

no 402 - REFDISCA

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

TÍTULO:

**AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E
SUBTERRÂNEAS ADJACENTES AO 'LIXÃO' DA CIDADE DE SÃO
CARLOS.**

ROMEU FRANCISCO GADOTTI

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Hidráulica e Saneamento.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Dante Contin Neto

DEDALUS - Acervo - EESC



31100107958



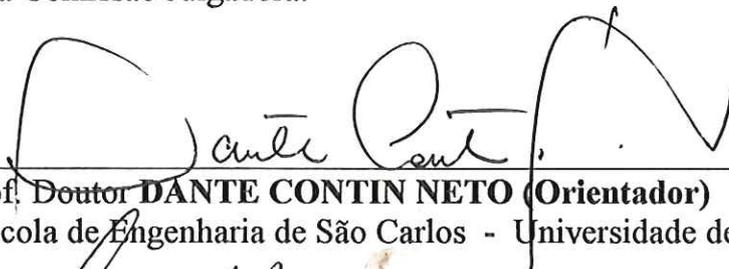
São Carlos - São Paulo

1997

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Engenheiro **ROMEU FRANCISCO GADOTTI**

Dissertação defendida e aprovada em 17-12-1997
pela Comissão Julgadora:



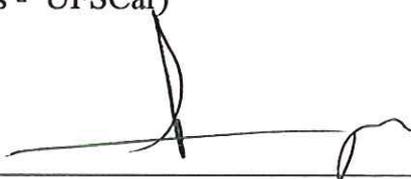
Prof. Doutor **DANTE CONTIN NETO (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Doutor **LUIZ ANTONIO DANIEL**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Doutor **ADAIL RICARDO LEISTER GONÇALVES**
(Universidade Federal de São Carlos - UFSCar)



Prof. Titular **FAZAL HUSSAIN CHAUDHRY**
Coordenador da Área de Hidráulica e Saneamento



JOSÉ CARLOS A CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

A minha família e em especial
a Regina Dória, pelo amor e compreensão

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Dante Contin Neto, pelo companheirismo, pela orientação e pela amizade.

Ao Prof. Dr. Valdir Schalch, pelo auxílio didático e pela amizade.

Ao Prof. Dr. Walter Malagutti Filho, pela ajuda no levantamento geofísico e na interpretação dos dados.

Ao Geólogo Marcelo Roselli, pela inestimável ajuda.

Aos funcionários Roberto Maramarque e Fernando Felipelli, pela presença imprescindível e pelo companheirismo.

A Geóloga Ana Luisa Sabóia de Freitas e ao Matemático Sérgio Sadayoshi Matsuzaki, pela amizade e pelo companheirismo nos momentos difíceis.

Aos amigos Flávio, Fernandinho, Fernandão, Renan pela amizade e compreensão.

Aos funcionários do Laboratório de Saneamento Paulo, Julho, Miguel (in memoriam), cidinha, pela paciência e pela ajuda.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

A FAPESP pela concessão de verba de auxílio pesquisa.

A todos que auxiliaram a realização desta pesquisa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	iv
LISTA DE SÍMBOLOS.....	v
RESUMO	vii
ABSTRACT.....	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. - OBJETIVOS.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS	4
3.2 ATERRO SANITÁRIO.....	9
3.3 OXIDAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA EM ATERRO SANITÁRIO	11
3.4 FATORES QUE INFLUENCIAM A DIGESTÃO ANAERÓBIA	13
3.4.1 TEMPERATURA	13
3.4.2 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH).....	14
3.4.3 UMIDADE.....	14
3.4.4 POTENCIAL REDOX (Eh).....	15
3.4.5 COMPOSIÇÃO DO SUBSTRATO	16
3.5 LÍQUIDOS PERCOLADOS	17
3.6 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DE ESTUDO.....	19
3.6.1 GEOLOGIA LOCAL.....	19
3.6.2 HIDROGEOLOGIA	20
3.6.3 ASPECTOS HIDRODINÂMICOS E HODROGEOQUÍMICOS.....	23
3.7 MÉTODOS GEOFÍSICOS	24
3.7.1 ELETRORRESISTIVIDADE.....	28
3.8 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS	29
3.8.1 MECANISMOS QUE AFETAM A QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	29
3.8.2 ALCALINIDADE.....	35
3.8.3 CLORETOS.....	36

3.8.4 CONDUTIVIDADE.....	36
3.8.5 DUREZA	37
3.8.6 pH	39
3.8.7 FOSFATO	39
3.8.8 NITROGÊNIO.....	40
3.8.9 SÓLIDOS	41
3.8.10 Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	42
3.8.11 Oxigênio Dissolvido (OD)	42
3.8.12 Metais Pesados	43
3.9 TRABALHOS ANTERIORES REALIZADOS NO LOCAL.	45
4. METODOLOGIA	49
4.1 - DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	49
4.2 - ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO LOCAL DE ESTUDO.....	51
4.2.1 - LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO	51
4.3 - LEVANTAMENTO GEOFÍSICO.....	52
4.3.1 - METODOLOGIA EMPREGADA	53
4.4 - POÇOS DE MONITORAMENTO E AMOSTRAGEM	55
4.4.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	55
4.4.2 - METODOLOGIA DA CONSTRUÇÃO	57
4.5 - MONITORAMENTO DAS ÁGUAS ADJACENTES AO 'LIXÃO'	58
4.6 - OPERAÇÃO DE DISPOSIÇÃO DO LIXO	60
5. - RESULTADOS.....	61
5.1 - PRECIPITAÇÃO	61
5.2 - AVALIAÇÃO DA DIREÇÃO E SENTIDO DO ESCOAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	62
5.3 - LEVANTAMENTO GEOFÍSICO.....	64
5.3.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	64
5.3.2 - DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS DE CAMPO	68
5.3.3 - CORRELAÇÃO COM O LEVANTAMENTO GEOLÓGICO	69
5.4 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DAS ÁGUAS.....	71
5.4.1 - pH	73
5.4.1.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL	73
5.4.1.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	75
5.4.2 - ALCALINIDADE	76
5.4.2.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL	76
5.4.2.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	78
5.4.3 - CONDUTIVIDADE.....	80

5.4.3.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL	80
5.4.3.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	81
5.4.4 - FERRO	83
5.4.4.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL	83
5.4.4.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	85
5.4.5 - OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD)	86
5.4.5.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL	86
5.4.5.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	88
5.4.6 - CLORETOS	90
5.4.6.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL	90
5.4.6.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	91
5.4.7 - NITRATO	93
5.4.7.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL	93
5.4.7.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	94
5.4.8 - MANGANÊS.....	96
5.4.8.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL	96
5.4.8.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	97
5.4.9 - MAGNÉSIO.....	99
5.4.9.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL.....	99
5.4.9.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	100
5.4.10 - SÓLIDOS	102
5.4.10.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL	102
5.4.10.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	104
5.4.11 - DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO).....	106
5.4.11.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL	106
5.4.11.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	107
5.4.12 - FOSFATO	108
5.4.12.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL	110
5.4.12.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	110
5.4.13 - BÁRIO.....	110
5.4.13.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL	110
5.4.13.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	112
5.4.14 - SILÍCIO	113
5.4.14.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL	113
5.4.14.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	114
5.4.15 - NITROGÊNIO TOTAL	115
5.4.15.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL	115
5.4.15.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	117
5.4.16 - CÁLCIO.....	117
5.4.16.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL	117
5.4.16.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	119

5.4.17 - DUREZA TOTAL	120
5.4.17.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL	120
5.4.17.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA	122
6. CONSIDERAÇÕES ACERCA DOS RESULTADOS	124
6.1 ALCALINIDADE	125
6.2 BÁRIO	126
6.3 CLORETO	128
6.4 CONDUTIVIDADE	129
6.5 MAGNÉSIO	131
6.6 NITRATO	132
7. CONCLUSÃO	138
ANEXOS	140
ANEXO 1	142
ANEXO 2	143
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	144

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - FASES DE ESTABILIZAÇÃO DO ATERRO E VARIAÇÕES NOS PARÂMETROS INDICADORES.	13
FIGURA 2 - PERFIL GEOLÓGICO DA REGIÃO DE SÃO CARLOS.	20
FIGURA 3 - PERFIL GEOLÓGICO PROVÁVEL DE SÃO CARLOS - SP.	21
FIGURA 4 - DISPOSIÇÃO NO CAMPO DOS ARRANJOS DE ELETRODOS.	28
FIGURA 5 - PERFIL DA ÁGUA ABAIXO NO SOLO.	30
FIGURA 6 - FAIXAS DE PH NAS QUAS OCORRE A PRECIPITAÇÃO DE METAIS PESADOS.	44
FIGURA 7 - LOCALIZAÇÃO DO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS.	49
FIGURA 8 - LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS NO 'LIXÃO'.	51
FIGURA 9 - DISPOSIÇÃO NO CAMPO DO ARRANJO DIPOLO-DIPOLO (CAMINHAMENTO ELÉTRICO)....	54
FIGURA 10 - SEÇÃO DE RESISTIVIDADE APARENTE ARRANJO DIPOLO-DIPOLO (CAMINHAMENTO GEOFÍSICO).	54
FIGURA 11 - CAMINHAMENTOS GEOFÍSICOS REALIZADOS NO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS.	55
FIGURA 12 - PERFIL ESQUEMÁTICO DE POÇO DE MONITORAMENTO.	56
FIGURA 13 - DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS NO 'LIXÃO'.	60
FIGURA 14 - VARIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO.	62
FIGURA 15 - ISOLINHAS EQUIPOTENCIAIS NA REGIÃO DO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS.	63
FIGURA 16 - DIREÇÃO DO FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA REGIÃO DO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS.	64
FIGURA 17 - CARTA PLANIALTIMÉTRICA EM ESCALA REDUZIDA, MOSTRANDO OS PIEZÔMETROS E OS CAMINHAMENTOS GEOFÍSICOS.	65
FIGURA 18 - CAMINHAMENTO ELÉTRICO Nº 1.	65
FIGURA 19 - CAMINHAMENTO ELÉTRICO Nº 2.	66
FIGURA 20 - CAMINHAMENTO ELÉTRICO Nº 3.	66
FIGURA 21 - CAMINHAMENTO ELÉTRICO Nº 4.	67
FIGURA 22 - CAMINHAMENTO ELÉTRICO Nº 5.	67
FIGURA 23 - CAMINHAMENTO ELÉTRICO Nº 6.	68
FIGURA 24 - VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE PH NA ÁGUA SUPERFICIAL.	74
FIGURA 25 - VARIAÇÃO DO PH NOS POÇOS LOCALIZADOS NO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS.	76
FIGURA 26 - VARIAÇÃO DA ALCALINIDADE NA ÁGUA SUPERFICIAL.	78
FIGURA 27 - VARIAÇÃO DA ALCALINIDADE NOS POÇOS LOCALIZADOS NO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS.	79
FIGURA 28 - VARIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE NA ÁGUA SUPERFICIAL.	81
FIGURA 29 - VARIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE NOS POÇOS LOCALIZADOS NO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS.	82
FIGURA 30 - VARIAÇÃO NA CONCENTRAÇÃO DE FERRO NA ÁGUA SUPERFICIAL.	84
FIGURA 31 - VARIAÇÃO DE FERRO NOS POÇOS LOCALIZADOS NO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS.	85
FIGURA 32 - VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO NA ÁGUA SUPERFICIAL.	88
FIGURA 33 - VARIAÇÃO OD NOS POÇOS LOCALIZADOS NO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS.	89
FIGURA 34 - VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CLORETOS NA ÁGUA SUPERFICIAL.	91

FIGURA 35 - VARIAÇÃO DE CLORETO NOS POÇOS LOCALIZADOS NO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS.....	92
FIGURA 36 - VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE NITRATO NA ÁGUA SUPERFICIAL.	93
FIGURA 37 - VARIAÇÃO DE NITRATO NOS POÇOS LOCALIZADOS NO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS.....	95
FIGURA 38 - VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE MANGANÊS NA ÁGUA SUPERFICIAL.....	97
FIGURA 39 - VARIAÇÃO DE MANGANÊS NOS POÇOS LOCALIZADOS NO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS. ...	98
FIGURA 40 - VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE MAGNÉSIO NA ÁGUA SUPERFICIAL.	100
FIGURA 41 - VARIAÇÃO DE MAGNÉSIO NOS POÇOS LOCALIZADOS NO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS. ..	101
FIGURA 42 - VARIAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS NOS POÇOS LOCALIZADOS NO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS. ..	105
FIGURA 43 - VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE DQO NA ÁGUA SUPERFICIAL.	107
FIGURA 44 - VARIAÇÃO DA DQO NOS POÇOS LOCALIZADOS NO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS.....	108
FIGURA 45 - VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE FOSFATO NA ÁGUA SUPERFICIAL.	110
FIGURA 46 - VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE BÁRIO NA ÁGUA SUPERFICIAL.....	111
FIGURA 47 - VARIAÇÃO DE BÁRIO NOS POÇOS LOCALIZADOS NO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS.	113
FIGURA 48 - VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE SILÍCIO NA ÁGUA SUPERFICIAL.....	114
FIGURA 49 - VARIAÇÃO DE NITROGÊNIO TOTAL NA ÁGUA SUPERFICIAL.	116
FIGURA 50 - VARIAÇÃO DE CÁLCIO NA ÁGUA SUPERFICIAL	118
FIGURA 51 - VARIAÇÃO DE CÁLCIO NOS POÇOS LOCALIZADOS NO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS.....	119
FIGURA 52 - VARIAÇÃO DA DUREZA TOTAL NA ÁGUA SUPERFICIAL	121
FIGURA 53 - VARIAÇÃO DA DUREZA TOTAL NOS POÇOS LOCALIZADOS NO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS. ..	122
FIGURA 54 - VARIAÇÃO DA ALCALINIDADE NOS POÇOS À MONTANTE DO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS	125
FIGURA 55 - VARIAÇÃO DA ALCALINIDADE NOS POÇOS NO CORPO DO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS..	125
FIGURA 56 - VARIAÇÃO DA ALCALINIDADE NOS POÇOS À JUSANTE DO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS ..	126
FIGURA 57 - VARIAÇÃO DE BÁRIO NOS POÇOS À MONTANTE DO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS.....	126
FIGURA 58 - VARIAÇÃO DE BÁRIO NOS POÇOS NO CORPO DO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS.....	127
FIGURA 59 - VARIAÇÃO DE BÁRIO NOS POÇOS À JUSANTE DO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS.....	127
FIGURA 60 - VARIAÇÃO DA CLORETO NOS POÇOS À MONTANTE DO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS.....	128
FIGURA 61 - VARIAÇÃO DE CLORETO NOS POÇOS NO CORPO DO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS.....	128
FIGURA 62 - VARIAÇÃO DE CLORETO NOS POÇOS À JUSANTE DO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS.....	129
FIGURA 63 - VARIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE NOS POÇOS À MONTANTE DO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS ...	129
FIGURA 64 - VARIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE NOS POÇOS NO CORPO DO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS	130
FIGURA 65 - VARIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE NOS POÇOS À JUSANTE DO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS	130
FIGURA 66 - VARIAÇÃO DE MAGNÉSIO NOS POÇOS À MONTANTE DO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS	131
FIGURA 67 - VARIAÇÃO DE MAGNÉSIO NOS POÇOS NO CORPO DO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS	131
FIGURA 68 - VARIAÇÃO DE MAGNÉSIO NOS POÇOS À JUSANTE DO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS	132
FIGURA 69 - VARIAÇÃO DE NITRATO NOS POÇOS À MONTANTE DO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS	132
FIGURA 70 - VARIAÇÃO DE NITRATO NOS POÇOS NO CORPO DO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS	133
FIGURA 71 - VARIAÇÃO NITRATO NOS POÇOS À JUSANTE DO 'LIXÃO' DE SÃO CARLOS	133

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - FORMAS DE DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO ESTADO DE SÃO PAULO .	8
TABELA 2 - VOLUME DE RESÍDUOS SÓLIDOS GERADOS NO ESTADO DE SÃO PAULO	8
TABELA 3 - COMPOSIÇÃO FÍSICA MÉDIA DO LIXO URBANO ATERRADO EM SÃO CARLOS - SP, EM 1988.	16
TABELA 4 - COMPOSIÇÃO DOS LÍQUIDOS PERCOLADOS DE ATERROS SANITÁRIOS.....	18
TABELA 5 - RESUMO DE DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA EM ÁREAS DE ATERRO	33
TABELA 6 - CLASSIFICAÇÃO DA ÁGUA CONFORME A CONCENTRAÇÃO DE DUREZA	38
TABELA 7 - CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS NOS RESÍDUOS SÓLIDOS	45
TABELA 8 - PRECIPITAÇÃO NA ÁREA DO 'LIXÃO'	61
TABELA 9 - VALORES DE RESISTIVIDADE DE ALGUNS MATERIAIS	70
TABELA 10- VALORES DE PH PARA AS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS	74
TABELA 11 - VALORES DE ALCALINIDADE PARA AS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS	77
TABELA 12 - VALORES DE CONDUTIVIDADE PARA AS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS	80
TABELA 13 - VALORES DE FERRO PARA AS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS	84
TABELA 14 - VALORES DE OD PARA AS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS	87
TABELA 15 - VALORES DE CLORETOS PARA AS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS.....	90
TABELA 16 - VALORES DE NITRATO PARA AS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS.....	94
TABELA 17 - VALORES DE MANGANÊS PARA AS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS	97
TABELA 18 - VALORES DE MAGNÉSIO PARA AS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS	99
TABELA 19 - VALORES DE ST PARA AS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS	103
TABELA 20 - VALORES DE STF PARA AS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS	103
TABELA 21 - VALORES DE STV PARA AS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS.....	104
TABELA 22 - VALORES DE DQO PARA AS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS.....	106
TABELA 23 - VALORES DE FOSFATO PARA AS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS	109
TABELA 24 - VALORES DE BÁRIO PARA AS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS	111
TABELA 25 - VALORES DE SILÍCIO PARA AS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS	114
TABELA 26 - VALORES DE NITROGÊNIO TOTAL PARA AS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS.	116
TABELA 27 - VALORES DE CÁLCIO PARA AS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS.....	118
TABELA 28 - VALORES DE DUREZA TOTAL PARA AS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS	121
TABELA 29 - VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DOS PARÂMETROS INDICADORES DE POLUIÇÃO	134
TABELA 30 - COMPARAÇÃO COM BOSSOLAN (1993) E MENEZES (1994)	135

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
CENA - Centro de Energia Nuclear na Agricultura
CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
DD - dificilmente degradável
EESC - Escola de Engenharia de São Carlos
EIA-RIMA - Estudo de Impacto Ambiental - Relatório de Impacto do Meio Ambiente
FD - facilmente degradável
fev. - fevereiro
hab. - habitante
IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas
jun. - junho
mar. - março
MD - moderadamente degradável
NBR - Norma Brasileira Registrada
NC - não coletado
ND - não degradável
ND - não detectado
NE - nível estático
NW - noroeste
RJ - rio jusante
RM - rio montante
SMA - Secretaria de Estado do Meio Ambiente
SP - São Paulo
SW - sudoeste
t - tonelada
UFSCar - Universidade Federal de São Carlos
UNESP - Universidade Estadual Paulista

LISTA DE SÍMBOLOS

BCK - valor de referencia

CaCo₃ - carbonato de cálcio

CH₄ - metano

cm - centímetro

cm - centímetro

CO₂ - dióxido de carbono

Cr - cromo

DBO - demanda bioquímica de oxigênio

DQO - demanda química de oxigênio

Eh - potencial de oxi-redução

Fe - ferro

g - grama

h - hora

Hg - mercúrio

I - intensidade

k - condutividade

K - condutividade hidráulica

Km² - quilômetro quadrado

l - litro

m - metro

m² - metro quadrado

m³ - metro cúbico

mg - miligrama

ml - mililitro

mm - milímetro

Mn - manganês

NO₂⁻ - nitrito

NO₃⁻ - nitrato

OD - oxigênio dissolvido

Pb - chumbo
pH - potencial hidrogeniônico
S - sul
Si - silício
ST - sólidos totais
STF - sólidos totais fixos
STV - sólidos totais voláteis
UTM - universal transversa mercator
VMD - valor máximo desejável
VMP - valor máximo permissível
W - oeste
Zn - zinco
 Ω - ohm
 ρ - resistividade
 ρ_a - resistividade aparente
 μS - micro Siemens
 Δv - diferença de potencial
 $^{\circ}C$ - grau Celsius

RESUMO

GADOTTI, R. F. Avaliação da contaminação das águas superficiais e subterrâneas adjacentes ao 'lixão' da cidade de São Carlos. São Carlos, 151p. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

O 'lixão' da cidade de São Carlos foi instalado em uma voçoroca em terras do Sítio Santa Madalena onde, por aproximadamente 17 anos, foram depositados resíduos residencial, comercial, industrial e de serviço de saúde, sem a execução de medidas preventivas. O 'lixão' está localizado em área de recarga do aquífero Botucatu, principal aquífero do Estado de São Paulo, e as margens do Córrego São José que faz parte da bacia do Ribeirão Feijão, principal fonte de abastecimento da cidade de São Carlos. Esta pesquisa faz parte de um projeto maior, que tem por objetivo o estudo completo da água subterrânea na região do 'lixão' de São Carlos. Neste trabalho avaliou-se a contaminação das águas superficiais e subterrâneas adjacentes ao 'lixão'. Foram realizados levantamentos planialtimétrico e geofísico, determinação das direções principais do fluxo e foi instalado uma rede com 15 poços de amostragem e monitoramento para o avaliar a interferência dos líquidos percolados provenientes do 'lixão' na água subterrânea. Os resultados das análises físicas e químicas indicaram poluição das águas superficiais e subterrâneas adjacentes ao 'lixão' e na água subterrânea observou-se uma pluma de contaminantes caminhando no sentido do fluxo que é SW.

Palavras-chave: resíduos sólidos - contaminação - águas subterrâneas - geofísica - lixão

ABSTRACT

GADOTTI, R. F. Evaluation of the contamination of the superficial and underground waters adjacent to the 'dump' of the São Carlos city. São Carlos, 151p. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

The "dump" of São Carlos city is placed in a gully at sítio santa madalena, where about 17 (seventeen) years were deposited residential, industrial, commercial and health service residues, with no preventive steps execution. The "dump" is placed in area of groundwater recharge Botucatu, the principal aquifer in São Paulo State, and the border of Córrego São José which is part of Ribeirão Feijão basin, the principal provision source of São Carlos city. This research is just a part of a bigger project, which purpose is the complete study of the subterranean water in area of the "dump" of São Carlos. The subterranean and superficial water contamination adjacent to the "dump" were checked in this work. surveying and geophysical survey were realized, the determination of the principal courses of the flood and a net with 15 (fifteen) wells for sample and studies control at "dump" were constructed to evaluate the interference in the subterranean water. The results of the physics and chemistries analysis indicated pollution of the subterranean and superficial waters adjacent to the "dump" and in the subterranean water has watched a plume of contaminating agents going in the same course of the flood which is SW.

Key-words: solid wastes - contamination - groundwater - geophysics -
dump

1. INTRODUÇÃO

Com o constante aumento da produção e com o 'inchaço' dos grandes centros urbanos, o problema dos resíduos sólidos está vindo à tona.

O aterro sanitário tem sido uma das técnicas mais utilizadas para disposição final dos resíduos sólidos, por apresentar menor custo em comparação a outros métodos e ainda por ser a técnica que produz a menor quantidade de rejeito.

Muitas vezes esta técnica tem sido utilizada sem a execução das medidas preventivas, como por exemplo os 'lixões' e com isso ocasionando a contaminação das águas superficiais e subterrâneas adjacentes.

'Sabe-se hoje que 97,2 % da água existente no planeta está contida nos oceanos, enquanto que os restantes 2,8 % distribuem-se de maneira desigual pelo globo. As calotas polares e as geleiras respondem por 2,14 % do total. O restante encontra-se nos rios (0,001 %), nos lagos de água doce (0,009 %), nos lagos salgados (0,008 %) e nas reservas de água subterrânea (0,61 %, se considerados aquíferos de até 4.000 metros de profundidade).' (FETTER, 1994)

'Em geral as águas subterrâneas apresentam características físicas perfeitamente compatíveis com os padrões de potabilidade. Devido à ação filtradora lenta através das camadas permeáveis, essas águas mostram baixos teores de cor e turbidez e são isentas de bactérias encontradas em águas superficiais, a não ser que sejam atingidas por alguma fonte poluidora.' (YASSUDA e NAGAMI, 1978)

O 'lixão' da cidade de São Carlos, local do estudo, foi instalado em uma voçoroca, onde por aproximadamente 17 anos os resíduos domiciliares, industriais e de serviço de saúde foram dispostos sem a execução de medidas preventivas. O 'lixão' está localizado em área de recarga do Aquífero Botucatu, sendo este um dos mais importantes do Estado de São Paulo.

'Lamentavelmente, ainda hoje verifica-se a idéia de que o simples entulhamento dos resíduos indesejáveis em depressões naturais ou em voçorocas seria a solução mais adequada. Se por um lado minimiza-se um problema, por outro cria-se um ainda maior. O contato direto de dejetos com o lençol freático representa um elevado risco de contaminação e poluição para a água subterrânea.' (ELLERT et al., 1990)

Hoje sabe-se que a água não é um recurso ilimitado e que vem se tornando cada vez mais escassa no planeta. O problema é ainda mais grave nos chamados países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, onde há pouco ou nenhum saneamento básico, contribuindo para a contaminação e poluição dos recursos hídricos, tornando-os impróprios para o consumo humano.

'Quando se fala em integridade de recursos hídricos, necessariamente deve-se falar em meio ambiente, uma vez que ambos estão intimamente ligados. O estudo dos meios e processos de contaminação dos recursos hídricos é uma necessidade em todos os países neste final de milênio, e deve ser efetuado em todos os níveis e escalas, a fim de protegê-los.' (FREITAS, 1996)

Este trabalho visa contribuir de forma significativa para o entendimento do processo de contaminação do Aquífero Botucatu em uma de suas áreas de recarga por líquidos percolados gerados pelo 'lixão' de São Carlos, e acrescenta subsídios para o estudo do deslocamento da pluma de poluentes no tempo e no espaço. Mesmo sendo realizado em escala municipal, a pesquisa tem por objetivo fornecer informações importantes em um contexto regional.

2. - OBJETIVOS

Esta dissertação faz parte de um projeto maior, que vem sendo realizado na região do "lixão" de São Carlos, sob orientação do Prof. Dr. Dante Contin Neto.

O objetivo desta dissertação é:

- Avaliar a contaminação das águas superficiais e subterrâneas adjacentes ao 'lixão' da cidade de São Carlos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

A partir do momento em que o homem começou a se instalar nos grandes centros urbanos e a tomar consciência ecológica, está vindo à tona um problema que devido ao aumento da concentração populacional e industrial, se agrava cada vez mais, o que fazer com o 'lixo' ?

'Sumariamente, podemos dizer que o 'lixo' urbano resulta da atividade diária do homem em sociedade e que os fatores principais que regem sua origem e produção são, basicamente, dois: o aumento populacional e a intensidade de industrialização. Observando o comportamento destes fatores ao longo do tempo, podemos verificar que existem fortes interações entre eles'. (LIMA, 1991)

'A heterogeneidade encontrada entre os resíduos sólidos urbano é imensa. O 'lixo' varia em função das características da cidade e com a suas mudanças climáticas e sazonais. Varia também com as alterações que ocorrem com a população que o produz, ou seja, os resíduos diferem de composição, em razão dos hábitos e padrões de vida da cidade. Mudanças na política econômica de um país também são causas para uma variação na massa de lixo de uma população.' (Gomes, 1989)

'Os resíduos sólidos podem ser classificados conforme a sua origem:

RESIDENCIAL: É chamado lixo domiciliar, constituído de restos de alimentação, invólucros diversos, varreduras, folhagens, ciscos e outros.

COMERCIAL: É proveniente de diversos estabelecimentos comerciais, como escritórios, lojas, hotéis, restaurantes, supermercados, quitandas e outros. É formado principalmente por papéis, papelão, plásticos, caixas, restos de lavagem, etc.

INDUSTRIAL: Proveniente de diferentes áreas do setor industrial, e portanto, de constituição muito variada.

RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE: É constituído de resíduos das mais diferentes áreas dos estabelecimentos hospitalares: refeitório e cozinha, área de patogênicos, administração, limpeza e outros. Fazem parte também, os resíduos provenientes de farmácias e postos de saúde.

ESPECIAL: 'lixo' constituído por resíduos e materiais produzidos esporadicamente como : folhagens de limpeza de jardins, restos de poda, animais mortos e entulhos.

FEIRAS, VARRIÇÃO E OUTROS: Provenientes de varrição regular de ruas, conservação da limpeza de núcleos comerciais, limpeza de feiras constituindo-se principalmente de papeis, cigarros, invólucros, restos de capinação, areia, ciscos e folhas.

E segundo o seu grau de biodegradabilidade:

F.D. : Facilmente degradáveis - Matéria orgânica

M.D. : Moderadamente degradáveis - Papel, papelão e outros produtos celulósicos.

D.D. : Difícilmente degradáveis - Trapos, couro, borracha e madeira.

N.D. : Não-degradáveis - Vidro, metal, plásticos, pedra, terra e outros.'

(SCHALCH et al., 1990)

Existem várias técnicas para o tratamento dos resíduos sólidos, entre elas: Compostagem, Incineração, Pirólise, Reciclagem, Aterro Sanitário. Entre estas várias técnicas se faz necessário um estudo para analisar quais os processos técnica e economicamente são mais viáveis, local disponível e a composição do 'lixo'.

Uma das técnicas mais comumente utilizada é o Aterro Sanitário, por apresentar baixos custos operacionais e ainda por ser a única técnica que não apresenta rejeitos. Mesmo escolhendo alguma técnica de tratamento que não seja o aterro sanitário, se faz necessário a presença deste para receber os rejeitos dos outros tratamentos.

Para que se tenha o mesmo entendimento acerca dos termos utilizados procede-se à conceituação dos mesmos:

Segundo a Norma NBR - 10.004 temos como definição:

'RESÍDUOS SÓLIDOS: Resíduos nos estados sólido e semi-sólidos, que resultam da atividade da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistema de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cuja particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.'(NBR - 10004)

'LIXÃO OU DISPOSIÇÃO A CÉU ABERTO: Disposição final de resíduos sólidos no solo, sem nenhum critério técnico (controle) e sem nenhum tratamento prévio, seja dos resíduos depositados ou do solo que os recebe. É um simples despejo dos resíduos no solo, provocando impactos negativos ao meio ambiente, à vizinhança e à saúde pública.

ATERRO CONTROLADO: Disposição final de resíduos no solo com certo grau de 'controle', geralmente com algumas atividades em termos de

operação (compactação e cobertura), mas pecando pela falta das estruturas de apoio ambiental (sistemas de drenagem, impermeabilização, controle de entrada de resíduos, etc.). Em alguns casos o aterro controlado está delimitado por cerca para isolamento, possui equipamento para compactação e cobertura, possui vigia na entrada, mas que, embora tendo localização conhecida e delimitada e operação até regular, está longe de se enquadrar aos critérios necessários à um aterro sanitário.' (aterro x lixão)

'ATERRO SANITÁRIO: Técnica de disposição de resíduos sólidos no solo, sem causar danos a saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos a menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores se for necessário.'

'CHORUME: Líquido produzido pela decomposição da matéria orgânica contida nos resíduos sólidos, particularmente quando dispostos em aterros de lixo. Apresenta elevado potencial poluidor e tem como características a cor negra e mau cheiro. O mesmo que sumeiro.'

'LÍQUIDOS PERCOLADOS: Líquido que flui através de um meio poroso a fim de filtrar ou extrair substâncias deste meio. Em aterros de resíduos sólidos, o percolado compreende geralmente o chorume ,a água de infiltração e o material lixiviado.'(NBR - 10004)

'CONTAMINAÇÃO : Introdução no meio ambiente (ar, água ou solo) ou em alimentos, de organismos patogênicos, substâncias tóxicas ou radioativas, em concentrações nocivas no homem, ou outros elementos que possam afetar a sua saúde. É um caso particular de poluição.

'POLUIÇÃO : Degradação da qualidade ambiental, resultante de atividades humanas que direta ou indiretamente: prejudiquem a saúde, a segurança e o bem estar da população; criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; afetem desfavoravelmente a biota; afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.'

Um dos problemas dos resíduos sólidos é sua inesgotabilidade, e o poder público que é quem está encarregado de dar soluções a esses problemas os negligência, visto que, estes resíduos normalmente são dispostos em locais impróprios, causando danos ambientais que além de danificar o meio ambiente tem o custo de recuperação muito alto em comparação a um tratamento correto dos resíduos.

Segundo o Inventário Ambiental SMA 1992 no estado de São Paulo temos como forma de disposição final dos resíduos sólidos e seu volume gerado:

TABELA 1 - Formas de disposição final dos resíduos sólidos no Estado de São Paulo

Formas de disposição	Nº de municípios
'Lixão'	487
Aterro Controlado	33
Aterro Sanitário	7
Usina de Compostagem	22
Sem informações	45

Fonte: RODRIGUES, F. L. (1994).

TABELA 2 - Volume de resíduos sólidos gerados no Estado de São Paulo

Peso (tonelada/dia)	Nº de municípios	População X 1000 hab.
<6	375	<15
6<16	84	15<40
16<40	54	40<100
40<150	21	100<300
150<250	6	300<500
>250	2	>500

Fonte: RODRIGUES, F. L. (1994).

Como podemos ver pelo inventário ambiental TABELAS 1 e 2 somente 7 municípios do estado de São Paulo, dispõem os seus resíduos em aterros sanitários, enquanto a grande maioria colocam em lixões e aterros controlados poluindo e contaminando o meio ambiente.

Com uma produção de até 25 t/dia não há necessidade da elaboração do EIA-RIMA (Estudo de Impacto Ambiental - Relatório de Impacto do Meio Ambiente). Sendo o EIA-RIMA um dos fatores que encarece e retarda a elaboração e aprovação de um aterro sanitário, podemos ver pelo inventário que a maioria dos municípios do estado de São Paulo produzem menos que 25 t/dia, com isso, esse não seria um agravante no gerenciamento dos resíduos sólidos por parte dos municípios.

3.2 ATERRO SANITÁRIO

'Convém frisar que, normalmente, a maioria das cidades brasileiras confundem Aterro Sanitário com 'vazadouros', 'depósitos', 'lixões', métodos que, desprovidos de critérios científicos ou ecológicos, são condenados sob o ponto de vista sanitário.' (SCHALCH et al., 1990).

'Os aterros sanitários são classificados de acordo com a sua forma e execução, que variam conforme o conjunto de condições locais. Os aterros de superfície são executados em regiões planas, podendo ser operados pelos métodos de: trincheira, escavação progressiva ou rampa, e de área. Os aterros em depressões são executados em regiões de topografia acidentada, como grotas, fundo de vales, pedreiras extintas, etc.' (SCHALCH, 1992)

Num aterro sanitário temos como estruturas de controle:

- Sistema de drenagem superficial: este sistema tem por finalidade desviar as águas para fora da área do aterro, com isso diminuindo o volume de líquidos percolados e facilitando a operação no aterro em dias de chuva.

- Sistema de drenagem dos líquidos percolados: este sistema tem por finalidade de coletar e conduzi-los para um tratamento, com isso evitando o comprometimento das águas subterrâneas.
- Sistema de drenagem de gases: este sistema tem por finalidade coletar e levar os gases para fora do aterro. 'Pois o metano formado pode substituir o ar natural do solo, o que leva em consequência a morte das raízes das plantas, ou ainda a migração gasosa através do solo, que pode atingir áreas residenciais.' (GEBARA, 1985)

'Para que um aterro sanitário mantenha um bom padrão de funcionamento, faz-se necessário a existência de uma infra-estrutura de controle e proteção: cercas, portaria, balança, instalação de apoio (escritório, refeitório, vestiários e sanitários), almoxarifado, pátio de estocagem de materiais, galpões para abrigo de veículos e iluminação.

O grau de contaminação das águas superficiais e subterrâneas pode ser controlado a partir do conhecimento das características físicas do solo e da distância entre a fonte de poluição e o nível do lençol freático. Tal conhecimento norteará os critérios a serem seguidos quando da implantação e operação do aterro sanitário' (SCHALCH, 1992)

'A disposição dos resíduos industriais e domésticos em aterros sanitários pode trazer sérias consequências ambientais, em particular sobre a qualidade das águas subterrâneas adjacentes. A infiltração e percolação das águas pluviais através do aterro sanitário provoca a migração de uma série de compostos químicos orgânicos e inorgânicos através da zona não saturada, podendo alguns desses compostos atingirem a zona saturada e portanto poluir o aquífero. Devido a isso, o monitoramento das águas subterrâneas na vizinhança dos aterros sanitários, fontes potenciais de poluição é da maior importância nos estudos ambientais'. (PARISOT et al., 1984)

'Particularmente em períodos de chuva, ocorrem nos 'depósitos' de 'lixo' infiltrações de água que lixiviam o chorume, sendo que o percolado formado migra na forma de pluma em direção às águas subterrâneas. Nesse

processo de arraste predominam substâncias inorgânicas (nitratos, sulfatos e carbonatos) dos cátions magnésio, sódio, cálcio e amônio. Íons de metais pesados ocorrem em quantidades menores do que nas águas residuárias industriais.' (SCHALCH,1992)

3.3 OXIDAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA EM ATERRO SANITÁRIO

'O 'lixo' urbano no Brasil conta com aproximadamente 50 % de matéria orgânica. O não revolvimento desta quantidade de matéria orgânica proporciona o total consumo do oxigênio pela ação bacteriana, dando início à decomposição anaeróbia. Isto inicia a produção de gases, principalmente metano, e de chorume, a fração líquida escura e ácida, de odor desagradável.'(SCHALCH et al.,1990)

POHLAND (1985) apresenta um modelo de digestão anaeróbia em aterro sanitários (FIGURA 1), e divide o processo em 5 fases:

FASE 1 : AJUSTAMENTO INICIAL: na qual fica acumulada uma umidade suficiente que auxilia a realização das reações que intervêm na produção de gás e líquidos percolados. Daí em diante, a intervenção microbiana estimula o prosseguimento da conversão dos resíduos e a estabilização mais ou menos seqüencial das várias fases, cada uma variando em intensidade e duração, de acordo com as circunstâncias operacionais predominantes.

FASE 2 : TRANSIÇÃO: a capacidade de campo é superada, isto é, inicia-se a formação de chorume e percolado. A estabilização microbiológica sofre uma etapa de transição, passa de uma fase aeróbia para uma anaeróbia. Nitrato e sulfato passam a ser, no lugar do oxigênio, o receptor de elétrons. Surge dióxido de carbono no gás formado no processo.

FASE 3 , FORMAÇÃO DE ÁCIDOS: define a predominância da formação de ácidos voláteis totais com um decréscimo nos valores de pH, elevação da concentração da DQO dos líquidos percolados e aumento da mobilidade das espécies iônicas.

FASE 4 , FERMENTAÇÃO METÂNICA: produtos intermediários que aparecem durante a fase de formação de ácidos, são convertidos em metano e excesso de CO₂. Potenciais de oxi-redução atingem os menores valores e os nutrientes continuam sendo consumidos. A carga orgânica do percolado é bastante diminuída, em correspondência aos aumentos da produção de gás. O pH retorna a valores em torno de 7, controlado pelos ácidos voláteis e ocorre a precipitação e complexação de metais.

FASE 5 , MATURAÇÃO FINAL : estabilização da atividade biológica e os nutrientes começam a ser limitantes no processo. As condições naturais ambientais se restabelecem, assim como a produção de gás quase cessa. O oxigênio e as espécies oxidadas, podem reaparecer lentamente com o correspondente aumento do potencial de oxi-redução.

Deve-se ressaltar que de acordo com POHLAND (1985) nenhum aterro apresenta uma única fase distinta ou uma seqüência perfeitamente ordenada de fases. O que se constatou foi a presença de um conjunto de diferentes fases e idades associadas as varias seções ou células do aterro. Igualmente observou-se que a taxa de desenvolvimento através dessas fases pode variar dependendo das condições físicas, químicas e bacteriológicas desenvolvidas em cada seção em função do tempo de disposição.

Segundo ROSS (1990), a digestão anaeróbia resulta em estabilização de 40 a 60% da matéria orgânica presente.

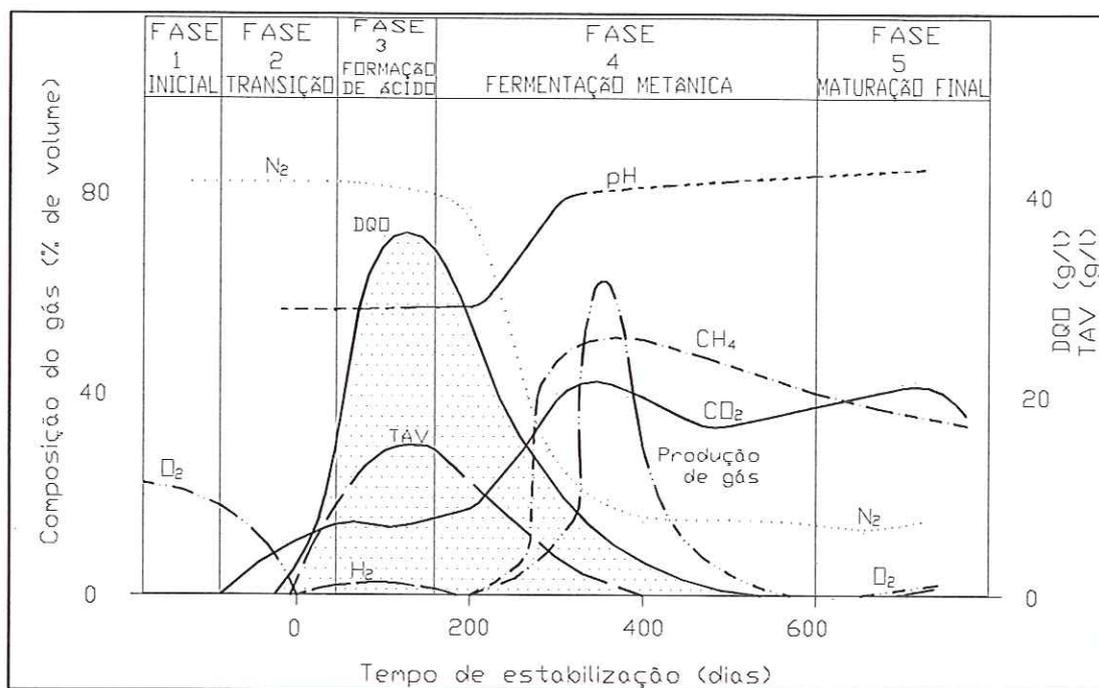


FIGURA 1 - Fases de estabilização do aterro e variações nos parâmetros indicadores.

3.4 FATORES QUE INFLUENCIAM A DIGESTÃO ANAERÓBIA

3.4.1 TEMPERATURA

‘Como para todos os processo biológicos, a temperatura à qual se desenvolve a fermentação metânica é determinante para o crescimento das populações bacterianas, e portanto para a velocidade de destruição da matéria orgânica e para a produção de metano.’ (PHILIPPI, 1988)

‘As bactérias metanogênicas, tão importantes na sintetização dos acetatos, formiatos e CO₂, para posterior formação de CH₄ e CO₂, são divididas segundo a faixa de temperatura em que conseguem sobreviver. São chamados mesofílicas, quando a temperatura do seu meio varia entre 29 e 45° C e, termofílicas, quando esta faixa situa-se entre 45 e 70 °C.’ (Gomes,1990)

3.4.2 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)

'As bactérias metanogênicas são sensíveis aos valores de pH do meio, ou num ecossistema anaeróbio, as produções de ácidos orgânicos voláteis e de CO₂ tem tendência a acidificar o meio.' (PHILIPPI, 1988)

'Os valores de pH ótimo para o processo, segundo vários autores, varia um pouco, porém situam-se na faixa ideal de pH neutro.' (Gomes,1989)

'O pH tem um profundo efeito na atividade biológica das bactérias metanogênicas. Durante a fase ácida inicial, seu valor pode cair abaixo de 6.0 quando uma grande quantidade de CO₂ é liberada com a formação de amônia e redução de CO₂, aumenta a produção de CH₄ e o pH alcança valores próximos de 7.0. Daí em diante, há uma tendência para sua estabilização entre 7.2 e 8.5.' (SILVA,1981¹, apud SCHALCH,1992)

3.4.3 UMIDADE

Segundo (Gomes,1989) a umidade é um fator limitante no processo de digestão anaeróbia em aterros sanitários. Sabe-se que o teor de umidade melhora a produção de metano e aumenta a degradação da massa de 'lixo'. Outro ponto a considerar diz respeito aos microrganismos existentes no local. Estes necessitam de um meio aquoso para atingir seu pleno crescimento; assim sendo, uma análise quantitativa dos microrganismos, será diretamente proporcional ao teor de umidade no interior do aterro. Por outro lado, um excesso de água, limitará o grau de compactação e um aumento no volume do percolado, parâmetros estes que

¹ SILVA, N. A. (1981). Construção e operação de um biodigestor - modelo chinês. Revista Energia - Fontes Alternativas, 1981, V. 14, N° 3, p. 31-56.

devem possuir um controle durante as fases de construção e funcionamento dos aterros sanitários.

'A chuva que cai na área do aterro é normalmente determinante na formação de chorume. A biodegradação da matéria orgânica em geral é estimulada quando a superfície tem um conteúdo de água de 50 a 70% (capacidade de campo), o qual não é atingido em regiões secas ou em períodos secos.' (Ross,1990)

'O teor de umidade é influenciado por três fatores : a composição do lixo; as condições climáticas e as práticas de coleta.' (Gomes,1989)

3.4.4 POTENCIAL REDOX (Eh)

'A tendência de um meio de cultura aceitar ou ceder elétrons é chamado de potencial de oxi-redução, ou simplesmente Eh. Na decomposição de matéria orgânica, devido a atividade microbiana, às relações bioquímicas e biofísicas, este fenômeno ocorre naturalmente. O potencial redox é medido em Volts e provém da f.e.m. (força eletromotriz) de um sistema de oxidação-redução referido a um eletrodo de hidrogênio padrão.' (Gomes,1989)

'A fermentação metânica é um processo estritamente anaeróbio e portanto as reações se desenvolvem a baixos potenciais de oxidação-redução, tanto em ecossistemas naturais como em controlados.

Num sistema complexo de culturas bacterianas mistas, as reações de oxidação-redução não estão necessariamente em equilíbrio e os efeitos de Eh sobre a energia das reações não pode ser previsto, à diferença dos sistemas em equilíbrio, onde o Eh pode estar ligado à energia livre das reações. As medidas de Eh são bastante difíceis de serem interpretadas, mas podem dar uma idéia do estado do ecossistema.'(PHILIPPI, 1988)

3.4.5 COMPOSIÇÃO DO SUBSTRATO

A composição do substrato é um fator importante na digestão anaeróbia, pois quanto maior for a quantidade de material biodegradável mais rápido se dará o processo de degradação e a produção de biogas será maior em comparação a um substrato com pouco material biodegradável.

'Os nutrientes mais importantes são: Nitrogênio, enxofre, fósforo, ferro, cobalto, níquel, molibdênio, selênio, riboflavina e vitamina B12. Fixando-se a importância na ordem em que foram apresentados os nutrientes.' (Gomes, 1989)

'Finalmente outros fatores são citados como prováveis causadores de alterações no processo de digestão anaeróbia dentro das células de um aterro sanitário. São eles: vários materiais tóxicos, entre eles, oxigênio, metais pesados, metais alcalinos e alcalinos terrosos, cianetos, nitrogênio amoniacal, detergentes, antibióticos e ácidos orgânicos voláteis, além de soluções tampão e catalisadores, compactação do lixo e os próprios microrganismos existentes no 'lixo'.' (Gomes, 1989)

GOMES (1989) salienta que no município de São Carlos produzem-se 2.200 ton. de lixo por mês e a média por habitante é de 470 gramas. A TABELA 3 caracteriza os resíduos sólidos da cidade:

TABELA 3 - Composição física média do lixo urbano aterrado em São Carlos - SP, em 1988.

COMPONENTE	CLASSIFICAÇÃO	MÉDIA FINAL (%)
MATÉRIA ORGÂNICA	FD	56,7
PAPEL	MD	21,3
PLÁSTICO	DD	8,5
METAL	ND	5,4
TRAPOS	DD	3,4
MADEIRA, COURO, BORRACHA	DD	2,3
VIDRO	ND	1,4
INERTES	ND	1,3
TOTAL		100

FD - facilmente degradável
DD - dificilmente degradável

MD - moderadamente degradável
ND - não degradável

Fonte: GOMES (1989)

3.5 LÍQUIDOS PERCOLADOS

O 'chorume' é formado de enzimas expelidas pelas bactérias de decomposição e de água de constituição. As águas da chuva que caem sobre o aterro, bem como de nascentes, percolam através dos resíduos sólidos e carregam as matérias orgânicas e minerais dando origem ao percolado que dependendo do volume e concentração podem contaminar o solo, as águas de nascentes e subterrâneas.

'Líquidos percolados são aqueles que de fato compõe a fase líquida do aterro sanitário. Esses líquidos ocupam, juntamente com os gases, os interstícios existentes na fase sólida . Os líquidos são produzidos como conseqüência de uma complexa gama de interações entre fatores relacionados com o local de disposição do lixo como geológicos, hidrogeológicos, hidrometeorológicos e topográficos, além da composição do rejeito (incluindo teor de umidade e inoculação microbiana), compactação das células, impermeabilização e cobertura vegetal. Esses fatores fazem com que haja, com o passar do tempo, interações de variáveis como pH, Eh e temperatura, que atuam como intermediários da seleção microbiana, propiciando a realização de reações físico-químicas como acidificação, volatilização, precipitação e troca iônica, as quais conferirão características próprias para os líquidos percolados de cada aterro estudado.' (SENIOR,1987)

BENGTSSON et al. (1993) afirmam que a água não percola para níveis inferiores do aterro enquanto a região onde esteja contida não atingir a capacidade de campo. Como esta última varia em cada parte do aterro, o chorume pode ser gerado mesmo quando o grau de saturação estiver abaixo da capacidade de campo. A capacidade de campo e a capacidade de troca catiônica em um aterro modificam-se bastante com o aumento da idade dos resíduos.

Na TABELA 4 podemos ver a variação da composição dos líquidos percolados.

TABELA 4 - Composição dos Líquidos Percolados de Aterros Sanitários

Parâmetros	Variação	
pH	3.7	8.5
Condutividade (μ S/cm)	2810	16800
DQO (mg / l O ₂)	40	89500
DBO (mg / l O ₂)	40	33400
Matérias secas totais (mg / l)	0.0	59200
Dureza (mg/ l CaCO ₃)	0.0	22800
Fósforo Total (mg / l)	0.0	130
Ca (mg / l)	50	7200
Na (mg / l)	0.0	7700
K (mg / l)	28	3770
Mn (mg / l)	0.09	120
Mg (mg / l)	17	15600
Fe (mg / l)	0.0	2800
Zn (mg / l)	0.0	370
Cu (mg / l)	0.0	1
Cd (mg / l)	<0.03	17
Pb (mg / l)	<0.05	2
Cloretos (mg / l)	4,7	2467
Sulfatos (mg / l)	1,1	1558

Fonte: CASTILHOS JÚNIOR (1991)

'A descarga de chorume e do percolado nas águas, provocam a elevação da DBO (Demanda Bioquímica de oxigênio), isto é, o oxigênio dissolvido na água, necessário a forma aquática, passa a ser consumida pelos microorganismos durante a decomposição da matéria orgânica. A DBO dos líquidos provenientes de aterros sanitários é muito elevada (cerca de 30 a 100 vezes maior que do esgoto, cujo valor oscila entre 200 e 300 mg/l)'. (SCHALCH, 1990)

O volume do líquido percolado depende fundamentalmente dos seguintes fatores:

- Precipitação na área do terreno;
- Escoamento superficial;
- Evapotranspiração;

*do oxigênio pl, oxigênio? - es
com o tempo?*

- Infiltração;
- Umidade natural do 'lixo';
- Grau de compactação;
- Capacidade de retenção de água.

'O percolado tende a se infiltrar no solo, rumando em direção às águas subterrâneas ou em direção a um ponto qualquer a jusante do depósito de lixo, onde sairá a superfície. A poluição das águas subterrâneas pode ocorrer ou não de acordo com: volume e concentração do percolado e suas variações em função do tempo; tipo de movimento das águas subterrâneas nas áreas próximas ao aterro; e processos que modifiquem a concentração do contaminante durante o transporte do sistema de águas subterrâneas.' (GOMES, 1989)

3.6 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DE ESTUDO

3.6.1 GEOLOGIA LOCAL

As águas subterrâneas do Estado de São Paulo, de acordo com o DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo), apresentam baixa salinidade e características físicas, químicas e bacteriológicas adequadas ao abastecimento público. O maior aquífero do Estado de São Paulo é o Botucatu, no sudoeste do estado, e é formado por areia de origem desértica de espessura que chega até 400 metros. Ele ocupa 60% do território estadual e é a principal reserva de água subterrânea de São Paulo. Suas águas, embora fracamente mineralizadas, apresentam um enriquecimento salino desde a área de recarga até a região de forte confinamento. Dados recentes registram cerca de 20 mil poços tubulares que exploram água nos diversos mananciais subterrâneos paulistas, sem contar os milhares de poços rasos escavados na área rural e periferia das cidades. (REIS, 1990)

‘A região de São Carlos situa-se no contexto geológico da Bacia do Paraná, uma bacia sedimentar intracratônica que abrange praticamente toda a Região Sul, a maior parte dos Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, além de fatias dos Estados do Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais, perfazendo 1.000.000 km² do território nacional.’ (PETRI e FULFARO, 1983² apud FREITAS, 1996)

A FIGURA 2 mostra parte de um perfil geológico da região de São Carlos.

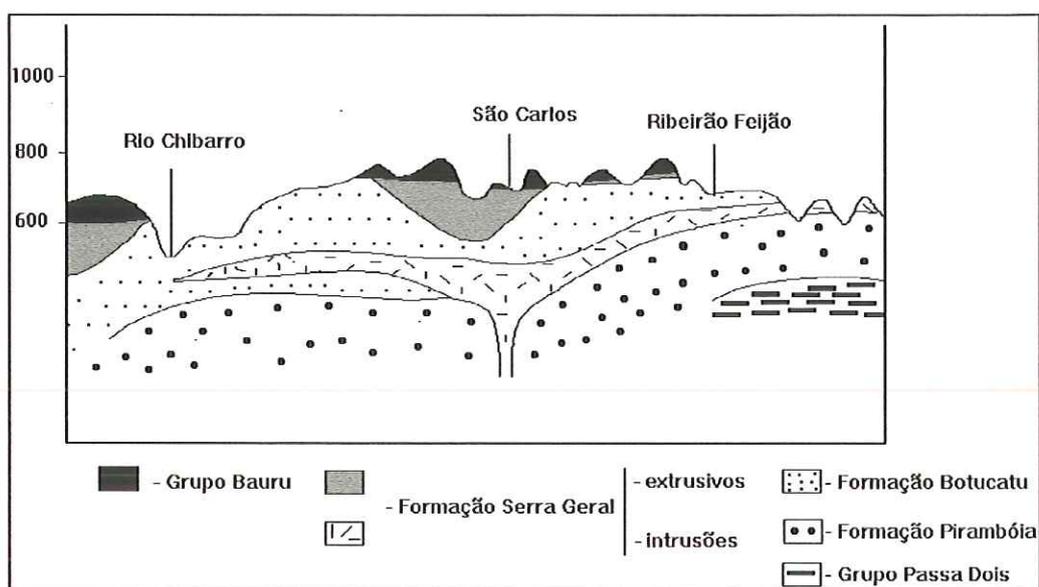


FIGURA 2 - Perfil geológico da região de São Carlos.
Fonte - DAEE (1974).

3.6.2 HIDROGEOLOGIA

‘O Estado de São Paulo situa-se sobre um grande manancial de água subterrânea, que, pouco a pouco, vai aumentando sua importância na captação para abastecimento. Na região em estudo três são os sistemas aquíferos encontrados; Aquífero Serra Geral, Bauru e Botucatu.’ (FREITAS, 1996)

‘O sistema aquífero Botucatu é um dos mais importantes mananciais de água subterrânea do Estado de São Paulo assim como do país, não só pela sua grande área de ocorrência (180.000 km²) como também pela

² PETRI, S.; FULFARO, V. (1983). Geologia do Brasil (Fanerozóico). 1ª Edição EDUSP, São Paulo.

qualidade físico-química de suas águas e pelo fato de ter 90 % de sua área recoberta pelos derrames básicos da Formação Serra Geral, o que o torna confinado em quase toda a sua extensão. É composto pelo conjunto das formações Pirambóia e Botucatu e mostra-se livre nas áreas de exposição dessas formações. O sistema aquífero Botucatu encontra-se sobreposto ao Grupo Passa Dois, que funciona com um substrato impermeável. Todo o sistema apresenta mergulho geral para oeste, em direção à calha do Rio Paraná.' (SILVA, 1983³ apud FREITAS, 1996).

'O aquífero mais importante na região de São Carlos é, sem dúvida, o Botucatu, que ocorre em todo o município, seja na sua porção livre, seja na sua porção confinada. Deste modo, o maior número de poços existentes encontra-se nos domínios deste aquífero. (FREITAS, 1996)

A principal área de recarga deste aquífero na região encontra-se ao sul da cidade (FIGURA 3). Inicialmente ele mostra-se livre (porção Sul) e em seguida mergulha sob os basaltos, tornando-se confinado (porção Norte). A ocorrência de artesianismo é local e provavelmente ocorre em virtude dos diabásios.' (FREITAS, 1996)

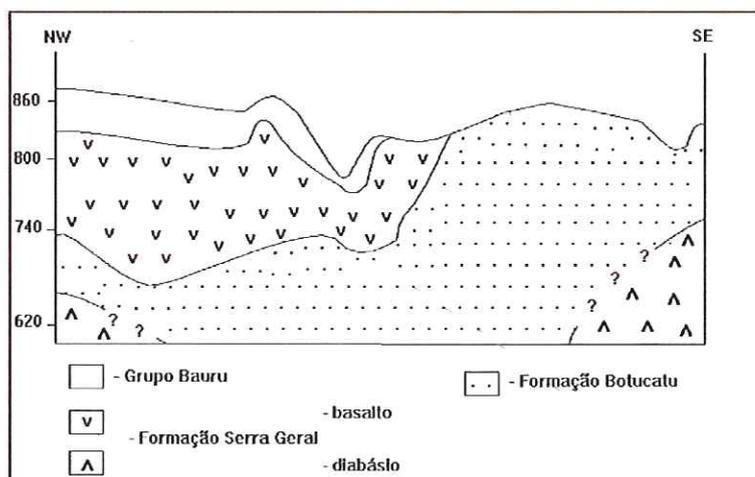


FIGURA 3 - Perfil geológico provável de São Carlos - SP.
Fonte - PFEIFFER, 1993.

³ SILVA, R.B.G. (1983). Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do aquífero Botucatu no Estado de São Paulo. São Paulo. Tese de Doutorado - Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo.

'O tempo de residência da água na atmosfera é de ordem de uma semana, de dezenas de dias nos rios, enquanto que atinge vários milhares de anos nas calotas polares, geleiras, aquíferos e oceanos. As fontes ou nascentes naturais, os fluxos dos rios durante os períodos de estiagem, os lagos e as lagoas, são alimentados pelas descargas naturais das águas subterrâneas.' (REBOUÇAS,1992)

'O sistema aquífero Botucatu apresenta uma vulnerabilidade natural singular. A sua área de recarga, uma estreita faixa longitudinal de terrenos permeáveis, é ocupada por algumas cidades industrializadas de médio porte e por agroindústrias. Os riscos potenciais de poluição das águas em direção à parte confinada do aquífero poderão acarretar, no decorrer dos anos, situações irreversíveis, caso não haja uma estratégia de disciplinamento da ocupação do solo.' (CETESB,1987)

'Uma das maiores dificuldades relativas à poluição e/ou contaminação das águas subterrâneas vem do fato de esta ocorrer de forma invisível. Não há sinais indicadores como mortandade de peixes, coloração da água, presença de espuma, tal como ocorre em casos de poluição de águas superficiais. A crença arraigada de que o sepultamento de um resíduo indesejável, tirando-o de vista, seria uma medida suficiente de proteção, é um outro ponto importante que dificulta a conscientização dos problemas de contaminação do solo, subsolo e águas subterrâneas. A contaminação das águas subterrâneas é geralmente indicada através de seus efeitos na saúde pública. Contudo, estes efeitos normalmente ocorrem muito tempo depois do acidente causador do problema, tornando-se difícil relacionar causa e efeito, sobretudo quando a população mais atingida já apresenta seqüelas ligadas à subnutrição e/ou baixo nível de higiene sanitária.' (REBOUÇAS,1989)

POPPE et al. (1980) usaram a classificação de fontes pontuais e difusas como elementos que contribuem na determinação de áreas prioritárias para o controle da poluição de águas subterrâneas. Nas fontes pontuais, o volume de água subterrânea que entra em contato com o

poluente é relativamente pequeno e a poluição pode ser detida com tratamento adequado. Os lixões, estocagem de produtos químicos, unidades industriais, a concentração de despejos para tratamento ou a infiltração são exemplos deste tipo de fonte. Nas fontes poluidoras dispersas, a velocidade de migração dos poluentes dispersos em direção ao lençol é pequena, porém afeta um grande volume de água subterrânea, muitas vezes comprometendo-a irreversivelmente. Como exemplo, tem-se a aplicação de fertilizantes e pesticidas na agricultura e a atividade pecuária. considerando estes fatores, é sugerido a adoção de três critérios principais para a seleção de áreas críticas: tempo de percurso do poluente até o aquífero, existência de fontes principais de poluição e exploração de águas subterrâneas.

3.6.3 ASPECTOS HIDRODINÂMICOS E HÍDROGEOQUÍMICOS

Os valores de transmissividade medidos em alguns poços na cidade variam de $2,3 \text{ E } -3$ a $3,7 \text{ E } -3 \text{ m}^2/\text{s}$. A vazão específica oscila bastante, mostrando valores na faixa de 6,07, 4,37 e $1,63 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, enquanto que o rebaixamento oscila entre 0,17 e $0,62 \text{ m}/\text{m}^3/\text{h}$. Todos os valores encontrados estão de acordo com a literatura geral sobre o aquífero Botucatu.

PFEIFFER (1993) analisou águas provenientes de 12 poços em São Carlos que exploram o Botucatu com o objetivo de estudar as características físico-químicas e bacteriológicas do aquífero. Com os resultados PFEIFFER chegou as seguintes conclusões:

- O pH variou de 5.3 a 6.7, portanto, de ácido a praticamente neutro;
- Os valores de condutividade variam entre $0.92 \text{ E } -5$ e $8.9 \text{ E } -5 \text{ } \Omega^{-1} \times \text{cm}^{-1}$, sendo que os menores valores foram observados na área de recarga do aquífero;
- A dureza total assumiu valores entre 1.27 e $56.05 \text{ mg}/\text{l CaCO}_3$, o que permitiu a classificação das águas como mole;

- A concentração de sólidos totais variou de 13.6 a 120 mg/l;
- O potássio foi o cátion encontrado em concentrações mais elevadas na maioria das amostras (0.13 a 4.75 mg/l) seguido pelo sódio (0.20 a 4.9 mg/l), magnésio (0.05 a 3.4 mg/l) e cálcio (0.03 a 0.95 mg/l);
- Quanto aos ânions, observou-se significativo domínio do bicarbonato com concentrações variando entre 4.8 e 48.0 mg/l CaCO_3 . A presença de cloretos foi observada em apenas três amostras, com concentrações entre 1.40 e 2.81 mg/l, e, com relação ao sulfato, não foi detectada, em nenhuma das amostras, qualquer concentração;
- O manganês esteve praticamente ausente nas amostras, com concentrações entre <0.001 e 0.007 mg/l. Já o ferro apresentou concentrações mais elevadas, variando entre < 0.001 e 0.39 mg/l;
- Quanto ao nitrato, verificou-se que, com exceção de dois poços que apresentaram concentrações iguais a 4.35 e 4.47 mg/l, as concentrações situaram-se entre 0.03 a 0.84 mg/l;
- Nenhuma das amostras analisadas apresentou contaminação de coliformes totais e fecais.

'Com relação à qualidade da água coletada, pode-se dizer que a mesma é de boa qualidade já que, de um modo geral, os parâmetros analisados apresentam-se de acordo com os padrões de potabilidade.'
(PFEIFFER,1993)

PFEIFFER (1993) classificou a águas através do diagrama triangular de Piper, e chegou a conclusão que todas as águas provenientes dos poços amostrados pertencem ao campo de águas bicarbonatadas sódicas.

3.7 MÉTODOS GEOFÍSICOS

A construção de uma rede de piezômetros ou poços de monitoramento tem sido a técnica mais utilizada, quando se deseja determinar a extensão e a intensidade de contaminação do solo, subsolo e águas subterrâneas.

Um projeto de colocação de rede de piezômetros tem sido baseado normalmente em um procedimento de tentativa e erro. Os resultados e a efetividade dos trabalhos nestes casos é fundamentalmente dependente da homogeneidade das condições do subsolo e de que as tendências regionais se mantenham constantes no local escolhido. Estas premissas muitas vezes não são mantidas resultando em uma rede de amostragem não representativa. Por outro lado, a tentativa de se obter então uma rede representativa pode levar a aumentar consideravelmente os custos e prazos, os quais, na maior parte dos casos não são aceitáveis.

Segundo (ELLERT et al, 1986) a colocação de rede de piezômetros é uma operação de tentativa e erro. Tal fato se deve à existência de variações das condições geológicas em dados locais que afetam o comportamento hidrogeológico regional, causando neste alterações que modificam totalmente o quadro do comportamento do fluxo da água subterrânea.

'Foi assim que técnicas geofísicas, algumas especialmente desenvolvidas para este fim, tiveram a sua aplicação programada e em consequência dos resultados obtidos, sua utilização confirmada como métodos consagrados na identificação da poluição do subsolo por contaminantes advindos de rejeitos industriais ou urbanos'. (ELLERT et al , 1986)

'A aplicação de métodos geofísicos em prospecção teve seu início em meados do século passado, na tentativa de obter informações sobre a constituição do interior da terra. A procura crescente de matéria prima para atender necessidades ditadas pela expansão industrial, durante e após a 2ª Guerra Mundial, provocou sua evolução e diversificação. Assim, a pesquisa e prospecção de petróleo foi responsável pelo desenvolvimento dos métodos gravimétricos e sísmicos, principalmente. Os métodos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos foram aprimorados para se adequarem à procura de minerais metálicos e não metálicos.

'De há muito se conhece a utilização da metodologia geofísica aplicada à prospecção de águas subterrâneas. No entanto, a sua utilização

no estudo da qualidade das águas remonta a cerca de duas décadas apenas, sendo que seu maior incremento ocorreu nos últimos dez anos.' (CETESB, 1977)

Os objetivos do levantamento geofísico são:

- Determinar estruturas e atitudes geológicas (espessuras de camadas, profundidade do lençol freático);
- Determinar profundidade e extensão da migração de agentes poluentes, bem como os locais de maior concentração.

Todos os métodos tem em comum o fato de, a partir da medida de uma grandeza física, procurar identificar as condições em que se encontram os materiais do subsolo. Assim os métodos elétricos utilizam das diferentes condutividades ou resistividades dos materiais do subsolo e os métodos eletromagnéticos das propriedades elétricas e magnéticas associadas.

A propriedade física da água mais afetada pelos poluentes é a resistividade, e conseqüentemente a condutividade. Isto faz dos métodos que medem esta propriedade física os mais utilizados na pesquisa e prospecção de águas subterrâneas.

A resistividade pode ser definida como sendo uma medida da dificuldade que a corrente elétrica encontra na sua passagem em um determinado material, e isso está ligado aos mecanismos pelos quais a corrente elétrica se propaga.

'Nas rochas estes mecanismos são caracterizados pela sua condutividade ($1/\rho$), que pode ser eletrônica ou iônica. A condutividade eletrônica é devida ao transporte de elétrons na matriz da rocha, sendo a sua resistividade governada pelo modo de agregação dos minerais e do grau de impurezas (é o caso de certos minerais metálicos e dos xistos grafitosos). A condutividade iônica, deve-se ao deslocamento dos íons

existentes na água contida nos poros e fissuras da rocha (é o caso mais comum)'. (IPT, 1990)

A resistividade das rochas que possuem condutividade iônica é função decrescente da quantidade de água e da natureza dos sais dissolvidos, e da porosidade total comunicante, a água contida em vacúolos isolados não tem importância.

'Como na prática o subsolo não pode ser considerado um meio homogêneo, a quantia medida representa uma média ponderada de todas as resistividades verdadeiras em um volume de material em subsuperfície relativamente grande, portanto ao efetuarmos as medições pertinentes obteremos uma resistividade fictícia ' ρ_a ' (resistividade aparente). Esta é a variável experimental que expressa os resultados das medições na maioria dos métodos geoeletricos e é a que se toma como base para interpretação'. (IPT, 1990)

Os metais são altamente condutores e apresentam resistividades a temperatura normal, oscilando entre 10^{-8} e 10^{-7} ohm.m .

São poucos e muito escassos os componentes da crosta terrestre que possuem condutividade metálica, entre eles ouro, prata, cobre e estanho. A presença de ferro nos líquidos percolados devido a dissolução de compostos metálicos do 'lixo' e a presença de minerais dissolvidos aumentam consideravelmente a condutividades dessas águas e por conseguinte diminuem a resistividade e com isso confirma a grande viabilidade destes métodos para determinar a profundidade e extensão da pluma de contaminantes, bem como locais de maior concentração.

Métodos geofísicos de prospecção representados pelos métodos de eletroresistividade e eletromagnético, foram utilizados na determinação da extensão de áreas contaminadas por rejeitos industriais (vinhoto - Ribeirão Preto - SP) e aterros sanitários (Santo André, Novo Horizonte e Taubaté - SP) entre outros, e os resultados obtidos demonstram a aplicabilidade destas técnicas não só em solos de alteração de rochas cristalinas como também rochas sedimentares do grupo Bauru.

3.7.1 ELETRORRESISTIVIDADE

O método utilizado na pesquisa foi o da eletrorresistividade com arranjo dipolo dipolo.

Neste arranjo, os eletrodos A e B de envio de corrente e os eletrodos M e N de potencial ou de recepção são alinhados sobre um mesmo perfil (FIGURA 4). O arranjo é definido pelos espaçamentos $L_1 = AB = MN = L_3$ e $L_2 = nL_1$ sendo n um número inteiro maior ou igual a 2.

Comumente, as medidas são feitas em várias profundidades de investigação; no trabalho em questão os valores de L_1 e L_3 foram de 10 metros e $n = 2$, as profundidades de investigação variaram de 10 a 40 metros.

A cada estação os cinco dipolos foram deslocados de uma distância igual a L_3 , e os dados obtidos são plotados na forma de seções de resistividades aparentes.

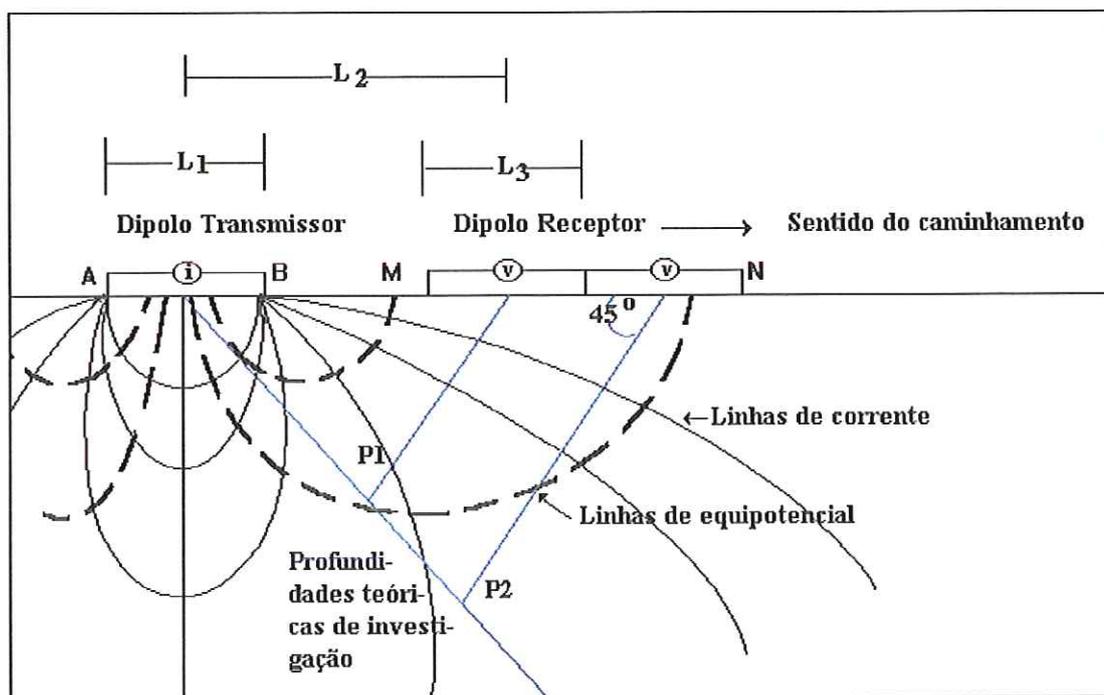


FIGURA 4 - Disposição no campo dos arranjos de eletrodos
Fonte - Modificado de IPT (1990)

Nos eletrodos A e B injeta-se no solo uma corrente de intensidade (I) que ao passar pelo solo provoca o aparecimento de uma diferença de potencial (Δv), que pode ser lida em um milivoltímetro acoplado nos eletrodos M e N.

Assim, pode-se calcular a resistividade aparente (ρ_a) das rochas pela fórmula:

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I} ; \quad (1)$$

sendo k um fator geométrico que só depende dos espaçamentos entre os eletrodos.

A profundidade de investigação depende dos valores de resistividade aparente das rochas e, em linhas gerais, será maior quanto maior for o espaçamento entre os eletrodos M e N.

Este levantamento tem por objetivo conseguir informações adicionais sobre a estrutura do subsolo estudado. Nele não se determinam espessuras e nem resistividades reais das camadas, mas sim, relações de desigualdade que permitem delimitar zonas com diferentes condições geológicas.

3.8 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS

3.8.1 MECANISMOS QUE AFETAM A QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Produtos químicos passam através de muitas zonas hidrogeológicas diferentes (FIGURA 5) enquanto eles migram através do solo para o lençol freático.

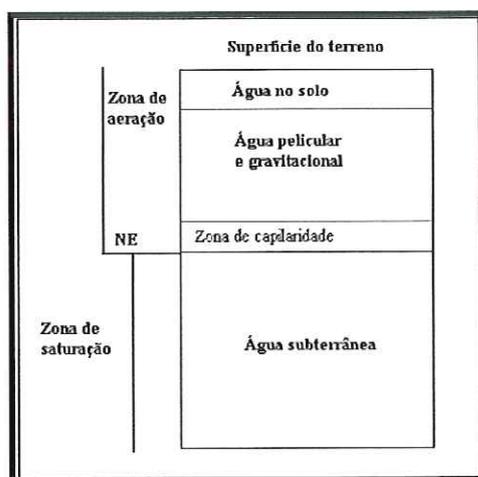


FIGURA 5 - Perfil da água abaixo no solo
 Fonte - Modificado de CAICEDO (1993)

'Os produtos químicos passam por zonas hidrológicas diferentes enquanto migram através dos solos e das rochas para o lençol freático. A zona de solo, acima da zona não saturada, é o local onde ocorrem importantes processos de atenuação de poluição. Alguns produtos químicos são retidos nesta região por adsorção pela matéria orgânica e siltes e por partículas de solo ativadas quimicamente. Estes produtos químicos adsorvidos podem ser decompostos por oxidação e atividades microbianas. Os produtos finais podem ser captados pela vegetação ou liberados para atmosfera.' (CLEARY & MILLER, 1984⁴ apud MENEZES, 1994)

Na zona de aeração os poros são ocupados tanto por ar como por água e o fluxo nesta região é vertical, e os líquidos percolados e a precipitação movem-se pela força da gravidade. Nesta região a oxidação e a degradação aeróbica continua a ocorrer, e alguns produtos químicos também são adsorvidos e os precipitados são retidos.

⁴ CLEARY, R. W.; MILLER, D. W. (1984). Aspectos fundamentais e monitoramento de poluição de água subterrânea. In: 3^o CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, Fortaleza, 1984. Anais. Fortaleza, ABAS. v. 2, p. 313-329.

Na zona de capilaridade alguns compostos químicos mais leves que a água irão flutuar e sua movimentação acompanhará o fluxo da água subterrânea.

MIKKELSEN *et al.* (1994), em estudos sobre contaminação de água subterrânea, afirmam que os micropoluentes que infiltram no solo com a água, são influenciados por diversos processos diferentes que determinam suas taxas de acumulação, deslocamento e degradação. Os processos de adsorção são usualmente encarados como sendo os processos dominantes no retardo dos elementos dissolvidos, porém micropoluentes orgânicos e metais pesados diferenciam seu estilo de adsorção. Os fenóis, por exemplo, não aderem à matéria orgânica, enquanto que outros, hidrocarbonetos em geral, o fazem. No caso dos metais pesados, a mobilidade e capacidade de adsorção vão depender do pH do meio, do conteúdo e tipos de argila entre outros fatores.

'A superfície dos sólidos, especialmente a das argilas, possui carga elétrica em razão de substituições isomórficas ou ligações quebradas. Esta carga pode ser neutralizada através da adsorção de um íon carregado. A adsorção pode ser fraca, principalmente por ser um processo físico causado pelas forças de Van der Waals. Entretanto pode ser forte se a ligação ocorrer entre a superfície e o íon. As argilas tendem a realizar adsorções fortes pois possuem uma grande área por unidade de volume e cargas elétricas significantes em sua superfície. Em geral, a carga da superfície dos sólidos é negativa, favorecendo a adsorção de cátions em detrimento de ânions. Os cátions divalentes são mais fortemente adsorvidos.' (FETTER, 1994).

Com respeito aos solos brasileiros, em especial os solos oriundos do Botucatu, deve-se levar em consideração a formação de óxidos e hidróxidos de ferro, que participam diretamente de processos de retenção e adsorção.

HAITJEMA⁵ (1991; apud MENEZES 1994) afirma que, enquanto grande atenção é dada aos parâmetros geológicos ou hidrogeológicos na locação e construção de aterros sanitários, pouca ou nenhuma ênfase é dada aos aspectos hidráulicos da água subterrânea, que, em última análise, determinam a facilidade com que os contaminantes migram dos aterros até os aquíferos. Ainda segundo o autor, os aterros tradicionais são projetados e monitorados de forma imprópria para a proteção da água subterrânea, em virtude do conhecimento incompleto sobre o tempo de residência do chorume nas camadas compactadas, a integridade de liners⁶, a heterogeneidade dos aquíferos e as trajetórias dos contaminantes.

‘O local escolhido para a disposição final de resíduos não deve conter fraturas ou estruturas que permitam a infiltração do chorume na água subterrânea, uma vez que, se as condições geológicas e hidrogeológicas nestes locais puderem permitir a migração dos contaminantes, a água subterrânea fatalmente será atingida. Sendo assim, as sondagens geofísicas possuem um importante papel na seleção do local. Métodos como raios gama, eletrorresistividade, polarização induzida, VLF (very low frequency), magnetometria, entre outros, podem ajudar não só na escolha do local, como também no monitoramento da água subterrânea.’ (MWENIFUMBO, 1993).

‘A fim de prevenir a infiltração de águas pluviais nos aterros ou lixões, é conveniente cobrir os resíduos com uma camada de argila ou material de baixa permeabilidade. Entretanto, fissuras podem se desenvolver nesta camada, facilitando a entrada da água.’ (BENGTSSON *et al.*, 1994).

‘O monitoramento detalhado de locais poluidores de mais de cinco anos de idade tem revelado flutuações na concentração de alguns

⁵ HAITJEMA, H.M. (1991). Ground water hydraulics considerations regarding landfills. Water Resources Bulletin - American Water Resources Association. v. 27, n. 5, p. 791-796, out. 1991.

⁶ *liners* são barreiras protetoras colocados sobre o fundo e as paredes de aterros e lagoas e que devem reter o máximo possível a percolação de fluidos contaminantes para o meio físico

constituintes enquanto outros permaneceram relativamente constantes. Este fenômeno é causado pela solução e dissolução de certos produtos químicos enquanto a pluma de contaminação interage com os materiais geológicos no seu caminho. Assim sendo, os fatores que influenciam o movimento da água subterrânea e os contaminantes dentro de aquíferos são complexos, e a investigação da contaminação da água subterrânea pode requerer um trabalho extenso e custoso em um período de tempo considerável.

BORDEN & YANOSCHAK (1990) analisaram 71 aterros sanitários em atividade ou recentemente fechados nos Estados Unidos, os resultados estão na TABELA 5.

TABELA 5 - Resumo de dados de qualidade da água em áreas de aterro

Parâmetros	Água Superficial Montante		Água Superficial Jusante		Água Subterrânea	
	Média	Máximo	Média	Máximo	Média	Máximo
pH	6.63	7.60	6.88	7.80	6.37	7.47
Alcalinidade	38.9	182.0	96.7	400.6	42.2	130.2
Condut.	141.3	146.0	414.1	2237.5	294.6	1579.2
Nitrato	0.525	1.100	0.406	2.200	0.669	4.803
Cl	12.9	56.0	44.0	645.0	22.1	208.6
Fe	3.068	16.54	44.0	645.0	22.1	208.6
As	0.050	0.050	0.052	0.125	0.050	0.050
Ba	0.13	0.20	0.15	0.45	0.20	0.75
Cd	0.0050	0.0050	0.0050	0.0060	0.0056	0.0205
Cr	0.012	0.020	0.016	0.250	0.020	0.096
Cu	0.050	0.055	0.051	0.085	0.098	1.640
F	0.10	0.13	0.16	1.94	0.14	0.33
Pb	0.030	0.035	0.033	0.140	0.078	1.879
Mn	0.335	3.200	1.994	28.200	0.816	7.071
Hg	0.00021	0.00025	0.00020	0.00028	0.00022	0.00045
Se	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0051
Ag	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
Zn	0.053	0.090	0.341	3.450	1.438	32.628

Unidades em mg/l, com exceção de pH (unidade de pH) e condutividade (mmhos/cm)

Fonte: BORDEN & YANOSCHAK (1990)

Neste estudo foram detectados impactos na qualidade da água superficial e subterrânea, embora não tenham sido tão severas como normalmente se espera. Os maiores aumentos foram observados nas

concentrações de chumbo, zinco e sólidos totais dissolvidos, além de turbidez, carbono orgânico total e condutividade.

Em 53 % dos aterros ocorreu a violação dos padrões de qualidade da água subterrânea por orgânicos ou metais pesados. Os principais metais dissolvidos foram Fe e Mn, com níveis traços de Pb, Cr e Zn.

'A elevada concentração de ferro e manganês podem ser devidas a coleta de partículas de argila suspensas junto com as amostras de água subterrânea.' BORDEN & YANOSCHAK (1990)

Com relação a qualidade das águas superficiais, muitos parâmetros inorgânicos apresentaram valores maiores a jusante do que a montante dos aterros, mas sempre estiveram distantes dos valores de percolados da literatura. O maior aumento observado foi do zinco aumentando de 0.053 para 0.341 mg/l. Significativos aumentos foram observados nas concentrações de manganês, turbidez e ferro, estes aumentos podem ser devido ao percolado ou à erosão do solo. Aumentos também foram observados em amostras a jusante para os parâmetros de cloretos, carbono orgânico total, condutividade e alcalinidade.

PARISOT et al (1984) instalaram 36 poços de observação, de 2 a 5 metros de profundidade numa área de 20.000 m² a jusante do aterro sanitário de Taubaté, a fim de se monitorar a qualidade das águas subterrâneas no local. Os resultados das análises químicas mostraram que a proximidade do depósito de lixo provoca o aumento da mineralização total da água subterrânea, e em particular das concentrações dos íons cloretos, sódio, bicarbonato, potássio, magnésio e amônio. No ambiente hidrogeológico estudado, a condutividade, o sódio, o cloreto e o nitrogênio amoniacal constituem os indicadores da poluição pelo lixo.

3.8.2 ALCALINIDADE

Podemos definir a alcalinidade como sendo a capacidade de uma água de captar prótons. Tal capacidade é geralmente, à presença de sais de ácidos fracos e alcalis cáusticos livres. É a capacidade que as águas tem de neutralizar os ácidos.

Embora sejam varias as substâncias que conferem alcalinidade a água, as predominantes são os carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. Os compostos mais comum são os seguintes:

- Hidróxido de Cálcio ou de Magnésio
- Carbonato de Cálcio ou de Magnésio
- Bicarbonato de Cálcio ou de Magnésio
- Bicarbonato de Sódio ou de Potássio

As diversas espécies de alcalinidade dependem do valor de pH, composição mineral, temperatura e força iônica. Frequentemente, a alcalinidade da água é devida somente aos bicarbonatos de cálcio e magnésio, de forma que a alcalinidade nesse caso seria igual à dureza, tendo em vista que a dureza é devida à presença de sais de cálcio e magnésio.

Em águas naturais, as medidas de pH e alcalinidade são de maior importância, uma vez que condicionam basicamente, os demais processos físico-químicos num corpo d'água afetando a atividade biológica dos organismo aquáticos.

Sendo que a alcalinidade das águas é provocada por bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, poderão ocorrer somente três casos de alcalinidade:

- $\text{pH} > 9.4$ - Hidróxidos e os Carbonatos
- $9.4 > \text{pH} > 8.3$ - Carbonatos
- $\text{pH} < 8.3$ - Bicarbonatos

Segundo CETESB (1977) a média dos resultados obtidos para o Botucatu livre é de 89 mg/l CaCO_3 e a faixa de variação situa-se entre 27 e

233 mg/l CaCO_3 . No Botucatu, verifica-se um aumento de concentração com a profundidade.

3.8.3 CLORETOS

O cloreto é um dos ânions mais comum de ser encontrado, já que esta presente nas águas naturais, podendo ser proveniente de esgotos domésticos e industriais, líquidos percolados de resíduos sólidos, depósitos minerais e além de uma infinidade de outras fontes.

Antes das análises bacteriológicas, os cloretos eram parâmetros indicadores de poluição, principalmente em áreas onde o seu teor era baixo.

'A presença de cloretos nas águas podem conferir um caracter indesejável, pois em concentrações maiores que 250 mg/l dão sabor salgado as águas, enquanto que outras águas contendo 1000 mg/l e muito Cálcio e Magnésio podem não apresentar este sabor. O nível de tolerância da população dependerá obviamente de seus hábitos e do clima. Em regiões áridas e quentes, as concentrações de cloretos podem chegar a 900 mg/l sem efeitos adversos.' (BLUNDI, 1996)

Os excrementos humanos especialmente a urina, contêm cloretos em quantidade aproximadamente igual ao que o homem consome nos alimentos e na água, cerca de 6 g/pessoa/dia.

'O íon cloreto apresenta-se, com raras exceções, em teores abaixo de 25 mg/l nas águas subterrâneas do estado.' (CETESB, 1977)

3.8.4 CONDUTIVIDADE

'A condutividade de uma solução é a sua capacidade de transportar a corrente elétrica, que varia com o numero e o tipo de íons presentes, temperatura, mobilidade e valência. Ácidos, bases e sais são bons condutores, enquanto que, moléculas orgânicas não dissociadas conduzem

pouco. Medidas de condutividade servem como um indicador do grau de mineralização das água.' (BLUNDI, 1996)

'O método utilizado para a avaliação da condutividade consiste basicamente na criação de um campo de corrente contínua, através dos eletrodos, situados na célula de condutividade que guardam entre si uma distância de 1 cm e de uma corrente alternada, a ponte de Wheaststone. Os eletrodos podem ser revestidos de platina, tungstênio ou de aço inoxidável, para minimizar efeitos de polarização. A temperatura interfere na medição, à medida que ela cresce, a condutividade aumenta numa taxa de 1,9 % para cada °C. Para trabalhos que exigem maior precisão é conveniente que se determine a condutividade a 25 °C.' (BLUNDI, 1996)

A condutividade se correlaciona com a concentração de minerais dissolvidos ou de sólidos totais dissolvidos na amostra.

3.8.5 DUREZA

A dureza é uma característica conferida a água pela presença de sais alcalinos terrosos (Cálcio, Magnésio, etc.) e alguns metais em menor intensidade. Dureza pode ser também como uma medida da capacidade da água em precipitar substâncias como sabão. Substâncias que produzem dureza reagem com sabão formando compostos insolúveis, e a espuma só aparece depois de completada a precipitação de sais responsáveis pela dureza. A dureza é portanto caracterizada pela extinção da espuma formada pelo sabão, índice visível de uma reação mais complexa. Isso significa que águas com dureza elevada consome muito sabão na limpeza geral, além de produzirem resíduos insolúveis que podem causar corrosão e incrustações em instalações e canalização de água quente.

Águas excessivamente duras causam prejuízos à economia, provocam desperdício de sabão e elas são nocivas à muitas atividades industriais, especialmente no caso de alimentação de caldeiras devido à incrustações, à perda de combustíveis e ao perigo de explosão. Na lavagem

de roupas, o precipitado formado pelo sabão, adere aos tecidos, tornando difícil a sua remoção, as substâncias podem combinar com a gordura de pratos e utensílios, dificultando a sua limpeza.

Os principais cátions responsáveis pela dureza das águas, e os seguintes ânions associados a eles são:

Cátions: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{2+} , Fe^{2+} e Mn^{2+} .

Ânions : HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- e SiO_3^{2-} .

Os cátions Fe^{3+} e Al^{3+} formam produtos muito insolúveis, de modo a que a dureza por eles produzida é quase desprezível.

Esse íons provém da erosão do solo e das formações rochosas. Nas águas naturais a concentração de Cálcio e Magnésio é mais significativa, a dureza é então definida como uma característica decorrente da presença desses íons, principalmente os seguintes, bicarbonato de Cálcio, bicarbonato de Magnésio, sulfato de Cálcio e sulfato de magnésio. Sendo que a dureza é expressa em termos de carbonato de Cálcio (mg/l de CaCO_3).

A dureza das águas varia de região à região, em geral, as águas superficiais são mais brandas do que as subterrâneas. A dureza reflete a natureza da formação geológica com a qual a água esteve em contato. As águas duras são encontradas nas zonas de acentuada formação calcária, e as brandas, naquelas zonas em que as manifestações calcárias são raras (em geral encontradas em zonas de terrenos arenosos, argilosos, sílico-aluminosos, etc.).

O Serviço Geológico Norte-Americano classifica as águas, sob o ponto de vista de dureza, da seguinte maneira:

TABELA 6 - Classificação da água conforme a concentração de dureza

DUREZA (mg/l CaCO_3)	ÁGUAS
0 - 55	Moles
56 - 100	Levemente Duras
101 - 200	Moderadamente Duras
> 200	Muito Duras

As águas muito duras devem sempre que possível sofrer tratamento especial, de redução desses parâmetros para evitar os seus inconvenientes.

Quanto aos padrões de qualidade da ABNT - PB 19 tem-se:

- Valor Máximo Desejável (VMD) - 100 mg/l CaCO_3
- Valor Máximo Permissível (VMP) - 200 mg/l CaCO_3 .

3.8.6 pH

As águas naturais têm em geral pH compreendido entre 4.0 e 9.0 . Na maioria das vezes são ligeiramente alcalinas devido a presença de carbonatos e bicarbonatos.

O pH governa as propriedades solventes da água e pode determinar a extensão e tipo das reações físicas, biológicas e químicas possíveis de acontecer em um sistema aquático ou entre ele e as rochas e solos ao redor.

Nos processos de degradação do lixo, a fase inicial (aeróbia) apresenta pH em torno de 7, passando para a fase anaeróbia inicial caracterizada pela produção de ácidos orgânicos, com diminuição para $\text{pH} < 6.0$; na fase seguinte (fermentação metânica), os ácidos são consumidos pelo sistema e o pH é elevado para valores ≥ 7.0 , com estabilização em torno de 7.0.

O pH afeta a capacidade de complexação de metais em água e pode determinar quanto de um metal está precipitado ou dissolvido.

De um modo geral, as águas subterrâneas encontradas no Estado de São Paulo são ligeiramente ácidas. Conforme estudos realizados pela CETESB (1977), o valor do pH das águas do aquífero Botucatu situa-se entre 4.3 e 8.0 (média 5.2). O pH é baixo nas áreas freáticas devido ao alto conteúdo de CO_2 livre, fenômeno típico de zonas tropicais. Com o escoamento da água no aquífero verifica-se uma maior dissolução dos minerais, que implica em um aumento proporcional de pH.

3.8.7 FOSFATO

O fósforo ocorre nas águas naturais de diversas formas, em pequenas quantidades, e é proveniente da lixiviação do solo na forma de fosfatos inorgânicos ou de rochas minerais fosfáticas. Outra fonte importante de fosfato nas águas são os despejos de águas residuárias industriais e domésticas e líquidos percolados .

O fósforo é considerado um dos elementos essenciais para o crescimento de protistas, plantas e de algas, e quando em elevadas concentrações em lagos e represas, pode conduzir a um crescimento exagerado desses organismos (eutrofização). É muito importante para o crescimento e reprodução dos microorganismos que promovem a degradação da matéria orgânica presente nos esgotos em geral. O fósforo se encontra nesses efluentes sob a forma de compostos orgânicos, principalmente proteínas e fazendo parte dos compostos minerais principalmente nos polifosfatos e ortofosfatos. Os polifosfatos estão sempre presentes em despejos contendo detergentes sintéticos.

A concentração dos fósforos vem crescendo demasiadamente com o aparecimento de mais e mais detergentes sintéticos substituindo os sabões naturais.

3.8.8 NITROGÊNIO

O nitrogênio aparece nos resíduos orgânicos combinado em quatro tipos de compostos: amoniacais , orgânicos, sais nítricos e sais nitrosos. A determinação do nitrogênio total é feita a partir dos teores do elemento N nesses quatro compostos resultando em:

$$N_{\text{total}} = N_{\text{orgânico}} + N_{\text{amoniacal}} + N_{\text{nitritos}} + N_{\text{nitratos}}$$

O nitrogênio é encontrado nas moléculas de proteínas ou dos aminoácidos que ainda não foram assimilados. Ainda estão presentes nos despejos o N_2 que se dissolve no líquido pela interface com a atmosfera. A determinação do nitrogênio em compostos orgânicos denomina-se Nitrogênio de Kjeldahl.

Nitrificação é o processo de oxidação da amônia a nitrato, realizada por bactérias aeróbias quimiossintetizantes que através de sua síntese celular liberam energia. Reações de redução do nitrogênio na forma de nitrato para nitrogênio livre liberado para atmosfera, são realizadas pela ação de bactérias redutoras denitrificantes, processo esse chamado de denitrificação. O nitrogênio amoniacal é portanto o primeiro produto da decomposição, os nitritos (NO_2^-) representa a oxidação parcial da amônia e os nitratos (NO_3^-) a estabilização.

A presença de nitratos indica que a matéria orgânica foi totalmente oxidada sendo que a presença de nitritos indica uma possível contaminação nas proximidades do ponto de coleta.

A ocorrência natural de nitratos nos mananciais subterrâneos é geralmente baixa e encontra-se relacionada às águas de chuva e à dissolução de material orgânico decomposto na água. Desta forma, um aumento substancial no teor de nitratos pode ser associado a fatores externos tais como: esgotos domésticos, lixo e despejos industriais. (CETESB,1977)

Segundo CETESB (1977) os teores naturais encontrados nas águas subterrâneas do estado não ultrapassam 2.5 mg/l. A partir desse teor, pode-se supor início de contaminação.

3.8.9 SÓLIDOS

A quantidade de sólidos e sua natureza nas águas variam sobremaneira. A dureza das águas costuma aumentar o teor de sólidos

totais. As quantidades de material coloidal não dissolvidos e de material em suspensão aumentam com o grau de poluição das águas.

'A determinação dos Sólidos Totais é feita através de pesagem dos resíduos mais cápsula de porcelana de peso conhecido, após a secagem a uma temperatura de 103 a 105 °C, menos o peso da cápsula vazia.

A determinação dos Sólidos Totais Fixos (STF) e Sólidos Totais Voláteis (STV) é feita levando-se os Sólidos após a secagem à mufla a 550 °C ± 50 °C durante 13 a 20 minutos, pesa-se novamente obtendo-se então o peso dos Sólidos Totais Fixos como a diferença entre o peso da cápsula mais sólidos antes da calcinação e cápsula mais sólidos após a calcinação. A diferença entre os Sólidos Totais e os Sólidos Totais Fixos encontra-se os Sólidos Totais Voláteis.' (BLUNDI, 1996)

3.8.10 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A DQO indica a quantidade de oxigênio que é consumida quimicamente por diversos compostos orgânicos, sem a intervenção de microorganismo, fornecendo em termos de oxigênio consumido, a quantidade de matéria oxidável presente na água.

Existem muitos despejos de origem orgânica que sem serem biologicamente tratáveis, quando lançados em cursos d'água causam demanda de oxigênio, como por exemplo os pesticidas, detergentes, entre outros. Há necessidade pois de outro teste, além de medir a carga orgânica facilmente biodegradável, eventualmente existente, meça também a matéria orgânica não biodegradável e por vezes causadora de outros tipos de poluição. O teste de DQO atende a esses objetivos.

3.8.11 Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido é de essencial importância para os organismos aeróbios (que vivem na presença de oxigênio). Durante a estabilização da

matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo vir a causar uma redução da concentração do meio. Dependendo da magnitude deste fenômeno, podem vir a causar prejuízos ambientais. Caso o oxigênio seja totalmente consumido, tem-se as condições anaeróbias (ausência do oxigênio), com geração de maus odores. O oxigênio dissolvido é um dos principais parâmetros de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos.

A solubilização varia com altitude e temperatura. Ao nível do mar, na temperatura de 20 °C, a concentração de saturação é igual a 9.2 mg/l.

Valores de OD superiores à saturação são indicativos da presença de algas. Valores bem inferiores à saturação são indicativos da presença de matéria orgânica, provavelmente efluentes industriais e domiciliares, 'chorume' e outros contaminantes.

3.8.12 Metais Pesados

A importância dos metais pesados está relacionado com a função potencialmente inibidora que podem transmitir para o processo de digestão anaeróbia, outro aspecto relevante é que seu monitoramento juntamente com outros parâmetros, contribui decisivamente para se verificar a influência que os líquidos percolados de um aterro sanitário podem estar exercendo sobre a qualidade das águas subterrâneas e do solo.

Vários metais concentram-se na cadeia alimentar, resultando num grande perigo para os organismos situados nos degraus superiores.

'Os elementos químicos que ficam retidos no solo podem ou não ser tóxicos as plantas, dependendo da concentração em que se encontram, do pH do solo e também das considerações genéticas das plantas.' (WINANT⁷ et al,1981, apud MENEZES 1994). Contudo, não se pode desconsiderar

⁷ WINANT, W. M.; MENSER, H. A.; BENNET, O. L. (1981). Effects of sanitary landfill leachate on some soil chemical properties. J. Environ. Qual., v. 10, n.3, p. 318-322.

que estes elementos, principalmente os metais pesados, têm efeito cumulativo, podendo contaminar os alimentos.

A solubilidade dos metais pesados é influenciada pelo pH do percolado, a qual pode variar durante a descarga. Acima de pH 8.5 todo Fe^{+3} , Cr^{+3} , Cu^{+2} precipita; restam em solução quantidades notáveis de Zn^{+2} , Ni^{+2} , Fe^{+2} e Cd^{+2} ; a medida que Al^{+3} precipita, aparecem os íons aluminatos. Na FIGURA 6 podem ser observados as faixas de pH em que os metais precipitam.

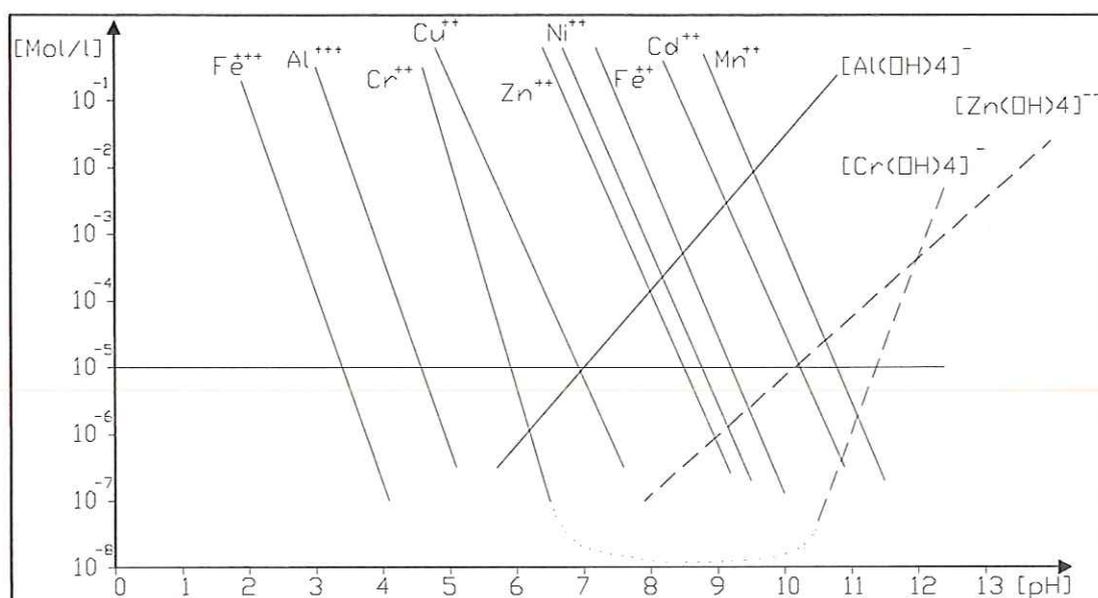


FIGURA 6 - Faixas de pH nas quais ocorre a precipitação de metais pesados

Fonte : COMMISSION DES COMMUNAUTES EUROPEENS (1985)

Apresenta-se a seguir algumas considerações sobre a solubilidade de alguns metais mais comuns (COMMISSION DES COMMUNAUTES EUROPEENS, op. cit.)

- Ferro: a forma reduzida Fe^{+2} é solúvel e móvel; a forma oxidada Fe^{+3} forma precipitados relativamente insolúveis com carbonatos e sulfatos.
- Zinco: forma lentamente precipitados solúveis com os íons CO_3 , SO_3 , Si e PO_4 . O Zn é fortemente adsorvido nas trocas que acontecem no solo. É tóxico e pode ser corrosivo à pele e causar sérios problemas no esôfago e estômago, além de eventuais problemas nos pulmões.

- Cobre: forma complexos com a matéria orgânica, podendo ser móveis e solúveis; a formação de hidróxidos de Fe e Mn controla a imobilização do Cu; é tóxico para invertebrados e algumas espécies de peixe.
- Níquel: é fortemente adsorvido por óxidos de Fe e Mn. É considerado de baixa toxicidade. A ingestão pode causar asfixia e a inalação ocorrência de câncer. Muito tóxico para plantas e vida aquática.
- Cromo: na forma hexavalente, são elementos tóxicos, pode causar lesões na pele e câncer no pulmão.
- Cádmio: é elemento de elevado potencial tóxico, é irritante gastrointestinal e na forma de sais solúveis pode causar intoxicação aguda e crônica.
- Chumbo: apresenta alta toxidez, tem efeito cumulativo e pode levar a uma intoxicação crônica que pode ser fatal.

ROUSSEAU et al (1989) em seus estudos sobre a distribuição dos teores dos metais pesados nas diversas frações dos resíduos urbanos no Brasil, apresentou as concentrações dos principais metais pesados encontrados nos resíduos sólidos urbanos, que estão apresentados na TABELA 7.

TABELA 7 - Concentração de metais pesados nos resíduos sólidos

TEORES TOTAIS DE METAIS PESADOS NO LIXO		Hg	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr
	ppm bruto	0.2	3.0	167- 282	263- 369	156	12	68
ppm seco	0.5	7.2	372- 627	585- 820	346	27	150	

Fonte : ROUSSEAU et al (1989)

3.9 TRABALHOS ANTERIORES REALIZADOS NO LOCAL.

GOMES (1989) salienta que a produção de 'lixo' na cidade de São Carlos é da ordem de 2.200 toneladas por mês e a média de produção de 'lixo' é de 470 gramas por habitante. A autora analisou a composição física

do 'lixo' urbano da cidade de São Carlos que está apresentado na TABELA 3.

ELLERT et al (1990) realizaram levantamentos geofísicos na área do 'lixão' da cidade de São Carlos, onde empregaram o método de eletromagnetometria indutiva e de eletrorresistividade para determinar a pluma de poluentes e a sísmica para determinar o comportamento vertical e horizontal da geologia local. O levantamento geofísico indicou a existência de uma tênue nuvem de poluentes na parte central da área, migrando rumo WSW, e para a investigação do comportamento vertical foram executadas sondagens elétricas verticais, que comprovam a existência em profundidade, de um fluxo de soluções contaminantes na região central do 'lixão'. As sondagens sísmicas indicaram zonas silicificadas em subsuperfície.

GONÇALVES et al (1992) construíram 10 poços piezométricos para determinar a direção do fluxo do lençol freático no 'lixão' da cidade de São Carlos e concluíram que o fluxo caminha na direção NW. A alta permeabilidade do substrato geológico no local e a direção do fluxo indicam que grande parte do chorume deve estar infiltrando para o aquífero profundo.

BOSSOLAN (1993) estudou a contaminação na água subterrânea adjacente ao 'lixão' de São Carlos, enfocando aspectos bacteriológicos, físicos e químicos. BOSSOLAN verificou a variação do nível estático da ordem de 30 cm no período de um ano, sendo os maiores valores encontrados nos meses chuvosos de fevereiro e março de 1992 e os menores valores no mês de agosto de 1992, a direção do fluxo subterrâneo foi medida a partir de linhas isopiezométricas e verificou-se que a direção é NW.

A autora observou valores de pH, oxigênio dissolvido, condutividade e alguns metais, indicando forte influência do 'lixão' na água subterrânea. Os indicadores de poluição fecal, analisados na água subterrânea,

estiveram acima dos limites permitidos, tornando a água imprópria para o consumo sem tratamento.

Estudo limnológicos e ecológicos feitos na bacia do Ribeirão Feijão, por MATHEUS et al (1992), RIOS (1993), TEIXEIRA (1993) e SANTOS (1993), nos quais foram feitas análises de água do Córrego São José, antes e depois do 'lixão', observaram a alteração da qualidade da água após receber fluidos que passam pelo local, sendo grande indício de contaminação e poluição pelo depósito de 'lixo'. MATHEUS et al (op. cit.) ressaltam, entretanto, que a várzea existente neste Córrego tem a capacidade de funcionar como filtro biológico e ecológico para a água, deixando a água praticamente recuperada em termos de níveis de matéria orgânica, substâncias dissolvidas e bactérias de origem fecal. (MENEZES, 1994)

MENEZES (1994) avaliou as características do meio físico da área do 'lixão' de São Carlos e atribuiu níveis de acordo com as situações de risco sugeridas por GANDOLFI & ZUQUETTE (1991):

- * Movimentos de terrenos não foram observados na área do 'lixão', sendo uma característica favorável.
- * A densidade de canais de drenagem é de aproximadamente 2/Km², sendo atributo intermediário.
- * A declividade do terreno varia da porção inferior do terreno, onde é de 5 a 10 %, indo em direção a cabeceira da drenagem, onde é > 10 %, correspondendo a nível intermediário a desfavorável, respectivamente.
- * O coeficiente de permeabilidade do terreno varia entre 10⁻⁴ e 10⁻⁶ cm/s, indicando permeabilidade moderada a alta, sendo atributo intermediário a desfavorável.
- * O terreno é desfavorável por estar próximo ao contato entre superfícies com traços físicos diferentes.
- * Litologicamente a área é constituída de arenitos permeáveis, com poucos finos, sendo uma característica bastante desfavorável.

- * Os materiais inconsolidados, que são predominantemente arenosos, constitui-se atributo muito desfavorável.
- * O coeficiente de troca catiônica para área variou entre 2.71 e 7.3 mE/100g, o que torna o atributo desfavorável.
- * A profundidade do nível estático variando de 8.7 a 1.97 m e o alto risco de erosão da área, são atributos desfavoráveis.

MENEZES (1994) observou que a maioria das características do meio físico local, analisadas é considerada como atributo desfavorável para o uso da área como aterro. Dentre estas características desfavoráveis, três delas são consideradas como condições limitantes para aterro de resíduos sólidos urbanos: potencial à erosão muito alto, nível d'água subterrânea inferior a 8 metros e zona de recarga de aquífero. Caso estas características houvessem sido estudadas anteriormente à instalação, o resultado seria o desaconselhamento do uso da área como depósito de 'lixo'.

A autora estudou a contaminação no Córrego São José e na água subterrânea do local, enfocando aspectos físicos e químicos. Verificou elevados valores de condutividade, alcalinidade, pH e mesmo ferro e manganês, na água do pequeno curso d'água que parte do 'lixão', confirmaram ser esta a principal fonte de alteração na água do Córrego São José a jusante do 'lixão'.

MENEZES (1994) analisou a qualidade da água subterrânea em três poços L5, L12 e L14 onde observou:

- * O poço L5 considerado anteriormente como controle, veio apresentando valores de pH cada vez mais baixos (< 4.0) e condutividade crescente.
- * O poço L12, situado junto a lateral do 'lixão', apresentou as maiores alterações nas características físicas e químicas da água. Neste mesmo poço BOSSOLAN (1993) encontrou as maiores populações bacterianas.
- * O poço L14, mais a jusante do 'lixão', também apresentou valores elevados, embora em níveis um pouco inferiores.

4. METODOLOGIA

4.1 - DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

O local escolhido para realizar a pesquisa foi o 'lixão' da cidade de São Carlos, situado no Sítio Santa Madalena, no mesmo município, entre as coordenadas UTM 208 e 212 Km W e 7554 e 7558 Km S. O Sítio está localizado no Km 2 da antiga estrada vicinal entre São Carlos e Analândia, que tem início defronte ao posto Castelo, próximo ao Km 221 da Rodovia Washington Luiz (FIGURA 7).

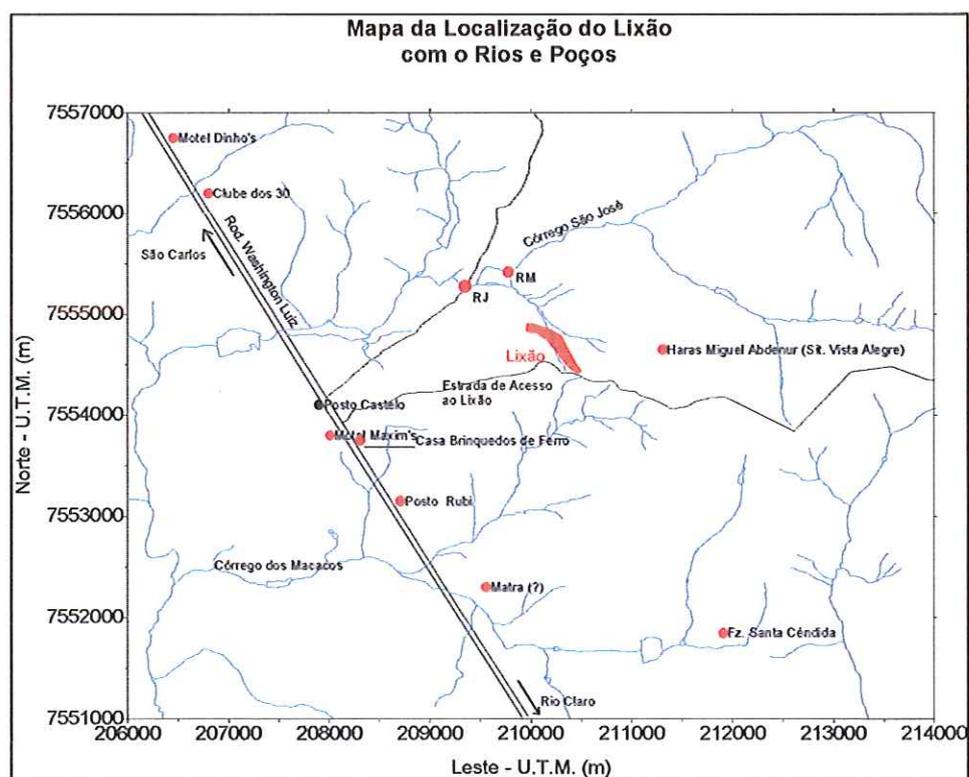


FIGURA 7 - Localização do 'lixão' de São Carlos.

O 'lixão' veio recebendo os resíduos sólidos da cidade de São Carlos durante aproximadamente 17 anos até outubro de 1996. Na fase inicial os resíduos residenciais, comerciais, industriais e de serviços de saúde eram dispostos a céu aberto em uma 'voçoroca' existente no local, sem haver a impermeabilização da base do aterro, a compactação do lixo ou a construção de drenos para a coleta de líquidos percolados e gás. Com a exigências da legislação, passou a ser feito o aterramento do lixo em 1988. Os resíduos de serviços de saúde passaram a ser incinerados a partir de 1990; os resíduos residenciais, comerciais e parte dos industriais continuaram a ser depositados diariamente, assim como resíduos de curtume e de fábrica de papelão.

O local situa-se em região de recarga do Aqüífero Botucatu, o mais importante aqüífero em exploração do Estado de São Paulo. Por outro lado localiza-se às margens do Córrego São José, afluente do Ribeirão Feijão um dos principais responsáveis pelo abastecimento de água da cidade. Trata-se ainda, de uma região agrícola, com culturas perenes e temporárias e com criação de gado leiteiro. A população que reside nas redondezas é composta de colonos dos sítios e fazendas próximas.

Na área do 'lixão' existiam 3 poços piezométricos L5, L12 e L14 (FIGURA 8) dos 10 poços construídos por GONÇALVES et al. (1992), sendo que os demais poços foram encobertos pelo resíduos depositados no local. Estes poços apresentavam linígrafos instalados o que não permitiu a coleta de amostras para análises físicas e químicas das águas.

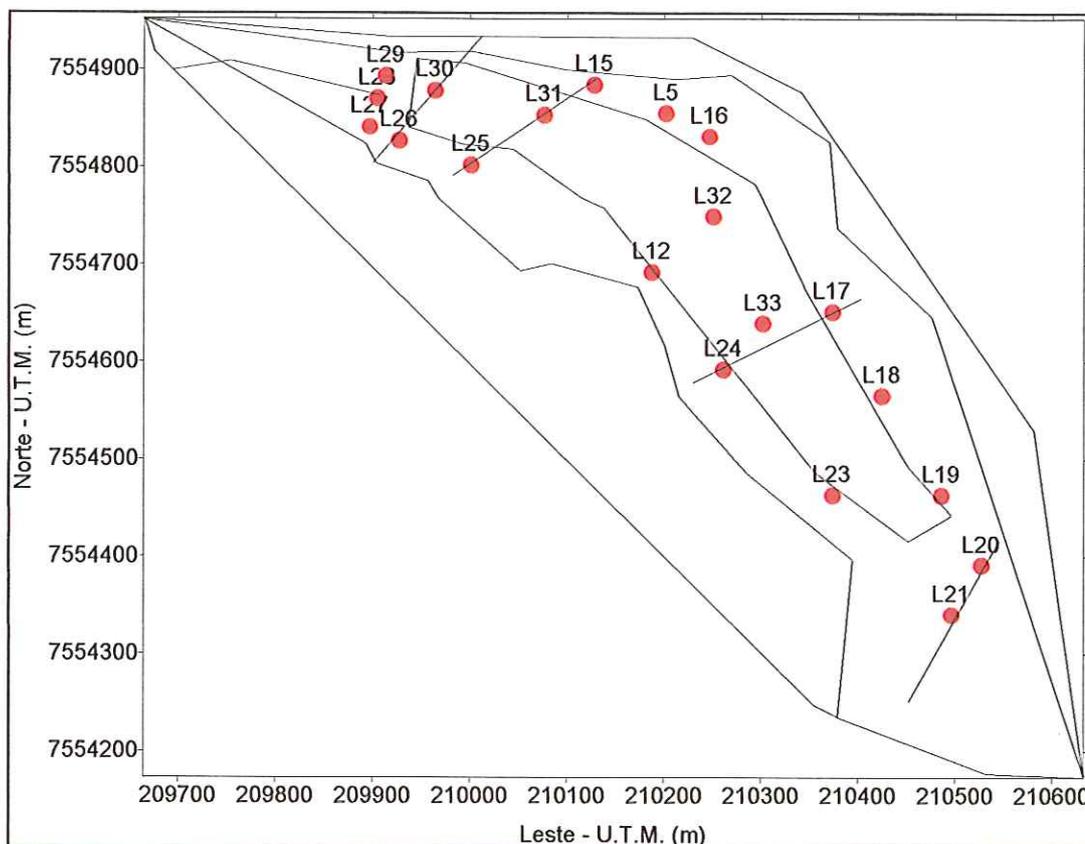


FIGURA 8 - Localização dos poços no 'lixão'.

4.2 - ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO LOCAL DE ESTUDO

No decorrer da pesquisa foi montada uma estação hidrometeorológica no local, onde encontra-se instalados um pluviômetro, um pluviógrafo, um actinógrafo, um heliógrafo, termômetros de bulbo úmido e bulbo seco e um vertedouro na saída da microbacia.

4.2.1 - LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO

O método utilizado para o levantamento planialtimétrico foi o da taqueometria. Os dados obtidos em campo foram tratados através do programa computacional LISCADPlus 3.01 para interpretação e desenho final. A planta obtida por este programa pode ser trabalhada no programa

AutoCad para se obter um resultado mais refinado. Esta planta está apresentada no ANEXO 1.

O levantamento planialtimétrico de campo e o tratamento dos dados no programa LISCADPlus 3.01 foram realizados com auxílio do Departamento de Transportes da EESC, que cedeu os equipamentos e mão de obra para o levantamento dos dados no campo e realizaram a interpretação dos dados no programa computacional.

A planta resultante foi confeccionada na escala 1:2500, e possui indicações sobre os poços construídos pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), exhibe os caminhamentos geoeletricos, os limites da área ocupada pelo 'lixão', os marcos utilizados no levantamento topográfico e construções existentes no local.

4.3 - LEVANTAMENTO GEOFÍSICO

Esta fase dos trabalhos de campo foi necessária para a escolha do local dos novos poços de monitoramento e amostragem, para avaliar o comportamento espacial da pluma de poluentes e para adquirir informações acerca da geologia de subsuperfície.

Há muito os métodos geofísicos vêm sendo empregados na tentativa de obter informações sobre a constituição do interior da Terra. Todos os métodos têm em comum o fato de, a partir da medida de uma grandeza física, procurar identificar as condições em que se encontram os materiais do subsolo. Estes métodos já são utilizados na prospecção de águas subterrâneas, entretanto sua utilização no estudo da qualidade dessas águas remonta a cerca de duas décadas e seu maior incremento ocorreu nos últimos dez anos (MENDES, 199/).

A propriedade física da água mais afetada pelos poluentes é a resistividade, o que faz com que os métodos de cálculo desta propriedade sejam os mais utilizados. A resistividade das rochas é um parâmetro que, se

dependesse apenas do tipo litológico, teria um valor quase que imensurável, visto que a maioria dos minerais é isolante. A quantidade de água e a qualidade dos sais nela dissolvidos são fatores que conferem uma gama ampla de valores de resistividade (MENDES, op. cit.).

O levantamento executado pela equipe foi realizado no mês de junho de 1995, ou seja, no início do período de seca na região. O trabalho de campo utilizou equipamento pertencente ao Instituto de Geociências da Universidade Estadual Paulista (UNESP) Campus de Rio Claro e técnicos desta instituição participaram do levantamento de campo. A interpretação dos dados teve ajuda do Professor Walter Malagutti Filho desta instituição.

4.3.1 - METODOLOGIA EMPREGADA

Neste projeto foi utilizado o método de caminhamento elétrico com arranjo dipolo-dipolo.

'Trata-se de uma técnica de investigação horizontal a uma ou várias profundidades aparentemente constantes, a partir de medidas tomadas na superfície do terreno. (IPT, 1990)

As investigações pelo caminhamento elétrico geralmente são efetuadas ao longo de perfis, e os resultados obtidos se relacionam entre si através de um estudo em planta a uma profundidade determinada ou de seções com várias profundidades de investigação.

No arranjo dipolo-dipolo (FIGURA 9), os eletrodos A e B de envio de corrente e os eletrodos M e N de potencial ou de recepção são alinhados sobre um mesmo perfil. O arranjo é definido pelos espaçamentos $L1 = AB = MN = L3$ e $L2 = nL1$, sendo n um número inteiro maior ou igual a 2. A profundidade de investigação cresce com n e teoricamente corresponde a $\frac{1}{2} L2$.

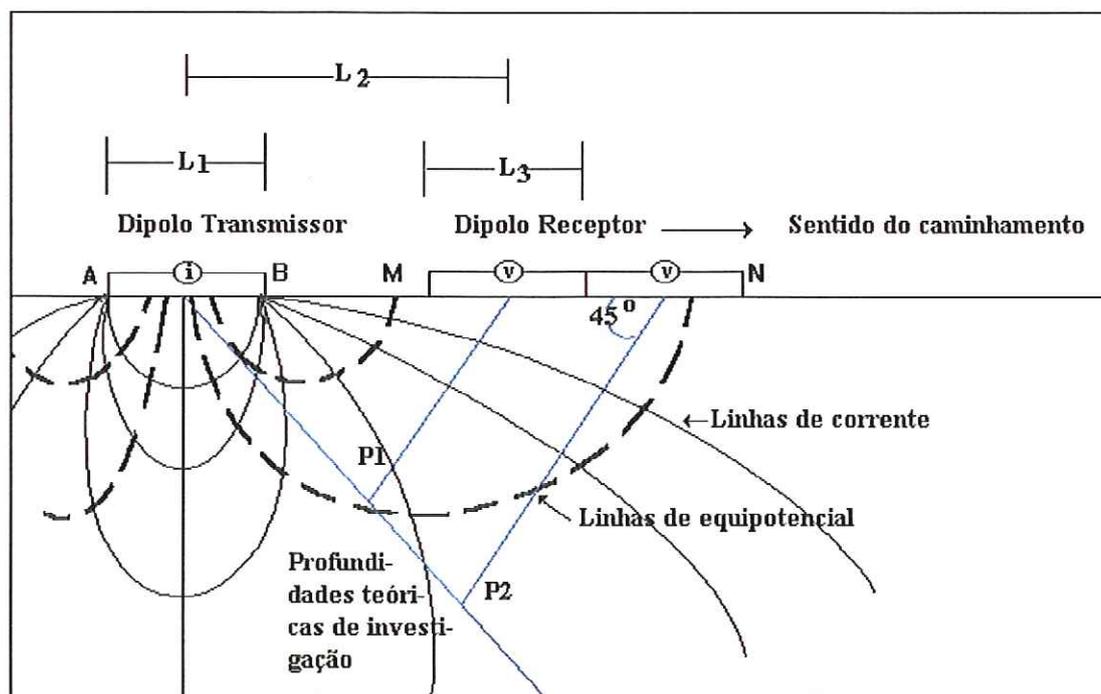


FIGURA 9 - Disposição no campo do arranjo dipolo-dipolo (caminhamento elétrico)
Fonte - Modificado de IPT (1990)

As medidas são feitas em várias profundidades de investigação, isto é, $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$. A cada estação os dois dipolos são deslocados de uma distância igual a L_3 e os dados obtidos são plotados na forma de seções de resistividades aparentes (FIGURA 10).

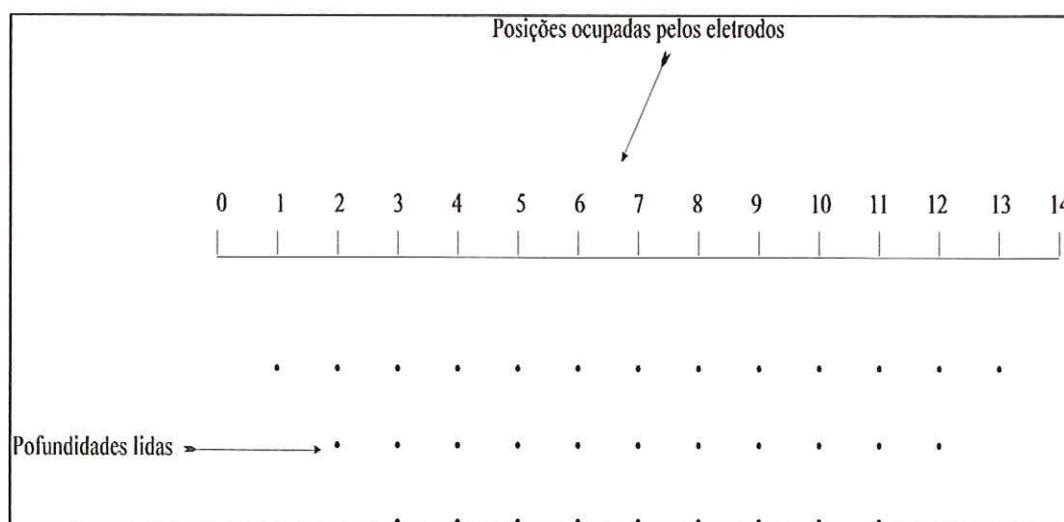


FIGURA 10 - Seção de resistividade aparente arranjo dipolo-dipolo (caminhamento geofísico).

Fonte: Modificado de IPT (1990).

Foram realizados 6 caminhamentos geofísicos FIGURA 11 a distribuição dos caminhamentos no local tiveram que se adaptar ao funcionamento do aterro. O espaçamento dos eletrodos foi de 10 metros e a profundidade de investigação foi de até 30 metros.

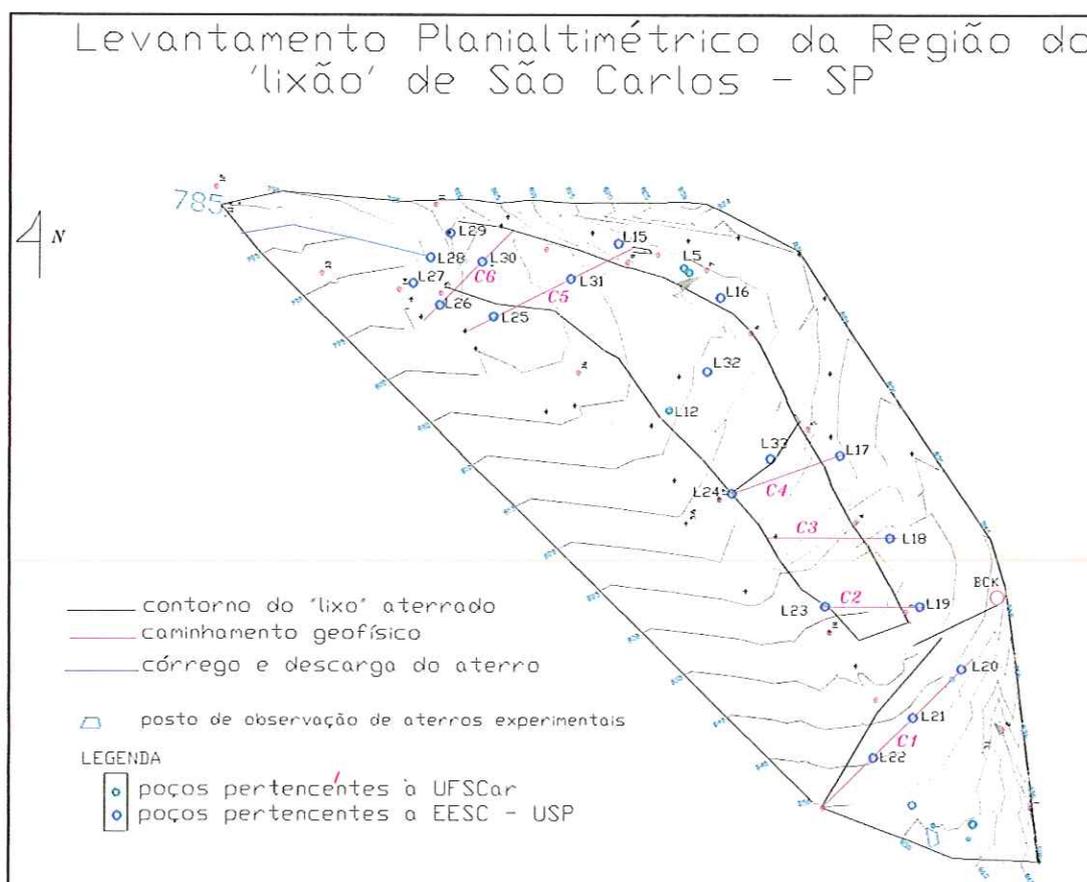


FIGURA 11 - Caminhamentos geofísicos realizados no 'lixão' de São Carlos.

4.4 - POÇOS DE MONITORAMENTO E AMOSTRAGEM

4.4.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os novos poços de monitoramento e amostragem construídos pela equipe do projeto, foram locados no mapa planialtimétrico e sua distribuição baseou-se nos resultados obtidos no levantamento geofísico. A nomenclatura adotada seguiu o critério que a Universidade Federal de São Carlos utilizou nos primeiros poços construídos. Uma vez que o último poço

construído pela UFSCar foi o L 14, os novos iniciaram em L 15 e a contagem seguiu o sentido horário.

Foram construídos 18 poços de monitoramento e amostragem dos quais foram analisados 15 pois 3 poços apresentaram-se secos. Todos possuem revestimento, filtro, pré-filtro, proteção sanitária, tampão e selo conforme as normas ditadas pela CETESB (1988) (FIGURA 12).

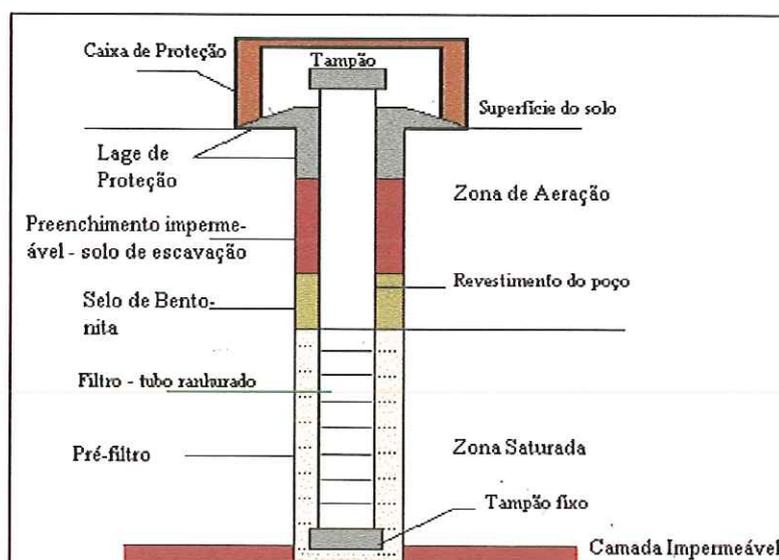


FIGURA 12 - Perfil esquemático de poço de monitoramento

Fonte - IPT - Manual de construção de poços de monitoramento e amostragem

‘O revestimento interno consiste de tubos PVC de 4 polegadas de diâmetro, da linha GEOMECÂNICA da empresa FORTILIT, com a função de revestir as paredes do poço. O filtro tem a propriedade de permitir a entrada de água e de impedir a penetração de alguma impureza, inclusive pré-filtro. Existem vários tipos de filtros, mas o mais comum é o do tipo ranhurado. Consiste de um tubo do mesmo material do revestimento, com ranhuras vazadas, distribuídas homogeneamente em sua superfície. A largura da ranhura varia de 2 a 3 mm e a distância entre elas não ultrapassa 1 cm.’ (FREITAS, 1996)

O pré-filtro consiste de areia lavada de grãos de quartzo ou pedriscos de quartzo inertes e resistentes, ocupa o espaço anular entre o filtro e a parede de perfuração. No caso do projeto, o diâmetro médio do pré-filtro não ultrapassou 2 mm.

‘A proteção sanitária tem a função de evitar que a água superficial contamine o poço através da infiltração pelo espaço anular. É o conjunto formado pelo selo sanitário e pela laje de proteção. O selo sanitário consiste de uma argamassa de cimento na extremidade superior do espaço anular com aproximadamente 30 cm, e a laje de proteção é um piso de cimento ao redor da boca do poço construído com um pequeno declive.’ (FREITAS, 1996)

4.4.2 - METODOLOGIA DA CONSTRUÇÃO

A construção constou de duas etapas. Uma primeira empregando o trado mecanizado com diâmetro de 12 polegadas da empresa BASE Fundações e Infra-estrutura de Ribeirão Preto. Esta fase consistiu da perfuração até a altura do nível estático e foi executada no dia 26 de outubro de 1995 e em uma única jornada foram perfurados 15 poços.

A segunda etapa consistiu no término da perfuração e na construção dos poços. A máquina empregada para esta operação foi a sonda de fundações da empresa DESTACA Fundações. As operações tiveram início no dia 31 de outubro de 1995 e terminaram no dia 23 de novembro do mesmo ano. Ao final destes trabalhos foram concluídos 18 poços de monitoramento e amostragem. Nesta etapa o fluido de perfuração utilizado em todos os poços foi água, ou seja, não foram empregadas substâncias tais como bentonita ou polímeros, que possam alterar as características do aquífero, alterando o fluxo da água subterrânea.

‘A estratégia para a construção dos poços foi baseada na altura do nível estático e, nos poços construídos dentro da área ocupada pelos resíduos, a profundidade do “lixo” também foi levada em consideração. De um modo geral, os poços foram perfurados até 6 metros abaixo do nível

estático e foram utilizados 4 metros de filtro, deixando um metro entre a base do filtro e o fundo do poço perfurado. O primeiro filtro sempre foi colocado um metro abaixo do nível estático. O espaço entre o revestimento e filtros e a formação foi preenchido com pré-filtro até 1 metro acima do NE aproximadamente. Sobre o pré-filtro foi feito um selo de bentonita de 1 m de espessura, e acima deste depositado o material da própria formação.' (FREITAS, 1996).

Nos poços construídos no "lixo" o procedimento seguido foi colocar o filtro três metros abaixo do contato entre o depósito e a formação, independente da altura do NE , se este último alcançasse os resíduos. Foi adicionado um selo de cimento no contato da base do "lixo" aterrado com a formação, além do selo de bentonita.

Depois de construídos, os poços foram desenvolvidos, ou seja, foram efetuadas operações que têm por objetivo a limpeza do poço e a retomada das características originais da água e do aquífero. O desenvolvimento dos poços foi feito manualmente e empregou-se um tubo de PVC com diâmetro de 1 polegada e com 2 metros de comprimento aproximadamente, constando de um sistema de válvula de retenção em uma de suas extremidades.

4.5 - MONITORAMENTO DAS ÁGUAS ADJACENTES AO 'LIXÃO'

No monitoramento foram analisadas as características físico-químicas das águas superficiais e subterrâneas adjacentes ao 'lixão', sendo a periodicidade na coleta das amostras mensal.

Com relação a água superficial foram feitas coletas da água do Córrego São João a montante e a jusante do 'lixão' para verificar a interferência deste na qualidade de suas águas.

Para o monitoramento das águas subterrâneas foram coletadas amostras dos poços L15, L16, L17, L18, L19, L24, L25, L26, L27, L28, L29, L30, L31, L32 e L33. No poço L24 foram realizadas coletas somente nos meses de março e abril de 1996, sendo que no mês de maio foi detectado a presença de um mourão que foi colocado dentro do poço impedindo a coleta e inutilizando o poço, pois não foi possível a retirada deste material sem danificar o poço. A coleta das amostras da água subterrânea seguiu os seguintes procedimentos:

- Esvaziamento do poço: com um tubo de PVC com diâmetro de 1 polegada e com 2 metros de comprimento aproximadamente, constando de um sistema de válvula de retenção na extremidade inferior.
- Coleta da amostra: retirou-se 600 ml de amostra, que foram colocados em frascos de vidro e também foram coletadas amostras em frasco de OD, estas amostras foram armazenadas em um recipiente de isopor refrigerado.

As análises efetuadas nas amostras de água foram: condutividade, alcalinidade, dureza, pH, nitrogênio total, fosfato, cloretos, DQO, sólido totais, sólidos totais voláteis, sólidos totais fixos, cromo, cobre, ferro, níquel, zinco, manganês, bário, cálcio, magnésio, nitrato, oxigênio dissolvido, potencial redox, silício, fósforo, boro, cádmio e chumbo.

As análises químicas de água foram realizadas pelo autor no laboratório do Departamento de Hidráulica e Saneamento e as análises de metais foram efetuadas no espectrofotometro de absorção por plasma no laboratório do CENA da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, em Piracicaba.

4.6 - OPERAÇÃO DE DISPOSIÇÃO DO LIXO

Inicialmente os resíduos foram colocados na região do poço L21 na parte mais alta, onde foi realizado o caminhamento geofísico número 1. Posteriormente os resíduos foram sendo depositados na voçoroca a partir da cota topográfica mais alta até a mais baixa, do caminhamento geofísico número 2 até o caminhamento 6, quando alcançou-se a cota topográfica mais baixa repetiu-se a operação, com isso chegou-se a ter 17 anos de resíduos depositados e até quatro camadas de resíduos diferentes conforme FIGURA 13 .

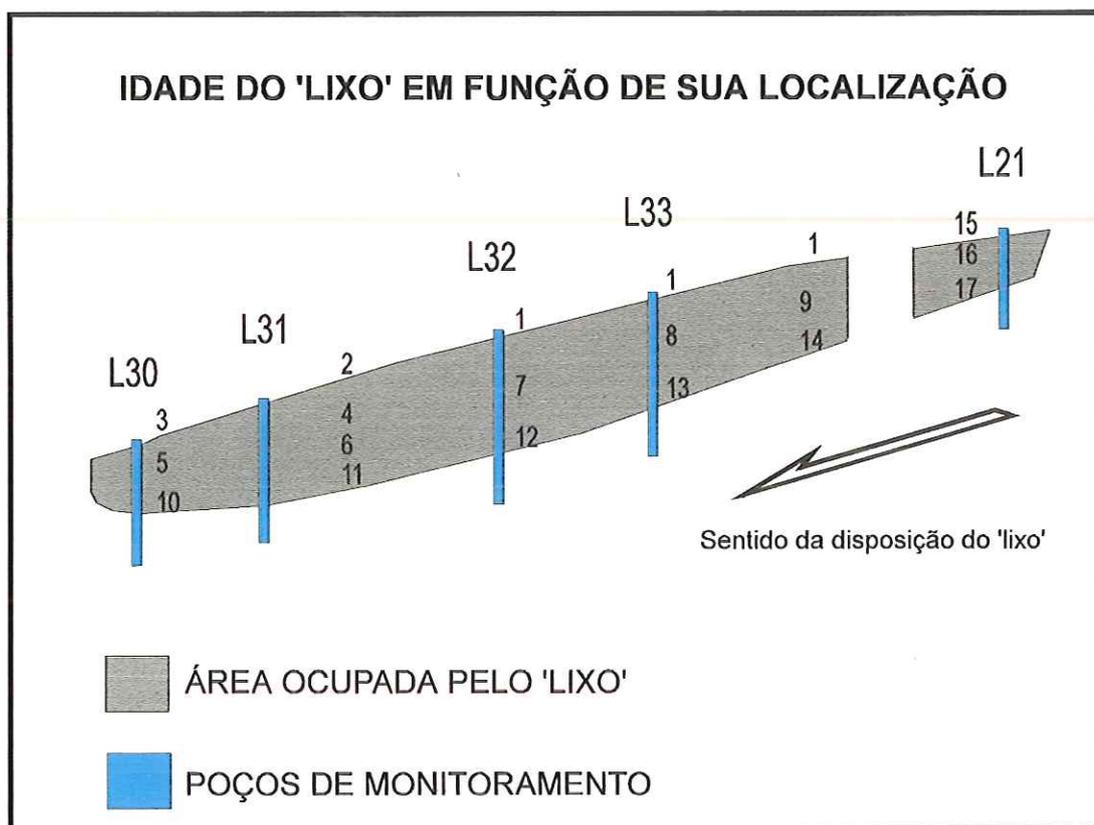


FIGURA 13 - Disposição dos resíduos no 'lixão'

5. - RESULTADOS

5.1 - PRECIPITAÇÃO

Segundo MATTOS (1982, 1984) o clima da cidade de São Carlos é subtropical mesotérmico úmido, com chuvas de verão e estiagem branda no inverno, com pequeno déficit de água (CWA pela classificação de Köppen e BB'W pela classificação de Thornthwaite). Apresenta precipitação média anual na ordem de 1382 mm, evaporação média anual de 908 mm e temperatura média anual de 19.8 °C. O período chuvoso vai de outubro a março, quando o clima é super-úmido (supertropical); o período seco vai de abril a setembro, com clima caracterizado como sub-úmido (temperado).

Para fazer o levantamento do dados de precipitação foram instalados um pluviômetro e um pluviógrafo no 'lixão' para avaliar com maior precisão a quantidade de água que precipita no 'lixão'.

Os resultados da precipitação observados no 'lixão' estão apresentados na TABELA 8 e sua variação pode ser observada na FIGURA 14.

TABELA 8 - Precipitação na área do 'lixão'

PERÍODO	PRECIPITAÇÃO (mm)
01/01/1996 - 07/02/1996	419.84
07/02/1996 - 21/03/1996	246.51
21/03/1996 - 15/04/1996	62.10
15/04/1996 - 20/05/1996	51.00
20/05/1996 - 17/06/1996	14.40
17/06/1996 - 15/07/1996	17.80

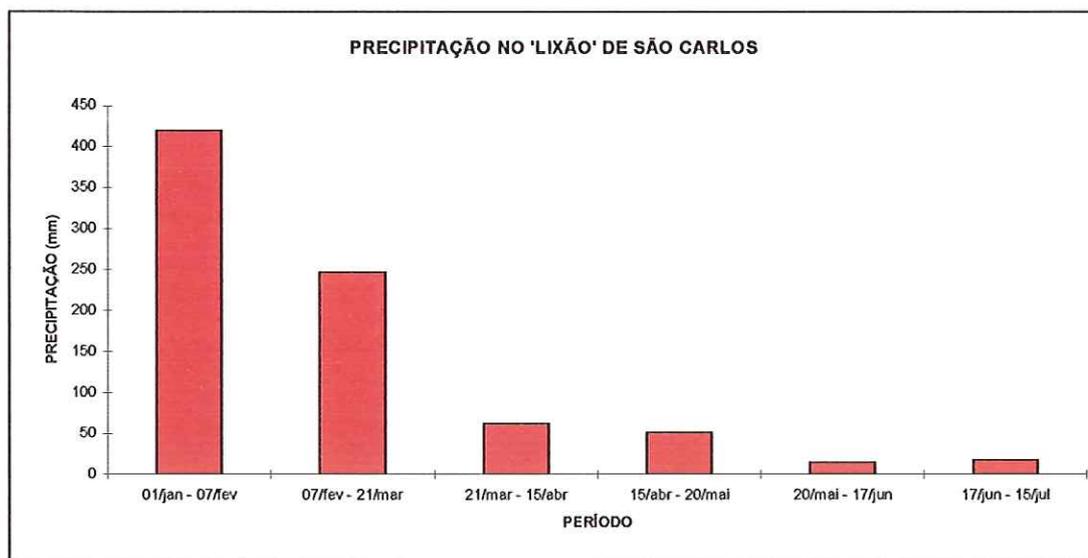


FIGURA 14 - Variação da precipitação no ano de 1996.

5.2 - AVALIAÇÃO DA DIREÇÃO E SENTIDO DO ESCOAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

A simulação do escoamento de água subterrânea foi elaborada pelo mestrando Sérgio Sadayoshi Matsuzaki e consta de sua dissertação de mestrado em fase final de conclusão.

O estudo concentrou-se em uma área de 48 Km² em torno do depósito de 'lixo'.

'Foi elaborado um modelo físico composto por quatro camadas de arenito Botucatu. No interior de cada camada a espessura é constante. Foi adotado um valor de condutividade hidráulica igual a 2 m/dia e uma porosidade efetiva igual a 0.25. O aquífero foi considerado livre, em vista dos relatórios técnicos dos poços situados na região. Adotou-se um valor constante para a recarga igual a 20% da precipitação média anual.' (MATSUZAKI, 1997)

'Nas regiões de afloramento de basalto adotou-se a condição de fluxo nulo. Foi levada em conta a rede de drenagem superficial como condição de contorno bem como as regiões alagadas.' (MATSUZAKI, 1997)

'No primeiro caso, ao longo das drenagens superficiais, não se especificou carga constante e sim um valor constante para a relação entre a vazão aquífero-rio e o gradiente hidráulico entre os mesmos (coeficiente de drenança constante). Para as regiões alagadas adotou-se a condição de carga constante igual à cota topográfica.' (MATSUZAKI, 1997)

Os níveis estáticos nos piezômetros e poços da região foram adotados como condição inicial. Simulou-se o escoamento para um período de 10 anos.

A FIGURA 15 mostra as equipotenciais e as linhas de fluxo na região considerada. A FIGURA 16 mostra o caminhamento das partículas oriundas do 'lixão' e o sentido do fluxo da água subterrânea que é SW.

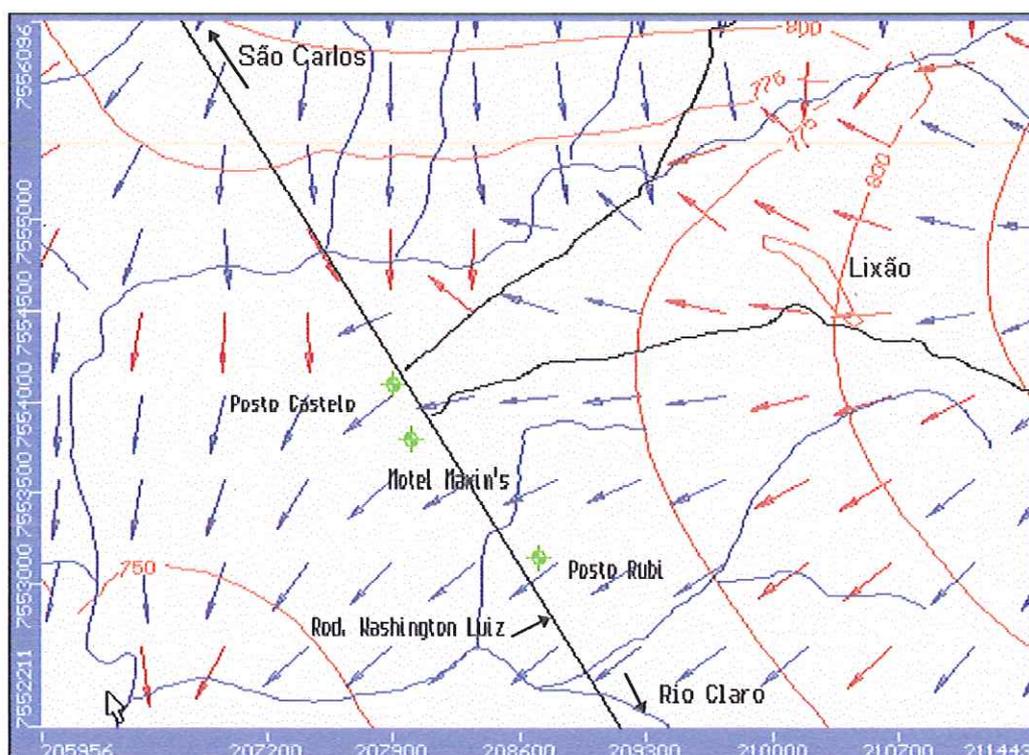


FIGURA 15 - Isolinhas equipotenciais na região do 'lixão' de São Carlos

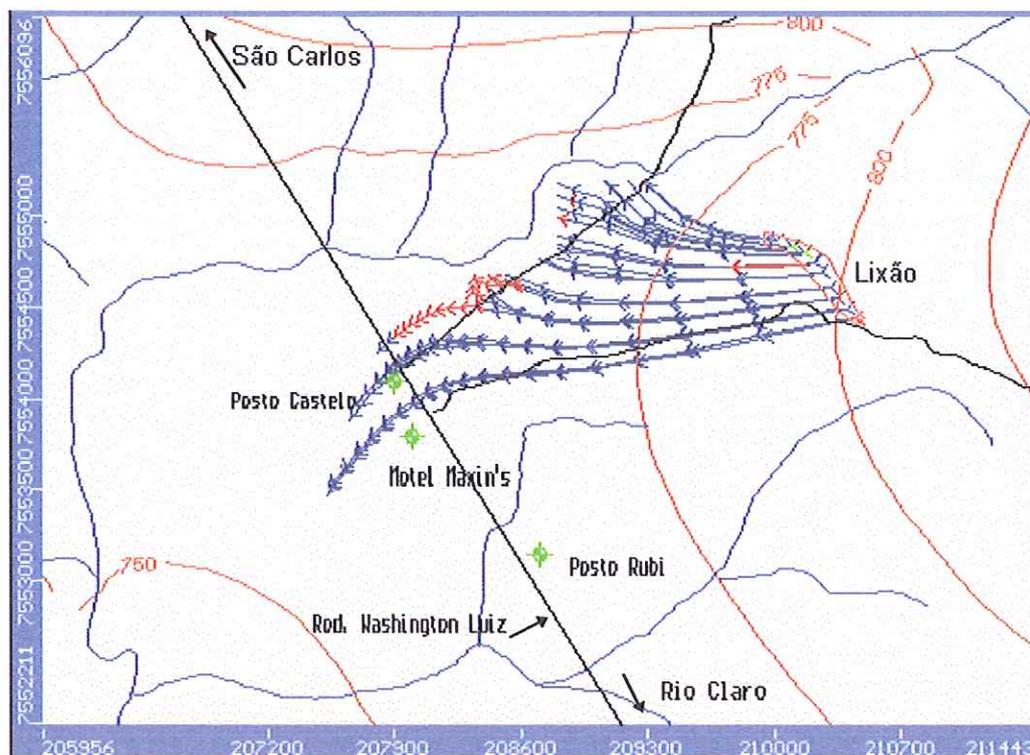


FIGURA 16 - Direção do fluxo da água subterrânea na região do 'lixão' de São Carlos.

5.3 - LEVANTAMENTO GEOFÍSICO

5.3.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Foram efetuados 6 caminhamentos geofísicos empregando o método da eletrorresistividade com arranjo dipolo-dipolo (FIGURA 6). A escolha do traçado dos caminhamentos teve que se adaptar ao reinício das operações de disposição final de "lixo" no local. Elaborou-se por fim, 6 perfis mostrando a variação da resistividade aparente em profundidade (FIGURAS 18, 19, 20, 21, 22 e 23). A profundidade máxima atingida foi de 30 metros e o espaços entre os eletrodos foi de dez metros.

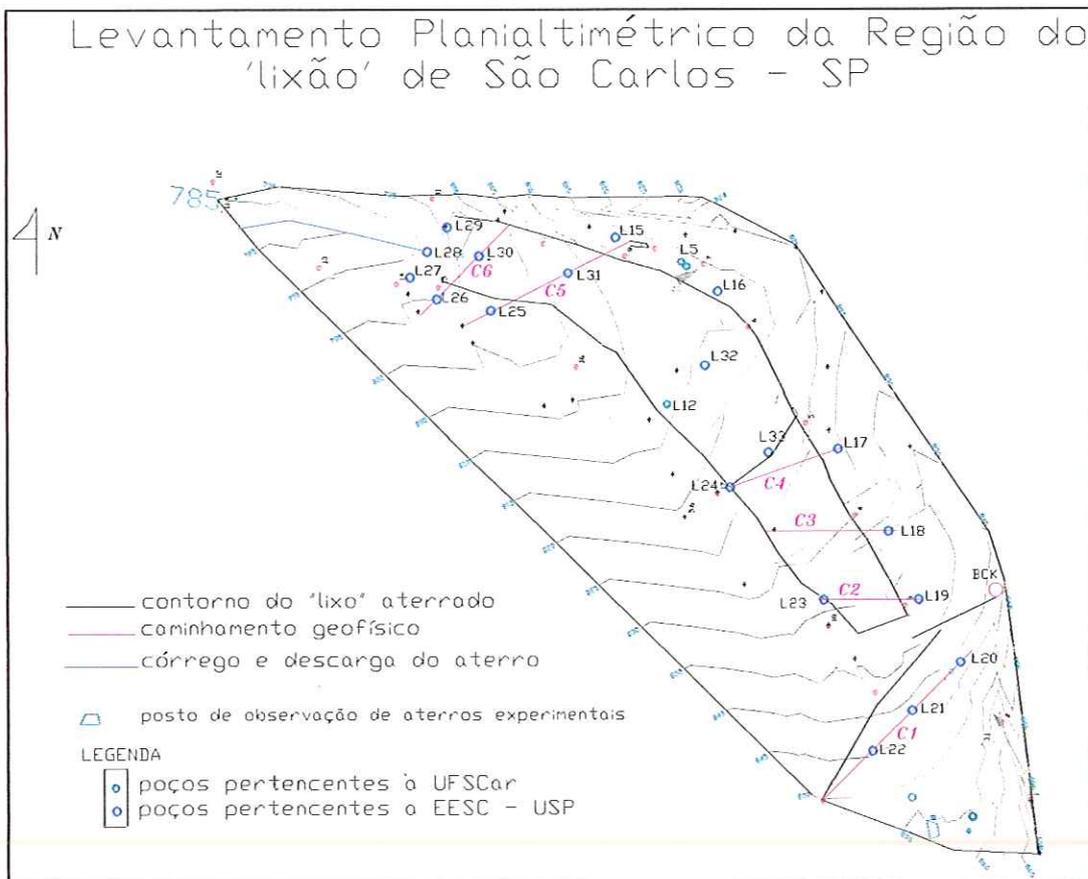


FIGURA 17 - Carta planialtimétrica em escala reduzida, mostrando os piezômetros e os caminhamentos geofísicos

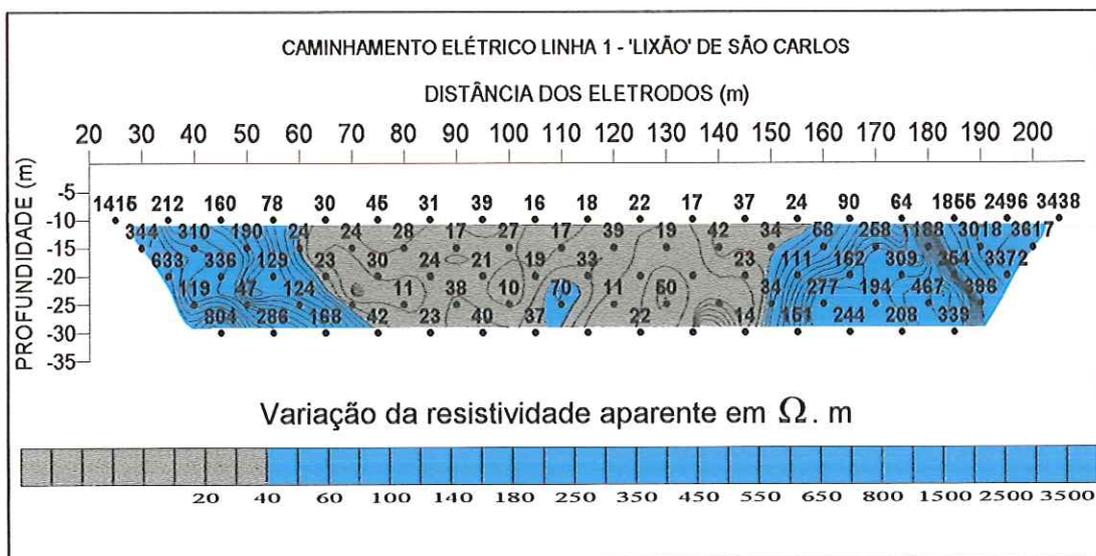


FIGURA 18 - Caminhamento elétrico nº 1.

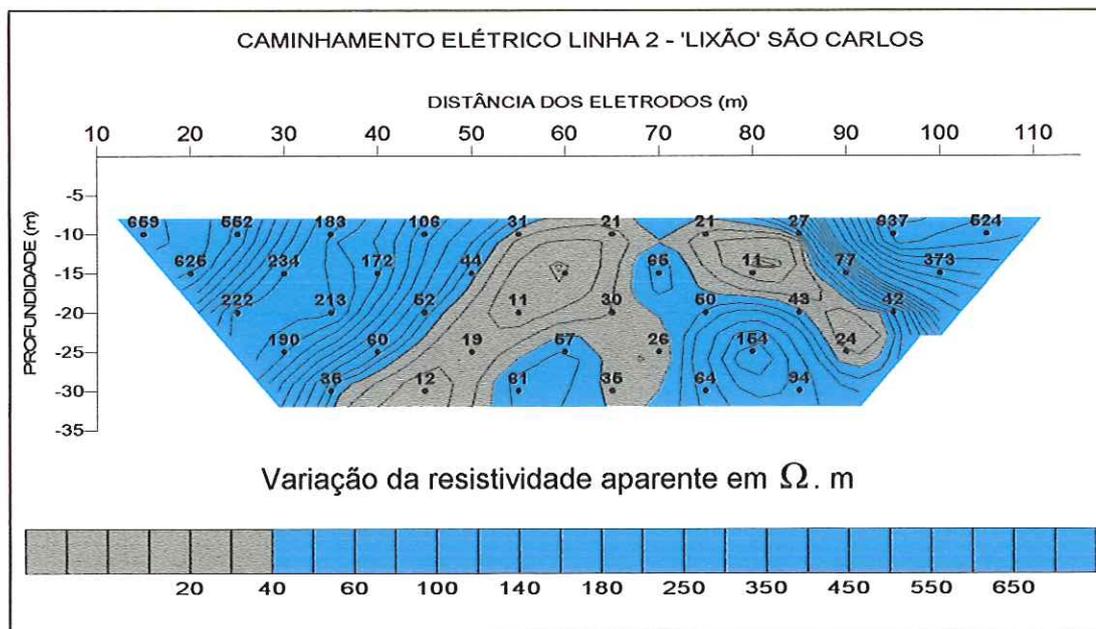


FIGURA 19 - Caminhamento elétrico nº 2.

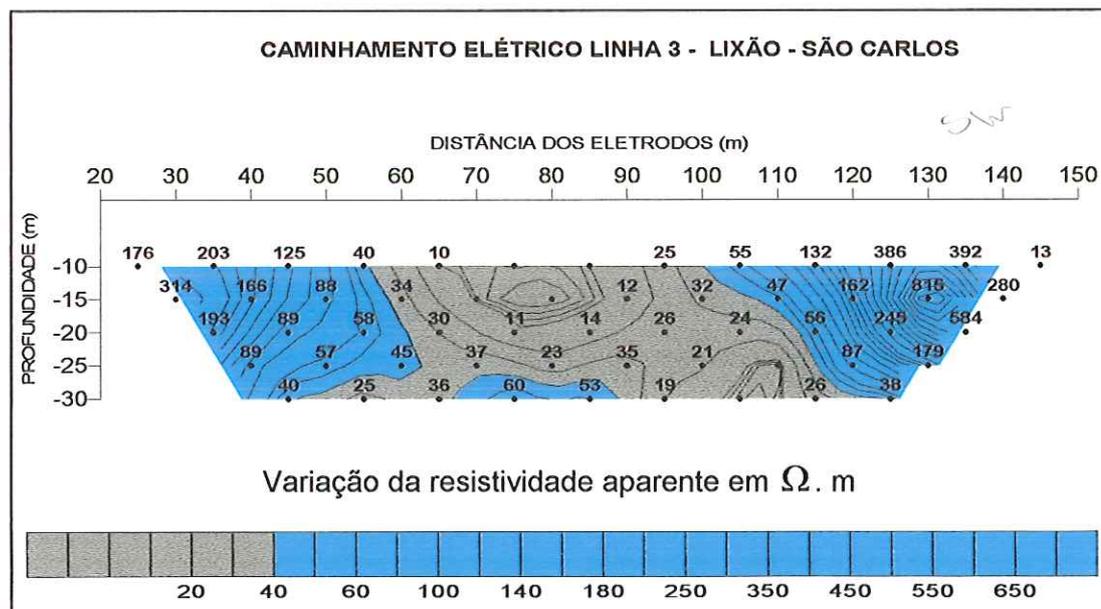


FIGURA 20 - Caminhamento elétrico nº 3.

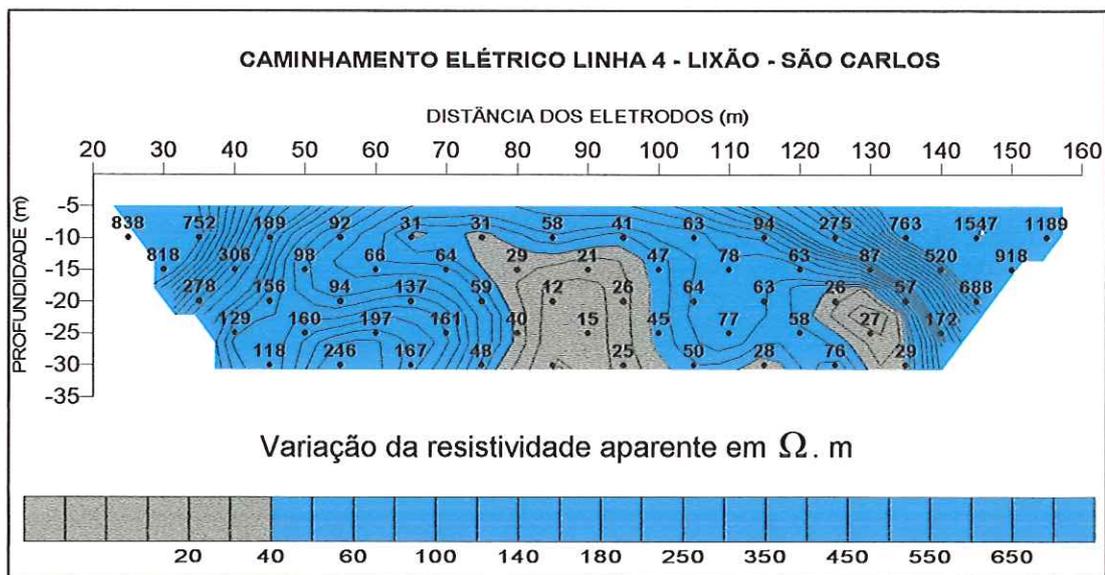


FIGURA 21- Caminhamento elétrico nº 4.

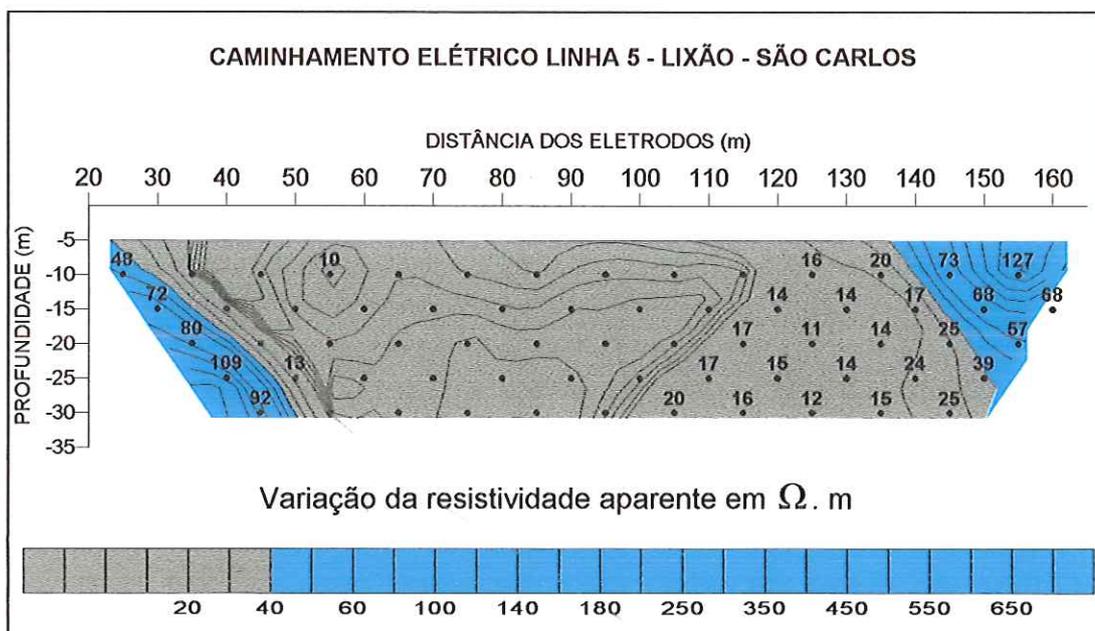


FIGURA 22 - Caminhamento elétrico nº 5.

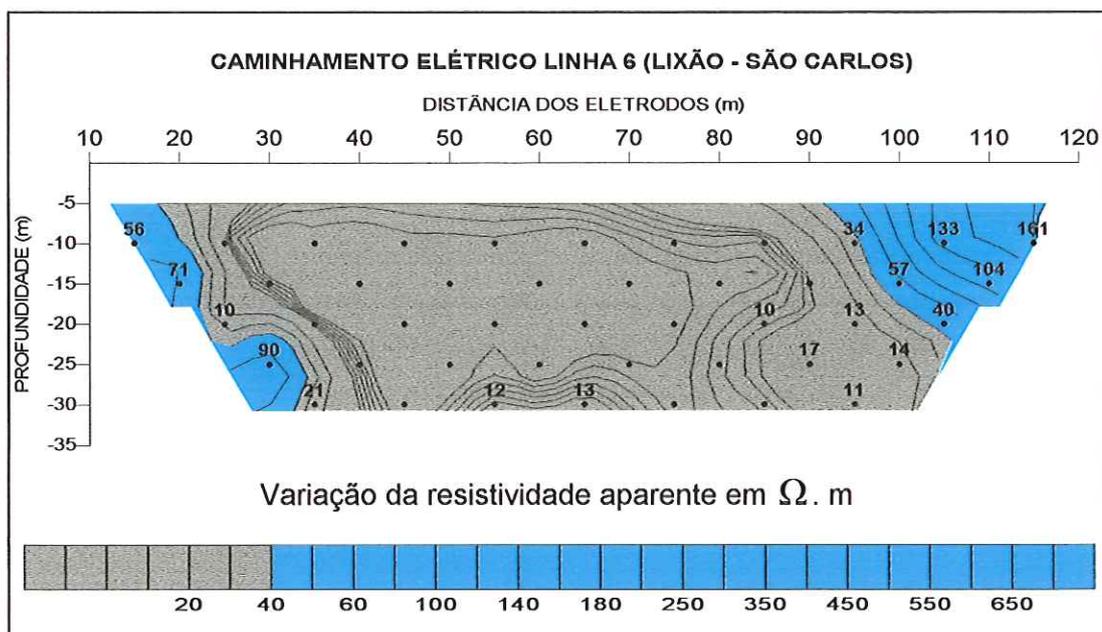


FIGURA 23 - Caminhamento elétrico nº 6.

5.3.2 - DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS DE CAMPO

O caminhamento número 1 (FIGURA 18) é o maior (210 m) e situa-se na região onde se desenvolveu a voçoroca que primeiro serviu de depósito. Observando-se atentamente o perfil deste caminhamento verifica-se que os menores valores de resistividade aparente situam-se no centro da linha percorrida e que há uma queda destes a partir das extremidades em direção ao centro. Os menores valores encontram-se justamente sob a parte de maior quantidade de resíduos.

Os caminhamentos número 2 e 3 (FIGURAS 19 e 20) possuem comportamento semelhante ao descrito anteriormente, mas em virtude de possuir menor tamanho (100 e 150 m respectivamente), não foi possível observar valores maiores de resistividade aparente. Nestes perfis encontram-se valores inferiores aos encontrados no caminhamento número 1.

No caminhamento número 3 há um deslocamento em profundidade para SW.

O perfil de número 4 (FIGURA 21) também possui comportamento geral semelhante aos demais. Observa-se um desvio geral no fluxo principal tal como ocorre no caminhamento número 1, todavia neste perfil a tendência de deslocamento é para SW. Também nota-se uma anomalia de valores mais elevados ($200 \Omega.m$) que está sob a estaca de número 3.

Os caminhamentos 5 e 6 (FIGURAS 22 e 23) mostram comportamentos muito semelhantes. Ambos possuem os menores valores de resistividade aparente e indícios de desvio de fluxo em profundidade são mais fracos do que o padrão apresentado em outros perfis. De qualquer forma há um indício de desvio para SW, conforme à topografia do terreno.

Juntamente com os trabalhos de campo, foi feita uma entrevista com o operador do trator esteira que acompanha os trabalhos de operação do lixão desde seu início, com a finalidade de conhecer as profundidades aproximadas do "lixo" aterrado e sua dimensão horizontal. É importante ressaltar que estas informações estão sujeitas a erros grosseiros mas, mesmo assim, pode ser um importante auxílio na análise dos dados. Também foi feito um confronto entre os resultados obtidos no levantamento geofísico com os dados da perfuração dos poços, principalmente com relação a altura do nível estático. Deste modo pretendeu-se conhecer os valores de resistividade aparente do solo seco limpo, solo seco contaminado, solo saturado seco, solo saturado contaminado e do próprio lixo aterrado.

5.3.3 - CORRELAÇÃO COM O LEVANTAMENTO GEOLÓGICO

A resistividade das rochas não depende apenas dos seus minerais constituintes mas principalmente de sua textura e estrutura, estado de alteração e da presença de água e sais dissolvidos e intercomunicação entre os poros (MALAGUTTI, 1991). A TABELA 9 exhibe valores de resistividade de alguns materiais:

TABELA 9 - Valores de resistividade de alguns materiais

MATERIAIS GEOLÓGICOS	ρ ($\Omega.m$)
ÁGUAS DOCES SUPERFICIAIS	$10^{-1} - 10^3$
ÁGUAS MARINHAS	0,2
ARGILAS	$10 - 10^2$
AREIAS	$10^2 - 10^4$
AREIA SATURADA COM ÁGUA MINERAL	$10^{-1} - 10$
ALUVIÃO	$10 - 10^3$
CONGLOMERADOS	$10 - 10^4$
ARENITOS	$10 - 10^8$
MARGAS ARENOSAS	$10 - 10^2$
CALCÁRIOS	$10^2 - 10^4$
BASALTOS	$10^2 - 10^5$
GRANITOS	$10^2 - 10^5$

Fonte: MOREIRAS (1988)⁸ apud MALAGUTTI (*op. cit.*).

Os caminhamentos geofísicos executados por ELLERT et al. (1990) não possuem nenhuma indicação de localização em mapa ou ponto de controle. Os autores encontraram valores de condutividade aparente (inverso de resistividade aparente) para solos isentos de soluções condutoras em torno de 4 mS/m e na parte correspondente ao aterro propriamente dito esta condutividade se eleva para valores superiores a 150 mS/m. Na maior parte dos pontos a resistividade dos sedimentos ficou ao redor de 200 a 300 $\Omega.m$ e nos pontos situados sobre o lixo estes valores caíram para 50 $\Omega.m$. O autor encontrou uma tênue nuvem de poluentes rumando sentido WSW.

‘Em todos os caminhamentos executados pela equipe do projeto, as leituras de pontos próximos à pluma de poluentes, sofrem uma clara influência de valores baixíssimos que esta apresenta, e esses pontos foram examinados com cuidado, sempre comparando os resultados com os dados obtidos na perfuração dos poços de monitoramento e amostragem e as análises químicas efetuadas.’ (FREITAS, 1996)

⁸ MOREIRAS, J.B.P. (1988). Prospecção de cavidades subterrâneas em geologia de engenharia - aplicações de métodos geofísicos. Lisboa - Dissertação de mestrado. Universidade Nova Lisboa.

‘Observando o perfil do caminhamento 1, onde há a maior variedade de resultados, e confrontando-o com os resultados de campo efetuados durante a perfuração dos poços e levantamento geológico, verifica-se que o solo residual seco, com baixa ou baixíssima umidade e presença de pedregulhos e matações de arenito e/ou basalto, exhibe os mais altos valores de resistividade aparente, superiores a 1.000 Ω .m. O estudo dos perfis de números 2 e 3 sugere que valores de resistividade aparente superiores a 350 Ω .m e inferiores a 1.000 Ω .m representam o solo residual não saturado com alguma umidade.’ (FREITAS, 1996)

Os caminhamentos 5 e 6 foram executados em uma área de depósito recente de resíduos e portanto possuem os menores valores de resistividade aparente, freqüentemente atingindo valores abaixo de 10 Ω .m, enquanto que nos caminhamentos 1 e 2, onde, até a data do levantamento geofísico, estavam aterrados os resíduos mais antigos, os valores da pluma de contaminantes são maiores, situando-se na faixa de 25 a 40 Ω .m.

DAVINO⁹ (1980) apud MALAGUTTI (1991), revela que em diabásios os valores médios de resistividade são da ordem de 1.000 Ω .m enquanto que em basaltos permanece ao redor de 300 Ω .m. MOONEY¹⁰ (1980) apud MALAGUTTI (1991), observou valores de resistividade para diabásios entre 400 e 830 Ω .m. Finalmente MALAGUTTI (1991) obteve valores da ordem de 400 a 800 Ω .m para diabásios na região de Limeira - SP.

5.4 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DAS ÁGUAS

Para melhor apresentação e interpretação dos resultados convém separar a área em estudo em três regiões: ‘montante’, ‘corpo do lixo’ e

⁹ DAVINO, A. (1980). O lacólito de diabásio de Tamabaú. Determinação por sondagem elétrica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31. Camburiú, 1980. Anais..., SBG. Vol. 5, p 2583 - 2598.

¹⁰ MOONEY, H.M. (1984). Handbook of Engineering Geophysics - Electrical Resistivity. Minneapolis, Bison Instruments Inc., vol. 2.

'jusante'. Designa-se como montante a região onde se situam os piezômetros L15-L16-L17-L18 e L19. Designa-se como corpo do 'lixo' a região onde se situam os piezômetros L30-L31-L32 e L33. Designa-se como jusante a região onde se situam os piezômetros L24-L25-L26-L27-L28 e L29.

As análises efetuadas nas amostras de água no 'lixão' de São Carlos foram: condutividade, alcalinidade, dureza, pH, nitrogênio total, fosfato, cloretos, DQO, sólido totais, sólidos totais voláteis, sólidos totais fixos, cromo, cobre, ferro, níquel, zinco, manganês, bário, cálcio, magnésio, nitrato, oxigênio dissolvido, potencial redox, silício, fósforo, boro, cádmio e chumbo.

Dentre estes elementos alguns apresentaram concentrações abaixo do limite de detecção na maioria das amostras, são eles : cromo < 0.05 mg/l, cobre <0.05 mg/l, níquel <0.05 mg/l, zinco < 0.05 mg/l, fósforo < 0.10 mg/l, boro <0.05 mg/l, cádmio <0.05 mg/l e chumbo < 0.10 mg/l.

BOSSOLAN (1993) e MENEZES (1994) adotaram o poço L5 como ponto de controle, e os poços L15, L16, L17, L18 e L19 foram locados à montante do 'lixão', com o intuito de servirem como poços de controle, mas com o passar das coletas, foi-se percebendo que todos estes poços apresentaram indicações de poluição, possivelmente pelo fato do 'lixo' ter sido depositado posteriormente as coletas das autoras e ter alcançado cotas superiores e com isso ter poluído estes poços.

Em função disto, na ultima coleta foi escolhida uma mina (BCK) localizada à montante do 'lixão' (ANEXO 2) para servir de valor de referência. Como nesta mina tinha sido realizada uma coleta, foram utilizados dados coletados na mina pelo mestrando Cyro M. B. Álvares, que está dando continuidade ao monitoramento das águas adjacentes ao 'lixão' de São Carlos.

Nos gráficos da variação das concentrações na água subterrânea, foi adotado um padrão de cores para melhor interpretação onde a cor azul representa a água não poluída ou inferior ao valor de referência; a cor lilás

representa a água um pouco alterada; a cor vermelha representa uma alteração maior e a cor cinza representa a água muito alterada em relação ao valor de referência ou concentração superior ao padrão de potabilidade.

5.4.1 - pH

5.4.1.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL

No monitoramento da qualidade da água do Córrego São José as amostras coletadas a montante do 'lixão' (RM) apresentaram valor médio de 6.1, e desvio padrão de 0.2. Nas amostras a jusante (RJ) o valor médio foi de 5.9, com desvio padrão de 0.4. Os valores encontrados estão na TABELA 10 e sua variação no tempo pode ser observada na FIGURA 24.

RIOS (1993) monitorou o Córrego São José de novembro de 1990 a outubro de 1991, e observou para o ponto a montante valor médio de 6.62 e 6.28 a jusante. TEIXEIRA (1993) observou os mesmos pontos do Córrego São José durante o período de setembro de 1991 a fevereiro de 1992 e encontrou valores médios de pH para pontos a montante e jusante de 6.6 e 6.7 respectivamente. MENEZES (1994) monitorou o Córrego São José no período de agosto de 1993 a fevereiro de 1994 e encontrou valores médios de pH para montante de 5.62 e a jusante 6.27.

Nos meses de março, maio e julho de 1996 os valores de pH estiveram mais ácidos a montante que a jusante, não demonstrando correlação com a precipitação.

Comparando os dados com MENEZES podemos observar uma inversão nos valores do pH, a autora encontrou valores mais ácidos na amostra de montante do que a jusante.

Comparando os dados com RIOS e TEIXEIRA podemos observar uma diminuição do pH.

TABELA 10- valores de pH para as águas superficiais e subterrâneas

POÇOS	07/fev	21/mar	15/abr	20/mai	17/jun	15/jul	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
BCK							6,2			
L15	5,5	5,2	5,3	4,8	4,8	4,5	5,0	4,5	5,5	0,3
L16	5,8	5,4	5,0	5,4	5,3	5,4	5,4	5,0	5,8	0,2
L17	5,2	5,4	5,1	5,2	5,1	5,1	5,2	5,1	5,4	0,1
L18	NC	5,9	5,7	5,8	5,7	5,8	5,8	5,7	5,9	0,1
L19	NC	NC	5,6	5,7	5,5	5,5	5,6	5,5	5,7	0,1
L24	NC	6,9	6,6	NC	NC	NC	6,8	6,6	6,9	0,2
L25	5,9	5,5	5,4	5,5	5,6	5,7	5,6	5,4	5,9	0,2
L26	5,7	5,2	5,0	5,0	4,9	5,0	5,1	4,9	5,7	0,3
L27	6,2	5,9	5,8	5,5	5,6	5,8	5,8	5,5	6,2	0,2
L28	6,2	5,8	5,6	5,6	5,5	5,6	5,7	5,5	6,2	0,2
L29	6,2	6,0	6,0	6,0	5,7	5,9	6,0	5,7	6,2	0,1
L30	6,7	6,0	5,9	5,8	5,9	5,9	6,0	5,8	6,7	0,3
L31	6,2	5,6	5,0	5,7	5,5	5,4	5,6	5,0	6,2	0,4
L32	6,6	6,3	6,3	6,3	6,3	6,4	6,4	6,3	6,6	0,1
L33	6,1	6,3	6,2	6,2	6,0	NC	6,2	6,0	6,3	0,1
	07/02/96	21/03/96	15/04/96	20/05/96	17/06/96	15/07/96	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
RJ	5,4	6,3	5,2	6,0	6,0	6,2	5,9	5,2	6,3	0,4
RM	6,6	6,2	6,1	5,8	6,1	6,0	6,1	5,8	6,6	0,2

BCK = Valor de referência; NC = Não coletado; RM = Rio montante; RJ = Rio jusante

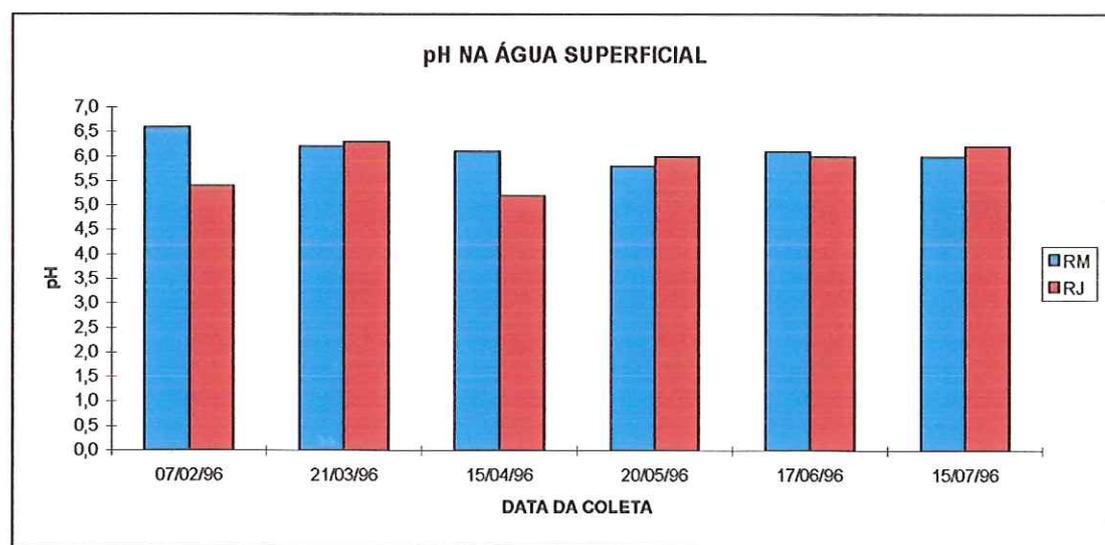


FIGURA 24 - Variação da concentração de pH na água superficial.

5.4.1.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os valores de pH para as amostras coletadas nos poços de amostragem encontram-se na TABELA 10.

O valor de referência do pH encontrado no ponto de controle foi de 6.2. A variação do valor média de pH nos poços localizados no 'lixão' pode ser observada na FIGURA 25.

Os poços L32 e L24 apresentaram valores acima do valor de referência em quanto o restante dos poços apresentaram valores abaixo do valor de referência. Os menores valores foram observados nos poços L15, L16, L17 e L26.

PFFEIFER (1993) analisou águas provenientes de 12 poços que exploram o Botucatu e os valores de pH variou de 5.3 a 6.7, de ácido a praticamente neutro.

BOSSOLAN (1993) encontrou valores médios de pH para os poços L5 e L12 de 4.9 e 6.9 respectivamente. MENEZES (1994) encontrou valores médios de pH para o poço L5 de 3.83 e poço L12 de 6.87.

Podemos observar na região do poço L5 que houve uma diminuição nos valores encontrados por MENEZES em relação a BOSSOLAN e a autora atribuiu esta diminuição do pH ao recebimento de líquidos percolados em fase inicial de decomposição, uma vez que a altitude do terreno foi elevada pelo aterramento, atingindo cotas próximas das deste poço.

Comparando o poço L5 com os poços L15 e L16 com valor médio de 5.0 e 5.4 respectivamente e comparando o poço L12 com o poço L32 com valor médio de 6.4, com relação ao poço L5 podemos observar que os valores encontrados em 1996 retornaram aos teores encontrados por BOSSOLAN, possivelmente pelo recebimento de líquidos percolados mais estabilizados. Na região do poço L12 praticamente não houve variação.

Os valores dos poços L32 e L24 apresentaram-se acima dos outros poços possivelmente pela idade do 'lixo' que estaria na fase de fermentação

metânica onde os ácidos são consumidos pelo sistema e o pH retorna a nível de tampão.

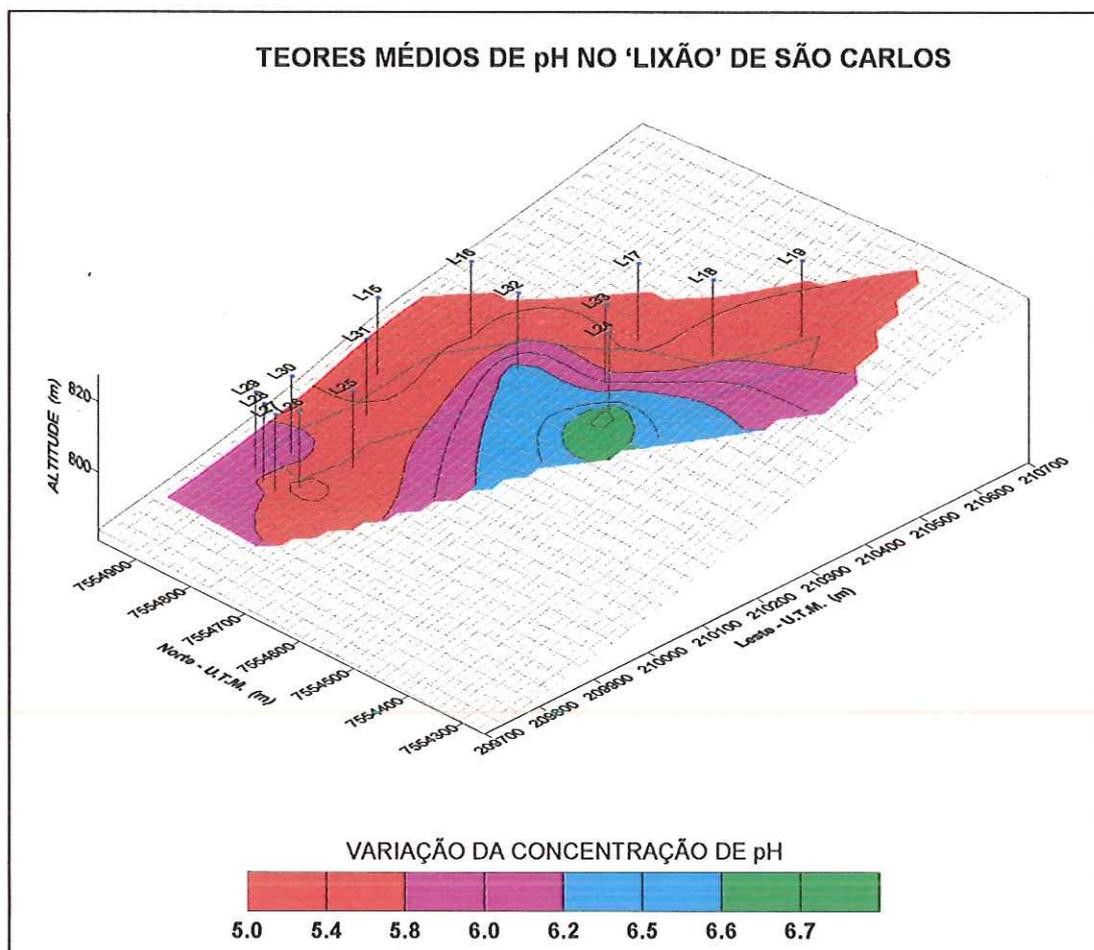


FIGURA 25 - Variação do pH nos poços localizados no 'lixão' de São Carlos.

5.4.2 - ALCALINIDADE

5.4.2.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL

O valor médio encontrado na amostra a montante foi de 21.8 mg/l CaCO_3 e a jusante foi de 33.5 mg/l CaCO_3 .

MENEZES (1994) encontrou valores médios para montante de 7.88 mg/l CaCO_3 e jusante de 25.2 mg/l CaCO_3 .

Os valores encontrados estão na TABELA 11 e a variação no período pode ser observada na FIGURA 26.

TABELA 11 - valores de alcalinidade para as águas superficiais e subterrâneas

POÇOS	07/fev	21/mar	15/abr	20/mai	17/jun	15/jul	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
BCK							37,0			
L15	40,8	32,6	27,3	11,2	11,8	3,4	21,2	3,4	40,8	13,3
L16	28,8	21,0	17,2	26,3	17,9	18,5	21,6	17,2	28,8	4,4
L17	20,6	13,4	10,5	16,8	12,3	8,1	13,6	8,1	20,6	4,1
L18	NC	84,4	77,7	86,8	81,2	78,4	81,7	77,7	86,8	3,5
L19	NC	NC	58,0	63,8	50,4	51,5	55,9	50,4	63,8	5,4
L24	NC	692,2	583,8	NC	NC	NC	638,0	583,8	692,2	54,2
L25	27,4	33,6	28,6	66,6	63,3	108,1	54,6	27,4	108,1	28,7
L26	28,8	17,2	10,9	28,0	11,5	13,4	18,3	10,9	28,8	7,4
L27	26,4	21,2	21,0	33,0	22,4	22,4	24,4	21,0	33,0	4,3
L28	24,0	21,0	21,0	28,0	26,3	21,0	23,6	21,0	28,0	2,8
L29	87,8	75,6	56,7	89,6	79,0	72,8	76,9	56,7	89,6	10,9
L30	98,4	66,4	60,9	71,1	77,8	66,1	73,5	60,9	98,4	12,3
L31	83,5	22,1	16,8	42,0	25,8	20,7	35,1	16,8	83,5	23,1
L32	110,4	110,0	123,9	204,4	181,4	142,2	145,4	110,0	204,4	35,9
L33	128,2	109,2	115,1	137,2	182,0	NC	134,3	109,2	182,0	25,8
	07/02/96	21/03/96	15/04/96	20/05/96	17/06/96	15/07/96	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
RJ	29,3	26,5	24,6	30,8	51,8	38,1	33,5	24,6	51,8	9,2
RM	24,0	20,2	21,0	28,0	17,9	19,6	21,8	17,9	28,0	3,3

BCK = Valor de referência; NC = Não coletado; RM = Rio montante; RJ = Rio jusante

Comparando os dados com MENEZES, podemos observar um aumento da alcalinidade tanto a montante como a jusante, sendo o aumento a montante maior, possivelmente pelo fato da autora ter encontrado baixos valores de pH a montante.

Os baixos valores encontrados nas amostras a jusante devem estar relacionados com o pH baixo também observado. O ponto a jusante apresentou concentrações de alcalinidade sempre superiores ao ponto de montante em todas as amostras.

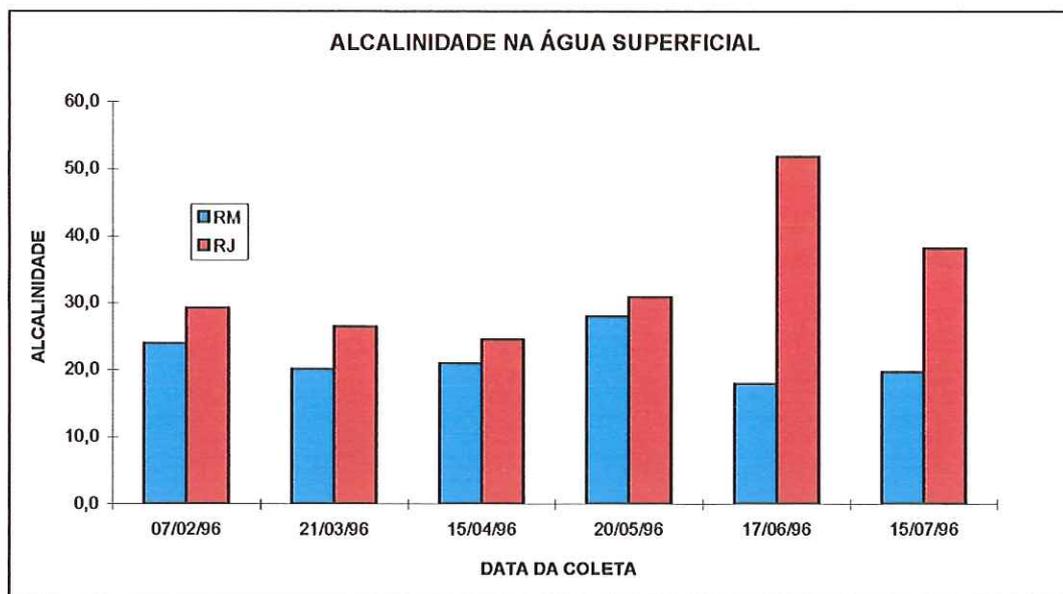


FIGURA 26 - Variação da alcalinidade na água superficial.

5.4.2.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os valores de alcalinidade para as amostras coletadas nos poços de amostragem encontram-se na TABELA 11.

O valor de referência da alcalinidade encontrada no ponto de controle foi de 37,0 mg/l CaCO_3 . A variação da concentração média da alcalinidade nos poços localizados no 'lixão' pode ser observada na FIGURA 27.

Os poços L15, L16 e L17 que estão localizados a montante do 'lixão' apresentaram valores baixos de alcalinidade, provavelmente relacionados com os baixos valores de pH encontrados e estiveram sempre abaixo do valor de referência.

Os poços L18 e L19 apresentaram valores um pouco acima do valor de referência. Os poços L25, L26, L27 e L28 que estão localizados a jusante e lateralmente ao 'lixão' também apresentaram valores baixos de alcalinidade. O poço L31 apresentou seu maior valor no mês de fevereiro/96 e nos outros meses apresentou valores baixos, sendo estes valores bem correlacionados com o pH.

Os poços L30, L32 e L33 que estão localizados no corpo do 'lixão' apresentaram valores altos de alcalinidade e o poço L24 apresentou os maiores valores.

PFEIFFER (1993) analisou 12 poços no aquífero Botucatu na região de São Carlos e encontrou concentrações variando entre 4.8 e 48.0 mg/l CaCO_3 .

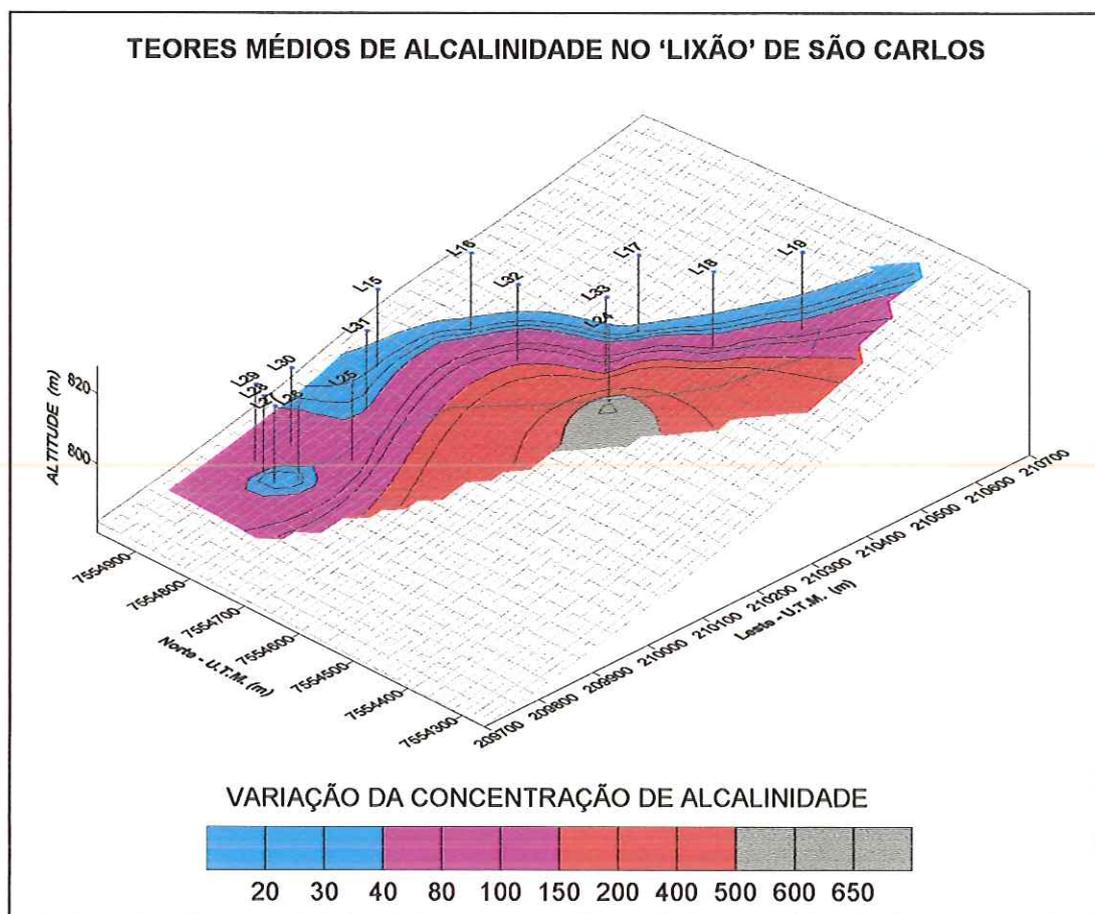


FIGURA 27 - Variação da alcalinidade nos poços localizados no 'lixão' de São Carlos.

Com relação as concentrações de alcalinidade encontradas nos poços, podemos observar um aumento da concentração no sentido SW, acompanhando o sentido do fluxo da água subterrânea encontrada no local.

5.4.3 - CONDUTIVIDADE

5.4.3.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL

A variação da condutividade nos pontos de amostragem da água superficial podem ser observados na TABELA 12, e na FIGURA 28 é possível observar a variação da condutividade no período. No ponto de montante o valor médio foi de 36 μ S/cm e no de jusante a média foi de 71 μ S/cm.

TABELA 12 - valores de condutividade para as águas superficiais e subterrâneas

POÇOS	17/fev	21/mar	15/abr	20/mai	17/jun	15/jul	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
BCK							51,0			
L15	89,0	31,7	61,9	39,7	48,7	25,2	49,4	25,2	89,0	21,3
L16	71,6	48,7	40,6	35,1	36,5	71,6	50,7	35,1	71,6	15,4
L17	68,9	34,8	30,4	24,8	23,5	31,7	35,7	23,5	68,9	15,3
L18	NC	146,0	132,7	112,3	112,3	112,3	123,1	112,3	146,0	13,9
L19	NC	NC	102,8	86,9	88,0	98,6	94,1	86,9	102,8	6,8
L24	NC	1973,0	1489,8	NC	NC	NC	1731,4	1489,8	1973,0	241,6
L25	292,0	280,8	347,6	521,4	730,0	776,6	491,4	280,8	776,6	201,6
L26	342,7	289,7	270,4	260,7	272,4	260,7	282,8	260,7	342,7	28,5
L27	79,3	48,7	48,7	40,6	40,6	39,9	49,6	39,9	79,3	13,8
L28	74,5	48,7	52,1	40,6	39,5	45,6	50,2	39,5	74,5	11,7
L29	192,1	132,7	152,1	146,0	140,4	112,3	145,9	112,3	192,1	24,2
L30	214,7	137,7	132,7	117,7	139,0	95,4	139,6	95,4	214,7	36,8
L31	132,7	55,3	66,4	56,2	52,1	43,5	67,7	43,5	132,7	29,9
L32	235,5	292,0	331,8	384,2	365,0	331,8	323,4	235,5	384,2	48,8
L33	281,9	251,7	270,4	224,6	221,2	NC	250,0	221,2	281,9	24,1
	21/03/96	07/02/96	15/04/96	20/05/96	17/06/96	15/07/96	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
RJ	66,4	62,9	60,8	60,8	99,3	74,5	70,8	60,8	99,3	13,6
RM	49,3	37,2	33,2	26,4	26,6	42,9	36,0	26,4	49,3	8,3

BCK = Valor de referência; NC = Não coletado; RM = Rio montante; RJ = Rio jusante

A condutividade a jusante apresentou-se em todas as amostras sempre acima dos valores de montante, evidenciando uma interferência do 'lixão' no Córrego São José.

Os valores não apresentaram grande variação e sempre estiveram baixos, provavelmente pelo fato de que a várzea entre o 'lixão' e o Córrego atenua a mineralização.

RIOS (1993) entre nov./90 e out./91 encontrou valores médios de condutividade de $40.65 \mu\text{S/cm}$ a montante e $61.59 \mu\text{S/cm}$ a jusante do Córrego São José. MENEZES (1994) no período de ago./93 a fev./94 encontrou valores médios a montante de $58 \mu\text{S/cm}$ e $79.6 \mu\text{S/cm}$ a jusante.

Comparando os resultados com RIOS e MENEZES a condutividade não apresentou grande variação com o passar do tempo.

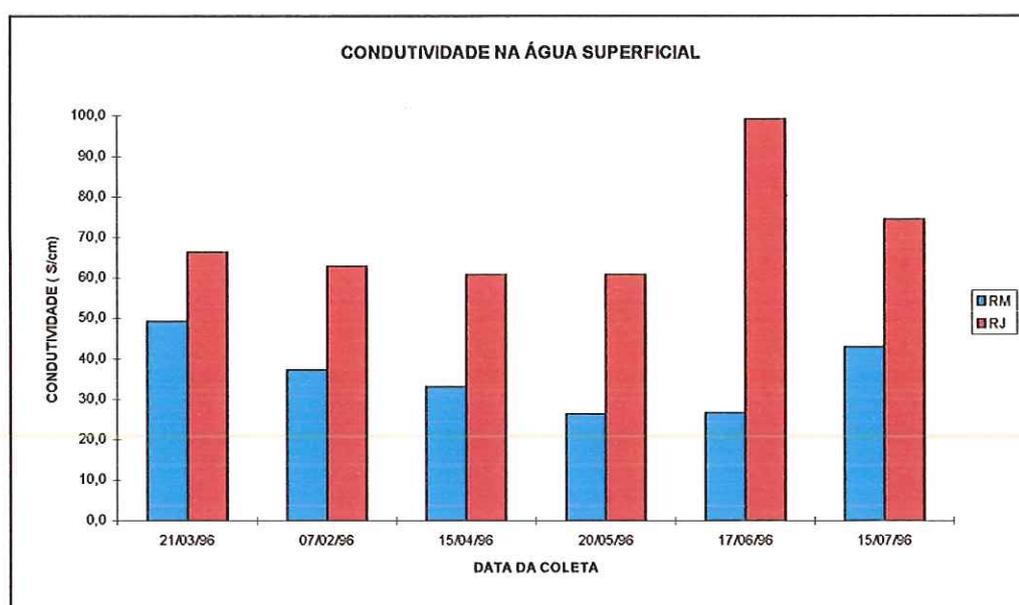


FIGURA 28 - Variação da condutividade na água superficial.

5.4.3.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os valores de condutividade para as amostras coletadas nos poços de amostragem encontram-se na TABELA 12.

A variação dos valores médios da condutividade nos poços localizados no 'lixão' pode ser observada na FIGURA 29. O valor de referência encontrado no ponto de controle foi de $51 \mu\text{S/cm}$.

Os poços localizados a montante apresentaram valores baixos de condutividade, com exceção dos poços L18 e L19 que apresentaram valores acima da referência, provavelmente em função da quantidade de sólidos totais encontrados nestes poços.

Os poços L24, L25 e L26 que estão localizados a jusante, lateralmente e em menor altitude apresentaram altos valores de condutividade, sendo o poço L24 o que apresentou os maiores valores chegando a 1731 μ S/cm de média.

Os poços L27 e L28 localizados a jusante e na parte inferior do 'lixão' apresentaram baixos valores de condutividade. Os poços L29, L30, L32 e L33 apresentaram valores acima da referência, sendo que os três últimos se encontram localizados no meio do lixo, e o poço L32 apresentou o maior valor entre eles, provavelmente por ali estar localizado o 'lixo' mais recente.

O poço L31 apesar de estar localizado no corpo do 'lixão' apresentou baixos valores de condutividade e de alcalinidade.

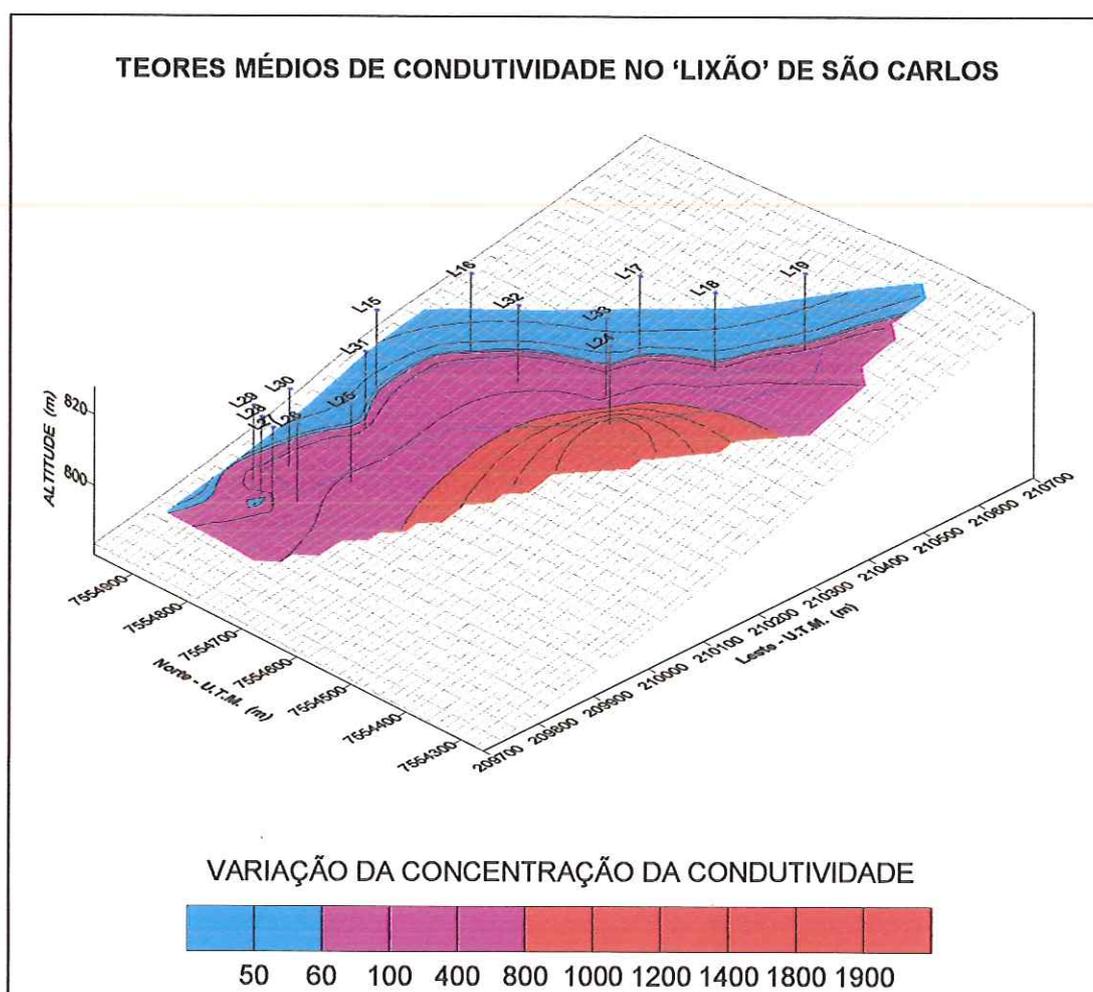


FIGURA 29 - Variação da condutividade nos poços localizados no 'lixão' de São Carlos.

PFEIFFER (1993) analisando poços no aquífero Botucatu na região de São Carlos encontrou valores de condutividade variando entre 9.2 e 89 μ S/cm, sendo que os menores valores foram observados na área de recarga do aquífero.

Com relação aos valores de condutividade encontrados nos poços, podemos observar um aumento dos valores no sentido SW, acompanhando o sentido do fluxo da água subterrânea encontrada no local.

Os maiores valores foram observadas na parte central do 'lixão' onde estão depositados os resíduos mais recentes.

5.4.4 - FERRO

5.4.4.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL

Na TABELA 13 estão apresentados os valores da concentração de ferro na água do Córrego São José e na FIGURA 30 podemos observar a variação de ferro no período.

A amostra a montante apresentou valor médio de 0.53 mg/l e 0.78 mg/l na amostra de jusante.

MENEZES (1994) encontrou valores médios da concentração de ferro a montante e a jusante do 'lixão', 0.26 mg/l e 0.83 mg/l respectivamente.

As amostras apresentaram valores sempre acima do padrão de potabilidade. Comparando os resultados com MENEZES (1994) a concentração a jusante não apresentou muita variação já a montante o valor praticamente dobrou.

TABELA 13 - valores de ferro para as águas superficiais e subterrâneas

POÇOS	07/fev	21/mar	15/abr	20/mai	17/jun	15/jul	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
BCK						0,10				
L15	11,50	0,05	0,80	4,70	8,30	4,90	5,04	0,05	11,50	3,99
L16	1,40	0,10	0,10	0,08	0,40	1,20	0,55	0,08	1,40	0,55
L17	1,10	0,10	0,40	0,30	1,30	1,00	0,70	0,10	1,30	0,45
L18	NC	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,00	0,20	0,10
L19	NC	NC	0,30	0,10	0,30	0,30	0,25	0,10	0,30	0,09
L24	NC	0,50	0,10	NC	NC	NC	0,30	0,10	0,50	0,20
L25	1,40	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,53	0,00	1,40	0,51
L26	0,30	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,20	0,00	0,30	0,11
L27	0,90	0,08	0,00	0,00	0,07	4,70	1,44	0,00	4,70	1,70
L28	2,30	6,90	0,70	0,40	1,00	0,90	2,03	0,40	6,90	2,26
L29	5,30	0,00	0,00	0,00	6,90	0,09	4,10	0,00	6,90	2,90
L30	1,60	0,00	0,30	0,10	8,00	3,00	2,60	0,00	8,00	2,81
L31	4,11	1,20	1,50	0,08	1,20	5,00	2,18	0,08	5,00	1,75
L32	2,00	0,70	0,20	0,10	2,10	1,60	1,12	0,10	2,10	0,82
L33	0,40	0,00	0,08	0,00	0,80	NC	0,43	0,00	0,80	0,31
	07/02/96	21/03/96	15/04/96	20/05/96	17/06/96	15/07/96	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
RJ	1,60	0,30	0,50	0,60	0,50	1,20	0,78	0,30	1,60	0,46
RM	1,10	0,20	0,50	0,30	0,50	0,60	0,53	0,20	1,10	0,29

BCK = Valor de referência; NC = Não coletado; RM = Rio montante; RJ = Rio jusante

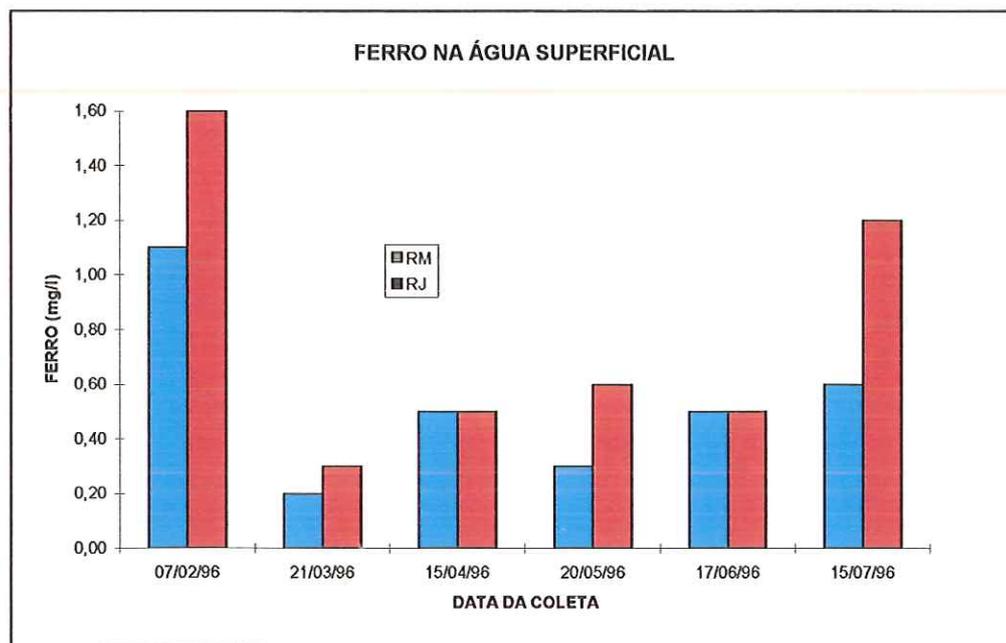


FIGURA 30 - Variação na concentração de ferro na água superficial

As amostras no ponto a jusante apresentaram valores superiores ou iguais aos encontrados no ponto a montante, demonstrando a influência do lixão na qualidade da água do Córrego São José.

5.4.4.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os valores de ferro para as amostras coletadas nos poços de amostragem encontram-se na TABELA 13.

A variação da concentração média de ferro nos poços localizados na região do 'lixão' pode ser observada na FIGURA 31. O valor de referência encontrado no ponto de controle foi de 0.1 mg/l.

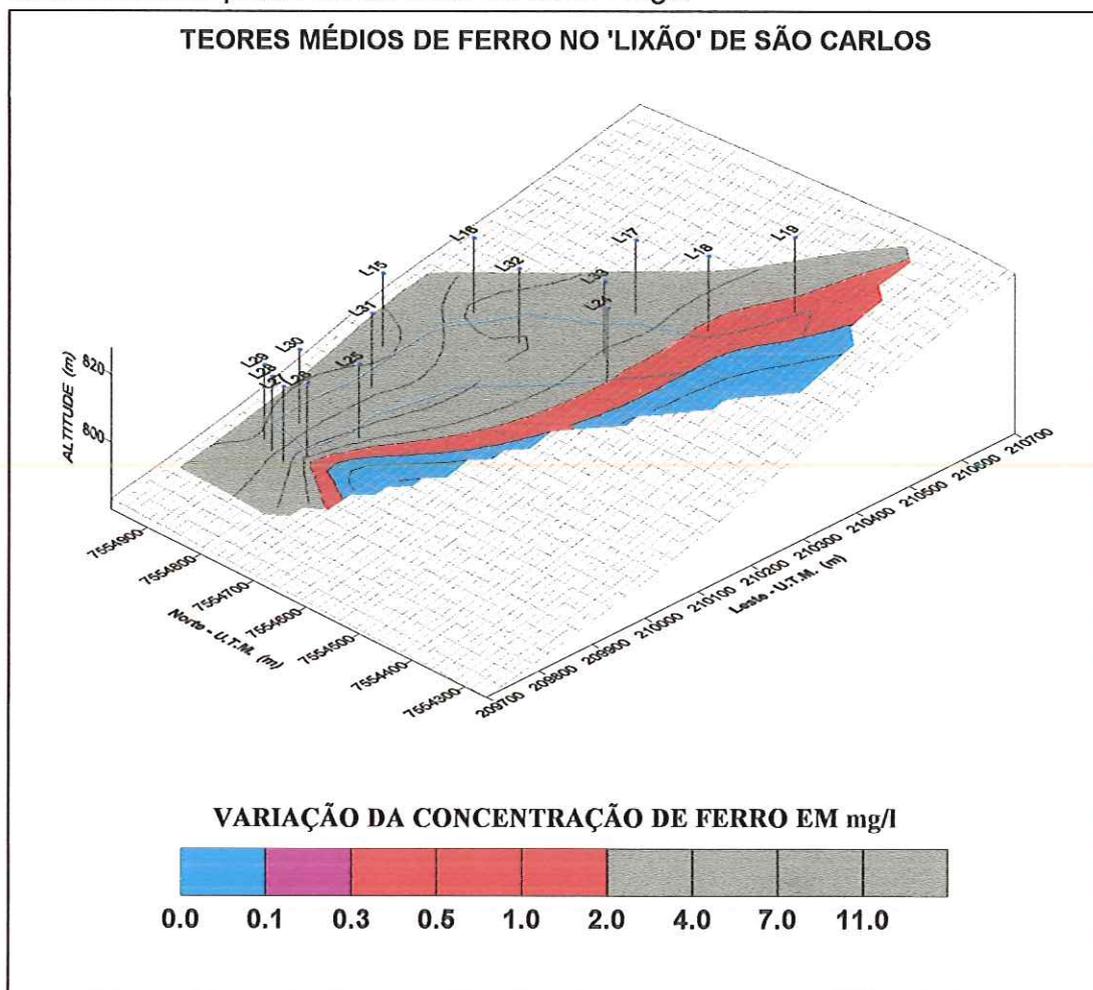


FIGURA 31 - Variação de ferro nos poços localizados no 'lixão' de São Carlos.

Os poços localizados a montante apresentaram concentrações de ferro acima do valor de referência e superiores ao padrão de potabilidade, com exceção dos poços L18 e L19 que apresentaram valores iguais ao valor de referência ou um pouco superior.

Os poços L24, L25, L26 e L27 que estão localizados a jusante, lateralmente ao 'lixão' e em menor altitude apresentaram concentrações de ferro abaixo do valor de referência, e os maiores valores foram observados no mês de fevereiro/96 nos poços L25, L26 e L27, no mês de março no poço L24 e julho no poço L27.

Os poços L28, L29, L30, L31, L32 e L33 localizados a jusante, na parte inferior e no corpo do 'lixo' apresentaram valores de ferro acima do valor de referência e superiores ao padrão de potabilidade.

FREITAS (1996) analisando o material retirado na perfuração dos poços encontrou pequenos níveis com hidróxido de ferro no poço L15.

As amostras apresentaram uma grande variação no período coletado, e a maioria dos poços apresentaram valores acima do valor de referência e acima do padrão de potabilidade que é de 0.3 mg/l, evidenciando a poluição da água subterrânea.

As maiores concentrações de ferro foram observadas na região dos poços L15, L28, L29, L30 e L31, sendo que FREITAS encontrou pequenos níveis com hidróxido de ferro no poço L15, possivelmente este ferro tem origem da lixiviação dos arenitos silicificados localizados a montante dos poços amostrados.

5.4.5 - OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD)

5.4.5.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL

Na TABELA 14 estão apresentados os valores da concentração de oxigênio dissolvido observados no Córrego São José e na FIGURA 32 podemos observar sua variação no período.

O ponto a montante do 'lixão' apresentou valor médio da concentração de OD de 5.9 mg/l e a jusante de 1.3 mg/l.

Os maiores valores de OD no ponto a jusante foram nos meses de março, abril e maio/96, e sua concentração foi nula nos meses de junho e julho/96, sendo que nestes meses foram encontradas as maiores concentrações a montante.

RIOS (1993) encontrou valor médio de oxigênio dissolvido de 8.15 mg/l a montante e 5.10 mg/l a jusante.

TEIXEIRA (1993) encontrou concentrações médias de oxigênio dissolvido de 7.6 e 1.93 mg/l para pontos localizados a montante e a jusante respectivamente.

TABELA 14 - valores de OD para as águas superficiais e subterrâneas

POÇOS	21/mar	15/abr	20/mai	17/jun	15/jul	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
BCK						7,4			
L15	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1
L16	2,1	3,0	1,0	1,7	1,2	1,8	1,0	3,0	0,7
L17	5,6	4,9	5,0	4,9	5,3	5,1	4,9	5,6	0,3
L18	0,7	1,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	1,0	0,4
L19	NC	2,5	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	2,5	1,1
L24	0,0	0,0	NC	NC	NC	0,0	0,0	0,0	0,0
L25	2,6	1,3	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	2,6	1,0
L26	1,5	1,1	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	1,5	0,6
L27	4,1	3,2	2,5	2,9	0,0	2,5	0,0	4,1	1,4
L28	4,0	3,2	2,7	3,1	3,2	3,2	2,7	4,0	0,4
L29	1,1	0,3	0,0	0,0	3,2	0,9	0,0	3,2	1,2
L30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
L31	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,7	0,3
L32	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	1,0	0,4
L33	1,5	1,7	0,0	0,0	NC	0,8	0,0	1,7	0,8
	21/03/96	15/04/96	20/05/96	17/06/96	15/07/96	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
RJ	1,9	2,8	1,7	0,0	0,0	1,3	0,0	2,8	1,1
RM	5,6	5,0	3,6	7,4	8,1	5,9	3,6	8,1	1,6

BCK = Valor de referência; NC = Não coletado; RM = Rio montante; RJ = Rio jusante

Comparando os dados com RIOS e TEIXEIRA, podemos observar uma diminuição na quantidade de oxigênio dissolvido a montante e a jusante, sendo a diminuição a jusante muito maior.

Podemos observar uma grande diminuição na concentração de OD da amostra de montante para jusante, possivelmente influenciada pelo aporte de material oxidável proveniente do 'lixão' e com isso diminuindo a quantidade de oxigênio dissolvido no Córrego São José.

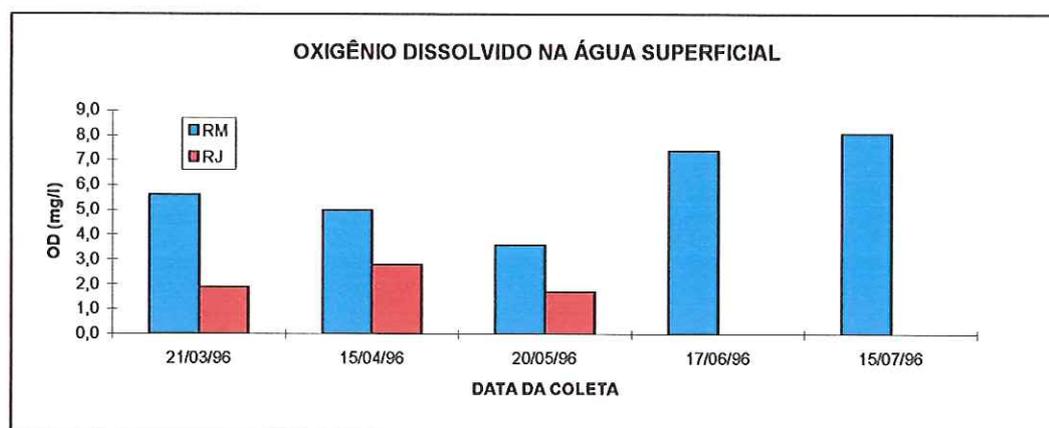


FIGURA 32 - Variação da concentração de oxigênio dissolvido na água superficial.

5.4.5.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os valores de oxigênio dissolvido para as amostras coletadas nos poços de amostragem encontram-se na TABELA 14.

O valor de referência encontrado no ponto de controle foi de 7.4 mg/l. A distribuição média da concentração de oxigênio dissolvido na água subterrânea pode ser observada na FIGURA 33.

O poço L17 foi o que apresentou a maior concentração de oxigênio dissolvido com média de 5.1 mg/l, o restante dos poços localizados a montante apresentaram baixa concentração de OD, sendo que os poços L15, L18 e L19 apresentaram concentração nula na maioria das amostras.

Os poços localizados a jusante do aterro (L24, L25 e L26), apresentaram concentrações muito baixas de OD.

Nos meses de maio, junho e julho foram encontrados as menores concentrações de oxigênio dissolvido e os menores valores de precipitação.

Os poços L27 e L28 apresentaram as maiores concentrações de oxigênio dissolvido na região localizada a jusante do aterro.

O poço L29 e os poços localizados no meio do 'lixo' (L30, L31, L32 e L33) apresentaram concentrações praticamente nulas de oxigênio dissolvido.

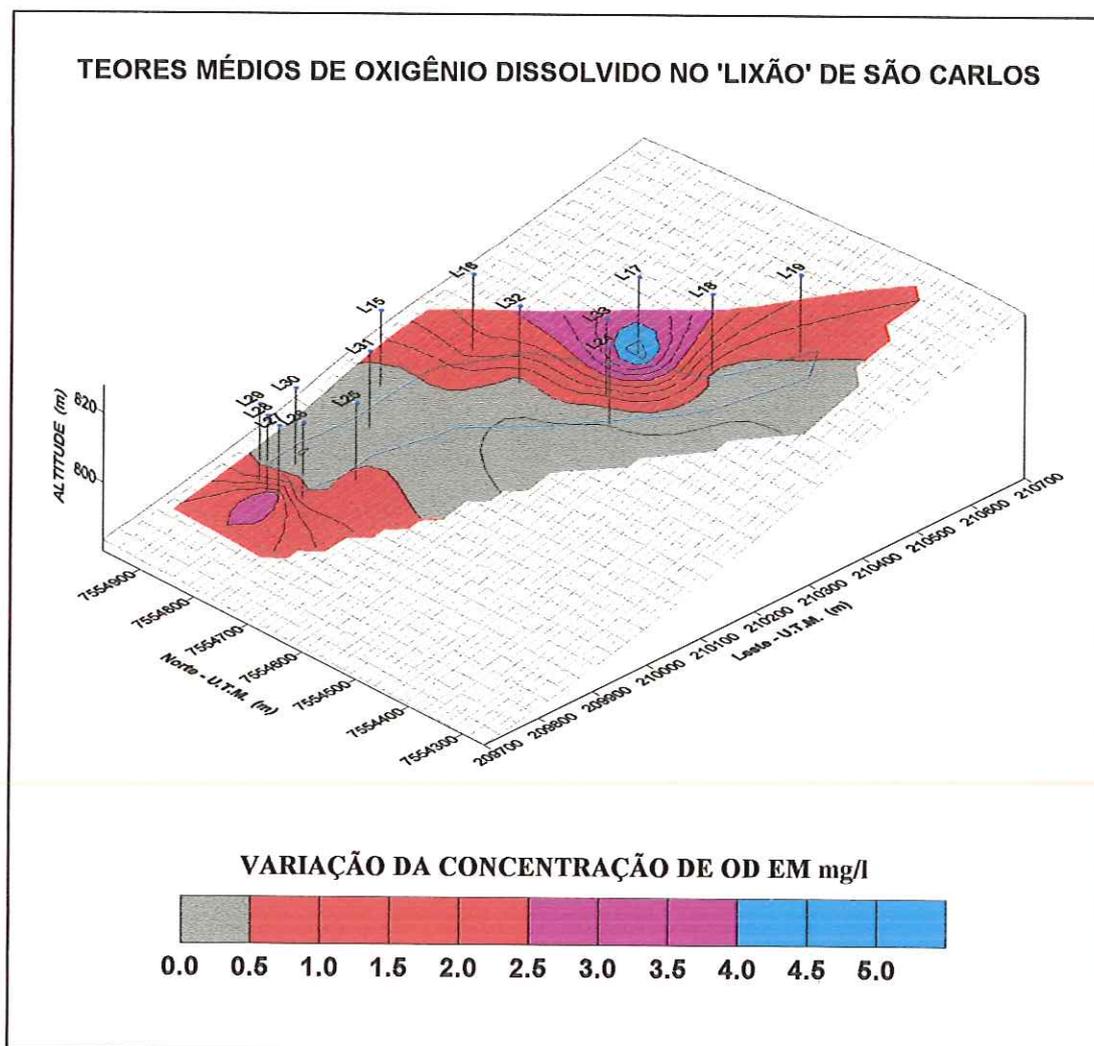


FIGURA 33 - Variação OD nos poços localizados no 'lixão' de São Carlos.

A baixa concentração de oxigênio dissolvido foi observada na maioria dos poços analisados demonstrando uma forte influência do 'lixão' nas águas subterrâneas, sendo que a baixa concentração é devida a presença de material oxidável na água. Este material oxidável, pode ser tanto matéria orgânica como também compostos mais complexos provenientes dos líquidos percolados do 'lixão'.

Podemos observar na FIGURA 33 uma região anóxica que compreende a parte central do 'lixão', onde foram depositados os resíduos mais recentes.

5.4.6 - CLORETOS

5.4.6.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL

Na TABELA 15 estão apresentados os valores da concentração de cloretos no Córrego São José e na FIGURA 34 sua variação no período.

TABELA 15 - valores de cloretos para as águas superficiais e subterrâneas

POÇOS	07/fev	21/mar	15/abr	20/mai	17/jun	15/jul	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
BCK						0,6				
L15	6,0	4,3	1,3	2,3	2,4	2,9	3,2	1,3	6,0	1,5
L16	4,0	1,1	1,6	3,4	3,2	13,3	4,4	1,1	13,3	4,1
L17	4,0	3,9	3,4	8,7	3,1	5,7	4,8	3,1	8,7	1,9
L18	NC	8,5	4,0	10,4	4,5	4,7	6,4	4,0	10,4	2,6
L19	NC	NC	4,4	7,1	5,2	4,5	5,3	4,4	7,1	1,1
L24	NC	265,0	106,0	NC	NC	NC	185,5	106,0	265,0	79,5
L25	45,0	120,0	79,0	140,0	116,0	164,0	110,7	45,0	164,0	39,0
L26	47,0	115,0	56,0	53,0	42,0	56,0	61,5	42,0	115,0	24,4
L27	4,0	0,8	1,6	1,0	0,5	3,7	1,9	0,5	4,0	1,4
L28	9,0	4,5	7,0	4,4	3,1	5,2	5,5	3,1	9,0	1,9
L29	11,0	0,9	3,9	3,3	6,4	1,1	4,4	0,9	11,0	3,5
L30	16,0	7,1	4,9	3,0	1,3	1,8	5,7	1,3	16,0	5,0
L31	15,0	20,6	5,6	13,9	6,9	10,0	12,0	5,6	20,6	5,1
L32	23,0	21,1	24,5	35,0	20,0	33,0	26,1	20,0	35,0	5,8
L33	14,0	17,1	14,9	14,1	8,0	NC	13,6	8,0	17,1	3,0
	07/02/96	21/03/96	15/04/96	20/05/96	17/06/96	15/07/96	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
RJ	20,0	7,6	3,5	10,3	5,5	5,9	8,8	3,5	20,0	5,4
RM	3,0	1,5	1,8	1,1	0,3	0,7	1,4	0,3	3,0	0,9

BCK = Valor de referência; NC = Não coletado; RM = Rio montante; RJ = Rio jusante

A concentração média a montante foi de 1.4 mg/l e desvio padrão de 0.9 e concentração média a jusante de 8.8 mg/l e desvio padrão de 5.4. A concentração de cloreto sempre apresentou-se maior no ponto a jusante do que a montante, evidenciando uma forte influência do 'lixão' nas águas do Córrego São José.

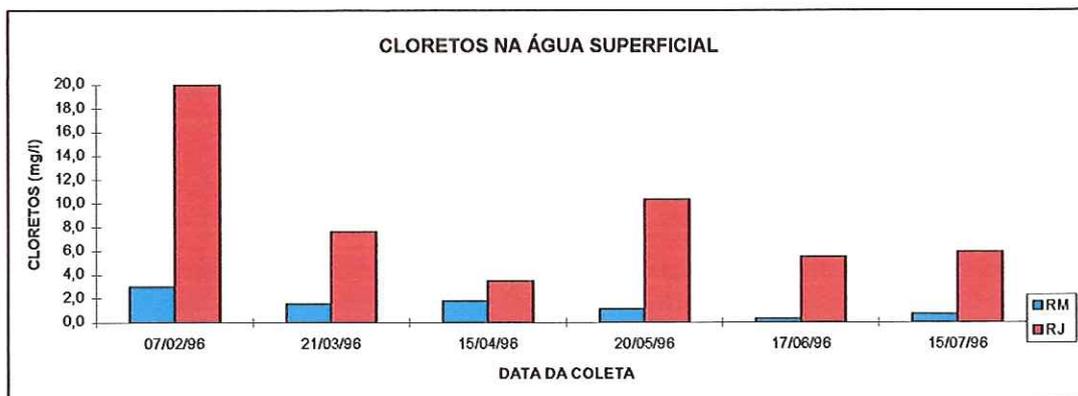


FIGURA 34 - Variação da concentração de cloretos na água superficial.

5.4.6.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os valores de cloreto para as amostras coletadas nos poços de amostragem encontram-se na TABELA 15.

A distribuição média da concentração de cloreto na água subterrânea pode ser observada na FIGURA 35.

A valor de referência de cloreto encontrada no ponto de controle foi de 0,6 mg/l. As amostras nos poços apresentaram valores acima da referência.

Os poços localizados a montante do 'lixão' (L15 - L19) apresentaram baixos valores de cloreto, mas a sua concentração evidencia influência do 'lixão'. Os poços L24, L25 e L26 localizados a jusante e lateralmente ao 'lixão' apresentaram as maiores concentrações e o poço L24 foi o que apresentou as maiores concentrações de cloretos e em março/96 apresentou concentração acima do padrão de potabilidade.

Os poços L27, L28 e L29 apresentaram concentrações baixas de cloretos. Os poços L30, L31, L32 e L33 localizados no meio do 'lixão' apresentaram concentrações menores do que os poços L24, L25 e L26, provavelmente pelo fato do ânion cloreto apresentar alta mobilidade e com isso acompanhando o sentido do fluxo da água subterrânea.

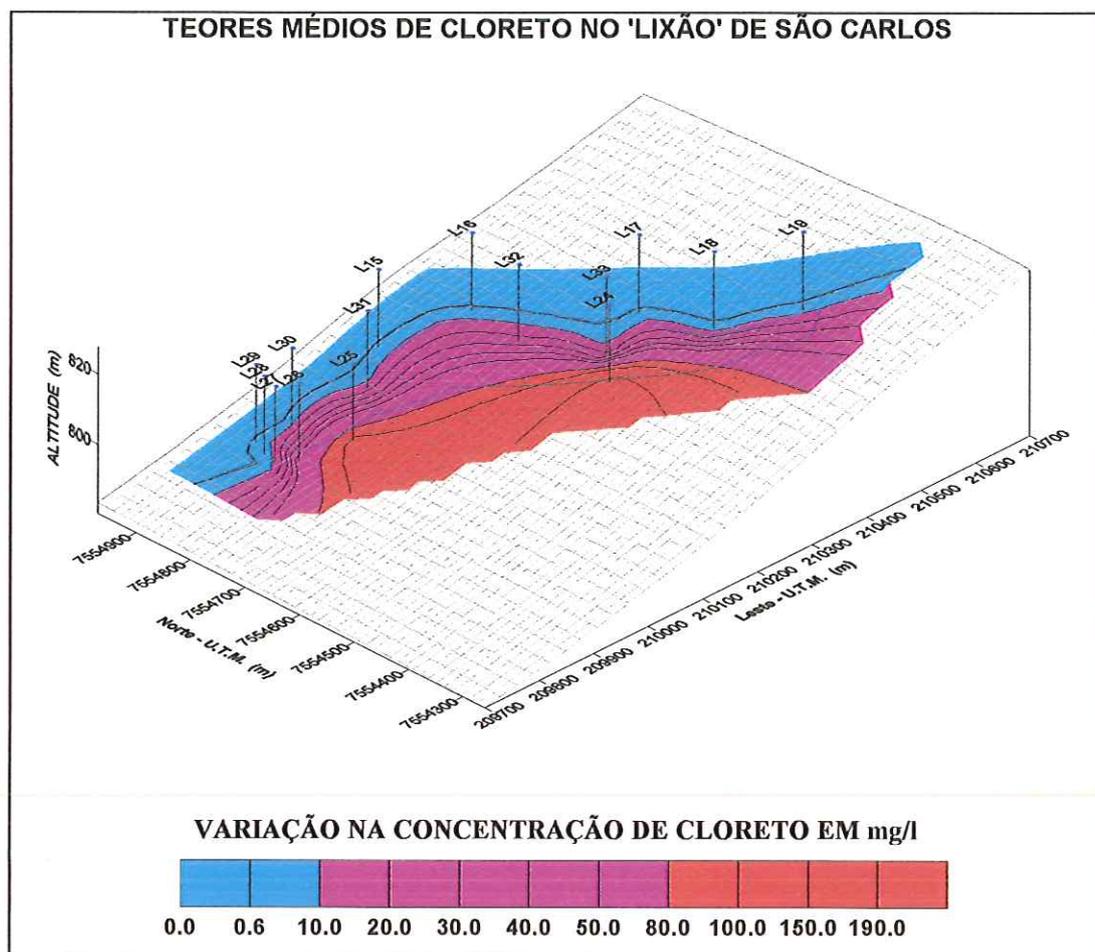


FIGURA 35 - Variação de cloreto nos poços localizados no 'lixão' de São Carlos.

PFEIFFER (1993) analisou 12 poços no aquífero Botucatu na região de São Carlos e observou a presença de cloretos em apenas 3 amostras com concentrações entre 1.40 e 2.81 mg/l.

Comparando os dados com os encontrados por PFEIFFER (1993) e com valor de referência, podemos observar que a concentração de cloreto encontrada nos poços de amostragem no 'lixão' de São Carlos apresentaram valores maiores do que os encontrados por PFEIFFER devido a poluição provocada pelo 'lixão'.

5.4.7 - NITRATO

5.4.7.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL

Os valores encontrados estão na TABELA 16 e a sua variação no tempo pode ser observada na FIGURA 36.

Os valores médios encontrados no Córrego São José foram de 0.6 mg/l a montante e 0.9 mg/l a jusante. A presença de nitratos indica que a matéria orgânica foi totalmente oxidada.

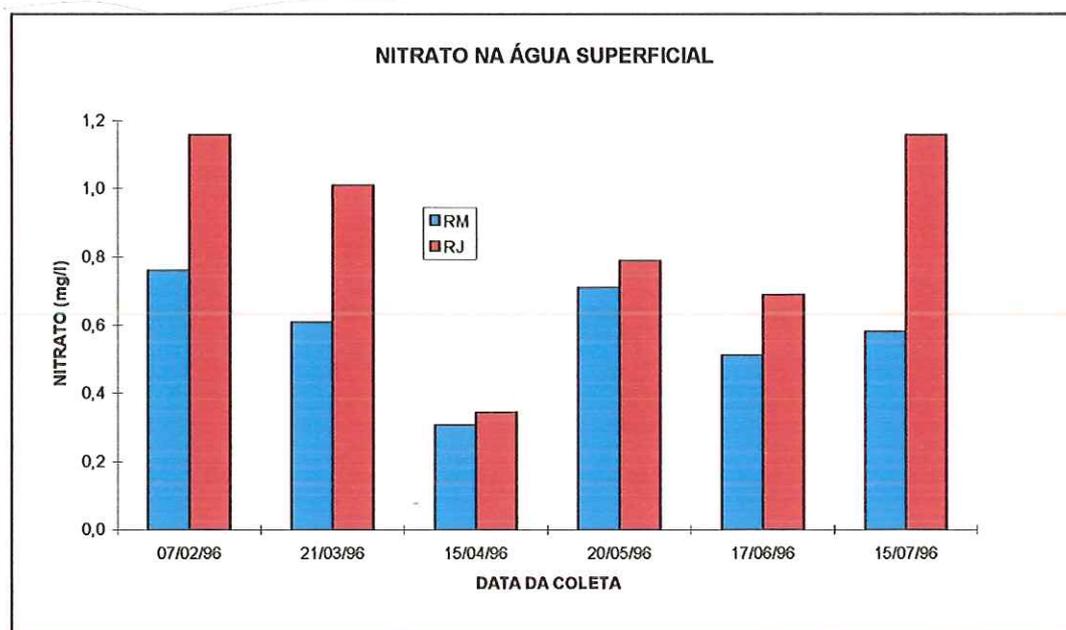


FIGURA 36 - Variação da concentração de nitrato na água superficial.

RIOS (1993) encontrou valores médios de concentração de nitrato de 0.14 mg/l a montante e 0.39 mg/l a jusante.

Comparando os resultados com RIOS podemos observar um aumento na concentração de nitrato tanto a jusante como a montante.

TABELA 16 - valores de nitrato para as águas superficiais e subterrâneas

POÇOS	07/fev	21/mar	15/abr	20/mai	17/jun	15/jul	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
BCK						0,7				
L15	0,3	0,4	0,4	0,7	0,4	0,2	0,4	0,2	0,7	0,1
L16	1,0	0,9	0,9	1,0	0,8	0,7	0,9	0,7	1,0	0,1
L17	1,5	1,2	1,0	2,8	1,0	1,1	1,4	1,0	2,8	0,6
L18	NC	0,4	0,2	0,5	0,6	0,3	0,4	0,2	0,6	0,1
L19	NC	NC	3,6	3,4	2,7	3,5	3,3	2,7	3,6	0,3
L24	NC	13,8	10,3	NC	NC	NC	12,1	10,3	13,8	1,8
L25	9,2	3,9	1,4	1,7	2,4	2,6	3,5	1,4	9,2	2,6
L26	8,4	7,4	7,4	7,9	6,9	7,1	7,5	6,9	8,4	0,5
L27	1,3	1,0	0,9	1,2	1,0	0,2	0,9	0,2	1,3	0,4
L28	4,1	1,1	1,1	1,2	1,0	1,1	1,6	1,0	4,1	1,1
L29	0,6	0,5	0,4	0,6	0,5	0,8	0,6	0,4	0,8	0,1
L30	1,0	1,1	0,6	0,6	0,6	0,3	0,7	0,3	1,1	0,3
L31	3,7	1,6	1,4	0,8	0,6	0,8	1,5	0,6	3,7	1,1
L32	1,2	1,2	0,9	1,3	1,0	1,0	1,1	0,9	1,3	0,2
L33	1,7	0,9	1,2	1,1	0,7	NC	1,1	0,7	1,7	0,3
	07/02/96	21/03/96	15/04/96	20/05/96	17/06/96	15/07/96	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
RJ	1,2	1,0	0,3	0,8	0,7	1,2	0,9	0,3	1,2	0,3
RM	0,8	0,6	0,3	0,7	0,5	0,6	0,6	0,3	0,8	0,1

BCK = Valor de referência; NC = Não coletado; RM = Rio montante; RJ = Rio jusante

5.4.7.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os valores de nitrato para as amostras coletadas nos poços de amostragem encontram-se na TABELA 16.

Segundo CETESB (1977) os teores naturais de nitrato encontrados nas águas subterrâneas do Estado de São Paulo não ultrapassam 2.5 mg/l e a partir desse teor, pode-se supor início de contaminação.

A valor de referência de nitrato encontrada no ponto de controle foi de 0.7 mg/l, e a variação média da concentração de nitrato nos poços localizados no 'lixão' de São Carlos pode ser observado na FIGURA 37.

Os poços a montante do 'lixão' apresentaram valores baixos de nitrato, com exceção do poço L19 que apresentou valor médio de 3.3 mg/l, provavelmente pela quantidade de sólidos totais presentes nas amostras.

Os poços localizados lateralmente e a jusante do 'lixão' (L24, L25 e L26) apresentaram as maiores concentrações de nitrato e o poço L24

apresentou os maiores valores estando sempre acima do padrão de potabilidade que é de 10 mg/l.

Tanto os poços localizados na base do 'lixão' como os localizados no meio do 'lixão' (L27, L28, L29, L30, L31, L32 e L33) apresentaram concentrações de nitrato acima do valor de referência, mas os valores são menores do que os encontrados nos poços L24, L25 e L26, provavelmente pelo fato de que a pluma de contaminantes está acompanhando o sentido do fluxo SW, como pode ser observado na FIGURA 37.

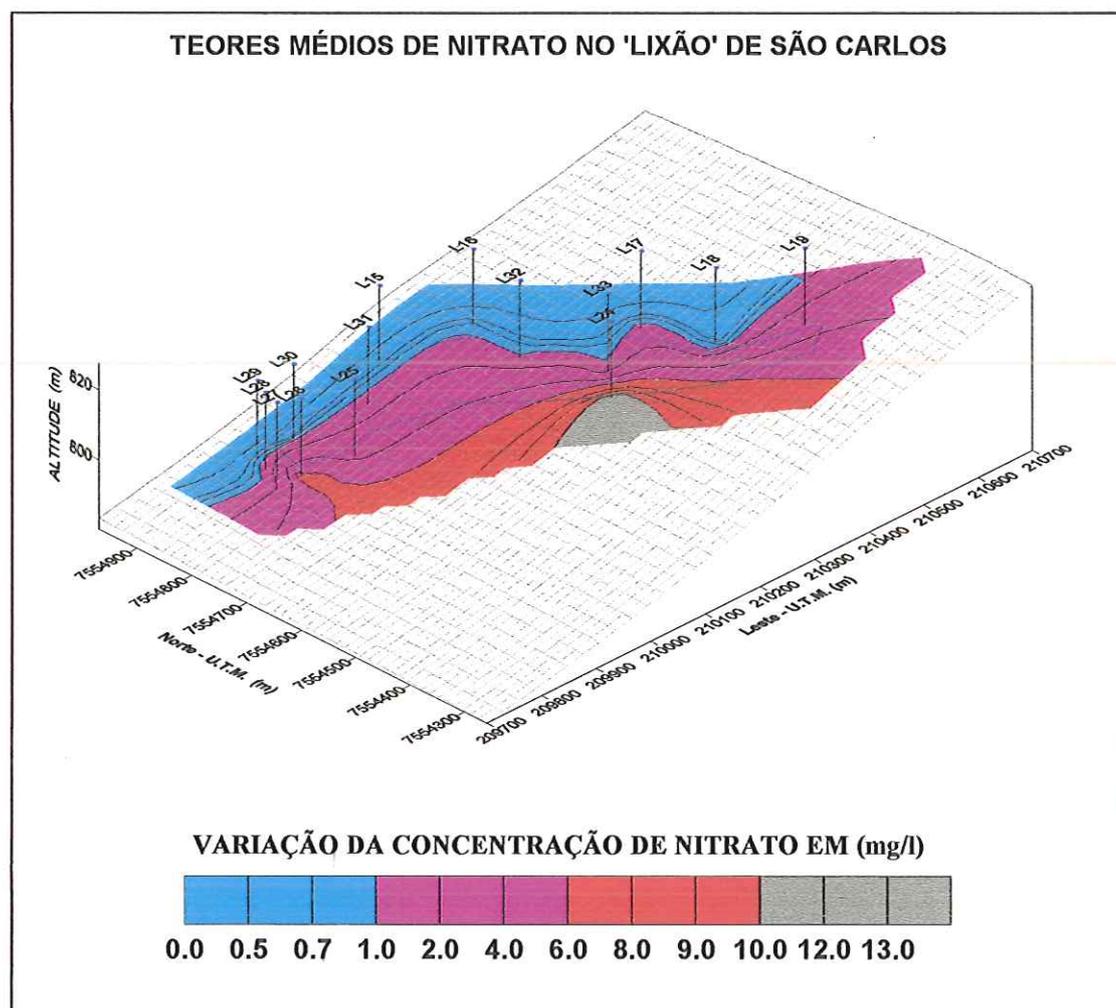


FIGURA 37 - Variação de nitrato nos poços localizados no 'lixão' de São Carlos.

PFEIFFER (1993) verificou que com exceção de dois poços que apresentaram concentrações iguais a 4.35 e 4.47 mg/l as concentrações situaram-se entre 0.03 e 0.84 mg/l de nitrato.

Comparando os resultados com CETESB (1977) e PFEIFFER (1993) podemos observar uma maior contaminação na região dos poços L24, L25 e L26, lateralmente a região onde foram depositados os resíduos mais recentes.

5.4.8 - MANGANÊS

5.4.8.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL

Os valores encontrados no Córrego São José estão apresentados na TABELA 17 e sua variação no período pode ser observada na FIGURA 38.

Os valores médios de concentração de manganês a montante do 'lixão' foi de 0.07 mg/l e a jusante de 0.14 mg/l, sendo a concentração média a jusante o dobro da encontrada a montante.

A concentração de manganês a jusante (RJ) se apresentou mais alta nos meses de fevereiro e março/96, sua presença não foi detectada nos meses de abril, maio e junho de 1996.

A concentração de manganês a montante (RM) se apresentou mais alta nos meses de fevereiro e abril e sua presença não foi detectada nos meses de março e maio de 1996.

MENEZES (1994) entre o período de agosto/93 a fevereiro/94 encontrou concentrações médias de manganês a montante de 0.10 mg/l e 0.02 mg/l a jusante.

Comparando os resultados com MENEZES podemos observar um aumento da concentração de manganês a jusante do 'lixão', provavelmente relacionado com a precipitação ocorrida no período jan./fev./96 que foi bem maior do que a precipitação encontrada por MENEZES.

TABELA 17 - valores de manganês para as águas superficiais e subterrâneas

POÇOS	07/fev	21/mar	15/abr	20/mai	17/jun	15/jul	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
BCK						ND				
L15	0,40	0,30	0,04	0,20	0,20	0,10	0,21	0,04	0,40	0,12
L16	0,10	0,03	0,40	ND	0,02	0,03	0,12	ND	0,40	0,14
L17	0,10	0,05	0,10	0,05	0,40	0,04	0,12	0,04	0,40	0,13
L18	NC	0,10	0,02	0,10	0,10	0,10	0,08	0,02	0,10	0,03
L19	NC	NC	ND	ND	0,03	0,05	0,04	ND	0,05	0,01
L24	NC	0,10	ND	NC	NC	NC	0,10	ND	0,10	0,00
L25	0,10	0,10	0,10	0,30	0,20	0,40	0,20	0,10	0,40	0,12
L26	0,20	ND	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00
L27	0,03	0,03	ND	ND	ND	ND	0,03	ND	0,03	0,00
L28	0,05	0,05	0,02	ND	ND	ND	0,04	ND	0,05	0,01
L29	1,90	1,60	1,90	2,10	1,90	2,00	1,90	1,60	2,10	0,15
L30	0,40	ND	0,50	0,40	0,40	0,40	0,42	ND	0,50	0,04
L31	0,20	ND	ND	0,20	0,10	0,10	0,15	ND	0,20	0,05
L32	0,07	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,07	0,10	0,01
L33	0,10	ND	0,20	0,04	0,06	NC	0,10	ND	0,20	0,06
	07/02/96	21/03/96	15/04/96	20/05/96	17/06/96	15/07/96	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
RJ	0,20	0,20	ND	ND	ND	0,03	0,14	ND	0,20	0,08
RM	0,08	ND	0,10	ND	0,05	0,04	0,07	ND	0,10	0,02

BCK = Valor de referência; ND = Não detectado; NC = Não coletado; RM = Rio montante; RJ = Rio jusante

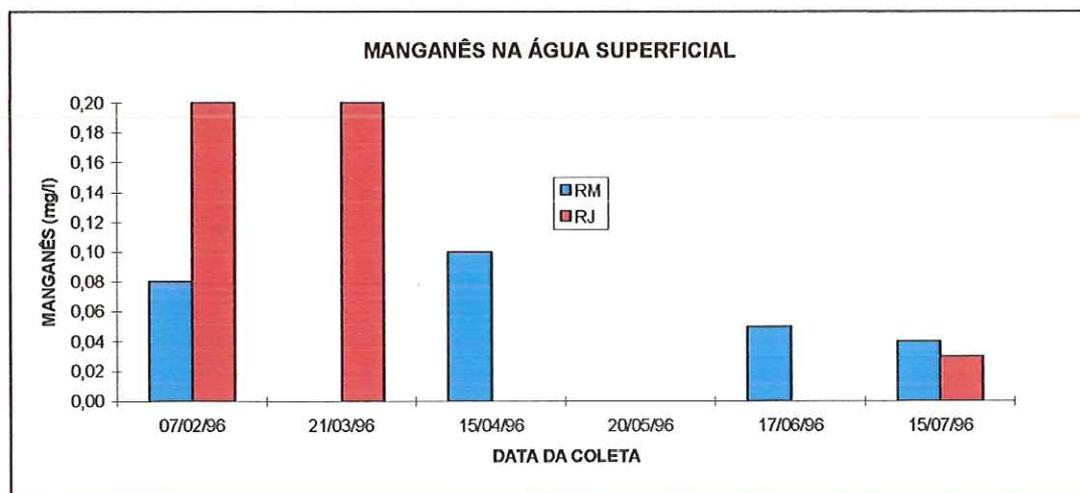


FIGURA 38 - Variação da concentração de manganês na água superficial.

5.4.8.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os valores de manganês para as amostras coletadas nos poços de amostragem encontram-se na TABELA 17.

O valor de referência encontrado no ponto de controle apresentou concentração de manganês menor que o limite de detecção que é de 0.025 mg/l.

A variação média da concentração de manganês nos poços localizados no 'lixão' de São Carlos pode ser observado na FIGURA 39.

A região onde foram encontradas as maiores concentrações de manganês é a região onde foram encontrados os menores valores de pH, sendo que com estes baixos valores de pH aumenta a mobilidade deste metal.

Os poços L15, L29 e L30 foram os poços que apresentaram as maiores concentrações de manganês.

Como podemos observar na FIGURA 39 a pluma de manganês caminha da parte lateral a montante para a parte inferior do 'lixão'.

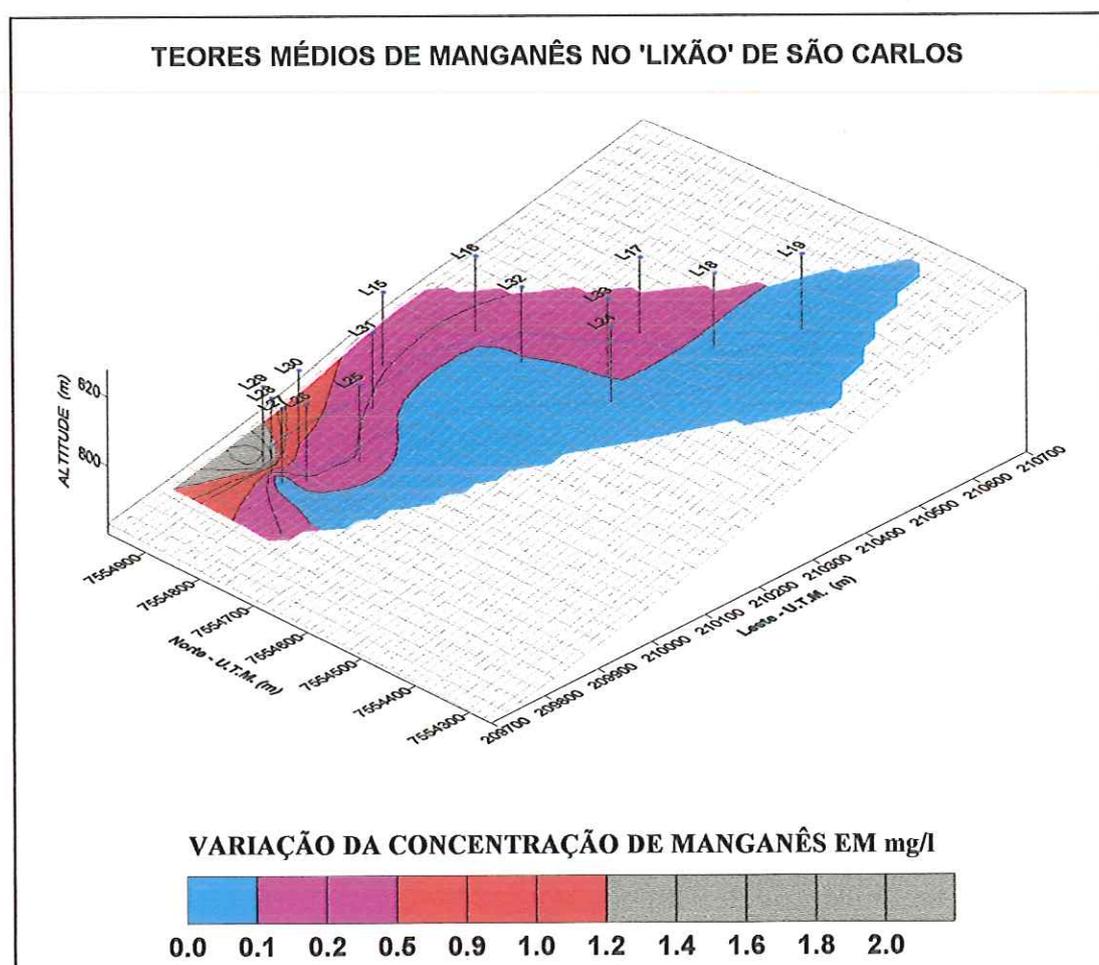


FIGURA 39 - Variação de manganês nos poços localizados no 'lixão' de São Carlos.

A região onde foram encontradas as menores concentrações de manganês é a região onde foram encontrados os maiores valores de pH.

PFEIFFER (1993) analisou a água do Aquífero Botucatu na região de São Carlos e concluiu que o manganês esteve praticamente ausente nas amostras com concentrações entre < 0.001 e 0.007 mg/l.

5.4.9 - MAGNÉSIO

5.4.9.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL

Os valores da concentração de magnésio no Córrego São José estão na TABELA 18 e sua variação no período pode ser observada na FIGURA 40.

TABELA 18 - valores de magnésio para as águas superficiais e subterrâneas

POÇOS	07/fev	21/mar	15/abr	20/mai	17/jun	15/jul	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
BCK						2,50				
L15	1,00	1,00	1,00	0,60	0,50	0,60	0,78	0,50	1,00	0,22
L16	2,50	2,20	2,50	2,30	2,20	2,60	2,38	2,20	2,60	0,16
L17	1,00	0,90	0,90	0,70	0,80	0,90	0,87	0,70	1,00	0,09
L18	NC	9,80	9,10	8,10	8,00	8,70	8,74	8,00	9,80	0,67
L19	NC	NC	6,60	6,10	5,90	7,20	6,45	5,90	7,20	0,50
L24	NC	13,90	13,20	NC	NC	NC	13,55	13,20	13,90	0,35
L25	6,70	4,70	5,80	6,50	7,40	8,30	6,57	4,70	8,30	1,14
L26	10,00	8,90	8,90	9,20	9,30	9,90	9,37	8,90	10,00	0,44
L27	2,40	2,10	2,40	2,20	2,20	1,20	2,08	1,20	2,40	0,41
L28	2,50	2,50	2,40	2,00	2,10	2,20	2,28	2,00	2,50	0,20
L29	2,00	1,40	1,40	1,10	1,00	2,30	1,53	1,00	2,30	0,47
L30	4,20	3,20	2,90	2,80	2,60	2,70	3,07	2,60	4,20	0,54
L31	2,20	1,60	1,80	1,50	1,40	1,70	1,70	1,40	2,20	0,26
L32	1,70	2,80	3,40	3,90	3,50	2,80	3,02	1,70	3,90	0,71
L33	6,00	6,20	6,80	6,30	6,00	NC	6,26	6,00	6,80	0,29
	07/02/96	21/03/96	15/04/96	20/05/96	17/06/96	15/07/96	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
RJ	2,00	1,80	1,90	1,80	2,60	2,20	2,05	1,80	2,60	0,28
RM	1,60	1,50	1,50	1,30	1,30	1,50	1,45	1,30	1,60	0,11

BCK = Valor de referência; NC = Não coletado; RM = Rio montante; RJ = Rio jusante

O ponto de amostragem a montante (RM) apresentou concentração média de magnésio de 1.45 mg/l e 2.05 mg/l no ponto de amostragem a jusante (RJ).

A concentração de magnésio no Córrego São José, apresentou pouca variação no período e a concentração no ponto a jusante do 'lixão' esteve sempre acima do ponto de montante, demonstrando uma interferência do 'lixão' nas águas do Córrego São José.

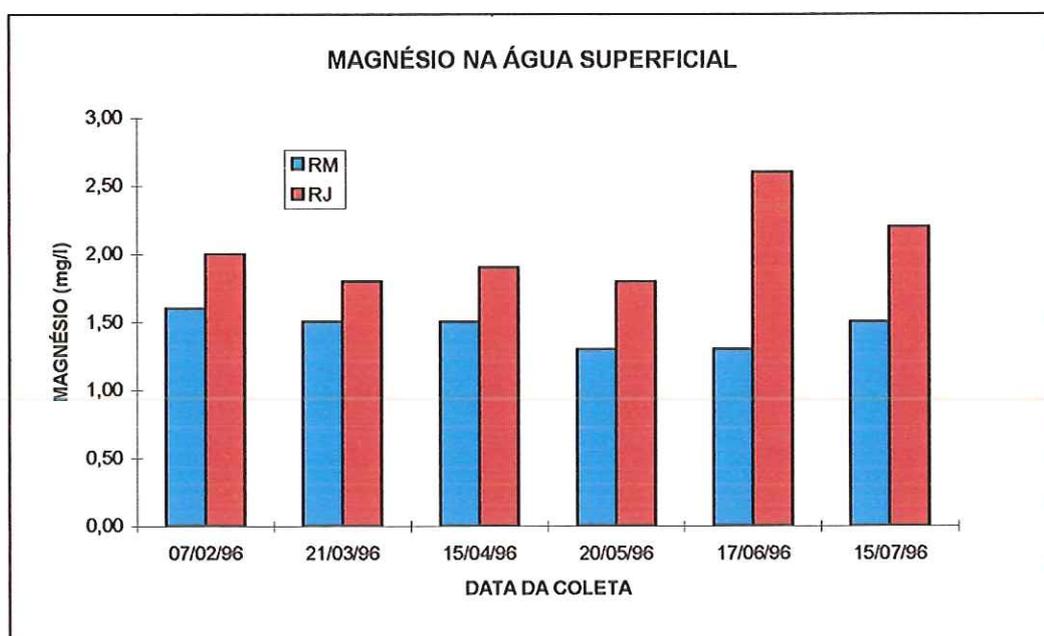


FIGURA 40 - Variação da concentração de magnésio na água superficial.

5.4.9.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os valores de magnésio para as amostras coletadas nos poços de amostragem encontram-se na TABELA 18.

A variação média da concentração de magnésio nos poços localizados no 'lixão' de São Carlos pode ser observado na FIGURA 41.

Os poços de amostragem não apresentaram grande variação na concentração de magnésio no período de fev. - Julho/96. O valor de referência encontrado no ponto de controle apresentou concentração de magnésio igual a 2.5 mg/l.



Os poços L15, L16, L17, L27, L28, L29 e L31 apresentaram concentrações de magnésio inferiores ao valor de referência, e estes poços estão localizados lateralmente ao 'lixão' e o poço L31 encontra-se no corpo do 'lixo'.

Os poços L18, L19, L24, L25 e L26 apresentaram os valores mais altos, sendo o poço L24 o que apresentou as maiores concentrações.

Os poços localizados no corpo do 'lixo' L30, L32 e L33 apresentaram concentrações de magnésio superiores ao valor de referência.

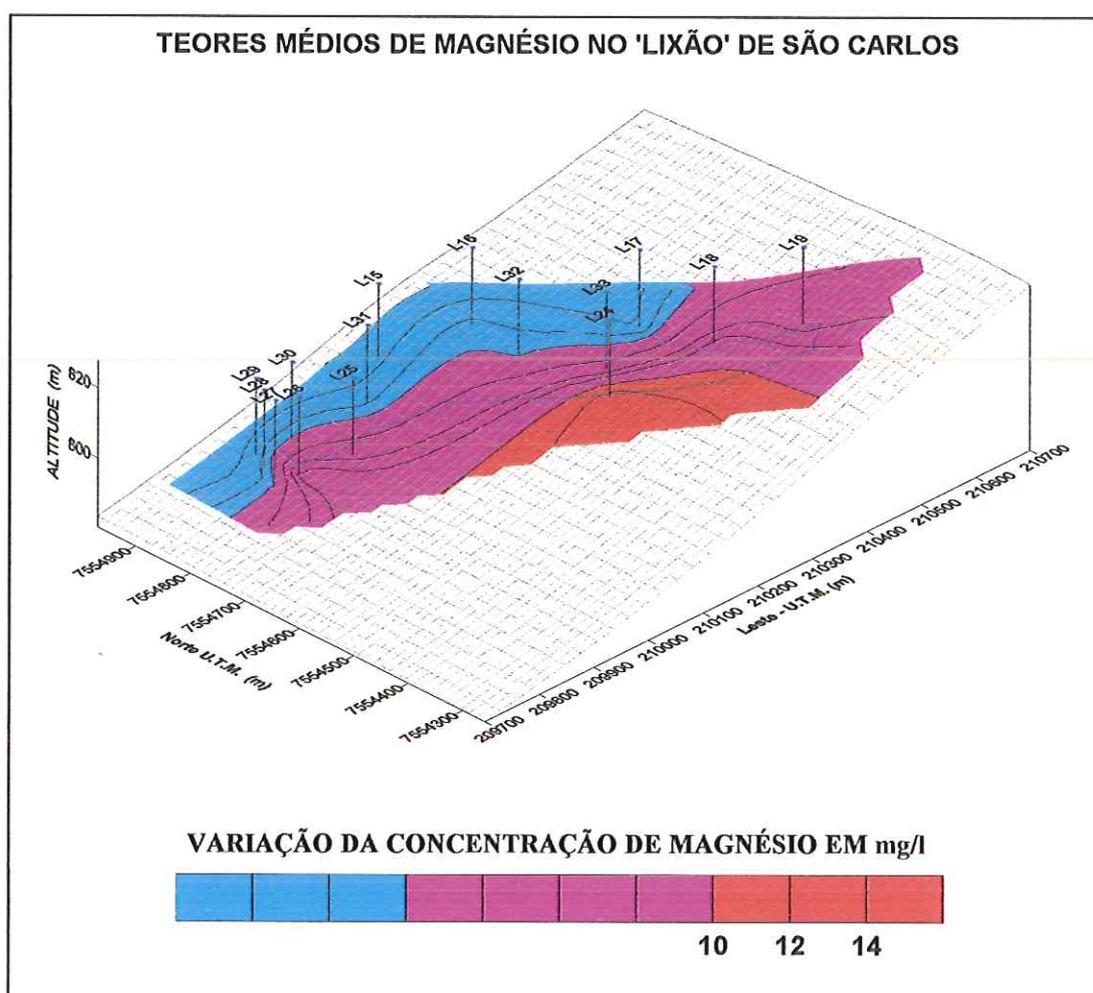


FIGURA 41 - Variação de magnésio nos poços localizados no 'lixão' de São Carlos.

PFEIFFER (1993) encontrou concentrações de magnésio entre 0.05 e 3.4 mg/l na água subterrânea na região de São Carlos.

Segundo CETESB (1977) o Botucatu apresenta valores de magnésio situados entre 0 e 10 mg/l.

Comparando os dados com PFEIFFER (1993) e CETESB (1977) podemos observar a interferência do 'lixão' na concentração de magnésio na água subterrânea. A região que sofre maior influência do 'lixão' é a região SW, acompanhando o sentido do fluxo da água subterrânea.

5.4.10 - SÓLIDOS

5.4.10.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL

As concentrações de Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (STF) e Sólidos Totais Voláteis (STV) encontrados no Córrego São José estão apresentados nas TABELAS 19, 20 e 21.

A montante as amostras apresentaram os seguintes valores para as concentrações médias: ST = 75 mg/l; STF = 33 mg/l e STV = 42 mg/l. A jusante os respectivos valores foram: ST = 58 mg/l; STF = 23 mg/l e STV = 35 mg/l.

As amostras a montante apresentaram concentrações de sólidos superior que a jusante nos meses de fev. / mar. / maio / julho de 1996. A diminuição na concentração de sólidos do ponto a montante para jusante é provavelmente causada pela passagem do Córrego por um brejo existente entre os pontos de coleta.

A maioria das amostras apresentou concentrações de STV maior que a de STF, demonstrando que a maior parte destes sólidos presentes nas amostras é de origem orgânica.

TABELA 19 - valores de ST para as águas superficiais e subterrâneas

POÇOS	07/fev	21/mar	15/abr	20/mai	17/jun	15/jul	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
BCK							150			
L15	1670	2156	1290	2750	3538	2296	2283	1290	3538	727
L16	452	144	318	434	680	334	394	144	680	163
L17	156	120	192	492	262	268	248	120	492	121
L18	NC	10502	5798	6698	4602	4650	6450	4602	10502	2171
L19	NC	NC	24548	23002	15088	8900	17885	8900	24548	6307
L24	NC	828	698	NC	NC	NC	763	698	828	65
L25	498	356	338	506	532	766	499	338	766	141
L26	606	486	416	100	424	254	381	100	606	163
L27	230	174	56	72	56	182	128	56	230	69
L28	732	554	280	162	268	244	373	162	732	201
L29	254	178	180	232	208	34	174	34	254	71
L30	252	358	304	1872	696	634	686	252	1872	555
L31	470	1106	600	442	630	800	675	442	1106	226
L32	188	138	176	320	178	152	192	138	320	60
L33	220	286	204	460	242	NC	282	204	460	93
	07/02/96	21/03/96	15/04/96	20/05/96	17/06/96	15/07/96	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
RJ	66	82	50	42	96	12	58	12	96	27
RM	80	172	42	78	26	52	75	26	172	47

BCK = Valor de referência; NC = Não coletado; RM = Rio montante; RJ = Rio jusante

TABELA 20 - valores de STF para as águas superficiais e subterrâneas

POÇOS	07/fev	21/mar	15/abr	20/mai	17/jun	15/jul	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
BCK							76			
L15	1426	1600	1138	2448	3200	1824	1939	1138	3200	693
L16	340	16	258	354	564	272	301	16	564	162
L17	62	102	160	442	6	218	165	6	442	141
L18	NC	9138	5150	5796	4058	3962	5621	3962	9138	1888
L19	NC	NC	22164	20472	13370	7968	15994	7968	22164	5688
L24	NC	518	514	NC	NC	NC	516	514	518	2
L25	154	30	216	360	346	202	218	30	360	113
L26	300	14	246	60	298	158	179	14	300	112
L27	170	34	46	52	10	142	76	10	170	59
L28	476	402	210	154	252	32	254	32	476	149
L29	154	94	120	162	186	20	123	20	186	55
L30	70	256	144	1606	564	528	528	70	1606	516
L31	388	386	200	324	580	682	427	200	682	160
L32	94	30	140	200	44	86	99	30	200	58
L33	92	164	158	336	8	NC	152	8	336	108
	07/02/96	21/03/96	15/04/96	20/05/96	17/06/96	15/07/96	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
RJ	28	18	30	36	24	4	23	4	36	10
RM	20	80	34	38	18	8	33	8	80	23

BCK = Valor de referência; NC = Não coletado; RM = Rio montante; RJ = Rio jusante

TABELA 21 - valores de STV para as águas superficiais e subterrâneas

POÇOS	07/fev	21/mar	15/abr	20/mai	17/jun	15/jul	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
BCK							74			
L15	244	556	152	302	338	472	344	152	556	135
L16	112	128	60	80	116	62	93	60	128	27
L17	94	18	32	50	256	50	83	18	256	81
L18	NC	1364	648	902	544	688	829	544	1364	292
L19	NC	NC	2384	2530	1718	932	1891	932	2530	633
L24	NC	310	184	NC	NC	NC	247	184	310	63
L25	344	326	122	146	186	564	281	122	564	152
L26	306	472	170	40	126	96	202	40	472	146
L27	60	140	10	20	46	40	53	10	140	42
L28	256	152	70	8	16	212	119	8	256	95
L29	100	84	60	70	22	14	52	14	100	31
L30	182	102	160	266	132	106	158	102	266	56
L31	82	720	400	118	50	118	248	50	720	240
L32	94	108	36	120	134	66	93	36	134	33
L33	128	122	46	124	234	NC	131	46	234	60
	07/02/96	21/03/96	15/04/96	20/05/96	17/06/96	15/07/96	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
RJ	38	64	20	6	72	8	35	6	72	26
RM	60	92	8	40	8	44	42	8	92	29

BCK = Valor de referência; NC = Não coletado; RM = Rio montante; RJ = Rio jusante

5.4.10.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os valores de ST, STF e STV para as amostras coletadas nos poços de amostragem encontram-se na TABELA 19, 20 e 21 respectivamente.

Os valores de referência de sólidos encontrados no ponto de controle foi de ST = 150 mg/l, STF = 76 mg/l e STV = 74 mg/l.

A variação média da concentração de sólidos totais nos poços localizados no 'lixão' de São Carlos pode ser observada na FIGURA 42.

Os poços L15, L18 e L19 apresentaram valores muito acima dos encontrados nos outros poços e concentração de STF muito maior que a concentração de STV, indicando uma grande quantidade de material inerte, possivelmente pelo fato destes poços não terem sido bem desenvolvidos, deixando passar este material pelo pré-filtro e pelo filtro.

Dos poços localizados no corpo do 'lixo' os que apresentaram as maiores concentrações foram os poços L30 e L31 que estão localizados na

'lixão' na água subterrânea, sendo que a maioria das amostras a parcela de STF foi sempre maior que a de STV.

5.4.11 - DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)

5.4.11.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL

Os valores encontrados no Córrego São José a montante e a jusante do 'lixão' da cidade de São Carlos estão apresentados na TABELA 22 e a variação no período pode ser observada na FIGURA 43.

As amostras a jusante apresentaram concentrações maiores nos meses mais chuvosos e diminuindo no período mais seco.

TABELA 22 - valores de DQO para as águas superficiais e subterrâneas

POÇOS	07/fev	21/mar	15/abr	20/mai	17/jun	15/jul	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
BCK							22,6			
L15	110,0	109,6	85,8	91,1	6,4	14,3	69,5	6,4	110,0	42,8
L16	48,0	16,9	75,2	54,1	22,3	17,0	38,9	16,9	75,2	21,9
L17	70,0	35,5	64,6	3,7	6,4	11,7	32,0	3,7	70,0	27,0
L18	NC	37,0	70,3	29,3	27,6	6,4	34,1	6,4	70,3	20,7
L19	NC	NC	63,2	27,5	6,4	1,1	24,5	1,1	63,2	24,4
L24	NC	212,9	242,1	NC	NC	NC	227,5	212,9	242,1	14,6
L25	59,0	43,4	38,2	46,1	46,1	48,8	46,9	38,2	59,0	6,3
L26	63,0	46,1	27,6	6,4	19,6	17,0	29,9	6,4	63,0	19,1
L27	56,0	24,9	30,2	30,2	14,3	3,7	26,6	3,7	56,0	16,2
L28	102,0	46,1	46,1	1,1	14,3	17,0	37,8	1,1	102,0	33,1
L29	29,0	19,6	30,2	43,5	30,2	11,7	27,4	11,7	43,5	9,9
L30	47,0	40,8	72,6	75,2	24,9	24,9	47,6	24,9	75,2	20,3
L31	31,0	83,2	112,3	38,2	51,4	11,7	54,6	11,7	112,3	33,7
L32	53,0	122,9	75,2	17,0	109,7	24,9	67,1	17,0	122,9	39,8
L33	62,0	24,9	64,6	14,3	9,0	NC	35,0	9,0	64,6	23,7
	07/02/96	21/03/96	15/04/96	20/05/96	17/06/96	15/07/96	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
RJ	36,0	40,8	43,5	17,0	14,3	1,1	25,4	1,1	43,5	15,6
RM	8,0	6,3	75,2	101,7	11,7	6,4	34,9	6,3	101,7	38,7

BCK = Valor de referência; NC = Não coletado; RM = Rio montante; RJ = Rio jusante

As amostras a montante apresentaram concentrações menores do que a jusante na metade das amostras, e nos meses de abril, maio e julho de 1996 as amostras a montante apresentaram valores superiores que a

jusante, com concentrações de 75.2 mg/l, 101.7 mg/l e 6.4 mg/l respectivamente.

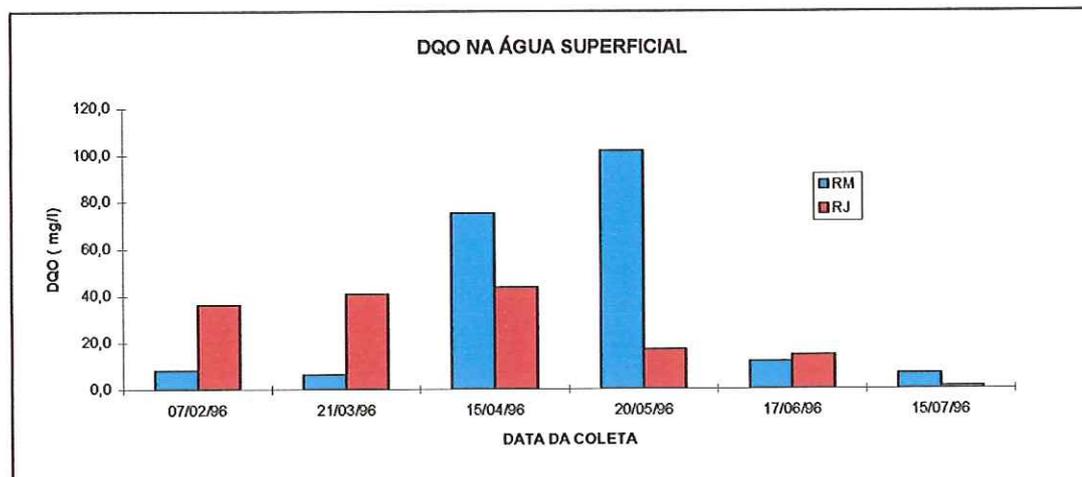


FIGURA 43 - Variação da concentração de DQO na água superficial.

5.4.11.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os valores de DQO para as amostras coletadas nos poços de amostragem encontram-se na TABELA 22.

A variação média da concentração de DQO nos poços localizados no 'lixão' de São Carlos pode ser observado na FIGURA 44.

Os poços localizados a montante do 'lixão' apresentaram as maiores concentrações nos meses chuvosos com uma diminuição da concentração no período de seca. O valor de referência de DQO encontrado no ponto de controle foi igual a 22.6 mg/l.

O poço L24 foi o que apresentou as maiores concentrações de DQO com média de 227.5 mg/l. O poço L25 foi o único poço que apresentou pouca variação no período com média de 46.9 mg/l.

Os poços localizados no corpo do 'lixo' apresentaram uma grande variação no período não demonstrando nenhuma correlação com a precipitação. Dos poços localizados no corpo do 'lixão' (L30, L31, L32 e L33) o L32 foi o que apresentou as maiores concentrações.

Como podemos observar na FIGURA 44 a pluma de DQO caminha no sentido SW, acompanhando o sentido do fluxo da água subterrânea.

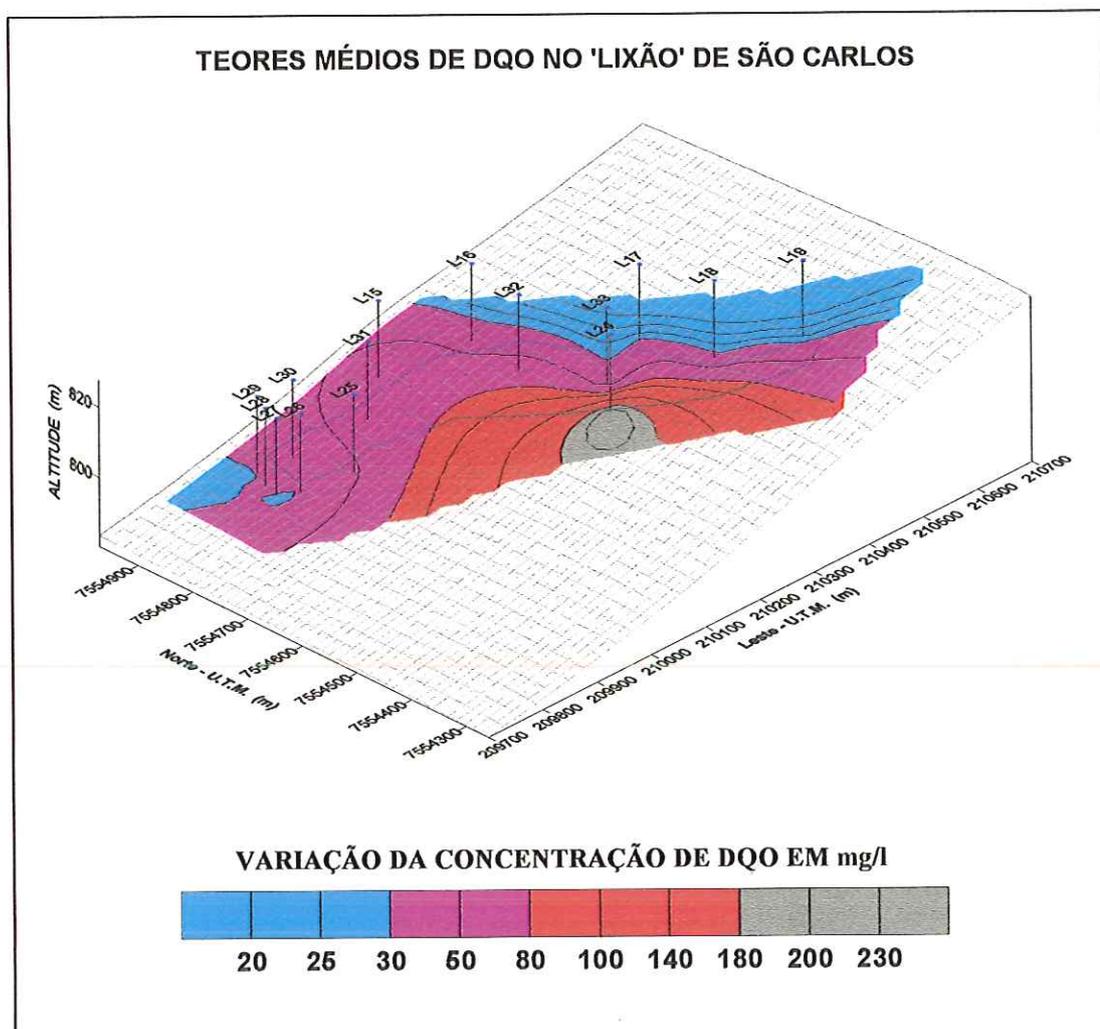


FIGURA 44 - Variação da DQO nos poços localizados no 'lixão' de São Carlos.

5.4.12 - FOSFATO

5.4.12.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL

As concentrações de fosfato encontradas a montante (RM) e a jusante (RJ) do Córrego São José estão apresentadas na TABELA 23 e sua variação no período de fev. - Julho de 1996 pode ser observada na FIGURA 45.

TABELA 23 - valores de fosfato para as águas superficiais e subterrâneas

POÇOS	21/mar	15/abr	20/mai	17/jun	15/jul	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
BCK					0,07				
L15	0,04	0,01	0,03	0,00	0,03	0,02	0,00	0,04	0,01
L16	0,03	0,03	0,05	0,07	0,02	0,04	0,02	0,07	0,02
L17	0,02	0,04	0,09	0,06	0,02	0,05	0,02	0,09	0,03
L18	0,04	0,04	0,05	0,04	0,07	0,05	0,04	0,07	0,01
L19	NC	0,07	0,07	0,02	0,05	0,05	0,02	0,07	0,02
L24	0,03	0,03	NC	NC	NC	0,03	0,03	0,03	0,00
L25	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,01
L26	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
L27	0,03	0,02	0,02	0,01	0,00	0,02	0,00	0,03	0,01
L28	0,12	0,10	0,07	0,10	0,03	0,08	0,03	0,12	0,03
L29	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01
L30	0,02	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01
L31	0,22	0,15	0,18	0,14	0,08	0,15	0,08	0,22	0,05
L32	0,02	0,02	0,05	0,02	0,02	0,03	0,02	0,05	0,01
L33	0,03	0,01	0,03	0,00	NC	0,02	0,00	0,03	0,01
	21/03/96	15/04/96	20/05/96	17/06/96	15/07/96	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
RJ	0,04	0,04	0,05	0,19	0,07	0,08	0,04	0,19	0,06
RM	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00

BCK = Valor de referência; NC = Não coletado; RM = Rio montante; RJ = Rio jusante

A concentração de fosfato nas amostras a montante se manteve constante no período com valor igual a 0.01 mg/l. Na amostra a jusante a concentração manteve-se constante, com exceção do mês de junho onde chegou a 0.19 mg/l e teve como concentração média 0.08 mg/l.

A concentração de fosfato foi sempre superior na amostra a jusante (RJ) do que na amostra a montante (RM).

RIOS (1993) entre novembro/90 e outubro/91 encontrou concentrações média de fosfato de 0.01 mg/l a montante e 0.08 mg/l a jusante.

Comparando os resultados observados com RIOS podemos observar que praticamente não houve variação.

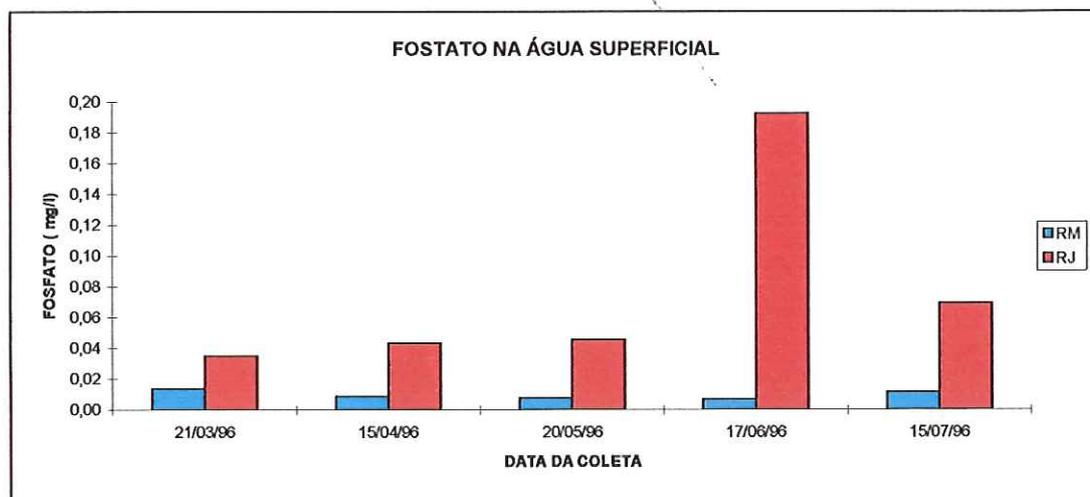


FIGURA 45 - Variação da concentração de fosfato na água superficial.

5.4.12.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os valores de fosfato para as amostras coletadas nos poços de amostragem encontram-se na TABELA 23.

O valor de referência de fosfato encontrada no ponto de controle foi de 0.07 mg/l.

Os poços L28 e L31 foram os únicos poços que apresentaram concentrações acima da referência.

Como podemos observar ocorreu uma pequena concentração de fosfato nos poços L28 e L31 e no restante dos poços a concentração esteve igual ou abaixo do valor de referência.

5.4.13 - BÁRIO

5.4.13.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL

As concentrações de bário encontradas nas amostras a montante e a jusante do 'lixão' da cidade de São Carlos, no Córrego São José estão

apresentados na TABELA 24 e sua variação no período pode ser observada na FIGURA 46.

TABELA 24 - valores de bário para as águas superficiais e subterrâneas

POÇOS	07/fev	21/mar	15/abr	20/mai	17/jun	15/jul	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
BCK						0,05				
L15	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00
L16	0,05	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	0,03	0,00	0,05	0,03
L17	0,10	0,10	0,10	0,08	0,10	0,10	0,10	0,08	0,10	0,01
L18	NC	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00
L19	NC	NC	0,10	0,10	0,10	0,20	0,13	0,10	0,20	0,04
L24	NC	2,10	1,70	NC	NC	NC	1,90	1,70	2,10	0,20
L25	0,10	0,20	0,20	0,30	0,30	0,40	0,25	0,10	0,40	0,10
L26	0,40	0,50	0,50	0,60	0,50	0,60	0,52	0,40	0,60	0,07
L27	0,06	0,07	0,08	0,08	0,08	0,20	0,10	0,06	0,20	0,05
L28	0,06	0,10	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,06	0,10	0,01
L29	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,08	0,18	0,08	0,20	0,04
L30	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,18	0,10	0,20	0,04
L31	0,10	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10	0,00
L32	0,10	0,20	0,30	0,30	0,40	0,30	0,27	0,10	0,40	0,09
L33	0,50	0,60	0,90	0,70	0,60	NC	0,66	0,50	0,90	0,14
	07/02/96	21/03/96	15/04/96	20/05/96	17/06/96	15/07/96	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
RJ	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,06	0,05	0,07	0,01
RM	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,02	0,00	0,05	0,02

BCK = Valor de referência; NC = Não coletado; RM = Rio montante; RJ = Rio jusante

A presença de bário não foi detectada na amostra a montante do 'lixão' (RM) nos meses de março, abril e maio de 1996, e nos meses de fevereiro, junho e julho esteve em torno de 0.05 mg/l.

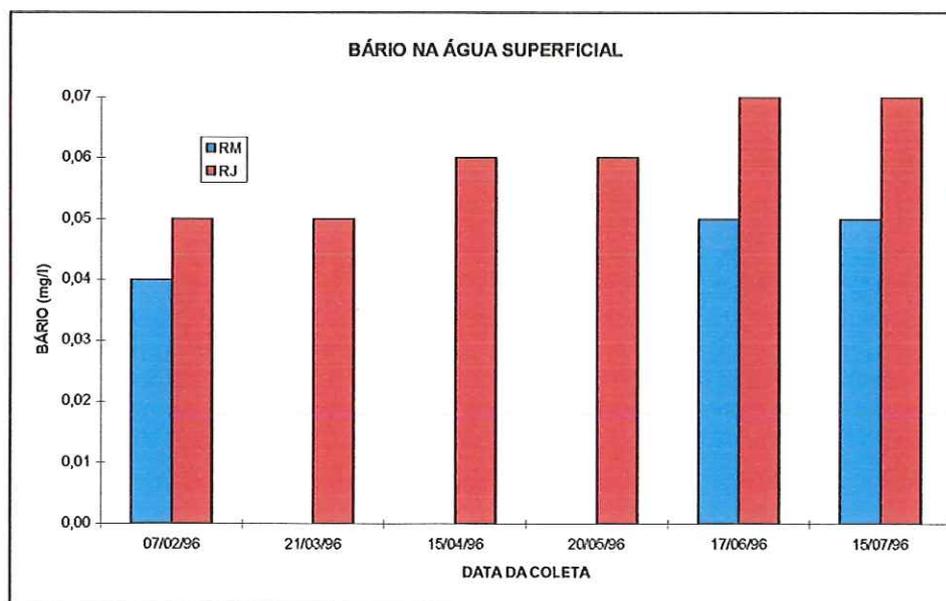


FIGURA 46 - Variação da concentração de bário na água superficial.

As amostras a jusante apresentaram uma pequena variação no período, começando com concentração igual a 0.05 mg/l em fevereiro e subindo gradualmente até 0.07 mg/l em junho e julho. As concentrações de bário nas amostras a jusante (RJ) sempre estiveram um pouco acima dos valores encontrados a montante.

5.4.13.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os valores de bário para as amostras coletadas nos poços de amostragem encontram-se na TABELA 24.

A variação média da concentração de bário nos poços localizados no 'lixão' de São Carlos pode ser observado na FIGURA 47.

O poço L16 foi o único a apresentar concentrações de bário iguais ou inferiores ao valor de referência encontrado no ponto de controle que foi de 0.05 mg/l.

Os poços localizados a montante do lixão (L15, L17, L18 e L19) apresentaram concentrações superiores ao valor de referência, sendo o L18 o que apresentou maior concentração entre eles.

Os poços L24, L25, L26, L32 e L33 foram os poços que apresentaram as maiores concentrações de bário, o poço L24 foi o que apresentou as maiores concentrações no 'lixão', com concentração média igual a 1.90 mg/l.

Como podemos observar existe uma grande influência do 'lixão' na concentração de bário na água subterrânea, no poço L24 foram encontradas concentrações até 40 vezes maior que valor de referência, e excedendo o padrão de potabilidade que é de 1.0 mg/l.

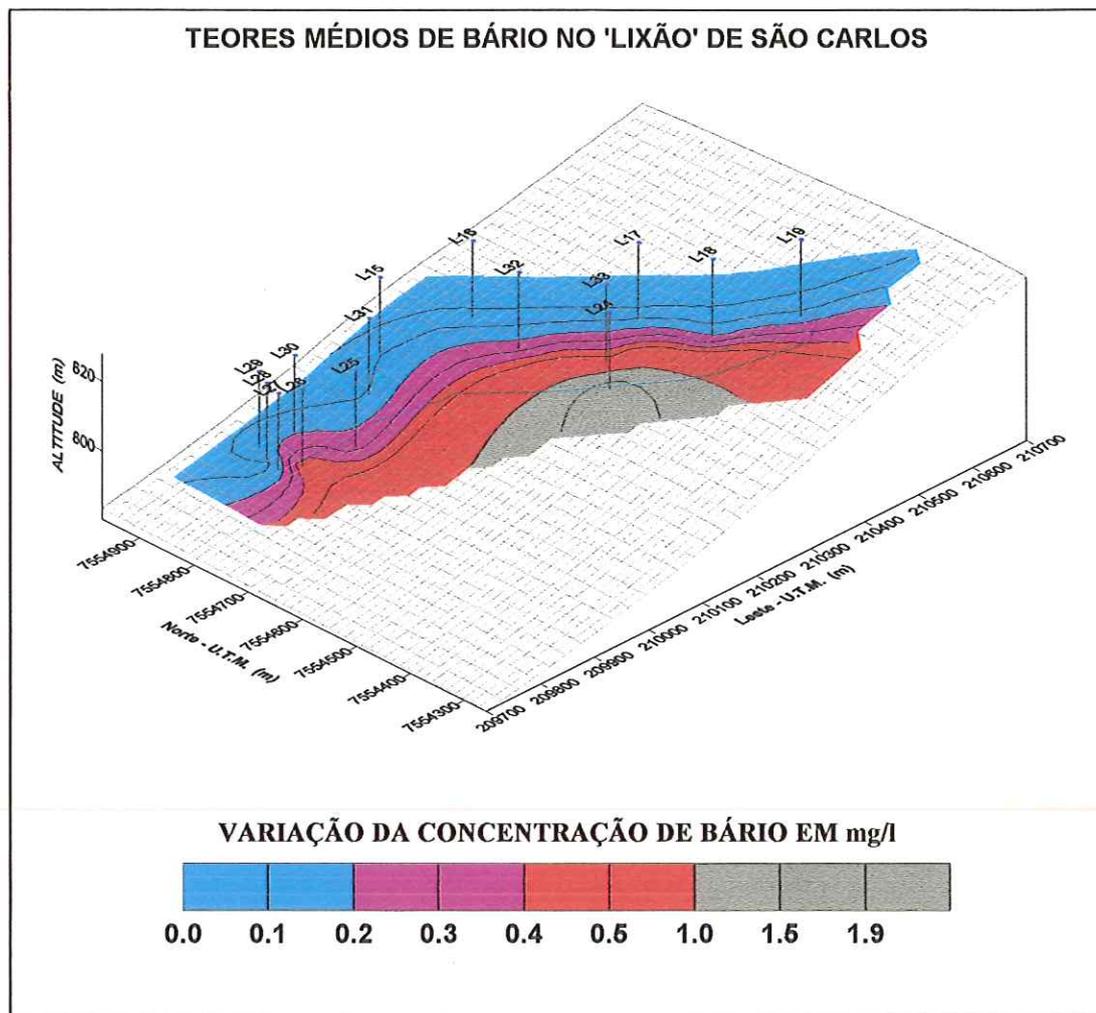


FIGURA 47 - Variação de bário nos poços localizados no 'lixão' de São Carlos.

5.4.14 - SILÍCIO

5.4.14.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL

As concentrações de silício nas amostras a montante (RM) e a jusante (RJ) do 'lixão', no Córrego São José estão apresentadas na TABELA 25 e sua variação no período pode ser observada na FIGURA 48.

TABELA 25 - valores de silício para as águas superficiais e subterrâneas

POÇOS	07/fev	21/mar	15/abr	20/mai	17/jun	15/jul	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
BCK						16,20				
L15	6,00	5,50	5,90	5,60	5,80	5,70	5,75	5,50	6,00	0,17
L16	7,50	6,20	6,70	6,50	7,30	8,30	7,08	6,20	8,30	0,70
L17	7,90	6,60	7,80	7,70	10,50	10,30	8,47	6,60	10,50	1,43
L18	NC	9,80	9,90	9,70	10,00	10,20	9,92	9,70	10,20	0,17
L19	NC	NC	11,80	11,30	11,70	12,50	11,83	11,30	12,50	0,43
L24	NC	3,10	3,30	NC	NC	NC	3,20	3,10	3,30	0,10
L25	5,40	3,90	4,00	4,10	3,60	3,30	4,05	3,30	5,40	0,66
L26	7,00	6,40	6,50	6,40	6,10	6,30	6,45	6,10	7,00	0,28
L27	12,80	9,90	10,90	10,70	10,90	5,30	10,08	5,30	12,80	2,31
L28	17,80	10,10	12,60	11,30	12,40	12,20	12,73	10,10	17,80	2,42
L29	4,80	4,80	5,00	4,90	5,20	11,10	5,97	4,80	11,10	2,30
L30	7,20	7,30	7,90	6,20	7,30	7,10	7,17	6,20	7,90	0,50
L31	25,90	22,30	21,30	16,50	18,00	27,30	21,88	16,50	27,30	3,87
L32	8,20	4,30	4,10	3,60	4,50	4,90	4,93	3,60	8,20	1,51
L33	6,10	5,40	5,70	5,50	6,00	NC	5,74	5,40	6,10	0,27
	07/02/96	21/03/96	15/04/96	20/05/96	17/06/96	15/07/96	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
RJ	6,50	5,70	6,50	6,40	7,10	6,90	6,52	5,70	7,10	0,44
RM	6,70	6,00	6,50	6,50	6,70	7,50	6,65	6,00	7,50	0,45

BCK = Valor de referência; NC = Não coletado; RM = Rio montante; RJ = Rio jusante

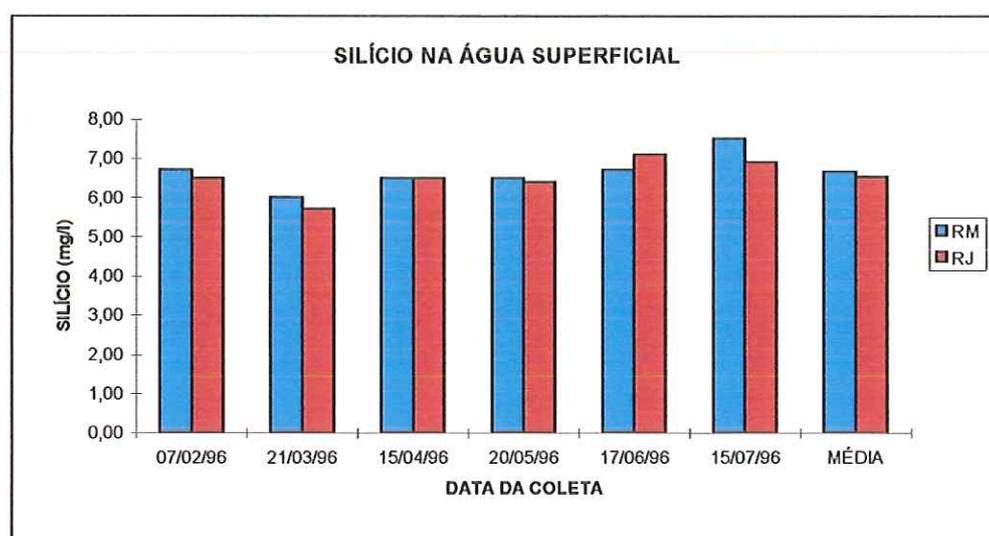


FIGURA 48 - Variação da concentração de silício na água superficial.

5.4.14.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os valores de silício para as amostras coletadas nos poços de amostragem encontram-se na TABELA 25.

O valor de referência de silício encontrada no ponto de controle foi de 16.2 mg/l.

O poço L31 foi o único que apresentou concentrações superiores ao valor de referência, os outros poços sempre apresentaram concentrações iguais ou inferiores.

5.4.15 - NITROGÊNIO TOTAL

5.4.15.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL

As concentrações de nitrogênio total encontradas nas amostras no Córrego São José a montante e a jusante do 'lixão' da cidade de São Carlos - SP, estão apresentadas na TABELA 26 e sua variação no período pode ser observada na FIGURA 49.

A concentração de nitrogênio total nos meses de abril e julho foram maiores a montante (RM) que a jusante (RJ), nos meses de março e maio foram iguais e no mês de junho a concentração a jusante foi maior que a montante.

RIOS (1993) entre novembro/1990 e outubro/1991 encontrou concentrações médias de nitrogênio total de 0.36 mg/l a montante e 1.37 mg/l a jusante.

Comparando os resultados com RIOS que encontrou concentração média de nitrogênio total a jusante superior a encontrada a montante, podemos observar mudanças pois na maioria das amostras a concentração a montante foi igual ou superior que a jusante.

TABELA 26 - valores de nitrogênio total para as águas superficiais e subterrâneas

POÇOS	21/mar	15/abr	20/mai	17/jun	15/jul	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
BCK						6,55			
L15	0,00	0,00	0,00	0,00	9,69	1,94	0,00	9,69	3,87
L16	0,00	3,08	0,00	0,00	12,82	3,18	0,00	12,82	4,97
L17	0,00	3,08	0,00	0,00	12,82	3,18	0,00	12,82	4,97
L18	0,00	18,48	5,38	0,00	6,55	6,08	0,00	18,48	6,76
L19	NC	24,64	29,12	3,08	6,55	15,85	3,08	29,12	11,21
L24	144,76	117,04	NC	NC	NC	130,90	117,04	144,76	13,86
L25	24,64	6,16	18,73	18,48	37,91	21,18	6,16	37,91	10,30
L26	6,16	6,16	0,00	3,08	15,96	6,27	0,00	15,96	5,35
L27	0,00	9,24	0,00	3,08	6,55	3,78	0,00	9,24	3,65
L28	0,00	6,16	0,00	0,00	3,42	1,92	0,00	6,16	2,50
L29	3,08	6,16	0,00	6,16	9,69	5,02	0,00	9,69	3,27
L30	9,24	3,08	0,00	6,16	12,82	6,26	0,00	12,82	4,50
L31	0,00	0,00	0,00	0,00	22,23	4,45	0,00	22,23	8,89
L32	15,40	12,32	21,70	27,72	28,50	21,13	12,32	28,50	6,46
L33	9,24	21,56	8,34	12,32	NC	12,87	8,34	21,56	5,23
	21/03/96	15/04/96	20/05/96	17/06/96	15/07/96	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
RJ	3,08	0,00	0,00	3,08	6,55	2,54	0,00	6,55	2,43
RM	3,08	3,08	0,00	0,00	12,82	3,80	0,00	12,82	4,72

BCK = Valor de referência; NC = Não coletado; RM = Rio montante; RJ = Rio jusante

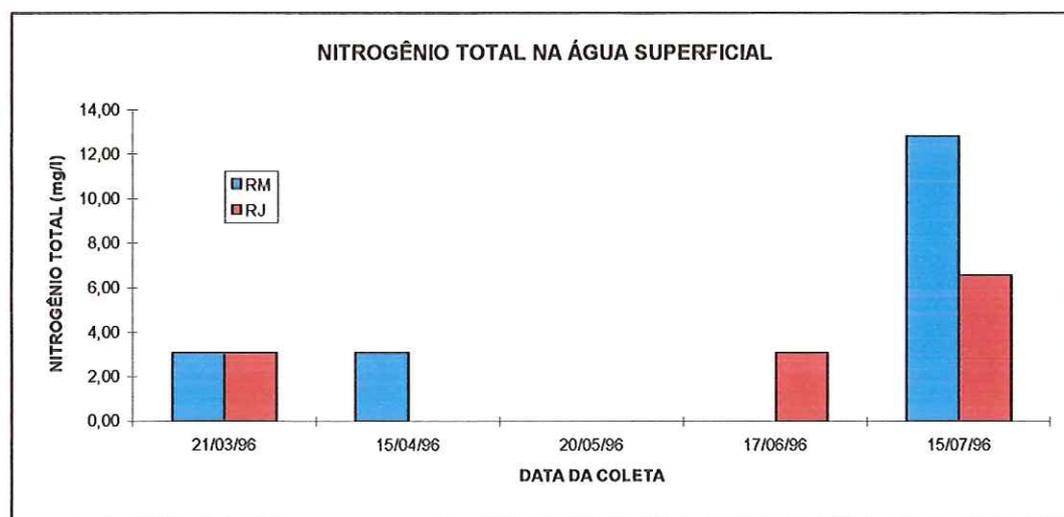


FIGURA 49 - Variação de nitrogênio total na água superficial.

5.4.15.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os valores de nitrogênio total para as amostras coletadas nos poços de amostragem encontram-se na TABELA 26.

O valor de referência de nitrogênio total encontrada no ponto de controle foi de 6.55 mg/l.

Os poços L15, L16, L17 somente no mês de julho e o poço L18 no mês de abril, apresentaram valores acima da referência, e o poço L19 na maioria das amostras apresentou concentrações de nitrogênio total superior ao valor de referência, possivelmente influenciadas pela quantidade de sólidos encontrados neste poço.

Os poços L24, L25, L32 e L33 foram os que apresentaram concentrações médias de nitrogênio total superiores a encontrada no ponto de controle, sendo o poço L24 o que apresentou as maiores concentrações, chegando a apresentar concentração 22 vezes superior ao valor de referência.

A região do 'lixão' da cidade de São Carlos que apresentou as maiores concentrações, foi a região central do 'lixão', acompanhando o sentido do fluxo.

5.4.16 - CÁLCIO

5.4.16.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL

As concentrações de cálcio encontradas nas amostras do Córrego São José, a montante (RM) e a jusante (RJ) do 'lixão' estão apresentadas na TABELA 27 e sua variação no período pode ser observada na FIGURA 50.

As amostras a jusante apresentaram-se com concentrações de cálcio superiores as amostras a montante com média de RJ = 3.45 mg/l e RM = 2.45 mg/l.

Este aumento nas concentrações de cálcio na amostra de jusante é possivelmente influenciado pelo 'lixão'.

TABELA 27 - valores de cálcio para as águas superficiais e subterrâneas

POÇOS	07/fev	21/mar	15/abr	20/mai	17/jun	15/jul	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
BCK						4,50				
L15	2,60	3,10	2,60	1,10	1,40	0,90	1,95	0,90	3,10	0,85
L16	3,60	2,70	2,10	1,40	1,40	1,60	2,13	1,40	3,60	0,80
L17	5,90	1,70	1,40	0,90	0,90	1,10	1,98	0,90	5,90	1,77
L18	NC	12,40	11,20	9,60	10,00	10,40	10,72	9,60	12,40	0,99
L19	NC	NC	7,70	7,20	7,20	8,40	7,63	7,20	8,40	0,49
L24	NC	3,90	3,30	NC	NC	NC	3,60	3,30	3,90	0,30
L25	10,70	12,20	15,10	16,50	19,00	19,70	15,53	10,70	19,70	3,29
L26	10,10	6,00	5,60	4,30	4,50	4,70	5,87	4,30	10,10	1,99
L27	4,90	3,00	3,50	2,80	2,90	11,70	4,80	2,80	11,70	3,17
L28	3,80	3,40	2,90	2,20	2,20	2,30	2,80	2,20	3,80	0,62
L29	16,60	14,00	13,73	11,80	11,50	2,90	11,76	2,90	16,60	4,30
L30	10,70	6,20	6,20	4,10	3,80	3,90	5,82	3,80	10,70	2,41
L31	6,70	2,60	3,00	2,30	2,10	2,40	3,18	2,10	6,70	1,60
L32	7,90	3,70	4,00	3,30	3,20	3,30	4,23	3,20	7,90	1,66
L33	8,80	5,70	5,70	4,90	5,00	NC	6,02	4,90	8,80	1,43
	07/02/96	21/03/96	15/04/96	20/05/96	17/06/96	15/07/96	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
RJ	3,50	3,30	3,20	3,00	4,30	3,40	3,45	3,00	4,30	0,41
RM	2,70	2,70	2,60	2,10	2,20	2,40	2,45	2,10	2,70	0,24

BCK = Valor de referência; NC = Não coletado; RM = Rio montante; RJ = Rio jusante

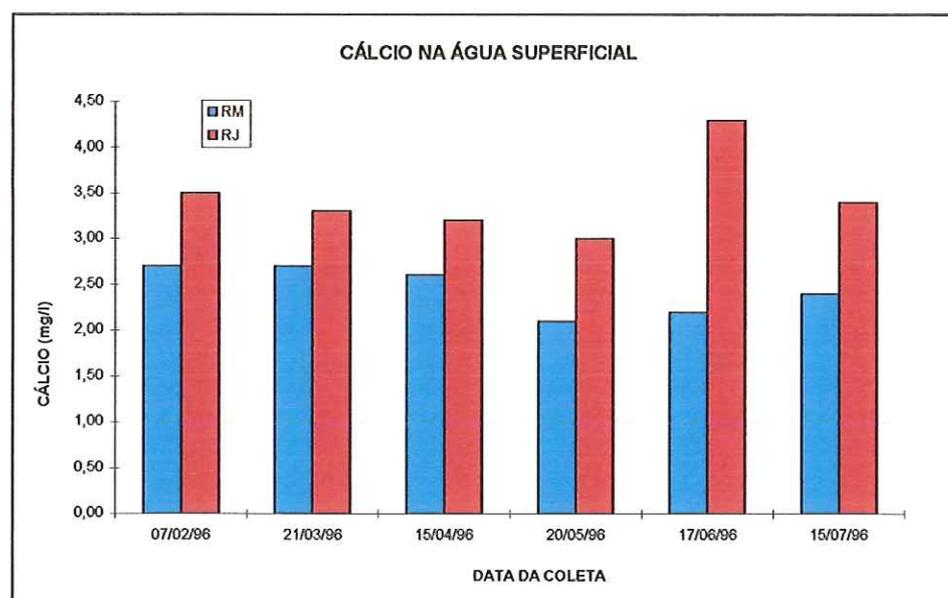


FIGURA 50 - Variação de cálcio na água superficial

5.4.16.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os valores de cálcio para as amostras coletadas nos poços de amostragem encontram-se na TABELA 27.

A variação média da concentração de cálcio nos poços localizados no 'lixão' de São Carlos pode ser observado na FIGURA 51.

O valor de referência de cálcio encontrada no ponto de controle foi de 4.5 mg/l.

Os poços L18, L19, L25, L26, L29, L30 e L33 foram os poços que apresentaram concentrações de cálcio acima do valor de referência.

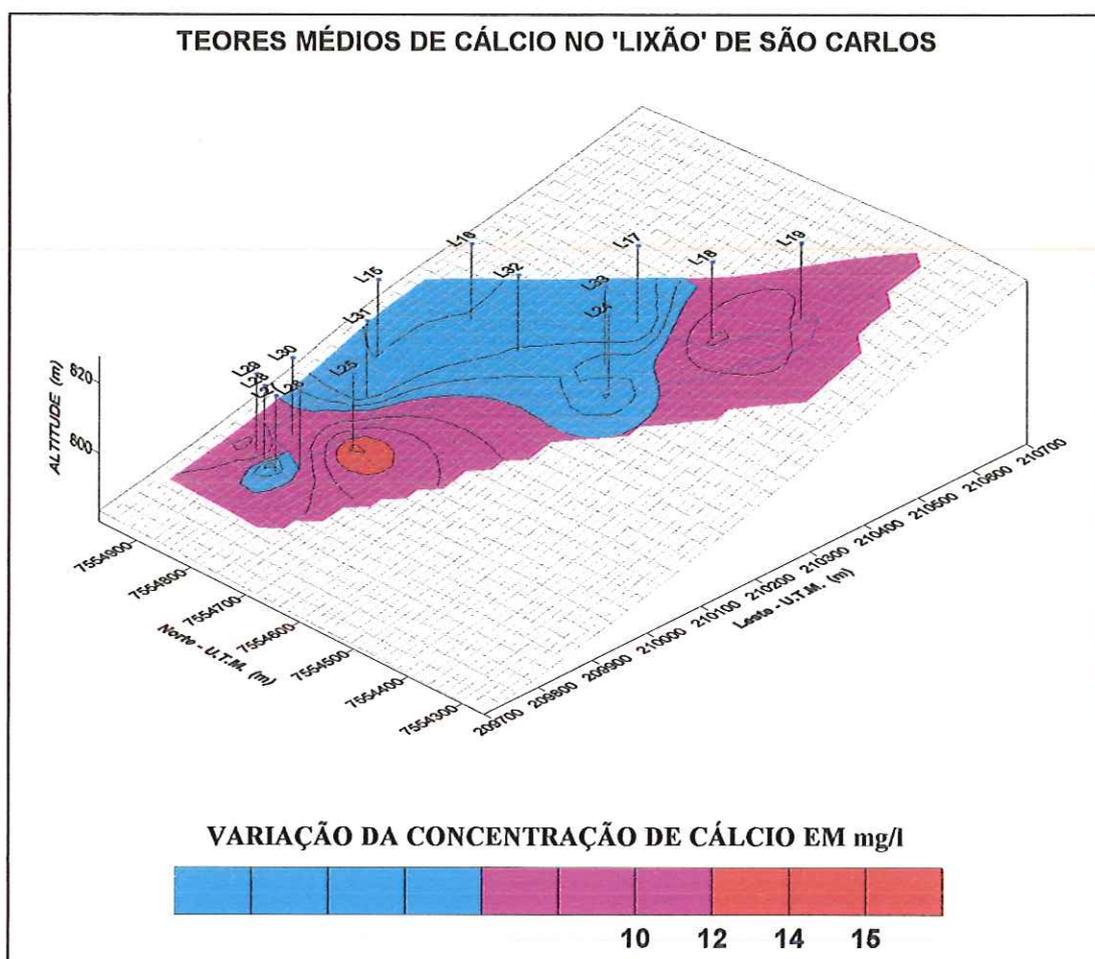


FIGURA 51 - Variação de cálcio nos poços localizados no 'lixão' de São Carlos.

PFEIFFER (1993) analisando amostras da água subterrânea na região de São Carlos encontrou concentrações de cálcio variando entre 0.03 a 0.95 mg/l.

Segundo CETESB (1977) os teores de cálcio são relativamente elevados no Botucatu e oscilam entre 3 e 44 mg/l (média 19.2).

Segundo SILVA¹¹ (1984) apud PFEIFFER (1993), as zonas de recarga, de um modo geral, são caracterizadas pela predominância do cátion Ca⁺⁺.

5.4.17 - DUREZA TOTAL

5.4.17.1 - NA ÁGUA SUPERFICIAL

Os teores de dureza total encontrados nas amostras no Córrego São José a jusante e a montante do 'lixão' estão apresentados na TABELA 28 e sua variação no período pode ser observada na FIGURA 52.

No ponto a jusante do 'lixão' as amostras apresentaram concentrações médias igual a 41.0 mg/l CaCO₃ e foram superiores aos encontrados a montante com média de 17.7 mg/l CaCO₃ ; com exceção do mês de abril de 1996.

¹¹ SILVA, A.B. (1984) Evolução química das águas subterrâneas, Revista ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, n 7, Abril, p. 5-12.

TABELA 28 - valores de dureza total para as águas superficiais e subterrâneas

POÇOS	07/fev	21/mar	15/abr	20/mai	17/jun	15/jul	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
BCK							36,6			
L15	22,3	46,0	33,5	3,3	33,7	0,0	26,3	0,0	46,0	16,7
L16	22,3	46,0	26,8	20,3	32,1	31,2	30,4	20,3	46,0	8,4
L17	17,0	40,0	7,4	9,0	19,8	1,1	17,4	1,1	40,0	12,5
L18	NC	233,0	71,9	75,2	52,6	40,8	100,4	40,8	233,0	70,3
L19	NC	NC	61,2	61,4	77,8	37,7	59,0	37,7	77,8	14,3
L24	NC	48,0	81,0	NC	NC	NC	24,0	48,0	81,0	16,5
L25	165,0	62,0	44,1	78,0	89,0	25,0	83,8	25,0	165,0	44,5
L26	84,0	61,0	151,0	246,0	61,0	62,0	102,8	61,0	246,0	68,3
L27	21,4	31,0	22,6	19,2	27,0	0,0	19,7	0,0	31,0	9,8
L28	28,9	58,0	19,3	23,8	30,7	25,1	33,3	19,3	58,0	12,6
L29	57,0	63,0	9,4	18,4	14,4	18,3	34,2	9,4	63,0	21,4
L30	48,8	31,0	42,0	16,5	11,8	0,0	21,6	0,0	48,8	17,1
L31	35,4	30,0	2,1	19,3	7,1	3,3	19,0	2,1	35,4	13,0
L32	17,7	49,0	33,1	49,9	31,9	18,0	33,3	17,7	49,9	12,9
L33	95,0	72,0	83,0	36,0	12,7	NC	53,9	12,7	95,0	30,7
	07/02/96	21/03/96	15/04/96	20/05/96	17/06/96	15/07/96	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVPAD
RJ	42,2	75,0	10,4	22,0	37,6	28,2	41,0	10,4	75,0	20,3
RM	19,0	14,0	15,9	8,7	33,3	13,5	17,7	8,7	33,3	7,7

BCK = Valor de referência; NC = Não coletado; RM = Rio montante; RJ = Rio jusante

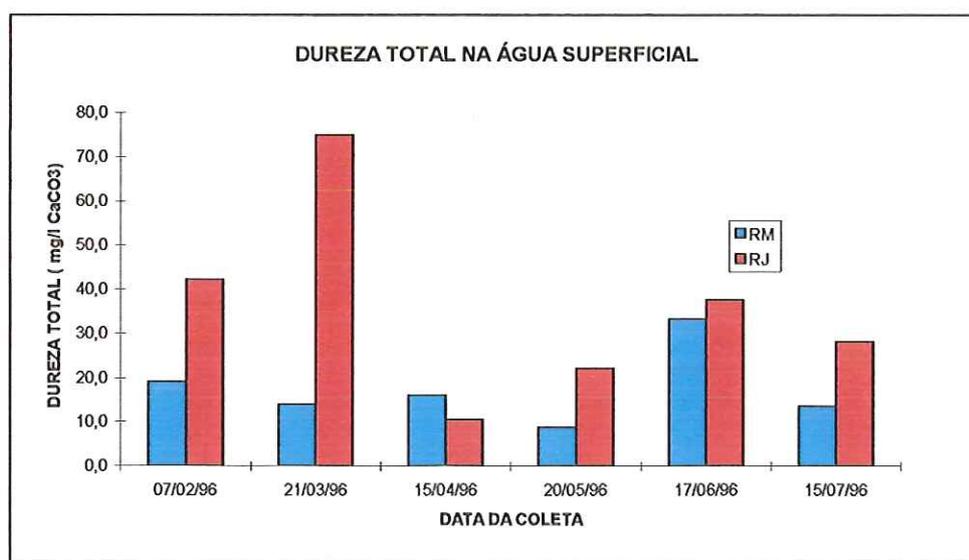


FIGURA 52 - Variação da dureza total na água superficial

5.4.17.2 - NA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os valores de dureza total para as amostras coletadas nos poços de amostragem encontram-se na TABELA 28.

O valor de referência de dureza total encontrada no ponto de controle foi de 37 mg/l CaCO_3 .

Os poços L18, L19, L25, L26 e L33 foram os poços que apresentaram concentrações superiores ao valor de referência. Estes poços também apresentaram concentrações de cálcio e magnésio superiores ao valor de referência.

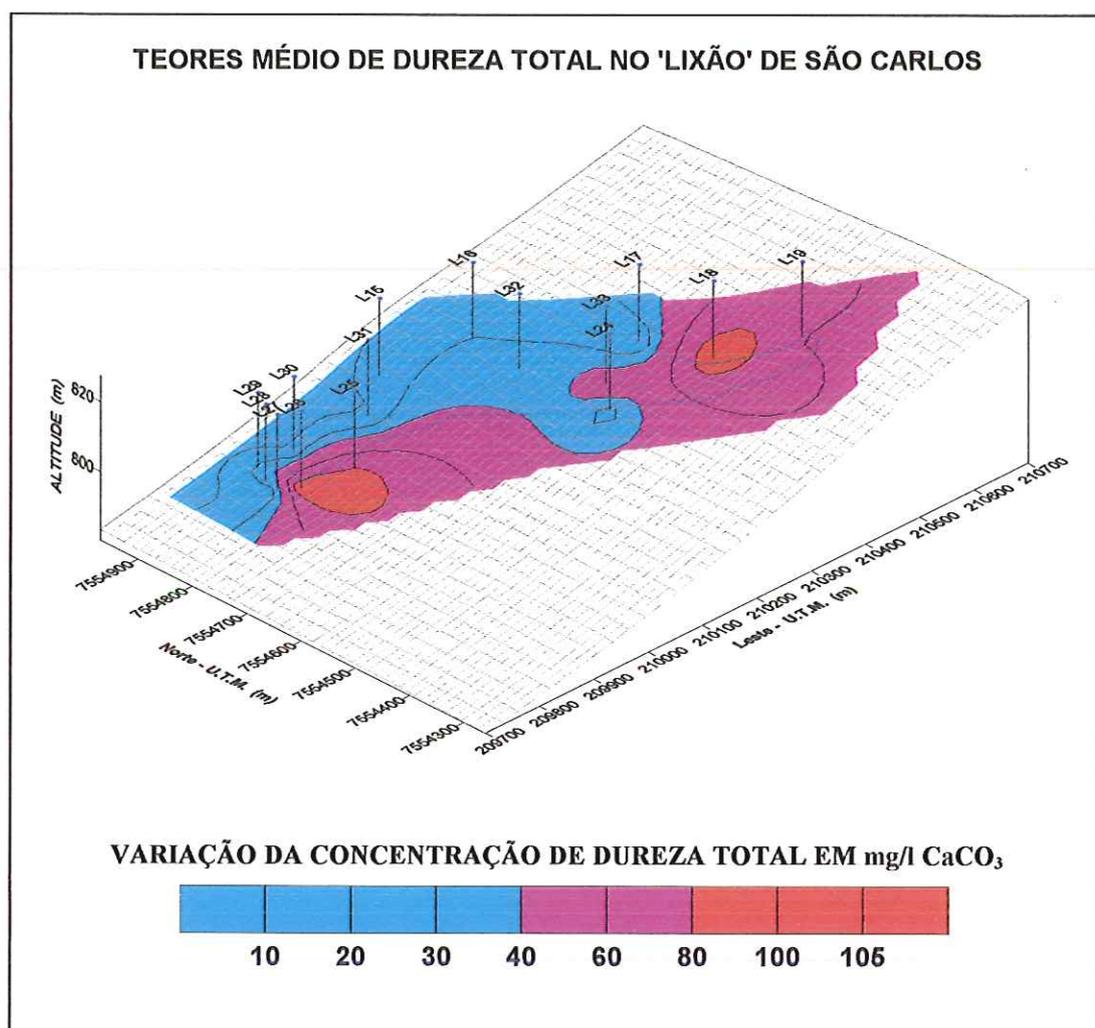


FIGURA 53 - Variação da dureza total nos poços localizados no 'lixão' de São Carlos.

PFEIFFER (1993) analisando amostras das águas subterrâneas na região de São Carlos, encontrou valores de dureza total variando entre 1.27 e 56.05 mg/l CaCO₃ e classificou a água como mole.

A dureza das águas analisadas pela CETESB (1977) é causada, principalmente, por bicarbonatos de cálcio e magnésio. Cerca de 85% das amostras apresentaram dureza abaixo de 100 mg/l CaCO₃.

Como podemos observar na FIGURA 53 a região que apresenta as maiores concentrações de dureza total é a mesma que apresentou as maiores concentrações de cálcio.

6. CONSIDERAÇÕES ACERCA DOS RESULTADOS

'Em um monitoramento da qualidade da água, a escolha de um bom parâmetro indicador de poluição deve ser realizado levando-se em conta as seguintes características:

- Deve ser encontrado no lixo;
- Deve ser móvel na água;
- Deve ser pouco sensível aos processos de troca iônica e outras reações químicas no solo para se manter em solução;
- As concentrações nas águas da vizinhança devem ser baixas;
- Devem ser facilmente analisadas.' PARISOT et al. (1984)

Levando-se em conta estas características, escolheu-se os seguintes parâmetros como indicadores de poluição do 'lixão' da cidade de São Carlos: alcalinidade, bário, cloreto, condutividade, magnésio e nitrato.

Para facilitar a visualização da variação da concentração dos parâmetros indicadores de poluição nos poços no 'lixão', foram feitos gráficos onde se separou os poços por região a montante, no corpo do 'lixo' e à jusante. O poço L24 não foi colocado no gráfico por apresentar somente duas coletas; por outro lado como sua concentração sempre esteve muito acima dos outros poços, a visualização da variação nos poços localizados a jusante ficaria menos nítida. Em todos os gráficos é mostrado o valor de referência (BCK).

6.1 ALCALINIDADE

Como podemos observar na FIGURA 54 os poços L18 e L19 foram os que apresentaram concentrações acima do valor de referência, estes resultados podem ter sofrido interferência pelo fato deste poços terem apresentados valores de sólidos totais muito altos.

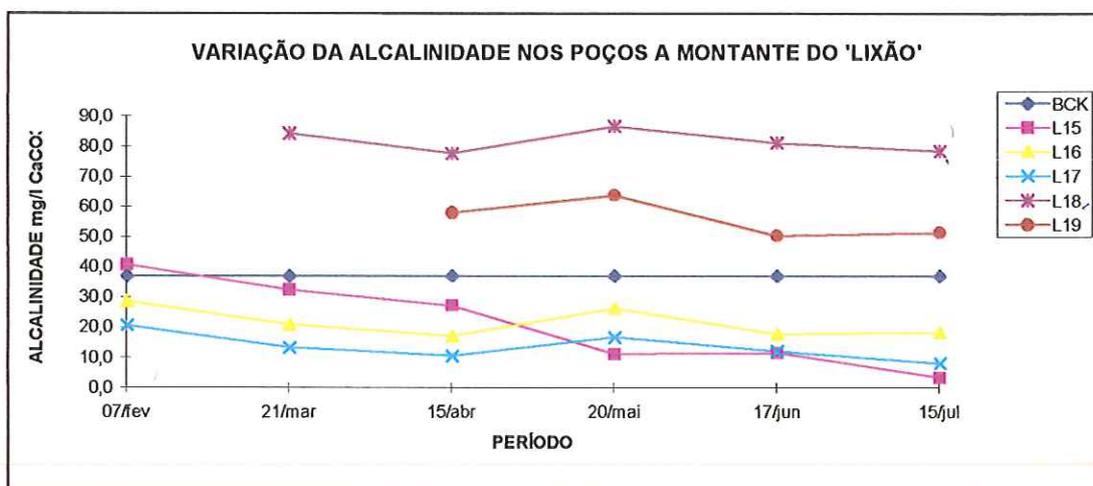


FIGURA 54 - Variação da alcalinidade nos poços à montante do 'lixão' de São Carlos

Como podemos observar na FIGURA 55 os poços L32 e L33 foram os que apresentaram os maiores valores de alcalinidade, eles estão localizados na parte central do 'lixão' onde foram depositados os resíduos mais recentes.

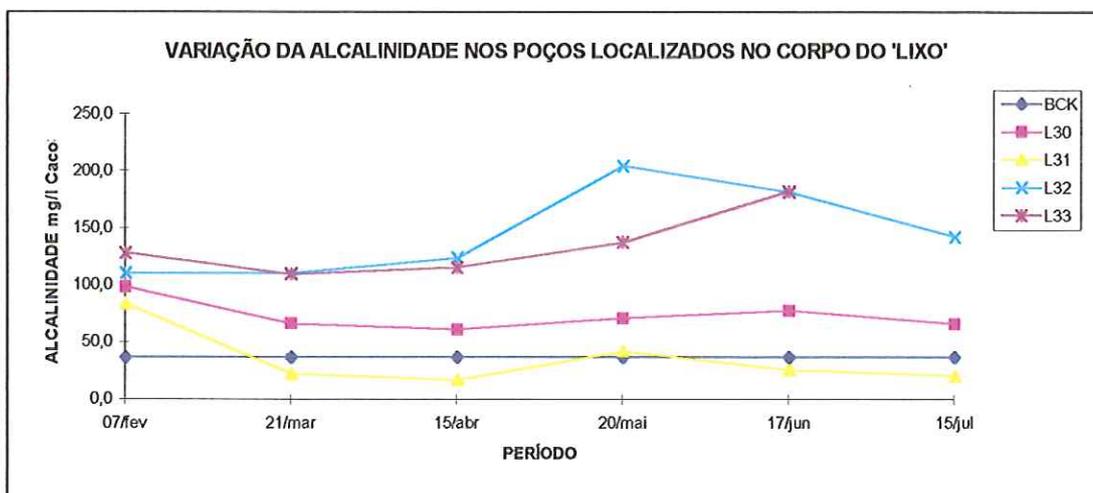


FIGURA 55 - Variação da alcalinidade nos poços no corpo do 'lixão' de São Carlos

Dos poços localizados à jusante o L24, L25 e L29 foram os que apresentaram as maiores concentrações, sendo o L24 o que apresentou os maiores valores de todos os poços, ele está localizado na parte central do 'lixão' e lateralmente ao poço L33.

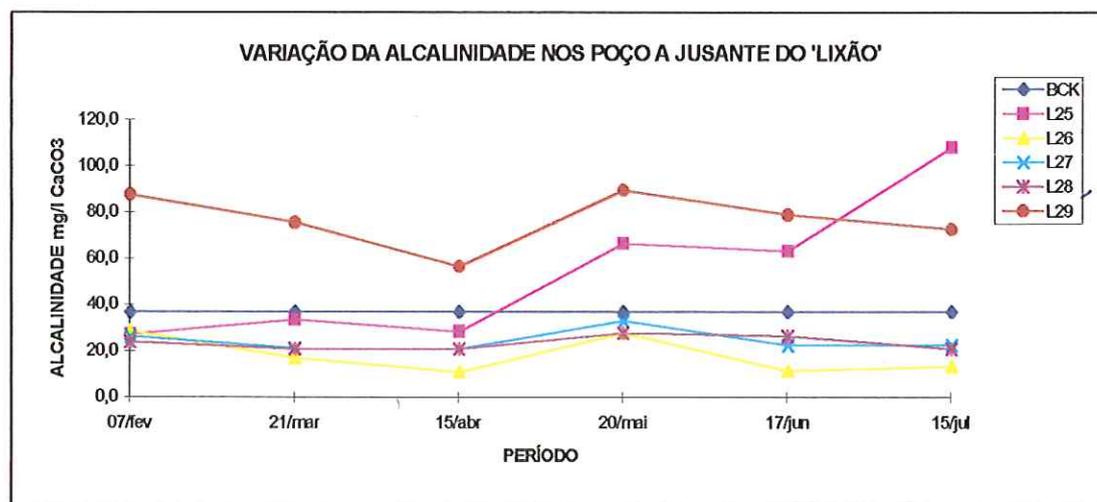


FIGURA 56 - Variação da alcalinidade nos poços à jusante do 'lixão' de São Carlos

6.2 BÁRIO

Dos poços localizados a montante do 'lixão' (FIGURA 57) podemos observar que os maiores valores foram observados nos poços L18 e L19, que apresentaram altas concentrações de sólidos totais.

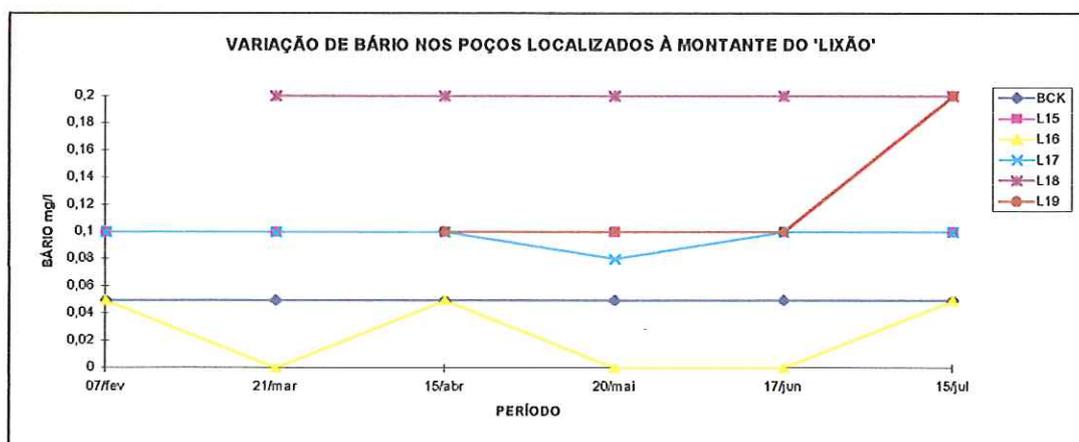


FIGURA 57 - Variação de bário nos poços à montante do 'lixão' de São Carlos

Conforme FIGURA 58 podemos observar que dos poços localizados no corpo do 'lixo' os que apresentaram as maiores concentrações de bário foram o L33 e L32 que estão localizados na parte central do 'lixão'.

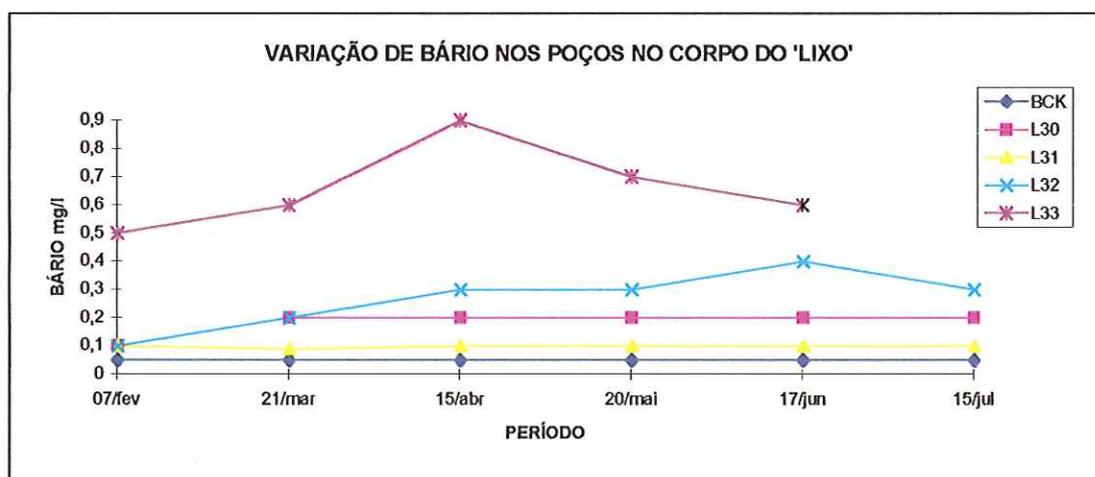


FIGURA 58 - Variação de bário nos poços no corpo do 'lixão' de São Carlos

Dos poços localizados à jusante do 'lixão' os que apresentaram as maiores concentrações foram os poços L24, L25 e L26, que são os poços localizados lateralmente ao 'lixão' acompanhando o sentido do fluxo da água subterrânea.



FIGURA 59 - Variação de bário nos poços à jusante do 'lixão' de São Carlos

6.3 CLORETO

Dos poços localizados à montante (FIGURA 60) todos apresentaram concentrações acima do valor de referencia, indicando uma poluição destes poços pelo 'lixão'.

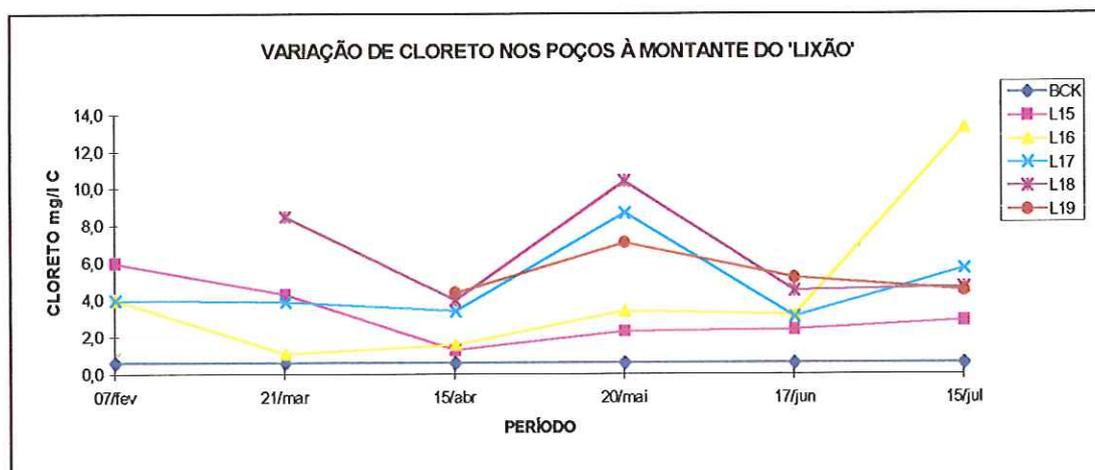


FIGURA 60 - Variação da cloreto nos poços à montante do 'lixão' de São Carlos

Como podemos observar na FIGURA 61 que dos poços localizados no corpo do 'lixo' o L33 e L32 foram os que apresentaram as concentrações mais altas.

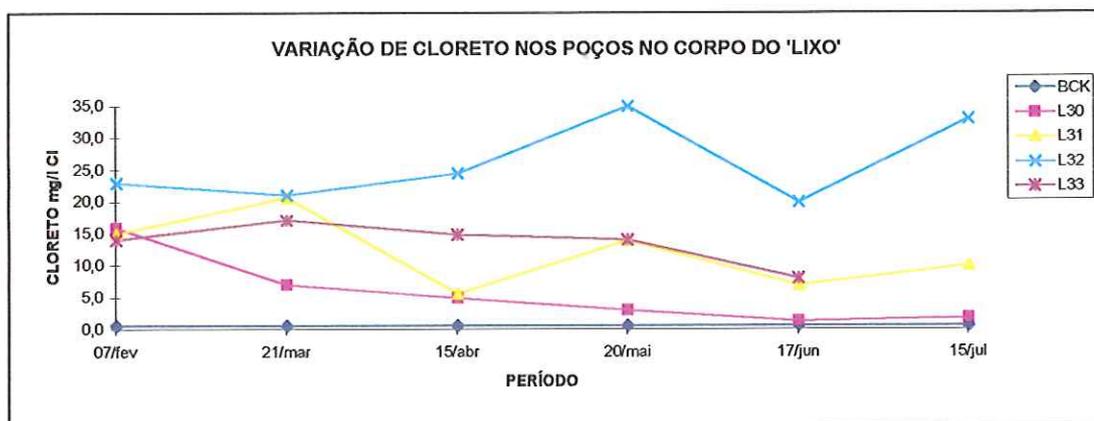


FIGURA 61 - Variação de cloreto nos poços no corpo do 'lixão' de São Carlos

Dos poços localizados à jusante do 'lixão' os poços L24, L25 e L26 foram os que apresentaram as maiores concentrações, sendo o L24 o que

apresentou os maiores valores de todos os poços, podemos observar no poço L25 uma tendência a aumentar a concentração no período do tempo.

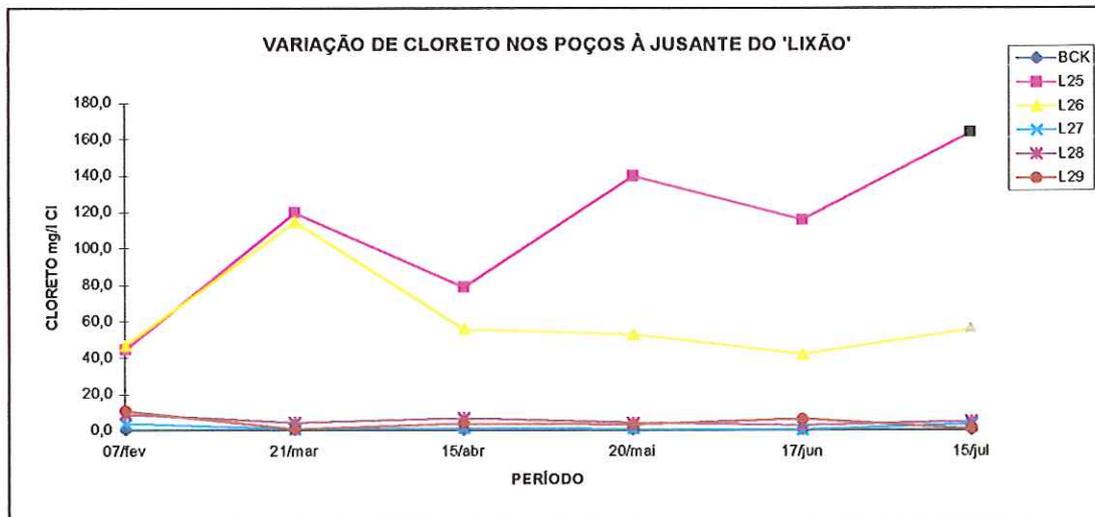


FIGURA 62 - Variação de cloreto nos poços à jusante do 'lixão' de São Carlos.

6.4 CONDUTIVIDADE

Como podemos observar na FIGURA 63 dos poços localizados à montante, somente os poços L18 e L19 apresentaram concentrações acima do valor de referência, sendo que estes poços apresentaram altos concentrações de sólidos que interferem na análise de condutividade podemos atribuir estes valores aos sólidos presentes na amostra.

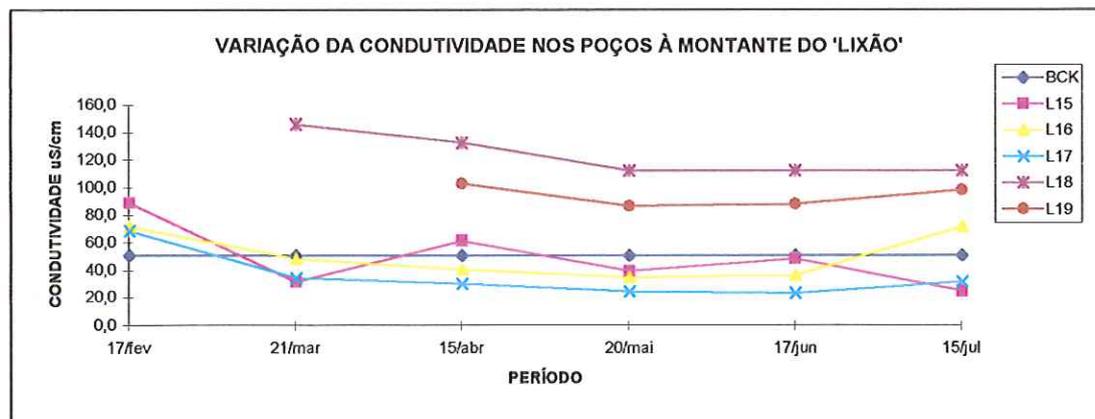


FIGURA 63 - Variação da condutividade nos poços à montante do 'lixão' de São Carlos

Conforme FIGURA 64 podemos observar que com exceção do poço L31 que esteve próximo ao valor de referência (BCK), todos os outros poço no corpo do 'lixo' apresentaram concentrações acima do BCK, e os poços L33 e L32 foram os que apresentaram as maiores concentrações.

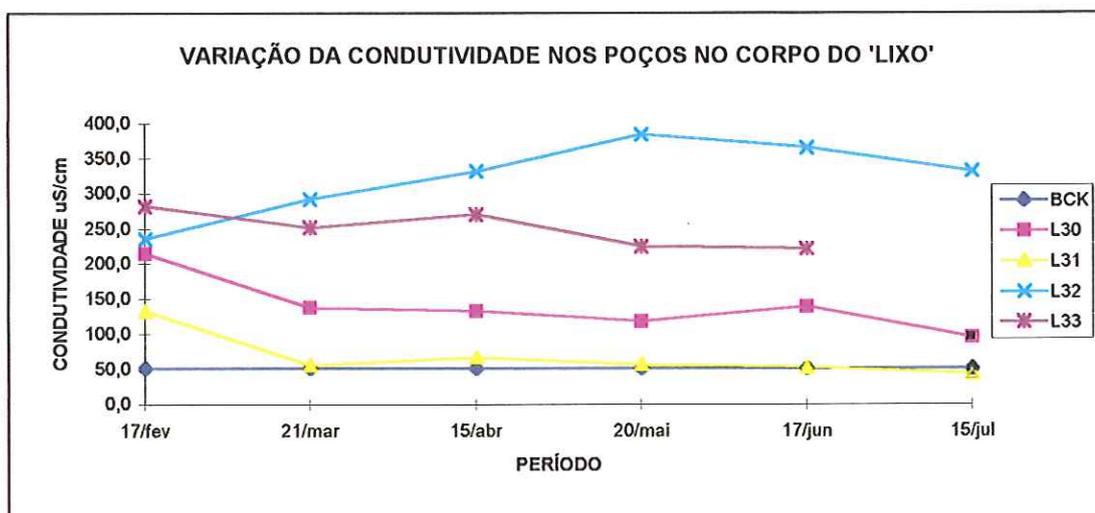


FIGURA 64 - Variação da condutividade nos poços no corpo do 'lixão' de São Carlos

Dos poços localizados à jusante do 'lixão' os que apresentaram as maiores concentrações foram L24, L25 e L26, sendo o L24 o que apresentou as maiores concentrações dentre todos os poços localizados no 'lixão', podemos observar uma tendência do poço L25 de aumentar a concentração no período.

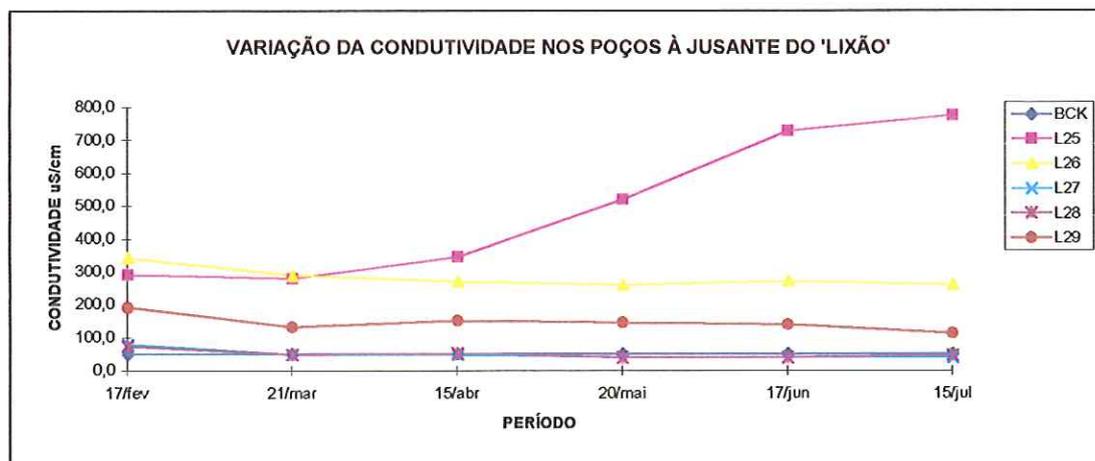


FIGURA 65 - Variação da condutividade nos poços à jusante do 'lixão' de São Carlos

6.5 MAGNÉSIO

Como podemos observar na FIGURA 66 dos poços localizados à montante do 'lixão', somente os poços L18 e L19 foram os que apresentaram concentrações acima do valor de referência (BCK).

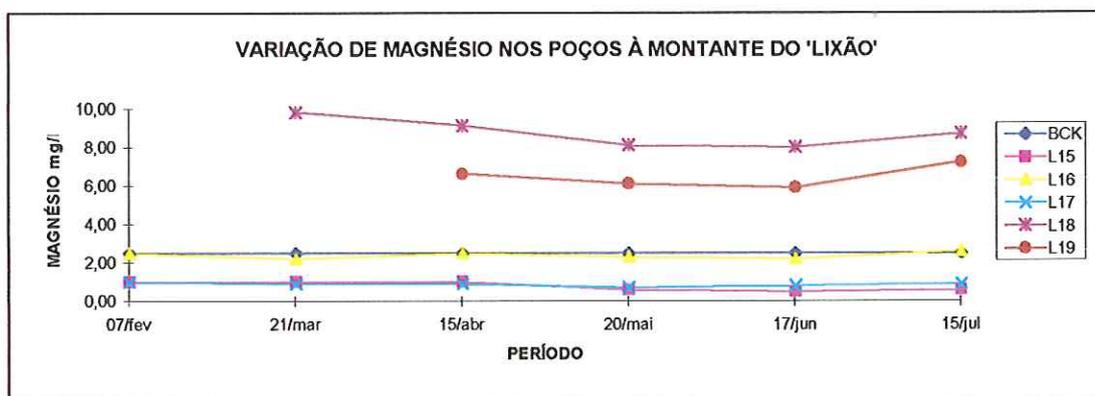


FIGURA 66 - Variação de magnésio nos poços à montante do 'lixão' de São Carlos

Conforme FIGURA 67 podemos observar que dos poços localizados no corpo do 'lixo', somente o poço L31 apresentou concentrações abaixo do BCK, e o poço L33 foi o que apresentou as maiores concentrações.

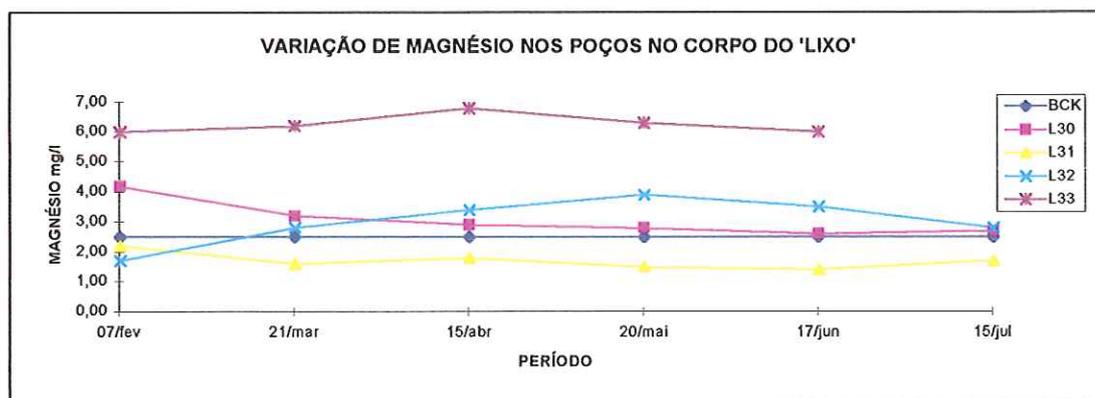


FIGURA 67 - Variação de magnésio nos poços no corpo do 'lixão' de São Carlos

Dos poços localizados à jusante do 'lixão' o L24, L25 e L26 foram os que apresentaram as maiores concentrações, sendo o L24 o que apresentou as maiores concentrações dentre todos os poços localizados no

'lixão', e podemos observar uma tendência dos poços L25 e L26 de aumentar a concentração no período.

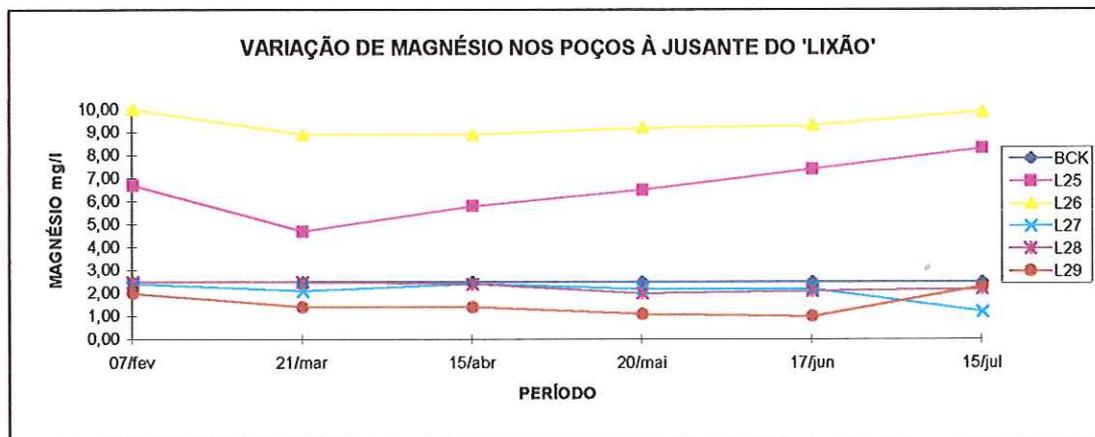


FIGURA 68 - Variação de magnésio nos poços à jusante do 'lixão' de São Carlos

6.6 NITRATO

Conforme FIGURA 69 dos poços localizados à montante do 'lixão', o L16, L17, L19 foram os poços que apresentaram valores acima do BCK, e o L19 foi o que apresentou os maiores valores.

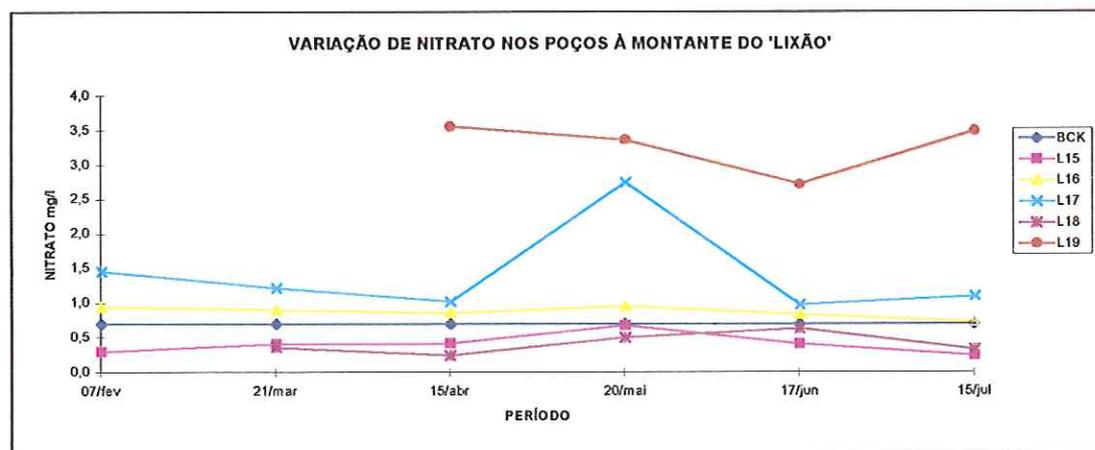


FIGURA 69 - Variação de nitrato nos poços à montante do 'lixão' de São Carlos

Como podemos observar na FIGURA 70 dos poços localizados no corpo do 'lixo', que com exceção do poço L30 que se manteve na maioria das amostras abaixo do BCK, o restante dos poços apresentaram valores acima do controle.

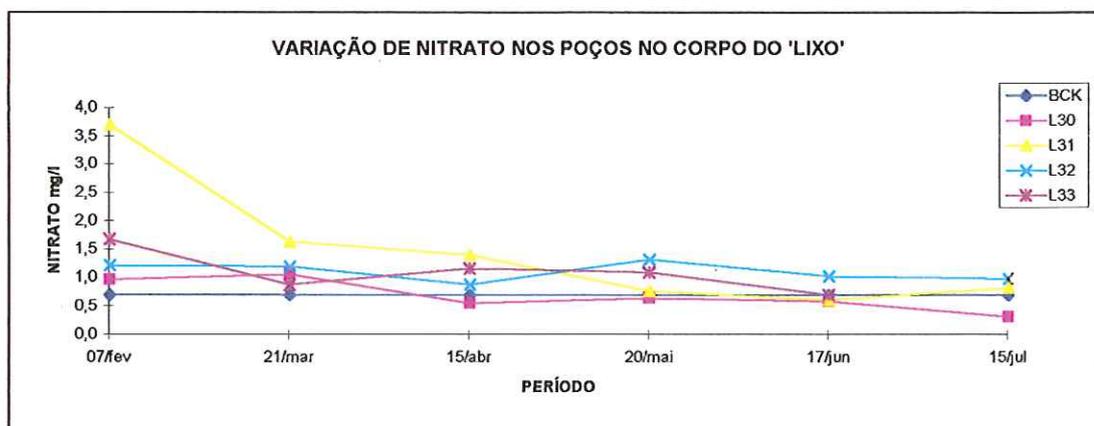


FIGURA 70 - Variação de nitrato nos poços no corpo do 'lixão' de São Carlos

Com relação aos poços localizados à jusante do 'lixão' o L24, L25 e L26 foram os que apresentaram os maiores valores, sendo o L24 o que apresentou as maiores concentrações de todos os poços no 'lixão', e o poço L25 apresentou uma tendência de queda nas concentrações no período.

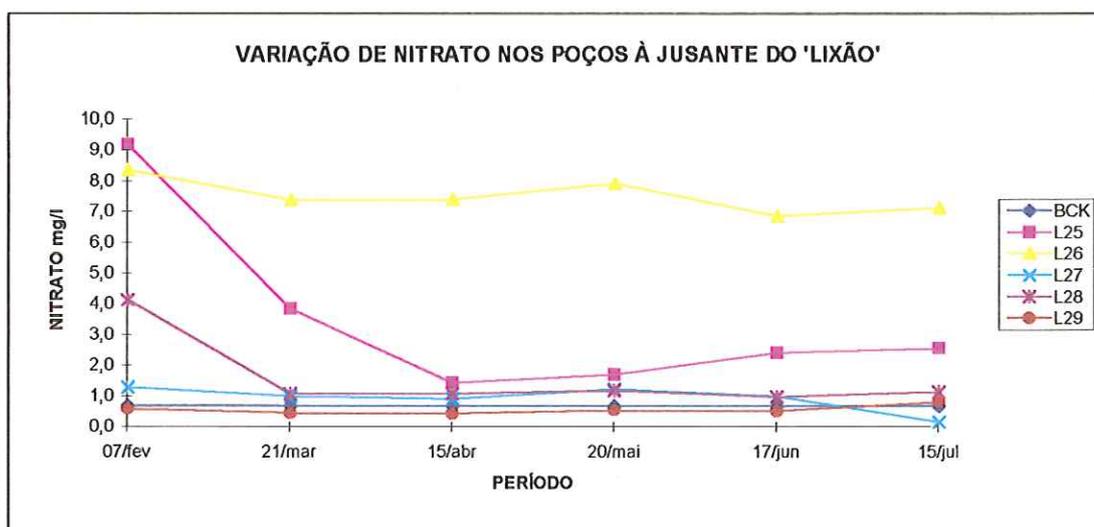


FIGURA 71 - Variação nitrato nos poços à jusante do 'lixão' de São Carlos

Comparando os resultados dos parâmetros indicadores de poluição, podemos observar dos poços localizados à montante do 'lixão' os poços L18 e L19 apresentaram as maiores concentrações, possivelmente influenciados pelos altos teores de sólidos encontrados neles. Em relação aos poços no

corpo do 'lixo' o L32 e L33 foram os que apresentaram as maiores concentrações. Eles estão localizados na parte central do 'lixão' onde foram depositados os resíduos mais recentes. Dos poços localizados a jusante do 'lixão' o L24, L25 e L26 foram os que apresentaram as maiores concentrações. O poço L24 o que apresentou as maiores concentrações, está localizado lateralmente à região central do 'lixão', demonstrando que existe uma pluma de contaminantes rumando da parte central do 'lixão' para a direção do poço L24, acompanhando o sentido do movimento da água subterrânea.

Os resultados mostrados nos gráficos e do poço L24 podem ser resumidos na tabela 29. Para cada parâmetro consideraram-se apenas as ocorrências de valores acima dos valores de referência.

TABELA 29 - Variação da concentração dos parâmetros indicadores de poluição

Parâmetros	BCK	Montante	Corpo do 'lixo'	Jusante
Alcalinidade (mg/l CaCO ₃)	37	50 - 86	60 - 204	60 - 692
Bário (mg/l)	0.05	0.1 - 0.2	0.1 - 0.9	0.08 - 2.10
Cloreto (mg/l Cl)	0.6	1.1 - 13.0	1.5 - 35.0	0.9 - 265
Condutividade (uS/cm)	51	86 - 146	95 - 384	112 - 1973
Magnésio (mg/l)	2.5	6.45 - 8.0	2.6 - 6.8	4.7 - 13.9
Nitrato (mg/l)	0.7	1 - 3.6	0.9 - 3.7	1.0 - 13.8

BCK = Valor de referência

Pode-se concluir que os resultados apontam claramente alteração em relação aos valores de referência causada pela presença do 'lixão'. Dos parâmetros analisados os melhores indicadores cloreto e condutividade.

Uma constatação interessante pode ser obtida quando se comparam os resultados obtidos por BOSSOLAN (1993) e MENEZES (1994) relativos ao poço L12 e os obtidos neste trabalho relativos ao poço L32, como mostra

a TABELA 30. A mesma análise é feita para os resultados obtidos neste trabalho relativo aos poços L24 e L33.

Para o poço L32 foi encontrada concentração de condutividade média de 323.4 uS/cm e no poço L12 BOSSOLAN e MENEZES encontraram concentrações médias de > 2000 uS/cm e 3826.45 uS/cm respectivamente, mostrando um aumento considerável no sentido SW, que também foi observado para os poços L24 e L33.

Considerando para a condutividade hidráulica um valor médio de 2.2×10^{-3} m/dia; uma porosidade efetiva de 0.25 e usando os dados de níveis estáticos (L33 = 12.47 m; L24 = 13.40 m) e distância entre os poços L33 e L24 igual a 82 m, obtem-se para a velocidade média de um soluto na água subterrânea o valor de 0.10 m/dia, nessa região. No período de 2 anos a distância percorrida seria de aproximadamente 73 m na horizontal compatível com a distância entre os poços L33 e L24, que é de 82 m.

Por outro lado, considerando-se uma condutividade vertical da ordem de um décimo do valor da condutividade horizontal, em 17 anos a poluição teria caminhado uma distância na vertical da ordem de 62 m, valor compatível com os resultados do levantamento geofísica que detectou alterações na resistividade da água subterrânea para profundidades de cerca de 35 metros.

TABELA 30 - Comparação com BOSSOLAN (1993) e MENEZES (1994)

	BOSSOLAN		MENEZES			
	L32	L12	L32	L12	L33	L24
ALCALINIDADE (mg/l CaCO ₃)			145.4	964.46	134.3	638.0
CONDUT (uS/cm)	323.4	> 2000	323.4	3826.45	250	1731.4
MAGNÉSIO (mg/l)	3.02	21.8			6.26	13.55
BÁRIO (mg/l)	0.66	2.31			0.66	1.90

Levando em consideração que o sentido do fluxo é SW, podemos observar um aumento nas concentrações de condutividade, alcalinidade, magnésio e bário nos poços localizados no corpo do 'lixo' para os poços localizados à jusante do 'lixão', demonstrando que a pluma de poluentes está caminhando no sentido do fluxo.

BORDEN & YANOSCHAK (1990), analisando 71 aterros sanitários nos Estados Unidos, detectaram impactos na água superficial e subterrânea, embora não tenham sido tão severos como normalmente se espera.

'Ao nível da água subterrânea, ocorre uma mudança importante no movimento do percolado, que na zona não saturada era predominantemente vertical, passando a ser aproximadamente horizontal na direção do escoamento regional da água subterrânea. O percolado passa, então, de uma fase líquido-gasosa para uma fase essencialmente líquida, o que faz que a diluição seja o principal mecanismo de atenuação. Outro fenômeno importante agindo no fluxo do poluente é a dispersão.' (COMMISSION COMMUNAUTES EUROPEENS, 1985; apud MENEZES, 1994)

'O grau de contaminação da água subterrânea está sob a influência de adsorção, troca iônica, precipitação química e complexação com substâncias orgânicas. Estes processos deverão ocorrer ao longo da infiltração do percolado na zona insaturada do substrato geológico do aterro e quanto mais espessa for esta zona, menores serão as concentrações de poluentes aportados na água.' (SCUDINO, 1992)

Nas águas superficiais observou-se um aumento nas concentração de condutividade, cloreto, nitrato, manganês, fosfato e bário e uma diminuição na concentração de oxigênio dissolvido do ponto de amostragem à montante para o ponto de jusante, demonstrando que o 'lixão' é a principal fonte de alterações na água do Córrego São José a jusante do 'lixão', constatadas anteriormente por RIOS (1993), TEIXEIRA (1993) e MENEZES (1994).

Como podemos observar nos resultados, o 'lixão' está poluindo a água subterrânea e a região que apresentou maiores concentrações foi a região a jusante do 'lixão', seguindo o fluxo da água subterrânea, onde apresentou concentrações de cloreto, magnésio, nitrogênio total, DQO, condutividade e alcalinidade muito acima do valor de referência e bário, nitrato e cloreto com concentrações superiores ao padrão de potabilidade, mas estas concentrações estão muito abaixo dos valores dos líquidos percolados.

Esta diminuição nas concentrações é devida a processos de atenuação ocorridos pela passagem do percolado por zonas hidrológicas diferentes onde está sob influência de adsorção, troca iônica, precipitação química, complexação com substâncias orgânicas, diluição e dispersão.

7. Conclusão

- ◆ Existe um escoamento na direção^W SW, compatível com os resultados das simulações da direção do fluxo pelo modelo numérico.
- ◆ A comparação entre os poços L32 com o L12 no sentido horizontal é compatível com os valores da hidrodinâmica e se repete para os poços L33 e L24.
- ◆ No sentido vertical a distância percorrida é compatível com os resultados observados no levantamento geofísico.
- ◆ Os elementos mais indicativos de alterações na qualidade da água foram cloretos e condutividade e portanto devem ter prioridade no monitoramento, inclusive pelo relativo baixo custo.
- ◆ As alterações na qualidade das águas superficiais e subterrâneas fica claramente demonstrada pelos resultados obtidos. Existe uma pluma de poluentes rumando no sentido SW. Convém salientar que nos poços situados sobre o corpo do 'lixo', as amostras coletadas situam-se a aproximadamente 4 metros da base do 'lixo', uma vez que o 'lixo' foi isolado por um anel de cimento e bentonita.

- ◆ Dentre todos os parâmetros observados na água subterrânea apenas as concentrações de Bário, nitrato e cloreto ultrapassaram o limite de potabilidade, não levando em consideração os parâmetros que deixam em dúvida quanto à contribuição do próprio solo.

- ◆ A formação geológica demonstrou alta capacidade de atenuação da poluição. Os valores encontrados estão bem abaixo daqueles que inicialmente se acreditava encontrar, quando se leva em conta os valores obtidos por SCHALCH (1992) nos líquidos percolados.

- ◆ Para o 'lixão' estudado, os elementos: cromo, cobre, níquel, zinco, fósforo, boro, cádmio e chumbo não foram detectados.

- ◆ Nas águas superficiais observou-se alterações na qualidade da água, demonstrando que o 'lixão' é a principal fonte de poluição nas águas do Córrego São José a jusante do 'lixão'. Estas alterações foram constatadas anteriormente por RIOS (1993), TEIXEIRA (1993) e MENEZES (1994). Segundo RIOS (1993) e TEIXEIRA (1993) estas alteração diminuem mais a jusante do rio, possivelmente pela diluição e pela capacidade de autodepuração do Córrego.

ANEXOS

ANEXOS

ANEXO 1 - Carta planialtimétrica da região do 'lixão' de São Carlos.

ANEXO 2 - Planta piezométrica da região do 'lixão' de São Carlos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987). NBR 10.004 - Resíduos sólidos, classificação.

BENGTSSON, L.; BENDZ, D.; HOGLAND, W.; ROSQVIST, H.; AKESSON, M. (1994). Water balance for landfills of different age. In: Journal of Hydrology, V. 158. p. 203-217.

BLUNDI, C. E. (1996). Roteiros de laboratório, da disciplina Técnicas experimentais em saneamento ambiental (SHS 878), Departamento de Hidráulica e Saneamento - USP/

BORDEN, R. C.; YANOSCHAK, T. M. (1990). Ground and surface water quality impacts of North Carolina sanitary landfills. Water Resources Bulletin, AWRA, v. 26, n. 2, april, p. 269-277.

BOSSOLAN, N. R. S. (1993). Aspectos ecológicos das populações bacterianas em águas subterrâneas sob efeito de um aterro controlado - São Carlos - SP. São Carlos. 120 p. Dissertação (Mestrado) - Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, UFSCar.

CAICEDO, N. L. (1993). Hidrologia: ciência e aplicação. Capítulo 8 - Água Subterrânea. 1º Edição - Editora da Universidade - Universidade Federal do Rio Grande do Sul e edusp - Universidade de São Paulo.

CASTILHOS JÚNIOR, Armando B. (1991). Produção de biogás e líquidos percolados em aterros sanitários. Revista Saneamento Ambiental, Nº 12, fev/marc, 1991.

CETESB (1977). Poluição das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo: Estudo Preliminar. São Paulo. 88 p.

CETESB, (1987) São Paulo. 3ª Reunião Latino-Americana Sobre Prevenção e Controle da Contaminação de Águas Subterrâneas, Apostila, 1987.

CETESB, (1988). Construção de poços de monitoramento de aquífero freático. CETESB 06.010. São Paulo, 1988.

CLEARY, R. W.; MILLER, D. W. (1984). Aspectos fundamentais e monitoramento de poluição de água subterrânea. In: 3º CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, Fortaleza, 1984. Anais. Fortaleza, ABAS. v. 2, p. 313-329.

COMMISSION DES COMUNAUTES EUROPEENS. Etude Bibliographique Sur Les Lessivats Produits Par la Mise em Decharge de Dechets Industriels. Rapport Final: Impacts Téels des Decharges ou Depôts de Dechets Industriels sur le Sol et Sous-sol. v. 2/4. Comission des Comunautes Europeens / Ministre de L'Environnement.

ELLERT, N.; GREENHOUSE, J.; SINELLI, O. Mapeamento eletromagnético (condutividade) de zonas contaminadas por rejeitos de usina de álcool e açúcar. Exemplo : Ribeirão Preto - SP, Brasil. In: Ação Programada em Águas Subterrâneas (convênio DAEE / FAPESP). Síntese dos Resultados Período 1984-1987, São Paulo. p 409-417.

ELLERT, N.; GREENHOUSE, J.; WILLIAMS, M. M.; MENDES, J. B.; HASSUDA, S. A Geofísica aplicada na identificação da poluição do subsolo por depósitos de rejeitos urbanos e industriais. In: Ação Programada em Águas Subterrâneas (convênio DAEE / FAPESP). Síntese dos Resultados Período 1984-1987, São Paulo. p 402-406.

ELLERT, N; ROSS, S; MENDES, J.M.B.; MARTINS, E. (1990). Mapeamento geofísico do lixão de São Carlos. In: 6º CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, Porto Alegre, ABAS. p. 82-88.

FETTER, C. W. (1994). Applied Hydrogeology. 3ª Edição Macmillian College Publishing Company, Nova York.

FREITAS, A. L. S. de. (1996). Caracterização do aquífero Botucatu na região do lixão de São Carlos. Dissertação (Mestrado) - EESC - Universidade de São Paulo.

- GANDOLFI, N. & ZUQUETTE, L. V. (1991). Análise da relação entre disposição de rejeitos de baixa periculosidade e meio geológico receptor. In: SIMPÓSIO SOBRE BARRAGENS DE REJEITOS E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, Rio de Janeiro, 1991. Anais. Rio de Janeiro, ABMS. p. 221-232.
- GEBARA, Dib. (1985). Estudo da composição do lixo em um modelo de célula de aterro sanitário. São Carlos. 89p. Dissertação (Mestrado) - EESC - Universidade de São Paulo.
- GOMES, L. P.; POVINELLI, J. (1991). Caracterização física dos resíduos sólidos urbanos da cidade de São Carlos. Revista Bio, ano III, nº 2, p. 63-68. 1991.
- GOMES, Luciana P. (1989). Estudo da caracterização física e da biodegradabilidade dos resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários. São Carlos. 167p. Dissertação (Mestrado) - EESC, Universidade de São Paulo.
- GONÇALVES, A. R. L.; BOSSOLAN, N. R. S.; ORLANDO, M. J. G. (1992). Determinação da direção do fluxo de freático no aterro sanitário de São Carlos. In: 7º CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, Belo Horizonte, 1992. p. 114-118.
- GREENHOUSE, J. et al. (1987). Geophysical studies of groundwater contamination at two studies in São Paulo state, Brasil. In: Ação Programada em Águas Subterrâneas (convênio DAEE / FAPESP). Síntese dos Resultados Período 1984-1987, São Paulo. p 420-425.
- HAITJEMA, H.M. (1991). Ground water hydraulics considerations regarding landfills. Water Resources Bulletin - American Water Resources Association. v. 27, n. 5, p. 791-796, out. 1991.
- IPT . (1990). Considerações gerais sobre os métodos geoeletricos. Apostila interna. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.
- LIMA, Luiz M. Q. (1991). Tratamento de lixo, Hemus editora limitada, São Paulo ,1991.

- MALAGUTTI FILHO, V. (1991). Utilização de técnicas geofísicas na caracterização de solos e rochas com aplicações na geologia de planejamento urbano, Rio Claro - SP, Tese Doutorado - UNESP - Rio Claro.
- MATIAS, M. (1994). Senos et al. A geophysical and hydrogeological study of aquifers contamination by a landfill, *Journal of Applied Geophysics* 32, p. 155.
- MATSUZAKI, S. S. (1997). Aplicação de modelos numéricos de escoamento de água subterrânea no 'lixão' de São Carlos. Dissertação (Mestrado) - EESC - Universidade de São Paulo. /no prelo/
- MATTOS, A. (1982). Método de previsão de estiagens em rios perenes (usando poucos dados de vazão e longas séries de precipitação). São Carlos. Tese Doutorado - EESC, Universidade de São Paulo.
- MATTOS, A. (1984). Bacia representativa do Jacaré - Guaçu. São Carlos. Relatório. Convênio EESC / DNAEE.
- MENDES, J.M.B. (1990). Métodos geofísicos aplicados à investigação da poluição das águas subterrâneas. Apostila interna - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.
- MENEZES, Denise B. (1994). Diagnóstico dos impactos do lixão de São Carlos - SP, no meio físico. São Carlos. 101p. Dissertação (Mestrado) - EESC - Universidade de São Paulo.
- MIKKELSEN, P.S.; WEYER, G.; BERRY, C.; WALDEN, Y.; COLANDINI, V.; POULSEN, S.; GROTEHUSMANN, D.; ROHHLFING, R. (1994). Pollution from urban stormwater infiltration. In: *Water Science Technology*, 1994. v. 29, n. 1-2, p. 293-302.
- MWENIFUMBO, C. J. (1993). Borehole geophysics in environmental applications. In: *CIM Bulletin*, v. 86, n. 966, jan 1993, p. 43-49.
- PARISOT, E. H.; GUIGUER Jr.,N.; REBOUÇAS, A. C.; CABRAL Jr., D.; DUARTE, U. (1984). Monitoramento das águas subterrâneas adjacentes ao aterro sanitário de Taubaté (SP) - Primeiros resultados. In: *Ação Programada em Águas Subterrâneas (Convênio DAEE / FAPESP)*. Síntese dos Resultados Período 1984-1987, São Paulo. p. 342-355.

- PETRI, S.; FULFARO, V. (1983). Geologia do Brasil (Fanerozóico). 1ª Edição EDUSP, São Paulo.
- PFEIFFER, S. C. (1993). Avaliação da viabilidade técnico-econômica de aproveitamento de águas subterrâneas na área urbana de São Carlos (SP). São Carlos. Dissertação (Mestrado) - EESC - Universidade de São Paulo.
- PHILIPPI, L. (1988). O conceito de biodegradação, Apostila da disciplina Processos anaeróbios de tratamento de despejos, Departamento de Engenharia Sanitária - UFSC.
- POHLAND, F. G.; HARPER, S. R. (1985). Critical review and summary of leachate and gas production from landfills, US. EPA, Georgia Tech. Project n - E-20-G01, Dez, 1985, 165p.
- POPPE, L. P. M.; LOPEZ, J. C.; NEGRÃO, F. I. (1980). Determinação de Áreas Prioritárias Para o Controle da Poluição das Águas Subterrâneas. In: 1º CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, Recife, 1980. p. 235-245.
- REBOUÇAS, A. C. (1989). Proteção das Águas Subterrâneas. In: Seminário Nacional de Normalização em Engenharia Sanitária e Ambiental. Apostila, CEPAS-IG-USP, São Paulo, 1989.
- REBOUÇAS, A.C. (1992). Impactos ambientais nas águas subterrâneas. In: 7º CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, Belo Horizonte, ABAS, 1992, p. 11-17.
- REIS, R. (1990). São Paulo aproveita mal suas grandes reservas. Saneamento Ambiental, 1990, V. 6, p. 20-21.
- RIGOTTI, A.; BRAGA, A. C. O. (198/). Proposta do IPT para a normalização dos trabalhos de prospecção geolétrica. Apostila interna. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.
- RIOS, L. (1993). Estudo limnológico e fatores ecológicos em ribeirões e córregos da Bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão (Estado de São Paulo). São Carlos. 146 p. Dissertação (Mestrado) - EESC - Universidade de São Paulo.

- RODRIGUES, F. L. (1994). Razões da situação existente. In: 6º Evento do Programa de Atualização em Tecnologias de Interesse Ambiental: Aterro sanitário versus lixão - problemas e soluções. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), São Paulo. Anais, p. 22-34.
- ROSS, W. R. (1990). Factors influencing the chemical characteristics of landfill leachates, *Water S.A.*, V. 16, Nº 4, Oct, 1990, p. 275-280.
- ROUSSEAU, Patrick; CASTILHOS Jr., Armando B. de, VERMANDE, P.; NAVARRO, Alain. (1989). Estimativa da distribuição e dos teores dos metais pesados nas diversas frações dos resíduos urbanos no Brasil. *Bio*, nov-dez, p. 57-60.
- SANTOS, M. F. dos. (1993). Subsídios para o planejamento conservacionista da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão (São Carlos, Itirapina e Analândia, SP). São Carlos. 222 p. Dissertação (Mestrado) - EESC - Universidade de São Paulo.
- SCHALCH, V. (1992). Análise comparativa do comportamento de dois aterros sanitários semelhantes e correlações dos parâmetros do processo de digestão anaeróbia. São Carlos. 209p. Tese (Doutorado) - EESC - Universidade de São Paulo.
- SCHALCH, V. et al. (1992). Aterro sanitário: considerações sobre escolha do sítio, projeto, implantação, operação e monitoramento. In: 7º CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, Belo Horizonte, MG, 1992. p. 123-126.
- SCHALCH, V; LEITE, W. C. A.; GOMES, L. P. (1990). Curso sobre gerenciamento de resíduos sólidos. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- SENIOR, E. ; BALBA, M. T. M. (1987) Landfill biotechnology. In: WISE, Donald L. (ed.) *Bioenvironmental Systems*. Florida, DRC Press, 1987. v.2, 217p.
- SILVA, N. A. (1981). Construção e operação de um biodigestor - modelo chinês. *Revista Energia - Fontes Alternativas*, 1981, V. 14, Nº 3, p. 31-56.

- SILVA, R.B.G. (1983). Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do aquífero Botucatu no Estado de São Paulo. São Paulo. Tese de Doutorado - Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo.
- TEIXEIRA, D. (1993). Caracterização limnológica dos sistemas lóticos e variação temporal e espacial de invertebrados bentônicos na Bacia do Ribeirão do Feijão (São Carlos - SP). São Carlos. 193 p. Dissertação (Mestrado) - EESC - Universidade de São Paulo.
- WINANT, W. M.; MENSER, H. A.; BENNET, O. L. (1981). Effects of sanitary landfill leachate on some soil chemical properties. J. Environ. Qual., v. 10, n.3, p. 318-322.
- YASSUDA, R.E.; NAGAMI, P.S. (1973). Técnicas de abastecimento e tratamento de água. Vol. 1 , capítulo 5 - Captação de água subterrânea. Faculdade de Saúde Pública - Universidade de São Paulo - Centro Técnico de Saneamento Básico.