDER, R.L. (1994) Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da PETROBRÁS*, v.8, n.1, p.69-82.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA (2000) Legislação e histórico. Temas pesquisados: meio ambiente e recursos hídricos. Site: www.mma.gov.br
- MITCHELL, R.L. (1964) *Chemistry of the soil*, Second Ed., New York.
- MONIZ, C. (1972) *Elementos de pedologia*. São Paulo, Polígono/EDUSP. 459p.
- MOORE, J.W. (1989) Inorganic contaminants of surface water - research and monitoring priorities. Springer-Verlag.
- MOORE, J. W. & RAMAMOORTHY, P. A. (1984) *Heavy metals in natural water - applied monitoring and impact assessment*, Spring – Veerlab, New York, 268p.
- MUNN, R.E. (1979). *Enviromental impact assessment*. Toronto, John Wiley & Sons. 190p.
- NRIAGI, J.O. (1979) *The biogeochemistry of lead*. Elsevier Biomedical Press, Amsterdam, pp. 18-88.
- OKADA, I.A. (1997). Avaliação dos níveis de chumbo e cádmio em leite em decorrência de contaminação ambiental na região do Vale do Paraíba, Sudeste do Brasil. *Rev. Saúde Pública*, 31 (2), p. 140-143.
- OLIVEIRA, J.B. & PRADO, H. (1984) *Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo: Quadricula São Carlos II, Memorial descritivo*, IAC –

- Instituto Agronômico De Campinas, 1984, 188p. (Boletim Técnico, 98).
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU (1992) Agenda 21. Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. 40 cap., 245p.
- PAOLIELO, M.M.B. (1997). Valores de referência para plumbemia em população urbana. *Rev. Saúde Pública*, v. 31, n.2, p. 144-148.
- PENTEADO, M.M. (1969) A bacia de sedimentação de Rio Claro - Estado de São Paulo. *Geographia*, Lisboa, v.5, n.17: 38-61.
- PEREZ-CID, B.; LAVILLA, I. & BENDICHO, C. 1998. Spending up of a three-stage sequential extraction method for metal speciation using focused ultrasound. *Analytica Chimica Acta*. v. 370, n. 1-3, p.35-41.
- PERINOTTO, J. A. & ROESLER, O. (1985) *Nota sobre a ocorrência de Glossopteris na porção superior da Formação Corumbataí*. DNPM, Seção de Paleontologia e Estratigrafia, p.619-622 (Série Geologia, 27).
- PHIPPS, D. A. (1981) *Effects of heavy metal pollution on plants*. Ed. Lepp, N. W. Applied Science Publishers, London, pp. 1 – 54.
- PIVA, M. *et al.* (1997) Panorama das indústrias do pólo cerâmico de Santa Gertrudes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CERÂMICA , 40, Camboriú, 1997. *Anais*. ABC.
- POMPEU C. T. (1999) *Águas Doces no Direito Brasileiro*. In REBOUÇAS, A.C. Águas Doces do Brasil, São Paulo. P. 601-635.
- PORTO, M.F.A. (1998) Qualidade da água. Curso de pós-graduação "Qualidade da água", EPUSP, São Paulo, material didático.
- PROCHNOW, M.C.R. (1990) *Análise ambiental da sub-bacia do rio Piracicaba: subsídios ao seu planejamento e manejo*. Rio Claro, 250p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Universidade Estadual Paulista.
- PULZ, R.W.; PAUL, C.J.; CLARK, D.A. (1992) Distribution, speciation and transformation of chromium in contaminated soils and aquifer sediments. *Soil Science Soc. Am. Journal*, p. 455-457.
- PUNZ, W.F. & SIEGHARDT, H. (1993) The response of roots of herbaceous plant species to heavy metals. *Environmental and Experimental Botany*, v.33, n.11, p.85-98.
- QUEVAUVILER, P. (1998a) Operationally defined extraction procedures for soil and sediment analysis – I. Standardization. *Trac-trends in Analytical Chemistry*, v.17, n.5, p. 289-298.

- QUEVAUVILER, P. (1998b) Operationally defined extraction procedures for soil and sediment analysis – II. Certified Reference Materials. *Trac-trends in Analytical Chemistry*, v.17, n. 10, p. 632-642.
- QUEVAUVILER, P.; RAURET, G. & GRIEPINK, B. (1993). Single e sequential extraction in sediments and soils. *International Journal of environmental analytical chemistry*, v. 51, p. 231-235.
- QUEVAUVILER, P.; RAURET, G. LOPEZ SANCHEZ, J.F. & MUNTAU, H. (1997). Certification of trace metal extractable contents in a sediment reference material (CRM 601) following a three-steps sequential extraction procedure. *Science of the total environment*, p. 223-234.
- RADAMBRASIL (1983) *Levantamento de recursos naturais, Folhas 23/24 – Rio de Janeiro/Vitória*. Rio de Janeiro, MME – Ministério das Minas e Energia, 780p. (Relatório – Vol. 32).
- RAGONHA, E.W. (1980) Características físicas da zona *Pinzonella illusa* e *Plesiocyprinella carinata* da Formação Corumbataí, Grupo Passa Dois, na região de Rio Claro, SP. In: CONGR. BRAS. GEOC., 31, Salvador, *Anais*, 5: 3106-3117.
- RAGONHA, E.W. (1984) Taxionomia de dentes e espinhos isolados de *Xenacanthodii* (Chondrichthyes, Elasmobranchi) da Formação Corumbataí. Considerações cronológicas e paleoambientais. São Paulo, 166p. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- REBOUÇAS, A.C. (1999) ANA – Agência Nacional da Água e as Águas Subterrâneas. ABAS-INFORMA, Boletim Informativo da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, n. 96, novembro/1999, p. 3
- REBOUÇAS, A.M. (1996) *Contribuição ao estudo do comportamento do cromo na zona não saturada e saturada*. São Paulo, 85p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo.
- RICCOMINI, C. (1992a) Estilos estruturais da região do Domo de Pitanga, Bacia do Paraná, SP. *Bol. IG-USP, Publicação Especial*, 12: 93-94.
- RICCOMINI, C. (1992b) Evidências geológicas de atividade neotectônica no Estado de São Paulo e regiões adjacentes. *Bol. IG-USP, Publicação Especial*, 12: 95-96.
- RICCOMINI, C.; MANCINI, F.; HASEBE, F.K.; RIDENTE JÚNIOR, J.L.; SANT'ANNA, L.G. (1991) Evidências de neotectonismo no vale do rio Passa Cinco, Domo de Pitanga, Bacia do Paraná, SP. In: SIMP. GEOL. SUDESTE, 2, São Paulo, SP. Atas. 27-28.
- RICCOMINI, C.; CHAMANI, M.A.C.; AGENA, S.S.; FAMBRINI, G.L.; FAIRCHILD, T.R.;

- COIMBRA, A.M. (1992) Earthquake-induced liquefaction features in the Corumbataí Formation (Permian, Paraná Basin, Brazil) and the dynamics of Gondwana. *An. Acad. Bras. Ci.*, 64:210.
- RICCOMINI, C. & VASSILIOU, A. P. (1993) Geologia da porção ocidental do Domo de Pitanga, Bacia do Paraná, SP. In: SIMP. INIC. CIENT. INST. GEOC., São Paulo, USP. Anais, PB-08.
- RICCOMINI, C. & FAMBRINI, G. L. (1997) Sedimentação e tectônica de bacias intracratônicas: O exemplo do Alto Estrutural de Pitanga, borda leste da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo. Roteiro de seminário de campo. Programa de ensino intradepartamental: disciplina 044-333 (Mapeamento Sedimentar), Instituto de Geociências, USP.
- RIGHETTO, A.M. (1998). *Hidrologia e recursos hídricos*. EESC, USP – Projeto Reenge. 840p.
- ROESLER O., COIMBRA, A.M. & ROHN, R. (1985) Paleontologia do topo da Formação Corumbataí, na seção da rodovia Castelo Branco, estado se São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.57, p.119.
- ROHN, R. (1989) Grupo Passa Dois. In: SBG, CONGR. BRAS. PALEONT., 11, Curitiba, *Anais*, p. 34-42.
- ROHN, R. (1994) *Evolução ambiental da bacia do Paraná durante o Neopermiano no leste de Santa Catarina e do Paraná*. São Paulo, 250p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- ROHN, R. (1995) Distribuição de fósseis e de fácies no Grupo Passa Dois (Permiano Superior) na borda leste da bacia do Paraná. In: SIMP. CRONOESTRAT. BACIA DO PARANÁ, 2, Porto Alegre, *Boletim de resumos expandidos*, 71-75.
- ROHN, R. & LAVINA, E.L. (1993) Cronoestratigrafia do Grupo Passa Dois. In: SIMP. CRONOESTRAT. BACIA DO PARANÁ, 1, Rio Claro, *Resumos*, 77-80..
- ROSE, A.W.; HAWKES, H.E.; WEBB, J.S. (1979) *Geochemistry in mineral exploration*. Second Ed., London , Academic Press.
- ROSS, J.L.S. & MOROZ, I.C. (1997) *Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo, escala 1: 500.000*, 2v. São Paulo, FFLCH/IPT/FAPESP.
- RUSSO, I.L. (1997) *A bacia hidrográfica do córrego São Joaquim e o abastecimento urbano de água de Santa Gertrudes*. Rio Claro, SP, 108p. Dissertação (Mestrado) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- SALATTI, E. (1996). Diagnóstico ambiental sintético e qualidade da água como

- subsídio para o planejamento regional integrado da Bacia Hidrográfica do rio Corumbataí (SP). São Carlos, SP. 199p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- SALTINI *et al.* (1995) Mercado mundial de revestimentos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 39, Águas de Lindóia, 1995. *Anais. ABC*, p. 249.
- SALVADOR, N.N.B. (1989) *Avaliação de impactos sobre a qualidade dos recursos hídricos*. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SÁNCHEZ, L.E. (1998) *A desativação de empreendimentos industriais: um estudo sobre o passivo ambiental*. São Paulo, 178p. Tese (Livre-Docência), Departamento de Engenharia de Minas, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- SÁNCHEZ, L.E. (2001) *Sistemas de gestão ambiental (GSA)*. Disciplina de pós-graduação. Material didático, EPUSP, São Paulo.
- SANT'ANNA, L.G. (1994) *Mineralogia das argilas e evolução geológica da bacia de Fonseca, Minas Gerais*. São Paulo, 151p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- SANTILLAN-MEDRANO, J & JURINAK, J. J. (1975) *Soil Sci. Soc. Am. Proc*, 851 – 856.
- SCHNEIDER, R.L.; MUHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F.; NOGUEIRA, A.A. (1974) Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. CONGR. BRAS. GEOL., 28, Porto Alegre, RS, *Anais*. p. 41-64.
- SCHWARZ, K. (1978). *Clinical chemistry and chemical toxicology of metals*. New York, Elsevier.
- SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE – SMA (1997) *Gestão das Águas : 6 anos de percurso*. São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras. São Paulo, 128p.
- SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE – SMA (1998) *Quem somos e o que fazemos*. São Paulo, SMA/CED, 90p.
- SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS, SANEAMENTO E OBRAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - SRH. (1998). *Caracterização das unidades de gerenciamento de recursos hídricos*. 52p.
- SENADO FEDERAL (2000) *Legislação brasileira*. Site: www.senado.federal.gov.br
- SHREVE, R.N. & BRINK, J.A.Jr. (1980) *Indústria de processos químicos*. Ed

Guanabara Dois. Rio de Janeiro, p 123-137.

- SHINZATO, M.C. (1995) *Estudo experimental de retenção de íons metálicos em vermiculita*. São Paulo, 93p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- SHINZATO, M.C. (1999). Comportamento de íons metálicos associados a rejeitos de indústria de reaproveitamento de alumínio e ligas metálicas em solos/metálicos e águas. São Paulo, 113p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- SHINZATO, M.C.; HYPOLITO, R.; VALARELLI, J.V. (1997) Estudo experimental de retenção de íons metálicos em vermiculita. In: CONGR. GEOQ. DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORT., 4, Lisboa, Portugal, *Actas*, 507-510.
- SHINZATO, M.C. & HYPOLITO, R. (1997) Comportamento geoquímico do alumínio e metais pesados em solos/sedimentos e águas subterrâneas associados à indústria de reciclagem de Simões M.G., Torello F.F., Rocha C.A.C. (1996). Gênese e Classificação da Coquina, Formação Corumbataí (Neopermiano), na região de Rio Claro-SP. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 68: 545-557.
- SÍGOLO, J.B. (1998) Aplicação da geoquímica de superfície na análise da mobilidade e concentração de metais pesados em ambiente tropical. São Paulo, SP, 216p. Tese (Livre-Docência) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- SILVA, F.C. (1995) Uso agrônomo de lodo de esgoto: efeitos em fertilidade do solo e qualidade da cana-de-açúcar. São Paulo, 159p. Tese (Doutorado) - ESALQ - Universidade de São Paulo
- SILVA, P. E. (1975) *Vocabulário jurídico*. 4ª ed. Rio de Janeiro e São Paulo, Forense. 3 v. 1672 p.
- SINGH, B.R. & STEINNES, E. (1994) Soil and water contamination by heavy metals. In: Lal, R. & Stewart, B.A. 1994 (Eds.) *Advances in soil science: soil process and water quality*, p. 233-237.
- SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS - SEADE (2001) Dados sócio-econômicos do município de Santa Gertrudes do estado de São Paulo. Site: www.seade.gov.sp.br
- SOARES, P.C. (1978) *Geometria, deformação e tensões em bacias intracratônicas, aplicação às bacias do Paraná e Amazonas*. Rio Claro. Tese (Livre-Docência) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas/UNESP.
- SOUSA, M.O.L. (1997) *Caracterização estrutural do domo de Pitanga, SP*. Rio Claro, SP, 116p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas,

UNESP.

- SOUSA, S.H.M. (1985) *Fácies sedimentares das formações Estrada Nova e Corumbataí no Estado de São Paulo*. São Paulo, 142p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo.
- SOUZA, J.V. (1973) *Introdução à tecnologia cerâmica*. São Paulo, Ed. Edgard Blücher/EDUSP, 324p.
- SOUZA SANTOS, P. (1989). *Ciência e tecnologia de argilas*. 2^a ed. Vol.1., São Paulo, Edgard Blücher Ltda. 408 p.
- STEWART, B. A. (1989) *Advances in Soil Science*. Ed. B. A. Stewart, Springer – Verlag, vol 9. New York.
- SUGUIO, K. (1973). *Introdução à sedimentologia*. São Paulo, Edgard Blücher / EDUSP, 317p.
- SUGUIO, K. (1980). *Rochas sedimentares*. São Paulo, Edgard Blücher / EDUSP, 500p.
- SUGUIO, K. (1998) *Dicionário de Geologia Sedimentar*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1222p.
- SUGUIO, K. & SOUZA, S. H. M. (1985) Restos de mesossaurídeos na Formação Corumbataí, Permiano da Bacia do Paraná, no estado de São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 57: 339-347.
- SURITA, C.A.; ELLERT, N.; SAITO, M.M.; MARTINS, L. (1997) Avaliação de contaminação de solo e águas subterrâneas por disposição de resíduos de curtume - São Paulo - Brasil. In: CONGR. GEOQ. DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORT., 4, Lisboa, Portugal, Actas, 533-536.
- SURITA, C.A. (1999) Avaliação de contaminação de águas intersticiais e solo, devido à disposição de efluentes de curtimento em superfície - um estudo de caso. São Paulo, 125p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo.
- SZIKSZAY, M.; CONSONI, A.J.; GUIGUER, N.; HASSUDA, S.; KIMMELMANN, A.A.; SGAMBATO, F.; YOSHINAGA, S. (1986) Instalação de uma Estação Experimental para o estudo da dinâmica e da evolução da composição da água na zona não saturada. *Rev. Águas Subter.*, v.10, p. 5-20.
- SZIKSZAY, M.; KIMMELMANN, A.A.; HYPOLITO, R.; FIGUEIRA, R.M.; SAMESHIMA, R.H. (1990) Evolution of the chemical composition of water passing through the unsaturated zone to groundwater at an experimental site at the University of São Paulo, Brazil. *Journal of Hydrology*, v. 118, n. 1 a 4: 175-190.

- SZIKSZAY, M.; ALEXANDRE, G.A.L.; HYPOLITO, R.; OGIHARA, S.H.; TOLEDO-GROKE, M.C.; FERNANDES, E.D.N.; ORLANDO, R.C. (1992a) Preliminary methodology for study of heavy metal mobility in the unsaturated zone in tropical climate. In: INTERNAT. SYMP. WATER-ROCK INTERACT., 7, Utah, USA, 757-759.
- SZIKSZAY, M.; ALEXANDRE, G.A.L.; HYPOLITO, R.; TOLEDO-GROKE, M.C.; SHIMIZU, D.; AGUIAR, D.M.O. (1992b) Estudo do comportamento de metais pesados na zona não saturada (campus da Universidade de São Paulo, Brasil) - uma metodologia preliminar. In: ALHSUD, CONGR. HIDROGEOL. LATINOAMERICANO, 1, Merida, Venezuela, *Compendio de Ponencias*, 1-7.
- SZIKSZAY, M.; ALEXANDRE, G.A.L.; HYPOLITO, R.; TOLEDO-GROKE, M.C.; AGUIAR, D.M.O.; SHIMIZU, O.; FERNANDES, E.D.N. (1992c) Metodologia preliminar para o estudo da mobilidade de metais pesados na zona não saturada em clima tropical. In: ABAS, CONGR. BRAS. ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 7, Belo Horizonte, MG, *Anais*, 136-139.
- TAN, K.H. (1993) *Principles of soil chemistry*. Marcel Dekker, 2nd Edition, New York, 361p.
- TANNO, L.C.; MOTTA, J.F.M. & CABRAL JUNIOR, (1994). Pólos de cerâmica vermelha do Estado de São Paulo: aspectos geológicos econômicos. In: Congr. Bras. Cer. 38 Blumenau, 1994 *Anais*, Blumenau ABC. 1: p. 378-383.
- TAVARES, T.M. (1990) *Avaliação de efeitos das emissões de cádmio e chumbo em Santo Amaro da Purificação, Bahia*. São Paulo, 271p. Tese (Doutorado) - Instituto de Química - Universidade de São Paulo.
- TAVARES, T.M. (1996) Distribuição espacial de metais pesados e hidrocarbonetos, em programa de monitoramento dos ecossistemas ao norte da Baía de Todos os Santos. UFBA, Salvador, 85p. (Relatório final).
- TESSIER, A., CAMPBELL, P.G.C., BISSON, M. (1979) Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical chemistry*, v.51, n.7, p. 844-850.
- TESSIER, A.; CAMPBELL, P.G.C.; BISSON, M. (1979). Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry*, v. 51, n.7, p. 844-850.
- THURMAN, E.M. (1986) *Organic Geochemistry of natural waters*. Martinus Nijhoffw. Junk Publishes, Den Hag, Holand.
- TOGNON, A.A. (1985). Glossário de termos técnicos de geologia de engenharia. São Paulo. ABGE. 139p.

- TOLEDO, M.C.M.; SZIKSZAY, M.; ALEXANDRE, G.A.L.; HYPOLITO, R.; CARVALHO, E.R. (1995) Experimental study of retention of Zn, Co, Cu and Pb in the unsaturated zone in tropical climate. In: IAH, CONGR. INTERNAT. ASSOC. OF HYDROGEOLOGY, 26, Alberta, Canadá. B01/CD-ROM.
- TORELLO, F.F. & SIMÕES, M.G. (1997) Concentrações fossilíferas da Formação Corumbataí (Permiano), bacia do Paraná, na região de Tambaú, SP. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.69, n.282.
- TROPPEMAIR, A. (1978) Variação da estrutura da mata galeria na bacia do rio Corumbataí, SP, em relação à água do solo, do tipo de margem e do traçado do rio. *Biogeografia*, v. 8, p. 1-28.
- TUCCI, C.E.M. (Coord.) (1993) *Hidrologia - Ciência e aplicação*. ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 944p.
- UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO – UNESP (2000) Dados de postos pluviométricos de posto meteorológico instalado no campus da UNESP, em Rio Claro, SP. Dados de 1998 a 2000.
- URE, A.M. & BERROW, M.L. (1982) The elemental constituents of soils. In: BOWEN, H. J. D. (Eds.) *Environmental Chemistry*. London. Royal Society. 94p.
- VALADARES, J.M.A.S. (1975) Zinco em solos do Estado de São Paulo. I - Zinco total. Campinas, *Bragantia*, v.34, n.5, p. 133-139.
- VALADARES, J.M.A.S. & CATANI, R.A. (1975) Cobre nos solos do Estado de São Paulo. I - Cobre total. Campinas, *Bragantia*, v.34, n. 5, p. 125-132.
- VARGAS HAGER, F. P. (2000) Gestão e gerenciamento integrado de recursos hídricos subterrâneos e superficiais - caso das sub-bacias da Billings e Tamanduateí, Bacia do Alto Tietê - São Paulo. São Paulo, Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo.
- VIEIRA, L.S. (1985) *Manual de ciências do solo*. Editora Agronômica Ceres Ltda.
- VILAR, O.M. & Gandour, R. (1992) A expansibilidade de sedimentos da formação Corumbataí quando compactados. UNESP, *Geociências*, 11 (2): 163-179.
- VILLELA, & MATOS, (1975) *Hidrologia aplicada*. São Paulo, Mc-Graw do Brasil, 245 p.
- VLACK, L.H. (1973) *Propriedades dos materiais cerâmicos*. Ed. Edgard Blücher/EDUSP, São Paulo, 318p.
- WALKLEY, A. & BLACK, J. A. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of chronic acid titration

method. *Soil Science*, v.37, n.29-38.

WENTWORTH, C.K. (1922) A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal Geology*, v.30, n.377-392.

WHITE, I.C. (1908) Relatório final da comissão de estudos das minas de carvão de pedra do Brasil, Rio de Janeiro.

WILSON, D. (1997) *Recycled reputation*. The Ringsider, London, pp. 53-55.

WORLD HEALTH ORGANISATION – WHO (1995) *Environmental health criteria 165 – Inorganic Lead*. Genève, WHO. p. 25-35.

YONG, R.N., GALVEZ-CLOUTIER, R., PHADUNGCHWIT, Y. (1993). Selective sequential extraction analysis of heavy-metal retention in soil. *Can. Geotech. J.*, v.30, p. 834-847.

ZALÁN, P.V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; ASTOLFI, M.A.; VIEIRA, I.S.; APPI, V.T.; ZANOTTO, O.A. (1987) Tectônica e sedimentação da bacia do Paraná. In: SIMP. SUL-BRAS. DE GEOL. Atas, n. 2, p. 441-477.

LEGENDA

- 600 Curva de nível (Equidistância de 10m)
- Estrada principal/rodovia
- Estrada secundária
- Trilha
- Canalização
- Córrego
- Lagoa/lago
- Sítio/casa
- Instalação industrial

AMOSTRAGENS E INVESTIGAÇÕES EFETUADAS

- Águas subterrâneas
 - Poço de monitoramento
 - Poço cacimba
 - Lisímetro
 - Poço tubular profundo
 - Água de chuva
 - Pluviômetro/amostrador de água de chuva
 - Córrego da Fazenda Itaqui (FI) e pequenos cursos d'água (PCD) - sedimentos/águas superficiais
 - Ponto de monitoramento - águas superficiais (FI), com amostragem de sedimento de leito
 - Ponto de monitoramento - águas superficiais - FI
 - Ponto de controle - águas superficiais - FI (amostragem eventual)
 - Ponto de monitoramento - águas superficiais - pequenos cursos d'água (PCD), com amostragem de sedimentos de leito
 - Ponto de controle - águas superficiais - pequenos cursos d'água (PCD) - amostra eventual
 - Fonte ou nascente
 - Lagos (sedimentos/águas superficiais)
 - Ponto de amostragem de sedimento de fundo (piston-core) e/ou águas superficiais
 - Ponto de controle (amostragem eventual)
 - Rochas, solos e sedimentos
 - Ponto de amostragem de solo/rocha
 - Pilha de rejeito/estéril/matéria prima (argila)
 - Feições erosivas
 - Ponto de controle (amostragem eventual) - sedimentos de leito, águas pluviais e/ou efluentes líquidos industriais
 - Materiais industriais
 - Ponto de amostragem de materiais industriais
 - Levantamento Geofísico
 - GF Caminhamento eletromagnético (EM) e com GPR
 - SEV Sondagem elétrica
 - Processos da dinâmica superficial com indução antrópica
 - Boçoroca ou ravina
 - Assoreamento e/ou eutrofização
- * Conformação esquemática

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA SEDIMENTAR E AMBIENTAL

CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL E ESTUDO DO COMPORTAMENTO DO CHUMBO, ZINCO E BORO EM ÁREA DEGRADADA POR INDÚSTRIAS CERÂMICAS - REGIÃO DOS LAGOS DE SANTA GERTRUDES, SP

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO - André Luiz Bonacin Silva
Orientador: Prof. Dr. Raphael Hypolito

SÍNTESE DAS INVESTIGAÇÕES EFETUADAS

Digitalização: Mirna Mangini Ferracini MAIO/2001 DESENHO 1

ÁREA DE ESTUDOS DE DETALHE
LAGOS 1 E 2 (ÁREA I)

LAGOS A MONTANTE
E NASCENTES DO
CÓRREGO DA
FAZENDA ITAQUI
(ÁREA III)

POLIGLASS,
LAGOS 3, 4 DO
PESQUEIRO
(ÁREA II)

Bases: Folhas IBGE 1:10.000 - Santa Gertrudes I (SF-23-Y-A-I-4-SE-D), Santa Gertrudes II (SF-23-Y-A-I-4-SE-F), esquema 1:2000 (prefeitura municipal de Santa Gertrudes), anotações de campo.
OBS.: A conformação da área de estudos neste mapa refere-se àquela do início do projeto, em Novembro/1998

ÁREA DE ESTUDOS DE DETALHE - POTENCIOMETRIA HIDRÁULICA: PERÍODO DE SECA/INVERNO

LEGENDA

- Curvas de nível (equidistância: 0,10 m)*
- Curvas de nível de leito de lagos ou cursos d'água*
- Curvas isotopométricas (esboço)*
- Lago 2
- Curso d'água perene
- Curso d'água não perene
- Sentido de fluxo - águas subterrâneas
- Sentido de fluxo - águas superficiais
- Perfis esquemáticos

PONTOS DE AMOSTRAGEM E INVESTIGAÇÃO

GF1 Levantamento geofísico: GPR e EM

PM-18 Poço de monitoramento

LIS-0,10 Lisímetro (profundidade: 0,10 m)

Ponto de amostragem de águas superficiais

Ponto de amostragem de águas superficiais e de sedimentos de fundo

Ponto de amostragem de sedimentos de fundo de lago

Ponto de amostragem de sedimentos de fundo e água de lago

Ponto de amostragem de água de chuva

OBS.: * Elevações acima do datum local, obtido com base em sondagens a trado e levantamento geofísico

Datum local: PM-5

PERFIS HIDROGEOLÓGICOS ESQUEMÁTICOS

LEGENDA

- PM-9 Projeção do poço no local
- Nível d'água
- Sentido de fluxo principal de águas subterrâneas
- Substrato hidrogeológico
- Sedimentos aluvionares recentes com contribuição de resíduos de indústria cerâmica
- Pelitos (Formação Corumbataí)

Escala Horizontal=Escala Vertical=1:100

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA SEDIMENTAR E AMBIENTAL

CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL E ESTUDO DO COMPORTAMENTO DO CHUMBO, ZINCO E BORO EM ÁREA DEGRADADA POR INDÚSTRIAS CERÂMICAS - REGIÃO DOS LAGOS DE SANTA GERTRUDES, SP

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO - André Luiz Bonacin Silva
Orientador: Prof. Dr. Raphael Hypólito

ÁREA DE ESTUDO DE DETALHE: INVESTIGAÇÕES EFETUADAS E HIDROGEOLOGIA (POTENCIOMETRIA HIDRÁULICA EM PERÍODO DE SECA/INVERNO)

Digitalização: Mirna Mangini Ferradini MAIO/2001 DESENHO 2

ÁREA DE ESTUDOS DE DETALHE - POTENCIOMETRIA HIDRÁULICA: PERÍODO DE CHUVA/VERÃO

LEGENDA

- 2,00 — Curvas de nível (equidistância: 0,10 m) *
- 1,80 — Curvas de nível de leito de lagos ou cursos d'água *
- Curvas isotopométricas (esboço) *
- Lago 2
- Curso d'água perene
- Curso d'água não perene
- Sentido de fluxo - águas subterrâneas
- Sentido de fluxo - águas superficiais
- A B Perfis esquemáticos

PONTOS DE AMOSTRAGEM E INVESTIGAÇÃO

GF1 Levantamento geofísico: GPR e EM

○ PM-18 Poço de monitoramento

○ LIS-0,10 Lisímetro (profundidade: 0,10 m)

● Ponto de amostragem de águas superficiais

■ Ponto de amostragem de águas superficiais e de sedimentos de fundo

■ Ponto de amostragem de sedimentos de fundo de lago

○ Ponto de amostragem de sedimentos de fundo e água de lago

○ Ponto de amostragem de água de chuva

OBS.: * Elevações acima do datum local, obtido com base em sondagens a trado e levantamento geofísico

○ Datum local: PM-5

○ PM-5

○ PM-5

○ PM-5

○ PM-5

○ PM-5

○ PM-5

○ PM-5

○ PM-5

○ PM-5

○ PM-5

○ PM-5

○ PM-5

○ PM-5

○ PM-5

○ PM-5

○ PM-5

○ PM-5

○ PM-5

○ PM-5

○ PM-5

○ PM-5

○ PM-5

○ PM-5

○ PM-5

○ PM-5

○ PM-5

PERFIS HIDROGEOLÓGICOS ESQUEMÁTICOS

LEGENDA

- PM-9 Projção do poço no local
- Nível d'água
- Sentido de fluxo principal de águas subterrâneas
- Substrato hidrogeológico
- Sedimentos aluvionares recentes com contribuição de resíduos de indústria cerâmica
- Pelitos (Formação Corumbataí)

Escala Horizontal=Escala Vertical=1:100

PERFIL C-D

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 m
ESCALA 1:100

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA SEDIMENTAR E AMBIENTAL

CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL E ESTUDO DO
COMPORTAMENTO DO CHUMBO, ZINCO E
BORO EM ÁREA DEGRADADA POR INDÚSTRIAS CERÂMICAS -
REGIÃO DOS LAGOS DE SANTA GERTRUDES, SP

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO - André Luiz Bonacin Silva
Orientador: Prof. Dr. Raphael Hypolito

ÁREA DE ESTUDO DE DETALHE: INVESTIGAÇÕES EFETUADAS E HIDROGEOLOGIA
(POTENCIOMETRIA HIDRÁULICA EM PERÍODO DE CHUVAS/VERÃO)

Digitalização: Mima Mangini Ferracini MAIO/2001 DESENHO 3