



Trabalho Final de Mestrado em Engenharia Ambiental  
Modalidade: Dissertação

**AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DO LENÇOL FREÁTICO DO  
LIXÃO MUNICÍPIO DE SÃO PEDRO DA ALDEIA -RJ**

Autor: *José da Silva Lima*  
Orientadora: Elisabeth Ritter  
Co-orientador: João Alberto Ferreira

Centro de Tecnologia e Ciências  
Faculdade de Engenharia  
Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente

Outubro de 2003

# AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DO LENÇOL FREÁTICO DO LIXÃO MUNICÍPIO DE SÃO PEDRO DA ALDEIA -RJ

José da Silva Lima

Trabalho Final submetido ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada por:

---

Prof<sup>ª</sup>., Elisabeth Ritter D.Sc. - Presidente  
PEAMB/UERJ

---

Prof<sup>º</sup>., João Alberto Ferreira, D.Sc.  
PEAMB/UERJ

---

Prof<sup>º</sup>., Marcus Peigas Pacheco Ph.D.  
IPERJ/UERJ

---

Prof<sup>ª</sup>., Laura de Simone Borma, D.Sc  
LNCC

Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Outubro de 2003

José da Silva Lima

Avaliação da Contaminação do Lençol Freático do Lixão do Município  
de São Pedro Da Aldeia – Rj (Rio de Janeiro 2003).

xv, 87 P. 29,7 cm (FEN/UERJ, Mestrado, Programa  
de Pós-graduação em Engenharia Ambiental - Área de  
Concentração: Saneamento Ambiental - Controle da  
Poluição Urbana e Industrial, 2002.)

Dissertação - Universidade do Estado do Rio de  
Janeiro – UERJ

1 Apresentação

2 Impactos Ambientais Produzidos por Lixões e Aterros Sanitários

3 Lixão do Município de São Pedro da Aldeia

4 Monitoramento

I. FEN/UERJ II. Título (série)

## ÍNDICE

|  |             |
|--|-------------|
| <b>RESUMO</b>  | <b>i</b>    |
| <b>ABSTRACT</b>  | <b>ii</b>   |
| <b>LISTA DE ABREVIATURAS (e/ou SIGLAS, SÍMBOLOS)</b>                                   | <b>iii</b>  |
| <b>LISTA DE FIGURAS</b>  | <b>iv</b>   |
| <b>LISTA DE TABELAS</b>  | <b>vii</b>  |
| <b>DEDICATÓRIA</b>   | <b>viii</b> |
| <b>AGRADECIMENTOS</b>  | <b>ix</b>   |
| <br>   |             |
| <b>CAPITULO 1 – APRESENTAÇÃO</b>   |             |
| <br>   |             |
| <b>1.1 Introdução</b>  | <b>01</b>   |
| <b>1.2 Objetivo</b>  | <b>02</b>   |
| <br>   |             |
| <b>CAPITULO 2 - IMPACTOS AMBIENTAIS PRODUZIDOS POR LIXÕES<br/>E ATERROS SANITÁRIOS</b> | <b>03</b>   |
| <br>   |             |
| <b>2.1.DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL</b>                            | <b>03</b>   |
| <b>2.2. IMPACTOS AMBIENTAIS</b>  | <b>04</b>   |
| <b>2.2.1.Poluição da águas superficiais e subterrâneas</b>                             | <b>05</b>   |
| <b>2.2.2.Devastação da vegetação</b>   | <b>08</b>   |
| <b>2.2.3. Queimas e riscos de Explosões</b>  | <b>09</b>   |
| <b>2.2.4. Odores</b>   | <b>09</b>   |
| <b>2.2.5. Poluição do Ar</b>   | <b>10</b>   |
| <b>2.3.INDICADORES DE IMPACTOS E DESCRIÇÃO DE CASOS DE<br/>IMPACTOS</b>                | <b>11</b>   |
| <b>2.3.1. O Lixão do Distrito Federal</b>  | <b>12</b>   |
| <b>2.3.2. Aterro Metropolitano de Gramacho</b>   | <b>14</b>   |
| <b>2.3.3 O Lixão de Muribeca</b>   | <b>15</b>   |
| <b>2.3.4. Aterro de Jangurussu</b>   | <b>16</b>   |
| <b>2.3.5 Resumo de Composição Química de Chorume</b>                                   | <b>18</b>   |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CAPITULO 3 - LIXÃO DO MUNICIPIO DE SÃO PEDRO DA ALDEIA</b>                    | <b>20</b> |
| <b>3.1. DESCRIÇÃO DO MUNICÍPIO</b>   | <b>20</b> |
| <b>3.2. A LIMPEZA URBANA DO MUNICÍPIO</b>  | <b>22</b> |
| <b>3.2.1. Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos de São Pedro da Aldeia</b> | <b>22</b> |
| <b>3.2.1.1. A Produção de Resíduos sólidos urbanos</b>                           | <b>23</b> |
| <b>3.2.1.2. Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Domiciliares</b>        | <b>24</b> |
| <b>3.3. ÁREA FOCO DO ESTUDO</b>  | <b>25</b> |
| <b>3.4. INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS</b>                               | <b>28</b> |
| <br>   |           |
| <b>CAPITULO 4 – MONITORAMENTO</b>  | <b>29</b> |
| <br>   |           |
| <b>4.1. INSTALAÇÃO DOS PIEZÔMETROS</b>   | <b>29</b> |
| a) Revestimento Interno  | 32        |
| b) Filtro  | 33        |
| c) Pré-Filtro  | 33        |
| d) Proteção Sanitária  | 33        |
| e) Tampão  | 33        |
| f) Sistema de Proteção do Tubo   | 34        |
| g) Selo  | 34        |
| <b>4.2. AMOSTRAGEM</b>   | <b>35</b> |
| <b>4.3. NIVEIS ESTÁTICOS MEDIDOS</b>   | <b>37</b> |
| <b>4.4. PARÂMETROS MEDIDOS E QUIPAMENTOS UTILIZADOS</b>                          | <b>38</b> |
| <br>   |           |
| <b>CAPITULO 5. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>                       | <b>40</b> |
| <br>   |           |
| <b>5.1. PARÂMETROS MEDIDOS NO CAMPO</b>  | <b>41</b> |
| <b>5.1.1. Potencial Hidrogeniônico (pH)</b>                                      | <b>41</b> |
| <b>5.1.2. Potencial Redox (Eh)</b>   | <b>43</b> |
| <b>5.1.3. Oxigênio Dissolvido (OD)</b>   | <b>45</b> |
| <b>5.1.4. Condutividade Elétrica (CE)</b>  | <b>47</b> |
| <b>5.1.5. Sólidos Totais Dissolvidos (STD)</b>                                   | <b>48</b> |
| <b>5.2. Parâmetros Medidos em Laboratório</b>                                    | <b>49</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>5.2.1. Cloreto (Cl<sup>-</sup>)</b>  | <b>49</b> |
| <b>5.2.2. Brometo (Br<sup>-</sup>)</b>  | <b>52</b> |
| <b>5.2.3. Sódio (Na<sup>+</sup>)</b>  | <b>53</b> |
| <b>5.2.4. Potássio (K<sup>+</sup>)</b>  | <b>55</b> |
| <b>5.2.5. Cálcio (Ca<sup>+2</sup>)</b>  | <b>56</b> |
| <b>5.2.6. Magnésio (Mg<sup>+2</sup>)</b>  | <b>58</b> |
| <b>5.2.7. Amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)</b>   | <b>59</b> |
| <b>5.2.8. Ferro (Fe<sub>(total)</sub>) e Manganês (Mn)</b>                                      | <b>60</b> |
| <b>5.2.9. Bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e Sulfato (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>)</b> | <b>62</b> |
| <b>5.2.10. Bário (Ba<sup>+2</sup>)</b>  | <b>65</b> |
| <b>5.2.11. Metais Pesados</b>   | <b>66</b> |
| <b>5.2.12. Limites da Pluma de Contaminação a Jusante</b>                                       | <b>66</b> |
| <br>  |           |
| <b>CAPITULO 6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES</b>  | <b>68</b> |
| <br>  |           |
| <b>CAPÍTULO 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS UTILIZADAS</b>   | <b>72</b> |
| <br>  |           |
| <b>CAPITULO 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS CONSULTADAS</b>  | <b>76</b> |
| <br>  |           |
| <b>ANEXO - RESULTADO DO MONITORAMENTO DAS ÁGUAS DO ENTORNO DO LIXÃO DE SÃO PEDRO DA ALDEIA</b>  |           |

# AValiação DA CONTAMINAÇÃO DO LENÇOL FREÁTICO NO ENTORNO DO LIXÃO DO MUNICÍPIO DE SÃO PEDRO DA ALDEIA

## RESUMO

O lixão de São Pedro da Aldeia vem recebendo o lixo de todo o município há aproximadamente 13 anos. São depositados atualmente cerca de 18.000 ton/ano de resíduos sólidos. Sem nenhuma medida de proteção ambiental, tais como impermeabilização de células, drenagem e tratamento do chorume, o aquífero é exposto à contaminação oriunda do lixão. A região é habitada por cerca de 1000 moradores que utilizam desta água para o consumo próprio. Preocupação adicional existe em decorrência do aterro estar localizado próximo a propriedades rurais.

O objetivo deste trabalho foi o de detectar os danos aos recursos hídricos superficiais e subterrâneos nas vizinhanças do lixão de São Pedro da Aldeia. Para analisar a qualidade das águas na região do lixão, foram instalados seis piezômetros de monitoramento. Foi realizado um levantamento topográfico da área onde estão instalados os piezômetros visando maior precisão do comportamento da pluma de contaminação. As análises cobriram um período de oito meses, de Fevereiro de 2000 à Setembro de 2001.

Foram determinados 21 elementos e realizadas seis medições de campo: pH, temperatura, condutividade elétrica (CE), potencial redox (Eh), oxigênio dissolvido e sólidos totais dissolvidos (STD). Além da determinação dos íons  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Ba}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Fe}_{(\text{total})}$ ,  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{Cr}_{(\text{total})}$ ,  $\text{Ni}^{+2}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{Cd}^{+2}$ ,  $\text{Hg}^{+2}$ ,  $\text{Sn}^{+4}$ ,  $\text{Pb}^{+2}$ , num total de 2376 determinações. Os resultados das análises químicas mostraram que o depósito de lixo provoca aumento da contaminação das águas subterrâneas nas vizinhanças do lixão, a condutividade elétrica do chorume foi de  $15.400\mu \cdot \text{cm}^{-1}$ . Através dos resultados foi observado que os compostos e elementos cloreto, sódio, manganês, magnésio e cálcio contribuem para o aumento da condutividade elétrica das águas subterrâneas na região. O ferro e o manganês estão ligados com a variação do potencial redox. A propagação dos contaminantes é muito localizada não alcançando mais de 230 metros na região onde foi estudada esta contaminação. Medidas de concentrações de metais pesados forneceram valores abaixo do nível de detecção. Foi observado que a elevação da superfície freática provoca aumento da concentração das águas, devido ao maior aporte de chorume.

**Palavras-Chave:** Contaminação, Lixão, Águas subterrâneas, Águas superficiais.

## ABSTRACT

São Pedro da Aldeia's open dump has been receiving the waste of the whole municipality for about 13 years. Today, nearly 18.000 ton/year of solid waste are deposited there. With the lack of any environmental protection measure, such as the impermeabilization of the cells, the drainage and the treatment of the leachate, the aquifer is exposed to the contamination derived from the open dump. The region nearby the dump is inhabited by approximately 1.000 people who use ground water to personal consumption. Additional concern comes from the fact that the dump is located next to rural properties.

The purpose of present study was to detect the damages to the superficial and subterranean water resources in the vicinity of São Pedro da Aldeia's open dump. Six monitoring piezometers were installed on the drainage line, to analyze quality of the water nearby the open dump region. A topographic survey of the area where the piezometers were installed was conducted aiming the definition with a higher accuracy of the contamination plum behavior. The analyses covered a period of eight months, from February 2000 to September 2001.

The determinations involving 21 elements and 6 measures in field: pH, temperature, electrical conductivity(CE), redox potential (Eh), dissolved oxygen and total dissolved solids (TDS) beyond ion's determination,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Ba}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Fe}_{(total)}$ ,  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{Cr}_{(total)}$ ,  $\text{Ni}^{+2}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{Cd}^{+2}$ ,  $\text{Hg}^{+2}$ ,  $\text{Sn}^{+4}$ ,  $\text{Pb}^{+2}$  making a total of 2376 determinations. The results of the chemical analyses showed that the waste deposit causes the mineralization increase in the ground water near the dump: the electrical conductivity measured in the leachate is  $15.400\mu \cdot \text{cm}^{-1}$ . It was noticed, by analyses, that the composites and elements, chloride, sodium, manganese, magnesium and calcium contributed to the increase of electrical conductivity of the groundwater in the region. Iron and manganese are connected with the variation of the Redox Potential.. Ammonium, that presents a low concentration in leachate and bromide showed a meaningful decay after 151 meters from the open dump.

The dissemination of the contaminants reach up to 230 meters in the region where the study was developed. Heavy metal concentration measures gave values lower than the detection level.

Key Words: Contamination, Open Dump, Ground Water, Superficial Water

## **LISTA DE ABREVIATURAS (e/ou SIGLAS, SÍMBOLOS)**

**CE** – Condutividade Elétrica

**COT** - Total de carbono orgânico

**DBO** – Demanda Bioquímica de oxigênio

**DQO** - Demanda Química de oxigênio

**Eh** - Potencial Redox

**ND** – Não determinado

**OD** – Oxigênio Dissolvido

**pH** – Potencial Hídrogênio

**RESUB** – Rede Subterrânea

**STD** – Sólidos Totais Dissolvidos

## Lista de Figuras

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 2.1.</b> Disposição de Resíduos Urbanos no Brasil   | 04 |
| <b>Figura 2.2.</b> Mapa de localização das cacimbas analisadas.   | 13 |
| <b>Figura 3.1.</b> Localização do município de São Pedro da Aldeia  | 20 |
| <b>Figura 3.2.</b> Pluviometria de 2000 e 2001  | 21 |
| <b>Figura 3.3.</b> - Localização do lixão, vala de drenagem (VD) e talveg   | 26 |
| <b>Figura 3.4.</b> Topografia do local de estudo  | 27 |
| <b>Figura 3.5.</b> Vala de drenagem (VD) a jusante do lixão   | 27 |
| <b>Figura 3.6.</b> Área alagada a jusante do lixão  | 28 |
| <b>Figura 4.1.</b> Croqui de instalação dos piezômetros   | 30 |
| <b>Figura 4.2.</b> Localização dos piezômetros na planta topográfica  | 31 |
| <b>Figura 4.3.</b> Esquema de construção de um piezômetro com seus elementos  | 32 |
| <b>Figura 4.4.</b> Sistema de proteção do tubo utilizado  | 34 |
| <b>Figura 4.5.</b> Medidores de nível de água   | 36 |
| <b>Figura 4.6.</b> Bomba submersa   | 36 |
| <b>Figura 4.7.</b> A - Bailer, B - Ehmetro, C – pHmetro, condutivimetro e temperatura e D -oximetro   | 37 |
| <b>Figura 4.8.</b> Gráficos do NE e coluna de água nos piezômetros  | 38 |
| <b>Figura 5.1.</b> pH no chorume em todos os meses monitorados  | 42 |
| <b>Figura 5.2.</b> pH referente aos pontos P8, VD, P14, P13, L1, P2, P1 L2, P3, L3 e PC15, nos meses de junho de 2000, setembro de 2000, abril de 2001 e agosto de 2001 | 43 |
| <b>Figura 5.3.</b> Eh do chorume de todos meses monitorados   | 44 |
| <b>Figura 5.4.</b> Eh referente aos pontos P8, VD, P14, P13, L1, P2, P1 L2, P3, L3 e PC15, nos meses de junho de 2000, setembro de 2000, abril de 2001 e agosto de 2001 | 45 |
| <b>Figura 5.5.</b> OD do chorume de todos meses monitorados   | 46 |
| <b>Figura 5.6.</b> OD referente aos pontos P8, VD, P14, P13, L1, P2, P1 L2, P3, L3 e PC15, nos meses de junho de 2000, setembro de 2000, abril de 2001 e agosto de 2001 | 46 |
| <b>Figura 5.7.</b> Condutividade Elétrica no chorume de todos meses monitorados   | 47 |
| <b>Figura 5.8.</b> CE referente aos pontos P8, VD, P14, P13, L1, P2, P1 L2, P3, L3 e PC15, nos meses de junho de 2000, setembro de 2000, abril de 2001 e agosto de 2001 | 48 |
| <b>Figura 5.9.</b> Sólidos Totais Dissolvidos no chorume de todos os meses monitorados  | 49 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 5.10.</b> STD referente aos pontos P8, VD, P14, P13, L1, P2, P1 L2, P3, L3 e PC15, nos meses de junho de 2000, setembro de 2000, abril de 2001 e agosto de 2001                          | 49 |
| <b>Figura 5.11.</b> Concentrações de Cl <sup>-</sup> no chorume de todos meses monitorados   | 50 |
| <b>Figura 5.12.</b> Cl <sup>-</sup> referente aos pontos P8, VD, P14, P13, L1, P2, P1 L2, P3, L3 e PC15, nos meses de junho de 2000, setembro de 2000, abril de 2001 e agosto de 2001              | 51 |
| <b>Figura 5.13.</b> Caminhão limpa fossa vazando esgoto na drenagem  | 51 |
| <b>Figura 5.14.</b> Caminhão limpa fossa vazando esgoto na drenagem, vista de outro ângulo   | 52 |
| <b>Figura 5.15.</b> Concentrações de Br <sup>-</sup> no chorume de todos meses monitorados   | 53 |
| <b>Figura 5.16.</b> Br <sup>-</sup> referente aos pontos P8, VD, P14, P13, L1, P2, P1 L2, P3, L3 e PC15, nos meses de junho de 2000, setembro de 2000, abril de 2001 e agosto de 2001              | 53 |
| <b>Figura 5.17.</b> Na <sup>+</sup> no chorume de todos meses monitorados  | 54 |
| <b>Figura 5.18.</b> Na <sup>+</sup> referente aos pontos P8, VD, P14, P13, L1, P2, P1 L2, P3, L3 e PC15, nos meses de junho de 2000, setembro de 2000, abril de 2001 e agosto de 2001              | 55 |
| <b>Figura 5.19.</b> Concentrações de K <sup>+</sup> no chorume de todos os meses monitorados   | 56 |
| <b>Figura 5.20.</b> K <sup>+</sup> referente aos pontos P8, VD, P14, P13, L1, P2, P1 L2, P3, L3 e PC15, nos meses de junho de 2000, setembro de 2000, abril de 2001 e agosto de 2001               | 56 |
| <b>Figura 5.21.</b> Concentrações de Ca <sup>+2</sup> no chorume de todos meses monitorados  | 57 |
| <b>Figura 5.22.</b> Ca <sup>+2</sup> referente aos pontos P8, VD, P14, P13, L1, P2, P1 L2, P3, L3 e PC15, nos meses de junho de 2000, setembro de 2000, abril de 2001 e agosto de 2001             | 57 |
| <b>Figura 5.23.</b> Concentrações de Mg <sup>+2</sup> no chorume de todos meses monitorados  | 58 |
| <b>Figura 5.24.</b> Mg <sup>+2</sup> referente aos pontos P8, VD, P14, P13, L1, P2, P1 L2, P3, L3 e PC15, nos meses de junho de 2000, setembro de 2000, abril de 2001 e agosto de 2001             | 59 |
| <b>Figura 5.25.</b> Concentrações de NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> no chorume de todos meses monitorados  | 60 |
| <b>Figura 5.26.</b> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> referente aos pontos P8, VD, P14, P13, L1, P2, P1 L2, P3, L3 e PC15, nos meses de junho de 2000, setembro de 2000, abril de 2001 e agosto de 2001 | 60 |
| <b>Figura 5.27.</b> Concentrações de Ferro (total) no chorume de todos meses monitorados   | 61 |
| <b>Figura 5.28.</b> Concentrações de Manganês no chorume de todos meses monitorados  | 61 |
| <b>Figura 5.29.</b> Concentrações de Ferro e Manganês referentes aos pontos P8, VD, P14, P13, L1, P2, P1 L2, P3, L3 e PC15, em relação ao potencial redox  | 62 |
| <b>Figura.5.30.</b> Fe e Mn referente aos pontos P8, VD, P14, P13, L1, P2, P1 L2, P3, L3 e PC15, nos meses de junho de 2000, setembro de 2000, abril de 2001 e agosto de 2001                      | 62 |

agosto de 2001

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 5.31.</b> Concentrações de $\text{HCO}_3^-$ no chorume de todos meses monitorados  | 64 |
| <b>Figura 5.32.</b> Concentrações de $\text{SO}_4^{-2}$ no chorume de todos meses monitorados  | 64 |
| <b>Figura 5.33.</b> Concentrações de bário no chorume de todos meses monitorados   | 65 |
| <b>Figura 5.34.</b> $\text{Ba}^{+2}$ referente aos pontos P8, VD, P14, P13, L1, P2, P1 L2, P3, L3 e PC15, nos meses de junho de 2000, setembro de 2000, abril de 2001 e agosto de 2001 | 66 |
| <b>Figura 5.35.</b> Limites da pluma de contaminação   | 67 |

## Lista de Tabelas

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 2.1</b> Parâmetros determinados para caracterização do chorumes  | 6  |
| <b>Tabela.2.2.</b> Íons que podem ser encontrados no chorume e possíveis origens   | 6  |
| <b>Tabela 2.3.</b> Faixas de variação dos teores de substâncias contaminantes dissolvidos no chorume de aterros sanitários                                   | 7  |
| <b>Tabela 2.4.-</b> Substâncias potencialmente prejudiciais (teores máximos).  | 8  |
| <b>Tabela 2.5.</b> Composição do gás em lixões ou aterros sanitários.  | 10 |
| <b>Tabela 2.6.</b> Compostos com presença de traços do gases em lixões ou aterros sanitários.  | 11 |
| <b>Tabela 2.7.</b> Resultados de alguns parâmetros para águas subterrâneas no lixão do Distrito Federal  | 14 |
| <b>Tabela 2.8.</b> Concentração de alguns metais em águas subterrâneas no entorno do lixão do DF   | 14 |
| <b>Tabela 2.9.</b> Composição química do chorume   | 15 |
| <b>Tabela 2.10.</b> Parâmetros do chorume dos resíduos mais jovens   | 16 |
| <b>Tabela 2.11.</b> Parâmetros físico-químicos e o N° de vezes que ultrapassam os limites permitidos do chorume gerado no aterro sanitário de Jangurussu. CE | 17 |
| <b>Tabela 2.12.</b> Parâmetros físico-químicos da água subterrânea gerados no entorno do aterro sanitário de Jangurussu. CE                                  | 18 |
| <b>Tabela 2.13.</b> Variação da Composição Química de Chorume em Aterros Sanitários  | 19 |
| <b>Tabela 3.1.</b> Composição Gravimétrica Média dos Resíduos Sólidos Urbanos de São Pedro da Aldeia.  | 25 |
| <b>Tabela 3.2.</b> Composição física média dos RSU no Brasil   | 25 |
| <b>Tabela 4.1.</b> Profundidades dos piezômetros   | 29 |
| <b>Tabela 4.2.</b> Níveis Estáticos  | 38 |
| <b>Tabela 5.1.</b> Níveis de Referências   | 41 |
| <b>Tabela-5.2.</b> Concentrações dos íons $\text{HCO}_3^-$ e $\text{SO}_4^{-2}$  | 64 |

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabalho a:

A minha mãe;

A memória do meu Pai que me ensinou que tudo na vida podem nos tirar, menos o conhecimento adquirido;

Aos meus Filhos Thiago e Paula;

A minha Esposa.

## **AGRADECIMENTOS**

Os meus sinceros agradecimentos as pessoa e entidades que contribuíram para a realização desta dissertação de mestrado.

A minha orientadora Prof<sup>a</sup> D.Sc. Elisabeth Ritter e ao meu co-orientador Prof<sup>o</sup> D.Sc João Alberto Ferreira, pelas suas orientações.

A minha esposa Valdice-Ruth pelo incentivo e paciência inesgotável.

Ao Projeto RESUB-UFF por fornecer toda a infra-estrutura para a realização deste projeto.

Ao amigo e Prof<sup>o</sup> Rodrigo Menezes Raposo de Almeida da Universidade Federal Fluminense e coordenador geral do projeto RESUB pela colaboração na montagem deste projeto e por fornecer todo o material necessário para a realização deste.

Ao Prof<sup>o</sup> Marcus Godoy do Departamento de Química da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro por viabilizar as análises químicas.

Ao topógrafo Roberto Jotta pela colaboração nos trabalhos de campo.

Ao amigo e Prof<sup>o</sup> Jairo Leal do Instituto de Química da Universidade do Estado do Rio de Janeiro pelas longas discussões técnicas.

As amigas Márcia Kauffmann e Rosa Augusta pelas longas conversas e incentivos.

A William da Silva Nascimento aluno do curso de ciência da computação da Universidade Veiga de Almeida pelo apoio dado na arte final deste trabalho.

# CAPITULO I

## APRESENTAÇÃO

### 1.1. INTRODUÇÃO

Para a maior parte das nações em desenvolvimento, a necessidade mais imediata é o progresso econômico e industrial como forma de tirar suas populações da pobreza. A poluição e os danos ao meio ambiente parecem ser uma consequência inevitável da luta por uma vida melhor. O subsolo tem sido o receptáculo para muitos dos resíduos gerados pela sociedade, desde resíduos domésticos até efluentes industriais, estocagem de produtos tóxicos e nucleares. Muitos estudos já indicam que estas nações já enfrentam uma crise de abastecimento de água, decorrente de ser esta substância, relativamente, a mais abundante do nosso planeta. Trata-se de uma crise de qualidade, resultante de uma degradação crescente, capaz de levar ao limite dramático da inutilização destes recursos.

Depósitos de lixo industrial e doméstico, a agricultura com uso intensivo de insumos, o despejo de efluentes industriais em lagoas, vazamentos de depósitos de produtos químicos, etc, vêm se transformando em perigosos focos de contaminação das águas subterrâneas. Isto é especialmente importante tendo em vista que a maioria das captações se destina à exploração de água para consumo doméstico, industrial, atividades comerciais como hotéis, hospitais e irrigação de hortaliças nas periferias das áreas urbanas. Em termos de volume de poluentes lançados nas águas subterrâneas, os locais de disposição de resíduos sólidos domésticos representam uma preocupante fonte de poluição destes recursos.

Neste contexto, a avaliação do impacto ambiental causado pela disposição inadequada dos resíduos urbanos nos municípios tem relevância.

O município de São Pedro da Aldeia, localizado na região dos lagos no Estado do Rio de Janeiro, como a maioria dos municípios brasileiros, tem uma disposição inadequada dos seus resíduos potencializando este problema. Conta com uma população de 63.227 habitantes (IBGE, 2000) distribuídos em 50 bairros. Nos períodos de férias e fins de semanas prolongados a estimativa é de que a população duplique.

De forma geral, a infra-estrutura existente é deficiente não atendendo as demandas regulares e nem as geradas pelo fluxo turístico. O sistema de limpeza urbana do município, em particular, não é capaz de atender a contento a necessidade para assegurar um serviço de boa qualidade.

A disposição final ocorre sem nenhuma medida ambiental, tais como, construção de células, impermeabilização, drenagem e tratamento do chorume. O aquífero na região é de natureza não confinado e é exposto à contaminação pelo chorume produzido pelo lixão. A região é habitada por cerca de 1000 moradores que utilizam desta água para consumo próprio. É, portanto objeto de preocupação da comunidade rural do município.

O sistema de abastecimento público de água em São Pedro da Aldeia depende basicamente de uma concessionária privada. O déficit hídrico da região é crítico nas áreas rurais, pois a maioria dos rios é intermitente, impondo um sistema de abastecimento dependente, exclusivamente da captação das águas subterrâneas (Projeto RESUB, UFF, 2000).

Portanto, a água subterrânea neste caso é fundamental para o abastecimento da população, assim como a preservação de sua qualidade. É extremamente importante monitorar e qualificar as águas subterrâneas localizadas nas áreas adjacentes ao lixão de São Pedro da Aldeia localizado no bairro Alecrim, dada a sua proximidade com a mancha urbana e o próprio crescimento da cidade em direção a região onde se encontra o lixão.

## **1.2. OBJETIVOS**

A dissertação tem como objetivo monitorar as águas subterrâneas e superficiais no lixão de São Pedro da Aldeia, ao longo dos anos de 2000 e 2001. Este monitoramento visa caracterizar os principais contaminantes presentes nas águas subterrâneas e superficiais, determinando o seu comportamento no período amostrado, bem como estabelecer os limites da pluma de contaminação presente no lixão.

## CAPITULO 2

### IMPACTOS AMBIENTAIS PRODUZIDOS POR LIXÕES E ATERROS SANITÁRIOS

#### 2.1. DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL

A problemática decorrente dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) produzidos nas grandes cidades abrange vários aspectos, desde sua origem, produção, coleta, tratamento, destino final, assim como sua própria inesgotabilidade e os conseqüentes danos ao meio ambiente (principalmente o solo, a água e o ar).

Os resíduos sólidos são basicamente o resultado das diversas atividades do homem que avançam a cada dia no processo técnico-científico, o que tem provocado a multiplicação dos resíduos decorrentes da industrialização, ou seja, a relação entre o processo evolutivo da industrialização e a massa populacional é diretamente proporcional, considerando-se que essa mesma população passará a ser agente de consumo.

A excessiva concentração da população nas aglomerações urbanas não só leva a uma incessante produção de lixo residencial, mas também implica na emissão de resíduos industriais, que são de difícil gerenciamento, o mesmo ocorrendo com os resíduos de escritórios e do comércio, com os resíduos sólidos de serviço de saúde (lixo hospitalar), com os resíduos radioativos, com os despejos de substâncias químicas perigosas, entre outros.

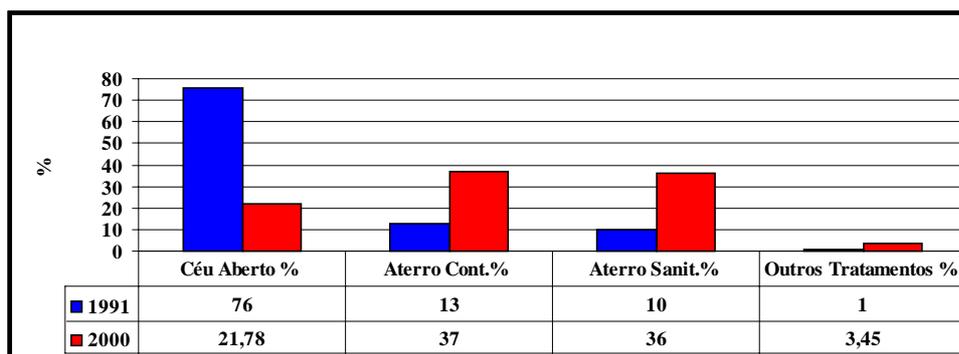
A disposição ou destino final dos RSU consiste em uma das preocupações dos administradores municipais, pois mesmo com o tratamento e/ou aproveitamento dos resíduos, ainda sobram os resíduos do resíduo (rejeitos). Os sistemas de disposição final existentes são (Sant'Ana Filho, 1991):

- Descarga a céu aberto ou lixão: consiste em uma forma inadequada de disposição final de resíduos sólidos, onde os resíduos são jogados sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública, porém, é a forma mais utilizada nos municípios brasileiros;
- Aterro controlado (lixão controlado): é uma variação do lixão; nesta forma de disposição os resíduos sólidos são cobertos com terra, de forma arbitrária, onde reduz os problemas de poluição visual, mas não reduz a poluição do solo, das águas superficiais e subterrâneas e atmosféricas, não levando em consideração a formação de líquidos e gases;

- Aterro sanitário é definido como um processo utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo, particularmente o lixo domiciliar, que fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permite uma confinamento segura, em termos de controle da poluição ambiental e proteção ao meio ambiente. Este método utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho e em intervalos menores se necessário, segundo a norma NB-843/85 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

No Brasil a evolução da destinação final dos resíduos sólidos domiciliares, a partir de 1991 até o ano de 2000, encontra-se nos dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Com base nesta pesquisa o aumento da quantidade de resíduos sofre um acréscimo a partir de meados da década de 1990, provavelmente devido uma redução nos índices inflacionários no país e conseqüente o aumento do consumo por parte da população (Jucá, 2003). De acordo com a pesquisa observa-se também uma melhoria nos cuidados em relação ao tratamento e destinação final de todo material resultante do consumo representado pela redução da quantidade de resíduos depositados em lixões e um aumento de aterros controlados e sanitários; além de um pequeno crescimento de outros tipos de tratamento como a separação para reciclagem de materiais, compostagem da matéria orgânica e incineração de resíduos perigosos.

A figura 2.1 apresenta as variações dos dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - (IBGE 1991 e 2000).



**Figura 2.1.** - Disposição de Resíduos Urbanos no Brasil

## 2.2. IMPACTOS AMBIENTAIS

Os impactos causados ao meio ambiente e à saúde humana, produzidos por lixões e aterros controlados, são:

- Poluição das águas superficiais e subterrâneas;
- Devastação a vegetação;
- Queimas e riscos de explosões;
- Odores;
- Poluição do ar.

### 2.2.1. Poluição das Águas Superficiais e Subterrâneas

O chorume é um líquido de cor escura que contém matéria sólida dissolvida e em suspensão, certas substâncias químicas dependendo do tipo de resíduos depositados e produtos de resíduos microbianos.

A composição do chorume é importante na determinação dos seus efeitos potenciais sobre a qualidade das águas superficiais e subterrâneas adjacentes. Os contaminantes carregados pelo chorume são dependentes da composição do resíduo sólido e das atividades químicas, físicas e biológicas que ocorrem, simultaneamente, dentro do depósito. O chorume originalmente é formado por enzimas expelidas pelos microrganismos, responsáveis pela decomposição da matéria orgânica contida nos resíduos. As enzimas agregam-se aos líquidos provenientes da umidade natural dos resíduos (a qual tende a aumentar nos períodos chuvosos). A quantidade, a qualidade e a concentração de chorume gerado no aterro são afetadas pelos seguintes fatores: precipitação (chuva ou neve), evapotranspiração, condição operacional do aterro, tempo de construção (exposição dos resíduos sem cobertura), grau de compactação, cobertura final (declividade e material impermeabilizante) e drenagem superficial da área do aterro.

A presença do chorume é de longe a mais significativa ameaça para as águas subterrâneas, uma vez que ele pode alcançar as camadas mais profundas dos aterros. O chorume também pode ter um fluxo de escoamento lateral para um determinado ponto onde é descarregado para a superfície como uma infiltração, ou move-se através da base do aterro em direção a subsuperfície. Dependendo da natureza destas formações e da ausência do sistema de coleta do chorume, este tem sido associado diretamente à contaminação dos aquíferos abaixo da linha do aterro, tornando-se alvo de extensas investigações, desde há quatro décadas (Zanoni, 1972; Walls, 1975).

Os agentes poluidores que compõe o chorume dos aterros sanitários de resíduos urbanos podem ser classificados em quatro categorias: cátions e ânions inorgânicos; metais pesados; matéria orgânica; e compostos orgânicos específicos (ex: hidrocarbonetos e fenóis) (CHRISTENSEN et al., 1986).

Os parâmetros normalmente estudados na caracterização da qualidade do chorume e no seu monitoramento estão apresentados na tabela 2.1. Entretanto, os principais poluentes originados nos aterros sanitários são o carbono orgânico, o nitrogênio e os metais pesados (Lee et al, 1986). Sendo que os metais pesados dependem da natureza do lixo.

**Tabela 2.1** - Parâmetros determinados para caracterização do chorumes.

| PARÂMETROS  | ANÁLISES   |
|-------------|--|
| FÍSICOS     | PH, potencial de oxidação-redução, condutividade, cor, turbidez, temperatura, odor.  |
| ORGÂNICOS   | Químicos orgânicos, fenol, DQO, COT, ácidos voláteis, nitrogênio orgânico, éter solúvel (óleos&graxas), detergentes, grupos orgânicos funcionais, hidrocarbonetos clorados.  |
| INORGÂNICOS | STD, cloretos, sulfato, fosfato, alcalinidade, acidez, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, sódio, potássio, cálcio, magnésio, dureza, chumbo, cobre, cromo, zinco, cádmio, ferro, manganês, mercúrio, bário, prata, arsênio, cianeto, fluoreto, selênio. |
| BIOLÓGICOS  | DBO, coliformes total e fecal, streptococcus fecal, bactérias, contagem de placas.   |

Fonte: TCHOBANGLIOUS et al.. 1993.

A tabela 2.2 apresenta os íons, que podem ser detectados no chorume com suas possíveis origens.

**Tabela 2.2.** - Íons que podem ser encontrados no chorume e possíveis origens

| ÍONS   | ORIGENS   |
|--|---|
| Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup>                       | Material orgânico, entulhos de construção, cascas de ovos   |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> | Material orgânico   |
| Cu <sup>2+</sup> , Fe <sup>2+</sup> , Sn <sup>2+</sup>                                       | Material eletrônico, latas, tampas de garrafas  |
| Hg <sup>2+</sup> , Mn <sup>2+</sup>  | Pilhas comuns e alcalinas, lâmpadas fluorescentes, fungicidas, tintas, amaciantes, produtos farmacêuticos, interruptores                                |
| Ni <sup>2+</sup> , Cd <sup>2+</sup> , Pb <sup>2+</sup>                                       | Baterias recarregáveis (celular, telefone sem fio, automóveis), plásticos, ligas metálicas, pigmentos, papéis, vidro, cerâmica, inseticidas, embalagens |
| Al <sup>3+</sup>   | Latas descartáveis, utensílios domésticos, cosméticos, embalagens laminadas em geral.   |
| Cl <sup>-</sup> , Br <sup>-</sup> , Ag <sup>+</sup>  | Tubos de PVC, negativos de filmes de raio-X   |
| As <sup>3+</sup> , Sb <sup>3+</sup> , Cr <sup>3+</sup>                                       | Embalagens de tintas, vernizes, solventes orgânicos   |

Fonte: Manual de Gerenciamento Integrado, IPT, 1996

A tabela 2.3 apresenta as faixas de variação de contaminantes normalmente encontrados no chorume proveniente de aterros sanitários municipais.

**Tabela 2.3.** - Faixas de variação dos teores de substâncias contaminantes dissolvidos no chorume de aterros sanitários.

| PARÂMETROS                    | FAIXA DE VARIAÇÃO (mg/l) |
|-------------------------------|--------------------------|
| K <sup>+</sup>                | 200 – 1000               |
| Na <sup>+</sup>               | 200 – 1200               |
| Ca <sup>+2</sup>              | 100 – 3000               |
| Mg <sup>2+</sup>              | 100 – 1500               |
| Cl <sup>-</sup>               | 300 – 3000               |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 10 – 1000                |
| Alcalinidade                  | 500 – 10000              |
| Fé <sub>(total)</sub>         | 1 – 1000                 |
| Mn                            | 0,01 – 100               |
| Cd                            | 0,007 – 0,15             |
| Co                            | 0,04 – 0,13              |
| Cr                            | 0,0005 – 1,90            |
| STD                           | 5000 – 40000             |
| pH                            | 4 à 8                    |

Fonte: Lee et al. (1986).

Segundo estudos da ONU, um quinto da humanidade não tem acesso à água potável, e o estoque de água doce estará quase totalmente comprometido dentro de 25 anos. Os relatórios da ONU alertam ainda para o fato de que 90% da água utilizada nos países em desenvolvimento é devolvida à natureza sem tratamento, acelerando a deterioração dos reservatórios das águas superficiais e subterrâneas.

No campo normativo destacam-se a edição, em 1986, da Resolução nº 20 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, que tem por objeto o estabelecimento de classes de enquadramento dos corpos d'água e, ainda, a Constituição de 1988, que definiu aspectos relativos a recursos hídricos considerados importantes, como a dominialidade dos corpos de água, a atribuição de competência exclusiva à União para legislar sobre águas e a instituição do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. A tabela 2.4 apresenta os limites permissíveis máximos de concentração dos contaminantes na água, definido na Resolução CONAMA nº 20. Como se pode observar nesta tabela, os íons, sódio, cálcio, magnésio e potássio não constam nesta Resolução do CONAMA. Destes elementos acima citados, apenas o sódio consta como contaminante na Portaria nº 1469, de 29/12/2000 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que trata dos procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. O teor máximo permitido para o sódio é de 200 mg/l.

**Tabela 2.4.** - Substâncias potencialmente prejudiciais (teores máximos)

| ELEMENTO             | TEOR MÁXIMO                      | ELEMENTO   | TEOR MÁXIMO              |
|----------------------|----------------------------------|--|--------------------------|
| Alumínio             | 0,1 mg/l Al                      | Selênio  | 0,01 mg/l Se             |
| Amônia não ionizável | 0,02 mg/l NH <sub>3</sub>        | Sólidos dissolvidos totais                       | 500 mg/l                 |
| Arsênio              | 0,05 mg/l As                     | Substâncias tenso ativas                         | 0,5 mg/l LAS             |
| Bário                | 1,0 mg/l Ba                      | Sulfatos   | 250 mg/l SO <sub>4</sub> |
| Berílio              | 0,1 mg/l Be                      | Sulfetos: (como H <sub>2</sub> S não dissociado) | 0,002 mg/l S             |
| Boro                 | 0,75 mg/l B                      | Tetracloroetano                                  | 0,01 mg/l                |
| Benzeno              | 0,01 mg/l                        | Tetracloroeto de carbono                         | 0,003 mg/l               |
| Benzeno-a-pireno     | 0,00001 mg/l                     | 2,4,6 triclorofenol                              | 0,01 mg/l                |
| Cádmio               | 0,001 mg/l Cd                    | Urânio total                                     | 0,02 mg/l U              |
| Cianetos             | 0,01 mg/l CN                     | Vanádio  | 0,1 mg/l V               |
| Chumbo               | 0,03 mg/l Pb                     | Zinco  | 0,18 mg/l Zn             |
| Cloretos             | 250 mg/l Cl <sup>-</sup>         | Aldrin   | 0,01 ug/l                |
| Cobre                | 0,2 mg/l Cu                      | Dieldrin   | 0,005 ug/l               |
| Cromo Trivalente     | 0,5 mg/l Cr <sup>+3</sup>        | Endrin   | 0,004 ug/l               |
| Cromo Hexavalente    | 0,05 mg/l Cr <sup>+6</sup>       | Endossulfan                                      | 0,056 ug/l               |
| 1,1 dicloroetano     | 0,0003 mg/l                      | Epóxido Heptacoloro                              | 0,01 ug/l                |
| 1.2 dicloroetano     | 0,01 mg/l                        | Heptacoloro                                      | 0,01 ug/l                |
| Índice de fenóis     | 0,001 mg/l                       | Metoxicloro                                      | 0,03 ug/l                |
|                      | C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH |  |                          |
| Ferro solúvel        | 0,3 mg/l Fé                      | Dodecacoloro+Nonacoloro                          | 0,001 ug/l               |
| Fluoretos            | 1,4 mg/l F <sup>+</sup>          | Bifenilas Policloradas (PCB's)                   | 0,001 ug/l               |
| Fosfato total        | 0,025 mg/l P                     | Toxafeno   | 0,01 ug/l                |
| Lítio                | 2,5 mg/l Li <sup>+</sup>         | Demeton  | 0,1 ug/l                 |
| Manganês             | 0,1 mg/Mn                        | Gution   | 0,005 ug/l               |
| Mercúrio             | 0,0002 mg/l Hg                   | Malation   | 0,1 ug/l                 |
| Níquel               | 0,025 mg/l Ni                    | Paration   | 0,04 ug/l                |
| Nitrato              | 10 mg/l N                        | Carbaril   | 0,02 ug/l                |
| Nitrito              | 1,0 mg/l N                       | Compostos organofosforados e carbonatos totais   | 10,0 ug/l em Paration    |
| Prata                | 0,01 mg/l Ag <sup>+</sup>        | 2,4 – D  | 4,0 ug/l                 |
| Pentaclorofenol      | 0,01 mg/l                        | 2,4,5 – TP                                       | 10,0 ug/l                |
| Estanho              | 2,0 mg/l Sn <sup>+2</sup>        | Lindano (gama-BHC)                               | 0,02 ug/l                |

Fonte: Resolução CONAMA Nº 20, de 20 de julho de 1986.

### 2.2.2. Devastação da Vegetação

Na devastação da vegetação provocada por lixões e aterros sanitários ocorrem certos prejuízos devido à deficiência do oxigênio, na zona da raiz da vegetação, resultante do deslocamento do oxigênio através do lixão ou do aterro sanitário. Na ausência de um controle de medida deste gás, o O<sub>2</sub> pode migrar em direção à superfície do solo, devido aos altos valores de concentração e pressão, e escapa para a atmosfera através de vazios presentes na área do lixão ou aterro sanitário. Durante este processo, o oxigênio é deslocado e as raízes das

plantas ficam expostas a uma alta concentração de metano e dióxido de carbono conforme apresentado na reação 1, sendo estes gases os de maior concentração na área do lixão. A ausência de oxigênio ocasiona a morte por asfixia das plantas.



### 2.2.3. Queimas e riscos de Explosões

O gás metano produzido nos lixões tem sido freqüentemente considerado responsável pela inflamabilidade. Ele tem a habilidade de formar misturas explosivas quando em presença do oxigênio do ar. A equação 1, anteriormente apresentada, é um exemplo da inflamabilidade e da produção de calor do metano quando em mistura com o oxigênio do ar nos lixões e aterros sanitários.

Este gás possui a tendência de migrar para fora das fronteiras dos lixões e dos aterros sanitários. Os gases dos lixões ou dos aterros sanitários se movem através de rotas que permitem que ele escape do aterro por aberturas existentes no lixo. Esses gases podem se acumular em bolsões, criando um risco em potencial de explosões. Dependendo das características do solo, o gás pode fluir por grandes distâncias do aterro sanitário até ser detectado. Numerosos incidentes de queima e explosões, devido à migração de gás para fora de aterros sanitários, tem sido relatados na literatura (Macfarlane, 1970). Por conseguinte este fenômeno contribui para o aquecimento do globo terrestre.

### 2.2.4. Odores

Os odores são resultantes principalmente da presença de uma pequena taxa de concentração das funções constituídas por: ésteres, sulfeto de hidrogênio, organo sulfúricos, alquilbenzenos e outros hidrocarbonetos contidos no gás do lixão ou aterro sanitário em direção à atmosfera (Young e Parker, 1983). Os odores naturais do gás do lixão ou aterro sanitário podem variar amplamente em uma faixa entre o relativamente doce, amargo e o agridoce, dependendo da concentração dos odores constituintes do gás. Estas concentrações estarão diretamente relacionadas, com os seguintes itens: com a composição, com a idade dos resíduos, da taxa de gás gerada e com a natureza das populações de microorganismos contidas nos resíduos, entre outros fatores. Embora muitos odores possam ter traços de componentes tóxicos, eles historicamente têm sido mais percebidos como sendo um incômodo ambiental, do que propriamente um risco à saúde humana (Young, Parker, 1984 e Young, Heasman,

1985). A extensão que os odores se espalham além dos limites dos aterros, depende das condições das atmosféricas, tais como: velocidade do vento, temperatura ambiente, pressão atmosférica e umidade do ar.

### 2.2.5. Poluição do Ar

A tabela 2.5 apresenta a composição dos gases e gerados em lixões e aterros sanitários.

Embora metano e dióxido de carbono sejam os dois maiores componentes dos gases emitidos pelos aterros, existem evidências que estes gases estão associados a outros numerosos componentes no lixão ou aterro sanitário (tabela 2.5) e em quantidade significativa de traços ou outros compostos (tabela 2.6) suficientes para causar problemas de saúde e no meio ambiente.

A presença destes componentes no gás dos lixões e aterros pode ser atribuída ao lixo doméstico regular, à co-disposição de resíduos industriais ou despejos ilegais.

Investigações microbiológicas indicaram que biodegradação por produtos dentro de aterros pode contribuir para a formação de muitas destes componentes (El – Fadel, et al, 1995).

**Tabela 2.5.** - Composição do gás em lixões ou aterros sanitários.

| Componentes      | % em volume na base seca |
|------------------|--------------------------|
| CH <sub>4</sub>  | 40-70                    |
| CO <sub>2</sub>  | 30-60                    |
| CO               | 3-5                      |
| N <sub>2</sub>   | 0-3                      |
| H <sub>2</sub>   | 0-5                      |
| H <sub>2</sub> S | 0-2                      |
| Outros Compostos | 0-1                      |

Fonte: Robinson, 1986; Zimmerman e Issacson, 1988; e Mcbean et al., 1995 em El – Fadel, et al, 1995.

**Tabela 2.6.** - Compostos com presença de traços de gases de lixões ou aterros sanitários.

| Compostos Traços            | mg/m <sup>3</sup> |
|-----------------------------|-------------------|
| Álcoois                     | 2-2500            |
| Compostos organo sulfurados | 3-240             |
| Hidrocarbonetos halogenados | 1-2900            |
| Hidrocarbonetos aromáticos  | 30-1900           |
| Aldeídos                    | 0-200             |
| Cetonas                     | 0-50              |
| Hidrocarbonetos:            |                   |
| Alcanos                     | 20-4500           |
| Alcenos                     | 6-1100            |
| Cicloalcanos                | 1-100             |
| Cicloalcenos                | 8-600             |
| Ésteres                     | 0-1300            |
| Éteres                      | 0-250             |

Fonte: Lytwyshyn et al., 1982; Young e Parker; 1983; Young e Heasman, 1985; Rettenberg, 1994; Rettenberg, , 1987; e Senior, 1990 em El – Fadel, et al, 1995.

### 2.3. INDICADORES DE IMPACTOS E DESCRIÇÃO DE CASOS DE IMPACTOS

Segundo Clark e Piskin, (1977) um bom indicador de contaminação deve apresentar 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, deve ser facilmente analisado e suas concentrações, nas águas que serão tomadas como nível de referência, devem ser baixas.

Nos EUA, a Agência de Proteção Ambiental (EPA) realizou o cadastramento das principais fontes de contaminação dos recursos hídricos. Dentre as várias fontes de contaminantes, os lixões municipais constituem fonte poluidora das águas subterrâneas em mais de 35 estados americanos, sendo que em 15 estados a contaminação é considerada grave (Araújo, 1996).

Estudos em aterros sanitários, cujas atividades iniciaram em 1940, situados sobre areias inconsolidadas, indicaram que a pluma de contaminação pode se estender por várias centenas de metros (MacFarlane et al., 1983), quando há condições favoráveis a esta propagação, tais como: solo pouco espesso e permeável e a existência de um gradiente topográfico que permita um maior fluxo dos contaminantes quando em contato com a zona saturada.

Em quaisquer destas formas ocorrerá uma séria deterioração do aquífero. Em outros casos a contaminação pode não ser tão significativa devido a processos de atenuações físicas, químicas e biológicas. Estes processos podem ser de dispersão, trocas iônicas, precipitação e degradação bioquímica. Os elementos menos reativos sofrem pouca influência dos processos químicos e biológicos, sendo considerados elementos móveis. Estes elementos podem ser utilizados como indicadores da máxima extensão da pluma de contaminação.

A análise dos chorumes dos aterros de Gin Drinkers' Bay (em atividade por um período de 11 anos) e Junk Bay (em atividade por um período de 3,5 anos), efetuadas na década de 80, localizados na Ásia, indica como principal contaminante o nitrogênio amoniacal, com concentração variando entre 549 e 1041 mg/l. Estudos do comportamento do nitrogênio amoniacal indicam que, após um período de 3 a 8 anos, as concentrações do chorume em aterros variam entre 500 a 1500 mg/l, e permanecem neste patamar por, pelo menos, 50 anos (Chu, et al., 1994 em Araújo, 1996).

A seguir serão relatados os impactos ocorridos em 4 locais de disposição final no Brasil.

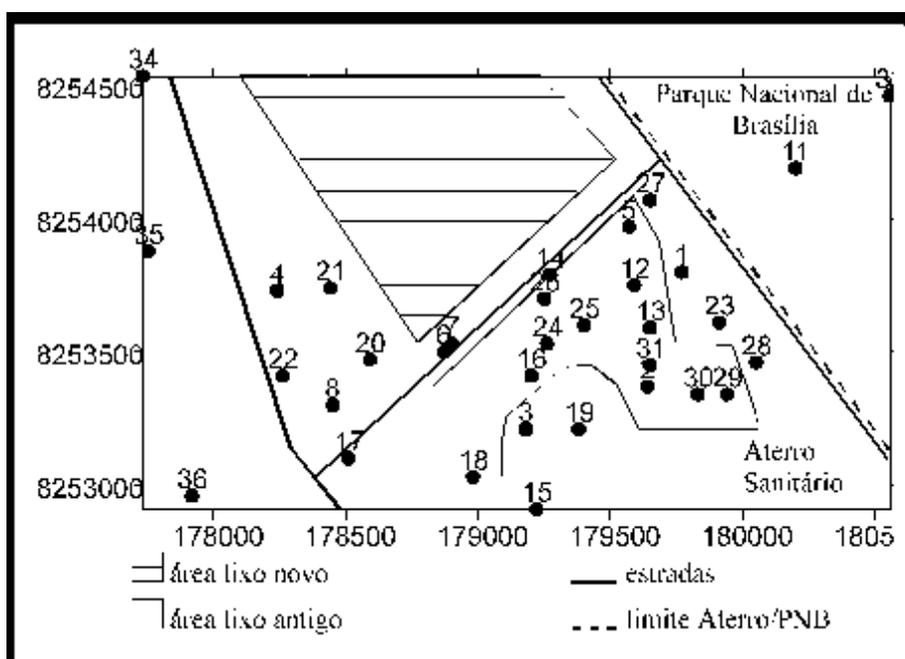
### **2.3.1. O Lixão do Distrito Federal**

O lixão do Distrito Federal (DF) localiza-se à direita da Via Estrutural-095. Trata-se de uma área de aproximadamente 150 ha com altitude de 1125m, numa região que constitui um alto topográfico, cortada a oeste pelo Córrego Vicente Pires e a leste pelo Córrego do Acampamento, fazendo divisa com o Parque Nacional de Brasília (PNB), uma reserva ecológica importante para o DF.

A área está assentada sobre uma região onde predomina o latossolo vermelho escuro, com espessura média variando entre 4 a 20 m. O substrato rochoso é composto por ardósias associadas a quartzitos friáveis, pertencentes ao Grupo Paranoá (Faria, 1995 em Santos, 1996).

Este lixão entrou em operação há aproximadamente 33 anos. Além de resíduos domésticos, ele recebe resíduos industriais e hospitalares em uma taxa que chegou a 1800 ton./dia, em janeiro de 1995. A figura 2.2 mostra a localização de 33 poços de cacimba construídos na área de disposição do lixo e no seu entorno por antigos moradores, antes da área ser transformada em um lixão. Observa-se também que nesta mesma figura aparece a denominação aterro sanitário, porém, segundo o autor, pela disposição e o tratamento dado ao lixo o local possui características de um lixão. A tabela 2.7 apresenta valores das amostras de campo dos poços de cacimba (Boaventura, 1995) e do chorume (Santos, 1996).

Notam-se valores elevados para os parâmetros de campo no chorume no ano de 1996, mostrando uma relação com pluviosidade que foi de aproximadamente de 0 mm em 1995 e 300mm em 1996 (Santos, 1996). A condutividade elétrica observada nas águas superficiais e subterrâneas no lixão do Distrito Federal (DF) em 1995 varia entre  $4 \mu\text{S cm}^{-1}$  e  $600 \mu\text{S cm}^{-1}$  em 1996 concentrando os maiores valores nos poços de cacimba 24, 26 e 31. No poço 25 foi constatada alta concentração para sólidos totais dissolvidos e nos poços 11, 12 e 13, baixas concentrações de oxigênio dissolvido. O valor de STD está acima do limite permitido e o valor de OD está abaixo do limite permitido pela Resolução CONAMA N° 20. (Boaventura, 1995)



Fonte: Boaventura, et al., 1995.

**Figura 2.2.** - Mapa de localização das cacimbas analisadas.

A tabela 2.8 apresenta as concentrações de alguns metais nas águas subterrâneas e no chorume. As concentrações dos íons  $\text{Fe}_{(\text{total})}$ ,  $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Na}^{+}$  e  $\text{K}^{+}$  foram baixas com exceção do  $\text{Fe}_{(\text{total})}$  nos poços 24 e 25, Al nos poços 12, 13 e 26 e do Na no poço 24. Os valores dos limites permitidos pela Resolução CONAMA N° 20 (tabela 2.4) para o Fe e Al são de 0,3 mg/l e 0,1 mg/l respectivamente, e em relação ao sódio é de 200 mg/l de acordo com a portaria N° 1.469 de 29/12/00 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Segundo Boaventura (1995) em relação aos elementos Fe e Al, a situação pode ser considerada normal em função do tipo de solo do DF. Deve ser salientado que o aumento na concentração destes

elementos ocorreu, principalmente, na área próxima às células de lixo mais antigas (figura 2.2), demonstrando que pode existir um processo de alteração ocasionado pelo lixo.

**Tabela 2.7.** - Resultados de alguns parâmetros para águas subterrâneas no lixão do Distrito Federal.

| *Poço     | pH        | CE $\mu\text{S.cm}^{-1}$ | STD mg/l    | OD mg/l |
|-----------|-----------|--------------------------|-------------|---------|
| 2         | ND        | 390                      | 340         | 24,7    |
| 11        | ND        | 4                        | 2           | 5,2     |
| 12        | ND        | 600                      | 181         | 4,2     |
| 13        | ND        | 60,3                     | 52,2        | 4,1     |
| 18        | ND        | 134,4                    | 10,5        | 27,1    |
| 24        | ND        | 500                      | 260         | 27,2    |
| 25        | ND        | 122                      | 620         | 22,5    |
| 26        | ND        | 350                      | 170         | 26      |
| 31        | ND        | 500                      | 260         | 26,4    |
| 32        | ND        | 4,8                      | 2,4         | 30,6    |
| **Chorume | 7,5 – 7,7 | 9580 - 1670              | 5710 - 6720 | ND      |

Modificado de \*Boaventura, 1995; \*\*Santos, 1996.

**Tabela 2.8.** - Concentração de alguns metais em águas subterrâneas no entorno do lixão do DF.

| *Poço       | 2     | 11    | 12   | 13   | 18    | 24    | 25    | 26   | 31    | 32    | **chorume     |
|-------------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|---------------|
| Metal(mg/l) |       |       |      |      |       |       |       |      |       |       |               |
| Fe          | 0,015 | <0,01 | 0,12 | 0,25 | 0,004 | 0,63  | 0,46  | 0,05 | 0,03  | 0,05  | 4,90 – 9,89   |
| Al          | 0,03  | 0,06  | 0,21 | 0,55 | 0,1   | <0,01 | <0,01 | 0,15 | 0,04  | <0,01 | 0,265 – 0,779 |
| Mg          | 2,95  | 0,05  | 0,27 | 0,08 | 0,02  | 3,49  | 6,85  | 6,54 | 17,86 | 0,06  | 17,50 – 36,20 |
| Ca          | 49,12 | 3,53  | 0,42 | 0,19 | 0,06  | 46,99 | 38,08 | 2,59 | 46,37 | 0,26  | 41,1 – 80,4   |
| Na          | 19,20 | 2,70  | 0,89 | 4,35 | 0,89  | 620,6 | 44,46 | 5,40 | 2,57  | 16,79 | ND            |
| K           | 12,80 | 2,50  | 0,80 | 4,75 | 0,80  | 8,31  | 23,20 | 9,86 | 5,21  | 5,15  | ND            |

Modificado de \*Boaventura, 1995; \*\*Santos, 1996.

Os resultados em 1995, para as determinações de metais em águas mostraram que, para os elementos Cu, Zn, Sr, Ba, Cr, Mn, Ni, Pb e Hg, as concentrações estão dentro de padrões normais na área estudada, porém em 1996 para o chorume Cu, Cd, Cr e Ni estão acima dos limites estabelecidos pelo CONAMA. Outros elementos podem ser consultados na tabela 2.13 no final deste capítulo.

### 2.3.2. Aterro Metropolitano de Gramacho

O Aterro Metropolitano de Gramacho opera desde 1976, situa-se junto a Baía de Guanabara, no município de Duque de Caxias, Estado do Rio de Janeiro e recebe cerca de

80% dos resíduos urbanos domiciliares e hospitalares produzidos pela cidade do Rio de Janeiro perfazendo cerca de 7000 ton/d de lixo e ocupando uma área de 1,2 km<sup>2</sup>.

A tabela 2.9 apresenta alguns parâmetros do chorume amostrados nos últimos anos. A variação na qualidade do chorume está fundamentalmente ligada ao tempo de retenção no aterro, ao grau de recirculação do chorume, à qualidade dos resíduos depositados, à altura da camada de resíduos no aterro e fatores climáticos. Observa-se uma diminuição nas concentrações cloreto. E um sensível crescimento do íon amônio e uma pequena redução para o magnésio em relação à retirada de quase uma década atrás (Ritter et al, 2003).

O chorume de Gramacho não apresenta concentrações de metais pesados acima dos limites permitidos, nem próximos a estes (Giordano et al 2002). Nenhum monitoramento no entorno foi efetuado. Porém verifica-se que em 1994 as concentrações de metais pesados são elevadas, possivelmente devido ao recebimento de resíduos industriais nos primeiros anos de operações.

**Tabela 2.9.** - Composição química do chorume

| Análise<br>Química                  | **2003 | 2001** | 1996* | *1994 |
|-------------------------------------|--------|--------|-------|-------|
| pH                                  | 7,93   | 8,80   | 6,40  | 8,2   |
| Ce.( $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ ) | 2.435  | 2.570  | 1.270 | ND    |
| Cl <sup>-</sup> (mg/l)              | 4.367  | 5.398  | 7.045 | 9090  |
| Na <sup>+</sup> (mg/l)              | 3089   | 4.766  | 4.000 | ND    |
| K <sup>+</sup> (mg/l)               | 1681   | 3.610  | 1.513 | ND    |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l) | 1815   | 1.519  | 1.330 | ND    |
| Ca <sup>+2</sup> (mg/l)             | 203    | ND     | ND    | ND    |
| Mg <sup>+2</sup> (mg/l)             | 92     | ND     | 150   | 150,7 |
| Ni <sup>+2</sup> (mg/l)             | ND     | ND     | ND    | 74    |
| Cr <sub>total</sub> (mg/l)          | ND     | ND     | ND    | 16    |
| Cu <sup>+2</sup> (mg/l)             | ND     | ND     | ND    | 25    |
| Cd <sup>+2</sup> (mg/l)             | ND     | ND     | ND    | 9     |

Fonte: \* Barbosa, 1996 e \*\* Ritter, 2001.

### 2.3.3. O Lixão de Muribeca.

O Lixão da Muribeca, situado na Região Metropolitana do Recife, funciona como depósito de resíduos desde 1985. Recebe por dia 2.800 toneladas de resíduos domésticos, hospitalares e industriais e atende aos municípios de Recife e Jaboatão dos Guararapes.

Nos últimos 10 anos foram depositadas cerca de 5.000.000 t destes resíduos, diretamente sobre o solo, em uma área de aproximadamente 60 hectares com altura média de 15m. A tabela 2.10 mostra a variação das concentrações no chorume na parte dos resíduos

mais jovens. Observou-se que os menores valores para os parâmetros medidos estavam localizados na parte mais antiga do lixão. (Jucá,1999)

A estabilidade do pH indica um estado estacionário de produção de ácidos de cadeia curta e sua decomposição a CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> (Chian e De Walle,1976 em Jucá, 1996). Os elevados teores de sólidos totais dissolvidos no chorume indicam que há lixiviação e decomposição do resíduo confinado. A presença de amônio também é verificada de forma qualitativa.

**Tabela 2.10.** - Parâmetros do chorume dos resíduos mais jovens.

| Parâmetro  | Faixa de Variação     |
|--|-----------------------|
| pH   | 7,88- 8,25            |
| Condutividade ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) | 27.500,00 – 21.600,00 |
| Cloretos (mg/l de Cl)                              | 4.912,70 - 4.067,50   |
| Sólidos totais (mg/l)                              | 37.439,00- 15.083,00  |

Modificado de Jucá,.1999.

#### 2.3.4. Aterro de Jangurussu

O aterro de resíduos sólidos urbanos do Jangurussu está localizado na porção centro-sul da cidade de Fortaleza, encaixado contigüamente à margem esquerda do rio Cocó. A bacia hidrográfica do rio Cocó domina 64,3% dos 336 km<sup>2</sup> totais do município de Fortaleza, somando-se ainda cerca de 375 ha de área de proteção de manguezais (Parque Ecológico do Cocó). Esta região vem sendo considerada o setor com maiores perspectivas de ocupação e crescimento demográfico do município. Oficialmente inaugurado em março de 1978, o aterro do Jangurussu encontrava-se anteriormente em operação provisória, provocando assim um certo descontrole no crescimento. Em março de 1998, após 20 anos de destino final de todo e qualquer tipo de resíduo e com seus 40 metros de projeção topográfica e 30 ha de área aflorante, o local parou de receber lixo (Sabadia et al,2000).

A precipitação média anual é da ordem de 1400mm, com notada densidade de chuvas de janeiro a julho (quase 90%). A temperatura média anual encontra-se pouco acima dos 26°C, com máxima e mínima absoluta correspondendo a 36°C e 17°C, respectivamente.

A tabela 2.11 apresenta as médias das concentrações dos elementos do chorume e o número de vezes que ultrapassa a resolução CONAMA N° 20 e os limites da ANVISA. Destaca-se ainda um valor elevado para a condutividade elétrica, com uma média de 24.500  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

**Tabela 2.11.** - Parâmetros físico-químicos e o N° de vezes que ultrapassam os limites permitidos do chorume

| Parâmetros            | Média                          | N° de Vezes |
|-----------------------|--------------------------------|-------------|
| CE                    | 24500 $\mu$ S.cm <sup>-1</sup> | ND          |
| PH                    | 7,98                           | ND          |
| Cl <sup>-</sup>       | 4487 mg/l                      | 18          |
| Na <sup>+</sup>       | 1950 mg/l                      | 9,7         |
| K <sup>+</sup>        | 2277 mg/l                      | ND          |
| Ca <sup>+2</sup>      | 78,6 mg/l                      | ND          |
| Fe <sub>(total)</sub> | 11,3 mg/l                      | 37          |
| Mg <sup>+2</sup>      | 173 mg/l                       | ND          |
| Al <sup>+3</sup>      | 1,88 mg/l                      | 19          |
| Zn <sup>+2</sup>      | 0,22 mg/l                      | 1,2         |
| Mn <sup>+2</sup>      | 0,17 mg/l                      | 1,7         |
| Ba <sup>+2</sup>      | 0,65 mg/l                      | ND          |
| Ni <sup>+2</sup>      | 0,31 mg/l                      | 26          |
| Cr <sub>(total)</sub> | 0,5 mg/l                       | ND          |
| Cu <sup>+2</sup>      | 0,12 mg/l                      | 6           |
| Cd <sup>+2</sup>      | 0,007 mg/l                     | 7           |

Modificado de Sabadia et al, 2000.

A tabela 2.12 apresenta as médias dos parâmetros analisados em alguns poços localizados a sudoeste do aterro, considerados como referências, e as médias dos piezômetros nas águas subterrâneas amostradas. Estes valores indicam um acréscimo acentuado, em termos gerais, podendo exceder em mais de 45 vezes os parâmetros correspondentes relacionados às médias das análises nos poços considerados como de “referência”.

**Tabela 2.12.** - Parâmetros físico-químicos da água subterrânea gerados no entorno do aterro de Jangurussu. CE.

| Parâmetros                              | Media dos poços de referência | Média/Piezômetros |
|---|-------------------------------|-------------------|
| CE ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) | 1271                          | 17705             |
| PH                                      | 7,0                           | 6,65              |
| $\text{Cl}^{-1}$                        | 353                           | 7148              |
| $\text{Na}^{+1}$                        | 1134,5                        | 3224              |
| $\text{K}^{+1}$                         | 22,4                          | 110,6             |
| $\text{Ca}^{+2}$                        | 30,90                         | 195,7             |
| $\text{Fe}_{(\text{total})}$            | 0,155                         | 55,4              |
| $\text{Mg}^{+2}$                        | 44,7                          | 474               |
| $\text{Al}^{+3}$                        | 0,1                           | 9,6               |
| $\text{Zn}^{+2}$                        | 0,05                          | 0,702             |
| $\text{Mn}^{+2}$                        | 0,13                          | 5,93              |
| $\text{Ba}^{+2}$                        | 1285                          | 36                |
| $\text{Ni}^{+2}$                        | 0,031                         | 0,172             |
| $\text{Cr}_{(\text{total})}$            | 0,014                         | 0,0227            |
| $\text{Cu}^{+2}$                        | 0,0055                        | 0,021             |
| $\text{Cd}^{+2}$                        | ND                            | 0,031             |

(Modificado, Sabadia, et al 2000).

### 2.3.5. Resumo de Composição Química de Chorumes

De modo a se conhecer as variações de concentrações que podem ocorrer no chorume, a tabela 2.13 apresenta um resumo da variação físico - química do chorume em alguns aterros e lixões.

**Tabela 2.13.** - Variação da Composição Química de Chorume em Aterros Sanitários.

| Parâmetros                           | 1           | 2            | 3            | 4             | 5      |
|--------------------------------------|-------------|--------------|--------------|---------------|--------|
| STD (mg/l)                           | 0-42276     | 2680 - 5580  | *27281       | 5710 - 6720   | ND     |
| CE ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ )         | ND          | 8500 - 12000 | **2570       | 9580 - 11670  | 24.500 |
| pH                                   | 3.7-8.5     | 7,2 – 8,0    | 8,2* – 8,8** | 7,5 – 7,7     | 7,98   |
| Cl <sup>-1</sup> (mg/l)              | 34-2800     | ND           | **4.367      | ND            | 4.487  |
| Na <sup>+1</sup> (mg/l)              | 0-7.700     | ND           | **3.089      | ND            | 1.950  |
| K <sup>+1</sup> (mg/l)               | 2.8-3.770   | ND           | **1.681      | ND            | 2.277  |
| Ca <sup>+2</sup> (mg/l)              | 5-4.080     | ND           | ND           | 41,1 – 80,4   | 78,6   |
| Fe <sub>(total)</sub> (mg/l)         | 0.2-5.500   | 1,14 – 3,25  | *153         | 4,90 – 9,89   | 11,3   |
| Mg <sup>+2</sup> (mg/l)              | 16.5-15.600 | 35 - 63      | *1.507       | 17,5 – 36,5   | 173    |
| NH <sub>4</sub> <sup>+1</sup> (mg/l) | ND          | 594 - 1610   | **1.815      | 955           | ND     |
| Al <sup>+3</sup> (mg/l)              | ND          | ND           | ND           | 0,265 – 0,779 | 1,88   |
| Zn <sup>+2</sup> (mg/l)              | 0-1000      | 0,24 – 2,55  | *50          | 0,064 – 0,168 | 0,22   |
| Mn <sup>+2</sup> (mg/l)              | 0.6-1.400   | 0,05 – 0,24  | *25          | 0,058 – 0,13  | 0,17   |
| Ba <sup>+2</sup> (mg/l)              | ND          | ND           | ND           | 0,058 – 0,267 | 0,65   |
| Ni <sup>+2</sup> (mg/l)              | ND          | 0,07 – 0,18  | *74          | 0,153 – 0,248 | 0,31   |
| Cr <sub>(total)</sub> (mg/l)         | ND          | 0,03 – 0,15  | *16          | 0,040 – 0,050 | 0,5    |
| Cu <sup>+2</sup> (mg/l)              | 0-9.9       | <0,05        | *25          | 0,014 – 0,036 | 0,12   |
| Cd <sup>+2</sup> (mg/l)              | ND          | <0,01        | *9           | 0,027 – 0,039 | 0,007  |

Fontes: 1) Variações EPA (1973); 2) Aterro de Junk Bay/ China – Chu et al (1994); 3) Aterro de Gramacho/RJ \*Barbosa (1994) e \*\*Ritter (2001), 4) Lixão do Distrito Federal. /DF Santos et al (1996). 5) Aterro de Jangurussu CE Sabadia et al (2000).

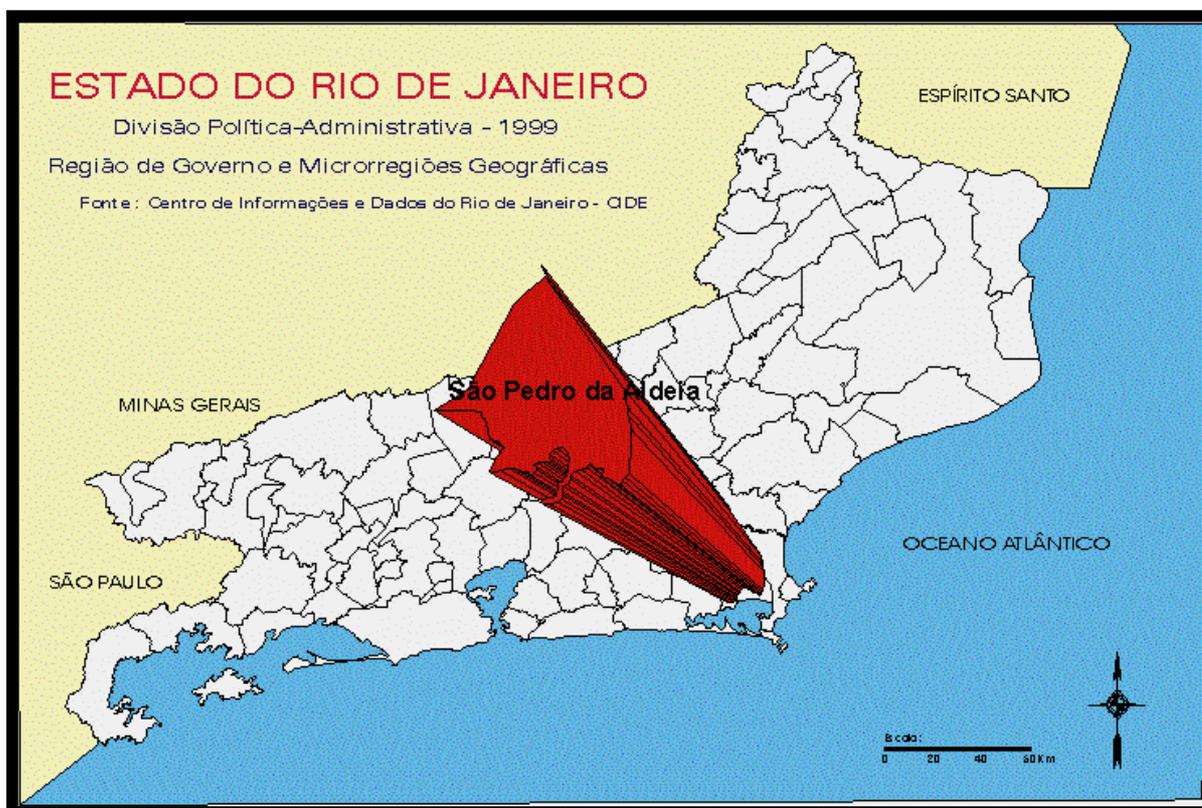
## CAPITULO 3

### O LIXÃO DO MUNICÍPIO DE SÃO PEDRO DA ALDEIA

Neste capítulo é apresentado o município de São Pedro da Aldeia a caracterização do lixão de São Pedro da Aldeia localizado no bairro do Alecrim e a descrição da limpeza urbana municipal.

#### 3.1. DESCRIÇÃO DO MUNICÍPIO

O município de São Pedro da Aldeia pertence à região das Baixadas Litorâneas no Estado do Rio de Janeiro, mais precisamente a microrregião dos Lagos, na porção leste. Está à 136 Km da cidade do Rio de Janeiro. O acesso ao município é pela Rodovia Amaral Peixoto (RJ-106) ou pela Via Lagos (RJ-124) ou pela BR-101. A figura 3.1 mostra a localização do Município, próximo ao oceano e a da Lagoa de Araruama.

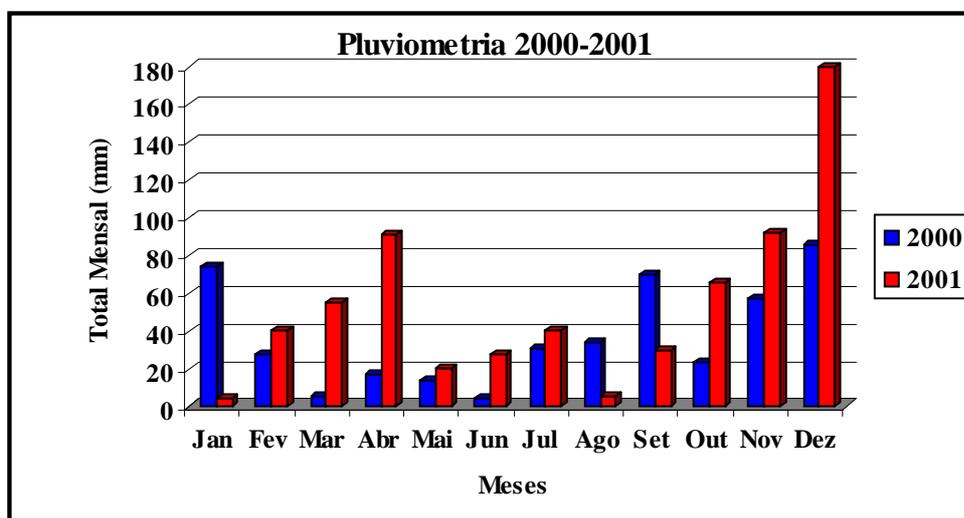


(Fonte: Centro de Informação de Dados do Rio de Janeiro)

**Figura 3.1.** – Localização do município de São Pedro da Aldeia.

A temperatura média da região varia de 21°C a 28°C, com amplitude térmica anual em torno de 8°C, chegando a uma temperatura mínima de 12°C, (estação meteorológica Iguaba Grande).

O regime pluviométrico, segundo instrumentação instalada na Base Aérea Naval de São Pedro da Aldeia, caracteriza a área como de baixo nível pluviométrico. Os valores registrados nos anos de 2000 e de 2001 estão apresentados na figura 3.2, verificando-se que no ano de 2000 ocorreu uma pluviometria menor.



(Fonte: Base Aérea Naval de São Pedro da Aldeia, Divisão de Informações Aeronáutica)

**Figura 3.2.** - Pluviometria de 2000 e 2001.

Até o final da década de 60, as atividades econômicas que caracterizaram não só o município, mas também toda esta microrregião, estiveram ligadas à exploração de sal, à produção de laranja, à pesca e a criação de gado. Nas últimas décadas, as atividades ligadas ao turismo e ao lazer passaram a ser muito importantes nos municípios litorâneos da região. Como consequência, ocorreu o parcelamento do solo, resultante da especulação imobiliária e aumentou a demanda sobre os aparelhamentos urbanos e também sobre a estrutura viária. Este processo gerou degradação ambiental, sobretudo na lagoa, em consequência dos aterros, do aumento dos despejos dos esgotos "in natura" e da construção irregular de moradias em áreas de proteção ambiental.

O município conta com uma população de 63.227 habitantes (IBGE, 2000) distribuída em 50 bairros. Nos períodos de férias e fins de semanas prolongados a estimativa é de que a população duplique.

De forma geral, a infra-estrutura existente é deficiente não atendendo as demandas regulares e nem as geradas pelo fluxo turístico.

O sistema de limpeza urbana do município, em particular, não é capaz de atender a contento a necessidade para assegurar um serviço de boa qualidade.

## **3.2. A LIMPEZA URBANA DO MUNICÍPIO**

A limpeza urbana no município de São Pedro da Aldeia é de responsabilidade da Secretaria de Serviços Públicos. Atualmente a cidade é dividida em treze setores geradores de resíduos. A operação de coleta do lixo é realizada, diariamente, por 13 caminhões um para cada setor, sendo que apenas um é de propriedade da prefeitura. Os caminhões são alugados e possuem carrocerias de madeira aberta e à medida que a carroceria vai sendo cheia com lixo, os agentes de limpeza vão adicionando tapumes para aumentar a altura.

Os agentes de limpeza são funcionários contratados pelo município pelo regime CLT ou como funcionários estatutários.

Para a remoção dos resíduos sólidos depositados em terrenos baldios, dependendo da quantidade, os mesmos são retirados em caminhões de carroceria aberta quando é verificado o acúmulo. Periodicamente é realizada a limpeza com máquinas e equipamentos apropriados, obedecendo a um escalonamento por setores. Todos os resíduos sólidos coletados nestes terrenos são depositados no “lixão do Alecrim”, bem como o de todo município, inclusive o hospitalar.

### **3.2.1. Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos de São Pedro da Aldeia**

Resíduos sólidos são restos da atividade humana, sendo tudo aquilo que pode ser considerado inútil, indesejável ou descartável. Apresentam-se geralmente em estado sólido, semi-sólido ou semilíquido (conteúdo líquido insuficiente para que este líquido possa fluir livremente). Há vários tipos de resíduos e sua classificação é feita de acordo com sua natureza física (seco ou molhado), por sua composição química (matéria orgânica ou inorgânica) e pelos riscos potenciais ao meio ambiente (perigosos, inertes e não inertes).

Classificando-se o lixo pela sua origem tem-se a seguinte descrição (Jardim et al., 1995):

- Domiciliar: originado nas residências, é constituído por restos de alimento, produtos deteriorados, jornais e revistas, garrafas e embalagens em geral;
- Comercial: originados de estabelecimentos comerciais e de serviços, tais como supermercados, bares e restaurantes;
- Público: originados da limpeza pública como resíduos de variação, limpeza de córregos, praias e restos de feira;

- Hospitalar: constituem resíduos sépticos, podem conter germes patogênicos, são produzidos por serviços de saúde (hospitais e clínicas) e são constituídos por agulhas, bandagens, órgãos, meios de cultura e animais usados em testes;
- Portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários: originados de material de higiene, asseio pessoal e restos de alimentação, constituem resíduos sépticos, podendo conter germes patogênicos;
- Industrial: originado pelas atividades industriais metalúrgica, química, petroquímica, papelaria e alimentícia;
- Agrícola: resíduos sólidos de atividades agropecuárias constituem embalagens de adubos, defensivos agrícolas e ração;
- Entulho: resíduos de construção civil, os entulhos geralmente são materiais inertes, passíveis de reaproveitamento.

Com o objetivo de se conhecer melhor os resíduos dispostos no lixão do Alecrim, foi realizada a caracterização dos resíduos recolhidos pela coleta domiciliar e que envolvem os de origem domiciliar e comercial.

#### **3.2.1.1. A Produção de Resíduos Sólidos Urbanos**

A produção total estimada de resíduos sólidos no município é de cerca de 18.000 t/ano, dos quais 14.000 t/ano são gerados pela população residente por estabelecimentos de ensino, bares e restaurantes, supermercados, prefeitura e hospital. Estima-se uma produção de 90 t/ano de lixo hospitalar.

O lixo hospitalar é acondicionado em sacos plásticos de cor preta ou verde e coletado em caminhão com carroceria de madeira. No único hospital são coletados, diariamente, cerca de 10 sacos de 100 litros e 1 caixa de papelão contendo objetos cortantes. A área de estocagem provisória dos resíduos hospitalares não atende as exigências das normas legais. Situa-se nos fundos do hospital (num pequeno anexo), onde os resíduos ficam expostos, constituindo-se num foco potencial de disseminação de doenças. Os restos de tecidos e órgãos humanos resultantes de cirurgias e exames laboratoriais são levados ao cemitério da cidade para serem enterrados.

Não existem indústrias de porte significativo no município. A produção acumulada de resíduos nos finais de semana, pela presença dos turistas, é fonte permanente de dificuldade na coleta da segunda-feira.

### 3.2.1.2. Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Domiciliares

A composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares do município de São Pedro da Aldeia foi determinada no período compreendido entre os meses de maio e junho do ano de 2002. Neste período, foram analisados os lixos provenientes de 13 (treze) setores geradores de resíduos do município, alcançando as mais diferentes classes sociais.

A caracterização foi feita separando-se 10 amostras de cada caminhão durante 6 dias abrangendo os 13 setores de coleta. Estas amostras foram misturadas para uma melhor homogeneização e pesadas em galões de 200L previamente tarados. A seguir foram separadas manualmente em uma lona de 4,0 x 4,0 m. Os resíduos das amostras foram separados em inorgânicos e orgânicos, acondicionados em sacos plásticos de 100L sendo então pesados. A seguir cada tipo de resíduo, depois de separado, foi pesado individualmente, em balança mecânica, para posteriormente se estabelecer as porcentagens em peso (base úmida).

Observa-se nos resultados, um percentual elevado de metais ferrosos e não ferrosos, pois no período desta caracterização a Base Aérea -Naval de São Pedro da Aldeia estava efetuando uma limpeza em seus galpões. O material aparentemente desprezível (borracha / couro, panos, madeira, fraldas descartáveis, inertes e outros) representa 16,80%, deverá ser destinado ao lixão do município. O alto índice de fraldas descartáveis (7,34 %), apresentado esta fora dos padrões médios, não havendo nenhuma justificativa que explicasse o mesmo.

Os resultados encontrados para a composição física média dos resíduos domiciliares de São Pedro da Aldeia diferem significativamente daqueles apresentados a tabela 3.2 da Composição física média dos RSU no Brasil.

A tabela 3.1 apresenta a composição gravimétrica média dos resíduos sólidos domiciliares do município de São Pedro da Aldeia e a tabela 3.2 a composição física média dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.

**Tabela 3.1.** - Composição Gravimétrica Média dos Resíduos Sólidos Urbanos de São Pedro da Aldeia.

| COMPONENTES / RESÍDUOS  | MÉDIA ARIT.% |
|---|--------------|
| Matéria orgânica  | 46,66        |
| Metais ferrosos (latas, ferro comum, etc...).                   | 6,66         |
| Metais não-ferrosos ( chumbo, cobre, alumínio, aço inox, etc.). | 3,24         |
| Papel/ Papelão  | 7,34         |
| Plástico  | 10,11        |
| Vidro   | 9,20         |
| Inertes   | 2,19         |
| Borracha /Couro   | 1,16         |
| Pano  | 3,16         |
| Madeira   | 2,12         |
| Fraldas Descartáveis  | 7,34         |
| Outros materiais  | 0,82         |
| Total   | 100,00       |

**Tabela 3.2.** - Composição física média dos RSU no Brasil.

| COMPONENTES      | MÉDIAS (% em peso) |
|------------------|--------------------|
| Matéria orgânica | 60,0               |
| Papel/papelão    | 25,0               |
| Metal            | 4,0                |
| Plástico         | 3,0                |
| Vidro            | 3,0                |
| Outros           | 5,0                |

Fonte: Jardim et al.(1995)

### 3.3. ÁREA FOCO DO ESTUDO

O lixão de São Pedro da Aldeia situa-se em área predominantemente rural, em Campo do Alecrim, bairro de Campo Redondo. Ocupa cerca de 22.000 m<sup>2</sup> e dista aproximadamente 2,0 km da mancha urbana do município.

Atualmente recebe aproximadamente 18.000 ton/ano de resíduos sólidos, das quais 14.000 ton/ano, oriundas da população residente e 4.000 ton/ano da sazonal. Os resíduos hospitalares são dispostos a céu aberto, juntamente com os demais resíduos. Segundo informações dos trabalhadores do lixão, o local, escavado no solo, que era usado para esta finalidade, está saturado.

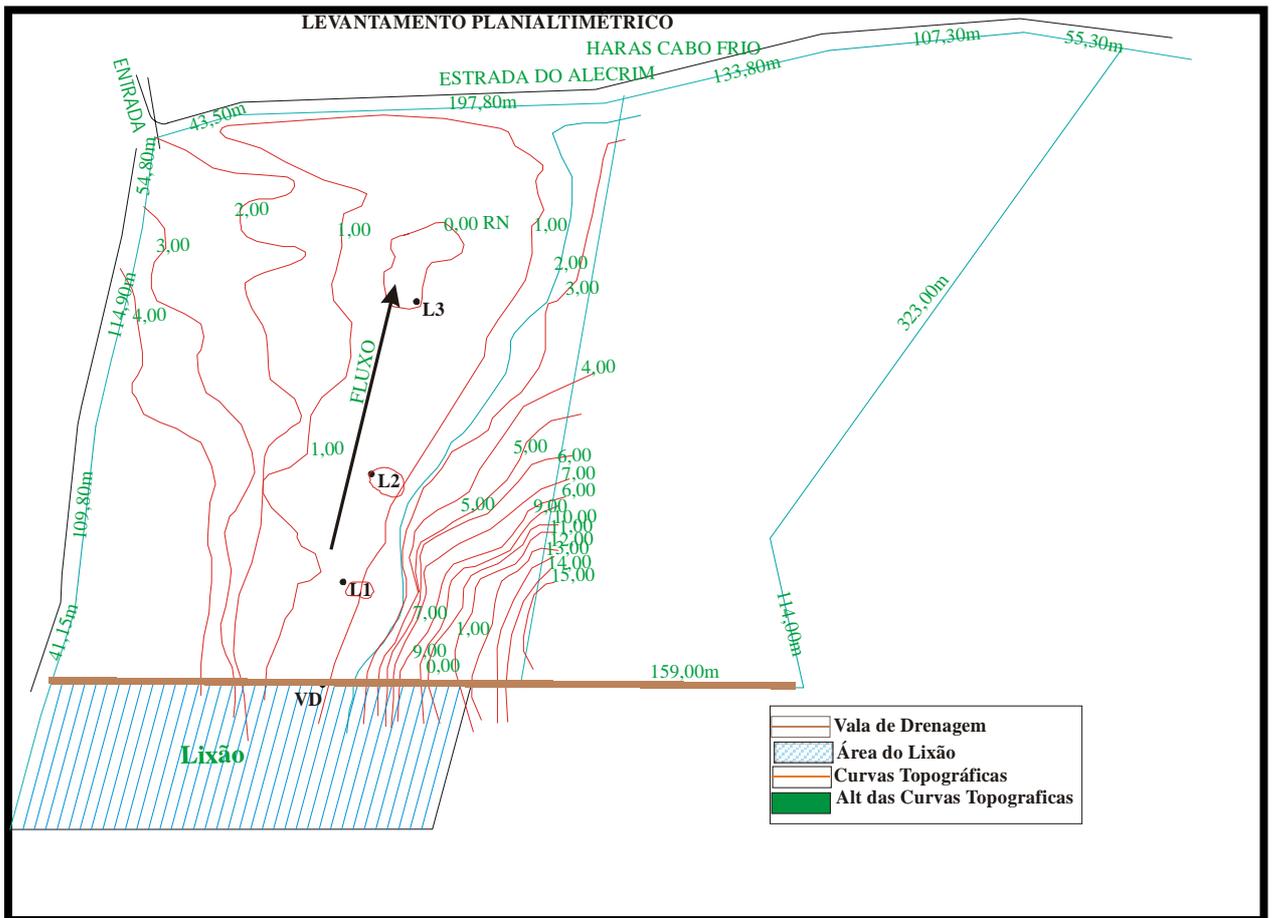
O lixão já funciona há, aproximadamente, 13 anos. Durante os quatro primeiros anos funcionou sem qualquer regulamentação. Foi oficializado pelo Decreto Municipal nº 470 de 03 de janeiro de 1994.

Do ponto de vista geomorfológico existem várias elevações com a altitude variando entre 5 metros e 316 metros. A base do lixão está situada na cota 5. Atualmente o topo do lixão encontra-se aproximadamente na cota 40. Pela configuração considera-se a área como um pequeno vale. O lixo é disposto no topo de uma ondulação, entretanto, dentro da linha de drenagem, no fundo do vale. A jusante da área existe uma vala que delimita o lixão com o terreno adjacente e que drena o chorume do lixão. Neste trabalho, esta vala é denominada de vala de drenagem (VD). A drenagem natural ocorre para o fundo do vale (talveg), carreando os contaminantes presentes no chorume. A figura 3.3 mostra o lixão a vala de drenagem e o talveg. Esta vala de drenagem está com chorume até a superfície, sendo que com as chuvas há um transbordamento deste chorume. Na figura 3.4 pode-se observar a topografia local.

Na direção da linha de drenagem, a partir da vala, existem três pequenas lagoas simbolizadas por L1, L2 e L3. A lagoa L1 recebe o chorume do lixão misturado com a água de chuva. Com a lagoa L2, repete-se o mesmo fato. A figura 3.5 apresenta detalhe da vala de drenagem e a figura 3.6 a área alagada à jusante.



**Figura 3.3.** – Localização do lixão, vala de drenagem (VD) e talveg



**Figura 3.5. - Vala de drenagem (VD) a jusante do lixão.**



**Figura 3.6.** – Área alagada a jusante do lixão

### **3.4. INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS**

Foram realizadas 14 sondagens, sendo 12 com um trado mecanizado e 2 com uma sonda rotativa para caracterização geológica-geotécnica do subsolo e posterior instalação dos piezômetros para monitoramento do nível da água e coleta de amostras de água para análises físico-químicas de campo e químicas de laboratório. Tendo em vista, que em alguns furos de sondagem o topo rochoso ou o impenetrável foi encontrado próximo à superfície, cerca de 0,90 a 8,00 metros, foram aproveitadas somente 6 sondagens para instalação dos piezômetros.

O perfil geotécnico da área consiste de uma camada superficial de solo aluvionar argilo-arenoso acinzentado nos primeiros metros, devido à presença de matéria orgânica, e amarelada nos últimos metros, sendo que esta camada apresentou uma variação de cerca de 0,50 m a 4,0m de espessura. Subjacente a esta camada observa-se a ocorrência de um solo residual jovem silto-arenoso altamente micáceo (biotita) de coloração cinza escura com cerca de 1,0m a 3,0 m de espessura. Ensaios de infiltração “in situ” efetuados na camada superficial do solo argilo-arenoso resultou em valor de coeficiente de permeabilidade de  $5 \times 10^{-6}$  cm/s (RESUB, 2000).

## CAPITULO 4

### MONITORAMENTO

O sistema de monitoramento tem o papel de acusar a influência de uma determinada fonte de contaminação na qualidade da água subterrânea. As amostragens são efetuadas num conjunto de piezômetros ou poços de monitoramento distribuídos estrategicamente, nas proximidades da área de disposição do resíduo, oferecendo assim subsídios para o diagnóstico da situação. A localização estratégica e a construção racional dos piezômetros ou poços para o monitoramento, aliadas a métodos eficientes de coleta, acondicionamento e análise de amostras, permitem resultados bastante precisos sobre a influência do método de disposição dos resíduos, na qualidade da água subterrânea (CETESB, 1999).

Para monitorar o lixão de São Pedro da Aldeia foram programados 14 piezômetros, cuja instalação está descrita no item 4.1. Em função da inexistência de água, 8 furos não foram completados.

A coleta de amostras e medição do nível de água foram efetuadas durante os meses de fevereiro, abril, junho e setembro de 2000 e fevereiro, abril, agosto e setembro de 2001. A descrição dos procedimentos adotados está apresentada no item 4.2, e os níveis estáticos de água medidos no item 4.3.

Para avaliar o grau de contaminação das águas subterrâneas pela chorume foram medidos no campo: pH, temperatura, condutividade elétrica (CE) e oxigênio dissolvido (OD). No laboratório foram determinadas a concentrações de vários íons inorgânicos. No item 4.4 apresentam-se todos os parâmetros medidos, a metodologia e os equipamentos utilizados.

#### 4.1. INSTALAÇÃO DOS PIEZÔMETROS

A figura 4.1 apresenta um croqui com a localização dos piezômetros perfurados. Nesta perfuração foram utilizados dois equipamentos distintos: um trado mecanizado com broca de 4” ou 6” de diâmetro, dependendo das características do solo a ser perfurado, com capacidade de perfuração de até 15m de profundidade e uma sonda rotativa de vídea, com 4” ou 6” de diâmetro, com capacidade de perfuração até 50m. A tabela 4.1 apresenta as profundidades dos furos efetuados de montante para jusante que também pode ser observada na figura 4.1.

**Tabela 4.1.** - Profundidades dos piezômetros

| Pontos      | P12  | P6   | P10  | P11  | P9   | P7   | P8   | P14  | P4   | P5   | P13  | P2   | P1   | P3   |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Prof. – (m) | 3,30 | 4,30 | 4,30 | 4,03 | 0,90 | 1,87 | 8,10 | 1,70 | 1,10 | 2,85 | 3,00 | 7,50 | 5,50 | 8,00 |

## CROQUI DO LIXÃO DE SÃO PEDRO DA ALDEIA

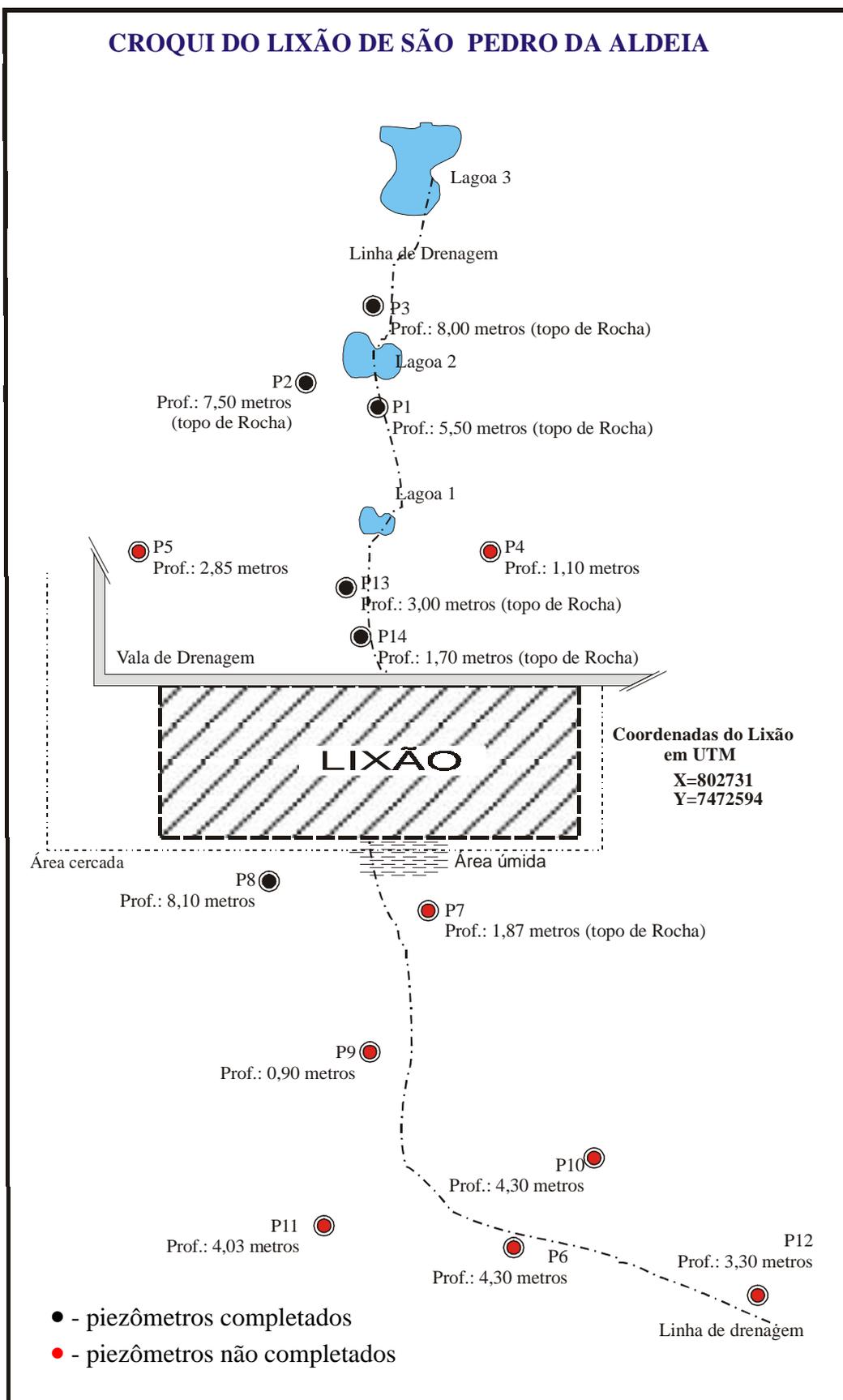


Figura 4.1. - Croqui de instalação dos piezômetros

Foram instalados os seguintes piezômetros nos furos efetuados: P1, P2, P3, P8, P13 e P14, em função de inexistência de água conforme já mencionada, Os demais furos foram abandonados.

O piezômetro P8 foi locado ao lado da linha de drenagem no fundo do talvegue, a montante, e os piezômetros P1, P2, P3, P13 e P14 estão a jusante do lixão. A figura 4.2 apresenta a localização dos piezômetros na planta topográfica. Observa-se também nsta figura a vala de drenagem e o poço de cacimba PC15, localizado no Haras Cabo Frio fora da área do lixão.

Os piezômetros foram construídos dentro dos parâmetros preconizados pela ABNT, NBR 13895 “Construção de poços de monitoramento e amostragem”. A figura 4.3 apresenta um perfil esquemático do piezômetro de monitoramento.

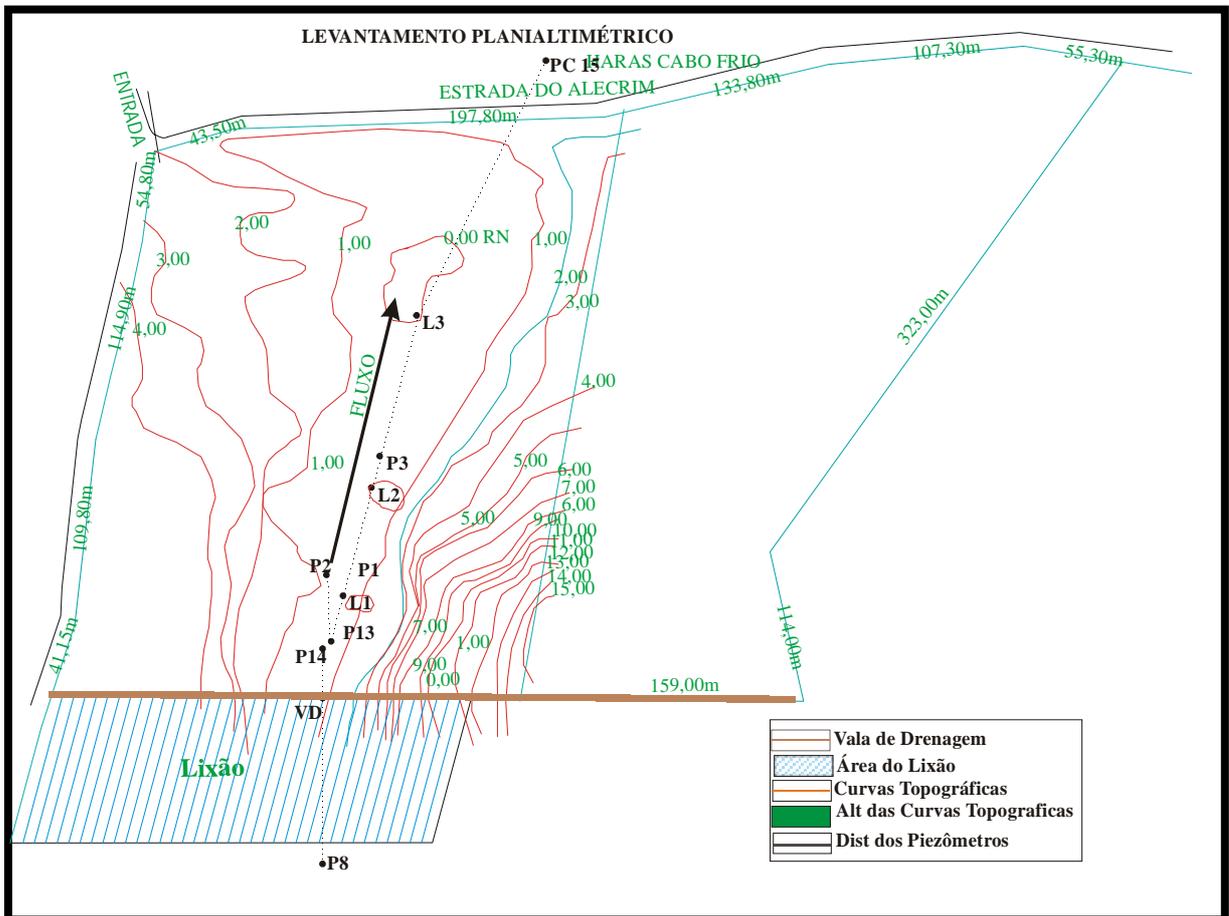
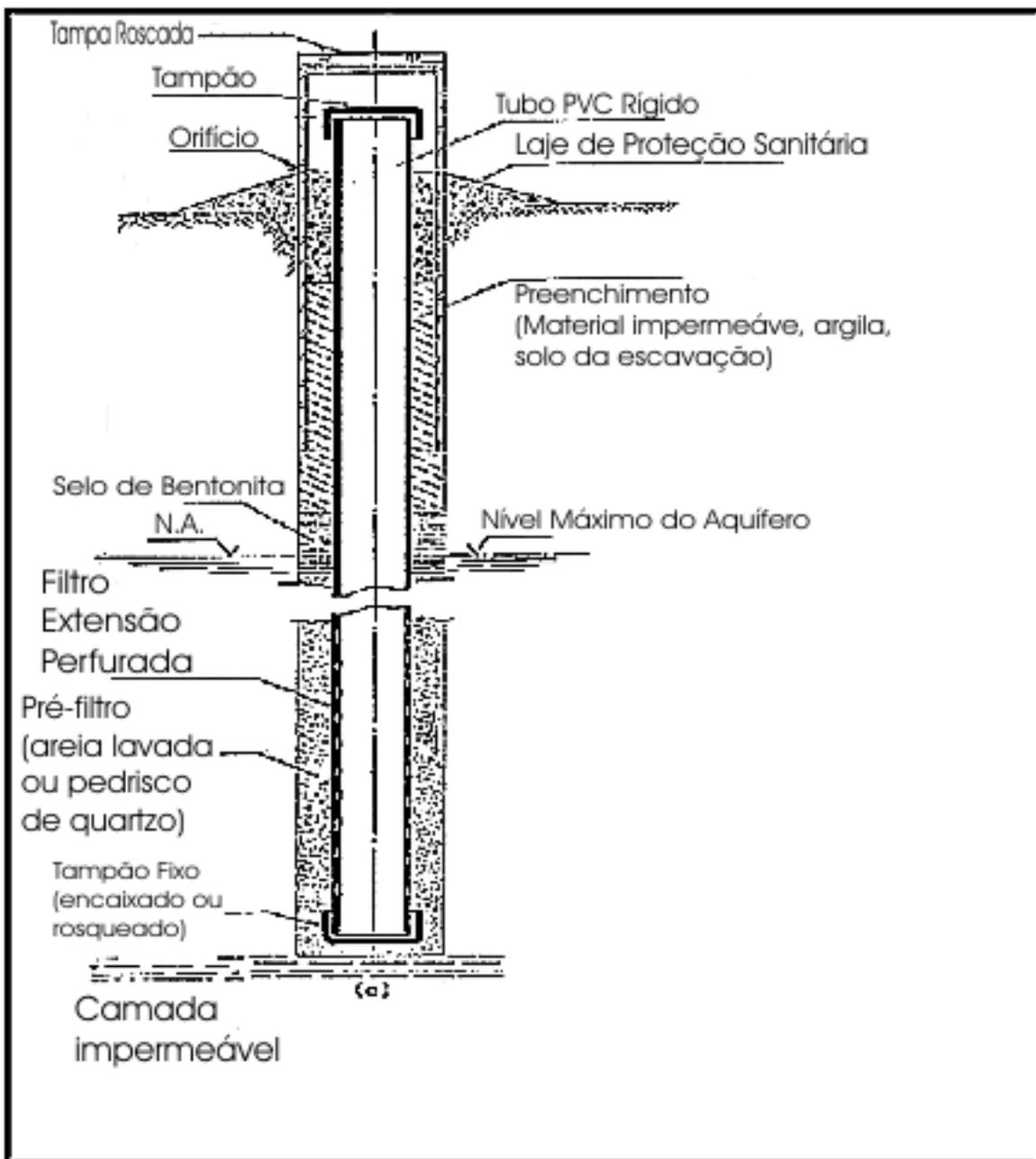


Figura 4.2. - Localização dos piezômetros na planta topográfica



(Fonte: CETESB, 1999)

**Figura 4.3.** - Esquema de construção de um piezômetro com seus elementos

Uma breve descrição de cada elemento é apresentada a seguir, conforme utilizado nos piezômetros instalados.

**a) Revestimento Interno**

São tubos de aço inoxidável, ferro fundido ou plástico, encaixados no interior da perfuração, com a função de revestir a parede da mesma ao longo do segmento correspondente à zona não saturada, para evitar desmoronamentos e servir como proteção sanitária, (CETESB 1999). Neste trabalho, nos piezômetros em que havia possibilidade de

desmoroamento, foram utilizados, revestimentos de tubo de PVC rígido marrom de diâmetro 6", devido a sua praticidade, baixo custo, resistência e baixa reatividade. Concluída a perfuração, foi colocado no interior o tubo de PVC de 6" o tubo definitivo de 2" de diâmetro, e a seguir retirou-se o revestimento.

#### **b) Filtro**

Tem a finalidade de permitir a entrada da água e de impedir a penetração de impurezas no piezômetro. O filtro consiste em um tubo de PVC com ranhuras vazadas. A largura das ranhuras é de 2,00 mm a 3,00 mm, pouco menor do que a metade da circunferência da seção transversal e com uma distância entre as ranhuras de aproximadamente 1,00 cm. Quanto à extensão dos filtros, eles podem ser longos ou curtos.

A instalação de filtros longos (mais de 3,00 m de comprimento) só é aconselhável quando a litologia é relativamente simples, a pluma de contaminação possui uma distribuição vertical homogênea, ou a vazão do aquífero é baixa. O filtro longo, durante a amostragem, pode contribuir para a diluição da concentração da pluma. Os resultados das análises sempre representarão a concentração média da seção. No entanto, esse piezômetro pode ser utilizado para amostragem a diferentes profundidades pelo emprego de amostradores específicos e, nesse caso, o resultado das análises indicará a concentração na profundidade amostrada. Em situações em que a vazão do aquífero é extremamente pequena, o filtro longo permite agilizar a recuperação do nível de água após o esvaziamento para a coleta de amostras, (CETESB, 1999).

O filtro curto é recomendado onde a geologia é complexa, há necessidade de caracterização mais precisa da pluma de contaminação, ou o poluente esteja preferencial dentro nível da zona saturada (CETESB, 1999).

Neste trabalho utilizou-se filtro curto, devido ao fato da pequena profundidade dos piezômetros, e de todas as amostragens serem pontuais.

#### **c) Pré-Filtro**

Ocupa o espaço anular, entre o filtro e a parede de perfuração. Foi constituído de pedrisco de quartzo (inerte e resistente); os grãos foram bem assentados, minimizando assim a formação de espaços vazios em torno do filtro.

#### **d) 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 é o cimento da extremidade superior do espaço anular (~ 30 cm de altura). A laje de proteção é o piso de cimento, construído com pequeno declive ao redor da boca do poço.

**e) Tampão**

Na extremidade superior do tubo (boca do piezômetro) foi instalado um tampão removível. Na extremidade inferior do tubo, um tampão fixo (de preferência roscado) tem a função de evitar o carreamento do material constituinte do pré-filtro.

**f) Sistema de Proteção do Tubo**

Foi construído uma proteção de alvenaria ao redor do tubo, suficiente para envolver a parte saliente do tubo. Foi feita uma identificação na laje de proteção sanitária. A figura 4.4 apresenta em detalhe do sistema usado no local.

**g) Selo**

Foi utilizado selo de bentonita, com a função de vedar o espaço anular em torno do tubo, acima do limite máximo de variação do nível do lençol freático, evitando a contaminação do piezômetro por líquidos percolados pelo espaço anular.



**Figura 4.4.** - Sistema de proteção do tubo utilizado

## 4.2. AMOSTRAGEM

As amostras das águas superficiais e subterrâneas foram coletadas, de acordo com o guia técnico de coleta de amostras de água da CETESB, 1977.

Para as oito campanhas de amostragem realizadas fez-se uma medição dos níveis estáticos dos piezômetros, utilizando um medidor de nível elétrico de água. O medidor de nível elétrico de água possui uma sonda, com um sensor na ponta de uma fita graduada em milímetros, utilizando os íons da água para fechar um circuito ao qual ativa um tom e/ou um indicador luminoso. A figura 4.5 apresenta o medidor de nível utilizado no monitoramento dos piezômetros.

Para a amostragem nos meses de fevereiro e abril de 2000, foi utilizada uma bomba submersa para água, sendo que esta só conseguia bombear uma coluna vertical de água de 7m. A figura 4.6 apresenta a bomba submersa utilizada no monitoramento dos piezômetros.

Sendo assim, pelas profundidades dos piezômetros P3 e P8, maior do que 7m (vide tabela 4.1) foi utilizado um bailer nas duas primeiras amostragens e nos meses seguintes do monitoramento utilizou-se novamente o bailer para amostrar todos os piezômetros. A figura 4.7a apresenta o tipo de bailer de polietileno, com uma válvula para retenção do líquido.

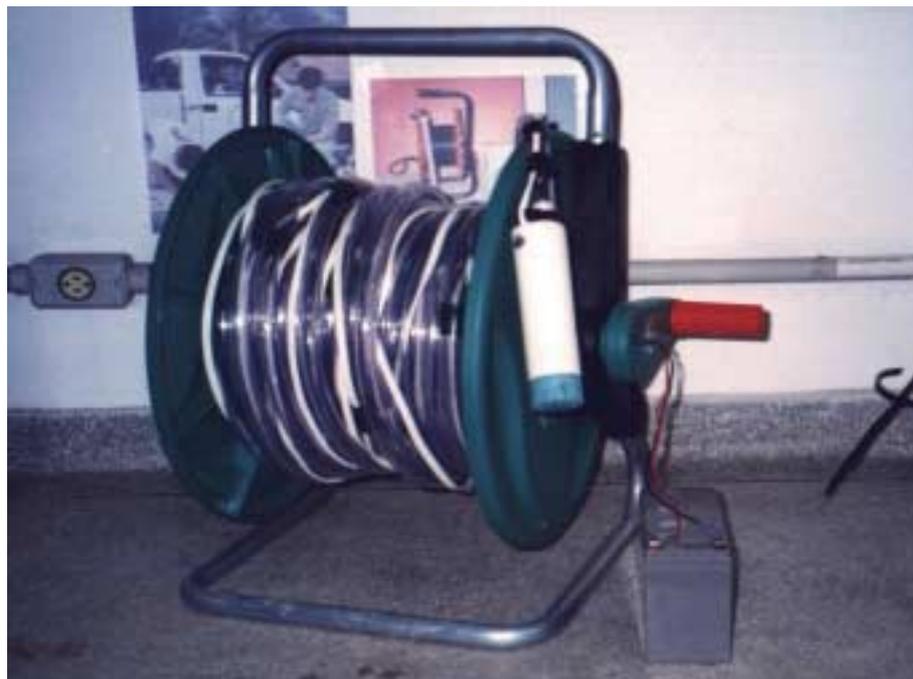
Logo após a determinação do nível estático do piezômetro, utilizou-se um bailer de teflon, para esgotar o piezômetro, aonde a água do bailer ia sendo adicionada em um Becker contendo os respectivos eletrodos até ocorrer à estabilização das leituras de Eh, pH, CE, OD e temperatura. Todas as leituras foram anotadas, sendo que a última determinação, foi considerada como representativa do aquífero.

Foram coletados duas amostras de 20ml em cada piezômetro para cada campanha de amostragem para a determinação das concentrações químicas, utilizando uma seringa de 20ml e MICROFILTRO, MFS 25, disposable Syringe Filter Unit, Pressure Limitação 5,3 kg/cm<sup>2</sup> ( 75 psi) Sterile, Pyrogem livre de acetato de celulose 0,45 microm. As amostras foram transferidas para um frasco de 40ml e acidificadas com gotas de HNO<sub>3</sub> bidestilado até pH=2, para análise dos cátions. Para a análise dos ânions foi efetuado o mesmo procedimento, porém sem adição do HNO<sub>3</sub> bidestilado.



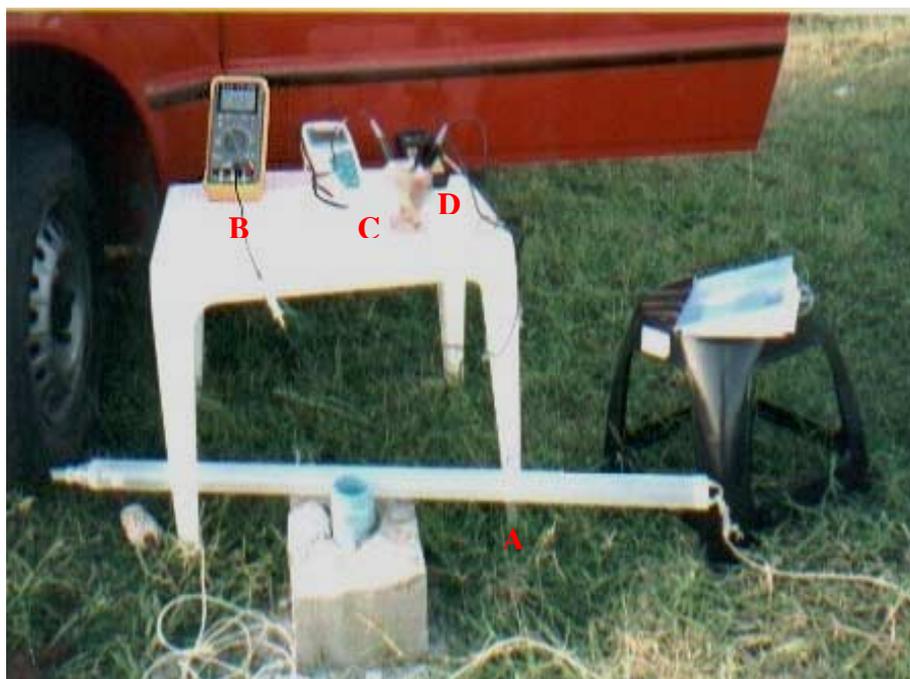
(Fonte: Projeto Resub – UFF – 2000)

**Figura 4.5.** - Medidores de nível de água.



(Fonte: Projeto Resub – UFF – 2000)

**Figura 4.6.** – Bomba submersa



(Fonte: Projeto Resub – UFF – 2000)

**Figura 4.7.** – A - Bailer, B - Ehmetro, C – pHmetro, condutivimetro e temperatura e D - oximetro.

### 4.3. NIVEIS ESTÁTICOS MEDIDOS

As medições nos piezômetros de fevereiro de 2000 a setembro de 2001 em 8 campanhas de medição estão apresentados na tabela 4.2. A figura 4.8 apresenta os gráficos relativos aos níveis estáticos NE e as colunas de água existente nos piezômetros nos meses de junho e setembro de 2000 e abril e agosto de 2001 meses selecionados como os de menor e maior pluviometria (a ser comentado no início do capítulo 5). A observação feita nos piezômetros indica que a jusante, à medida que vai avançando em direção a cotas mais baixas do local em estudo (figura 4.2, planta topográfica), os piezômetros vão tendo uma maior profundidade e um NE mais elevado, ou seja, mais superficial, como pode ser visualizado na figura 4.8. No piezômetro P8 localizado a montante, o nível estático manteve-se profundo nos dois anos de monitoramento.

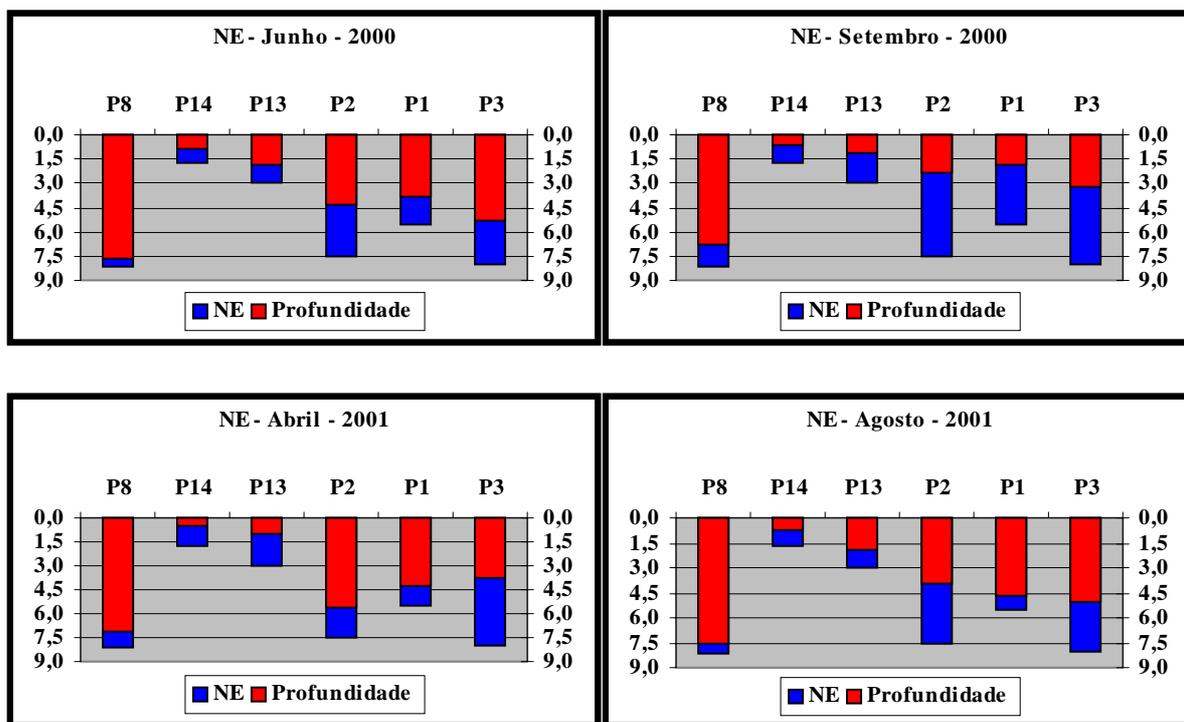
Embora os níveis do lençol freático sofrem influência das chuvas, os dados de pluviometria da área (Figura 3.2) e dos níveis estáticos determinados nos piezômetros (tabela 4.2) não permitiram estabelecer nenhuma correlação.

A jusante do lixão da vala de drenagem até P2, a superfície apresenta-se bastante regularizada, com baixas declividades, observando-se para P14 e P13 que os NE são mais superficiais. O chorume lixiviado acumula-se nesta área em épocas de chuva, isto porque o

lixão não possui sistema de drenagem que separe as águas pluviais das percoladas. Estas se misturam, parte escoando superficialmente, e parte infiltrando-se. Como existe um grande volume infiltrado, isso possivelmente acaba causando uma elevação do nível freático, imediatamente abaixo do lixo, na região dos piezômetros P14 e P13, pois são comuns surgências de chorume em épocas de chuva.

**Tabela 4.2.** - Níveis Estáticos

| NE - NÍVEL ESTÁTICO - m |           |              |          |          |             |              |          |           |             |
|-------------------------|-----------|--------------|----------|----------|-------------|--------------|----------|-----------|-------------|
| Pontos                  | Prof. - m | Fevereiro-00 | Abril-00 | Junho-00 | Setembro-00 | Fevereiro-01 | Abril-01 | Agosto-01 | Setembro-01 |
| P8                      | 8.10      | 7,50         | 7,09     | 7,65     | 6,82        | 6,98         | 7,12     | 7,50      | 7,20        |
| P14                     | 1.70      | 0,72         | 0,98     | 0,90     | 0,58        | 0,72         | 0,50     | 0,75      | 0,84        |
| P13                     | 3.00      | 1,20         | 1,80     | 1,90     | 1,12        | 1,50         | 1,00     | 1,90      | 0,98        |
| P2                      | 7.50      | 5,25         | 5,10     | 4,30     | 2,30        | 3,30         | 5,60     | 4,00      | 1,97        |
| P1                      | 5.50      | 4,90         | 4,80     | 3,80     | 1,90        | 1,20         | 4,20     | 4,70      | 1,78        |
| P3                      | 8.00      | 5,56         | 4,25     | 5,35     | 3,21        | 3,80         | 3,70     | 5,00      | 2,10        |



**Figura 4.8.** - Gráficos do NE e coluna de água nos piezômetros.

#### 4.4 PARÂMETROS MEDIDOS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Os parâmetros medidos no campo foram eles: potencial redox (Eh), pH, condutividade elétrica (CE), temperatura e oxigênio dissolvido (OD).

A figura 4.7 apresentada no item 4.2, mostra os equipamentos que foram utilizados. São eles: Multímetro modelo ET 2600 da marca Minipa, com eletrodo redox da Cole Parmer

(4.7B), pH/Con 10 da marca Cole Parmer, (4.7C) e oxímetro da marca Minipa, (4.7D). O Ehmetro foi calibrado utilizando uma solução padrão da DIGIMED com 228mV a 25 C°. O pHmetro foi calibrado no campo utilizando solução padrão da MERCK 4.0, 7.0 e 10.0, o condutivímetro foi calibrado no campo utilizando uma solução padrão da DIGIMED em 146.9  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , 1412  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$

As análises foram efetuadas no laboratório de Espectrometria de massa da PUC - Rio. Os equipamentos utilizados em laboratório foram: Espectrômetro de emissão atômica, com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP – AES), modelo Plasma 1000, marca Perkin Elmer, e espectrômetro de massa (ICP – MS), modelo Élan 6000, marca Perkin Elmer.

Considerando a capacidade de análise destes equipamentos, optou-se em efetuar a análise dos seguintes íons:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Ba}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Fe}_{(\text{total})}$ ,  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{Cr}_{(\text{total})}$ ,  $\text{Ni}^{+2}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{Cd}^{+2}$ ,  $\text{Hg}^{+2}$ ,  $\text{Sn}^{+4}$ ,  $\text{Pb}^{+2}$  Também foram analisadas as concentrações de cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) e brometo ( $\text{Br}^-$ ) através de cromatografia de íons e do amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) através método Kjeldall.

## CAPITULO 5

### APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e analisados os parâmetros medidos em campo e em laboratório. Todos os resultados dos oito meses de monitoramento estão apresentados em tabela no anexo. Devido à grande quantidade de dados obtidos, optou-se em fazer análise dos resultados dos meses de menor pluviometria: junho 2000 e agosto de 2001 e de maior pluviometria: setembro de 2000 e abril de 2001. Estes meses não são os meses de menor e maior pluviometria dos anos de 2000 e 2001, mas são os meses de máximas e mínimas pluviometria do período de realização das amostragens (figura 3.2).

Como níveis de referência das concentrações existentes no lençol freático da região foram utilizados os dados obtidos em dois poços de cacimba, amostrados pelo projeto RESUB LAGOS - UFF, (2000), cujas análises foram efetuadas pelo CPRM (Serviço Geológico do Brasil). São os poços SPA – 032, localizado no distrito de Pau Ferro, a sudeste, e SPA – 125 localizado no distrito de Alecrim, a oeste, cerca de 1,5 Km e 1Km respectivamente do lixão de São Pedro da Aldeia. Considerando-se que a utilização da água subterrânea seja principalmente para abastecimento domiciliar, a avaliação dos níveis de contaminação dos poços monitorados foi feita comparando-se os resultados com os padrões estabelecidos na resolução do CONAMA nº 20. A tabela 5.1 apresenta os dados de referência obtidos dos poços de cacimba e os limites da Resolução CONAMA.

Observa-se na tabela 5.1, que de acordo com a Resolução CONAMA Nº 20 e a portaria Nº 1.469 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), no poço do bairro do Alecrim como no bairro do Pau Ferro, as concentrações medidas do manganês, sódio, alumínio, cloreto e nitrato estão acima dos padrões de potabilidade. Os resultados do poço do distrito de Pau Ferro evidenciam uma pior qualidade para a água analisada, em relação ao poço de Alecrim, pois se nota que a condutividade elétrica é mais que o dobro do valor. O Chumbo e o fosfato estão abaixo do limite de detecção do aparelho utilizado para análise.

Tabela 5.1. – Níveis de Referências

|                                      | NÍVEIS DE REFERÊNCIAS |                | CONAMA    |
|--------------------------------------|-----------------------|----------------|-----------|
|                                      | SPA – 032             | SPA - 125      |           |
| Poços                                | SPA – 032             | SPA - 125      |           |
| Local                                | Pau Ferro             | Alecrim        |           |
| Tipo de Aquífero                     | Sedimentar            | Sedimentar     |           |
| Tipo de Água                         | Na-Cl                 | Na-Cl-HCO3-SO4 |           |
| Profundidade - m                     | 6                     | 4,5            |           |
| pH                                   | 6,63                  | 6,91           | 6,0 - 9,0 |
| CE ( $\mu\text{S. cm}^{-1}$ )        | 3700                  | 1734           | ND        |
| Ba <sup>+2</sup> (mg/l)              | 0,077                 | 0,051          | 1         |
| Fe(total) (mg/l)                     | 0,007                 | 0,094          | 0,3       |
| Mn <sup>+2</sup> (mg/l)              | 0,133                 | 0,004          | 0,1       |
| Na <sup>+</sup> (mg/l)               | 571                   | 316            | 200*      |
| Al <sup>+3</sup> (mg/l)              | < 0,1                 | 0,2            | 0,03      |
| Pb+2 (mg/l)                          | < 0,005               | < 0,005        | 10        |
| Cl <sup>-</sup> (mg/l)               | 615,17                | 238,5          | 250       |
| NO <sub>3</sub> (mg/l)               | 0                     | 69,9           | 10        |
| PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg/l) | < 0,2                 | < 0,2          | 0,025     |
| SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/l) | 169,2                 | 151,6          | 250       |

\*Limite estabelecido pela ANVISA

**Fonte** – Projeto RESUB Lagos UFF, – Caracterização Hidrogeológica Básica da Região dos Lagos, CD –Rom, março, 2001.

## 5.1. - Parâmetros Medidos no Campo

Os parâmetros medidos foram condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), pH, e potencial redox (Eh).

Os resultados obtidos estão apresentados e discutidos na seqüência. Para facilitar a análise dos resultados, foram incluídos, no presente item, os resultados de sólidos totais dissolvidos obtidos em laboratório.

### 5.1.1. - Potencial Hidrogeniônico (pH)

A escala de pH para medir a concentração de íon hidrogênio foi proposta por Sorensen, em 1909. Conforme a sua definição, o pH de uma solução é o negativo do valor do logaritmo decimal da concentração de íon hidrogênio.

O potencial hidrogeniônico  $\text{pH} = -\log \text{H}^+$  é uma forma de avaliar a concentração do íon  $\text{H}^+$  dissolvido nas águas subterrâneas. Segundo Langmuir (1997), o pH das águas subterrâneas naturais está entre 4,0 e 9,0. Isto reflete a dinâmica natural entre os ácidos e as bases, sendo que os valores extremos ocorrem quando um dos dois é dominante. cidos

orgânicos. Nos ambientes dominados pela água ou sistemas úmidos com grande circulação de água, os ácidos carbônicos ou orgânicos são frequentemente renovados pelas águas de chuva. Nestas circunstâncias, os carbonatos, silicatos e alumínio-silicatos são alterados quimicamente. Águas com pH intermediários, próximos de 7,0 apresentam um balanço entre a produção de íons de  $H^+$  a partir da dissociação destes ácidos fracos e o  $OH^-$  e o  $CO_2$  consumido pelos processos de alteração.

A figura 5.1 apresenta o pH do chorume do lixão. Os dados obtidos não permitem estabelecer uma correlação entre pH e períodos de maior ou menor pluviosidade.

Enquanto que em 2000, o pH do mês de menor índice pluviométrico é muito mais elevado do que o mês de maior pluviosidade no ano de 2001, o comportamento do pH foi quase que oposto, não ocorrendo uma variação significativa entre os 2 meses.

A figura 5.2 apresenta a variação do pH nos pontos P8,VD, P14, P13, L1, P2, P1, L2, P3, L3 e PC15 para os anos de 2000 e 2001. Novamente verifica-se que não há uma tendência clara para o pH, em relação à pluviometria.

Há, contudo, uma tendência de redução do pH na medida em que aumenta a distância do ponto de contaminação, tendência quebrada parcialmente apenas pelo ponto PC15.

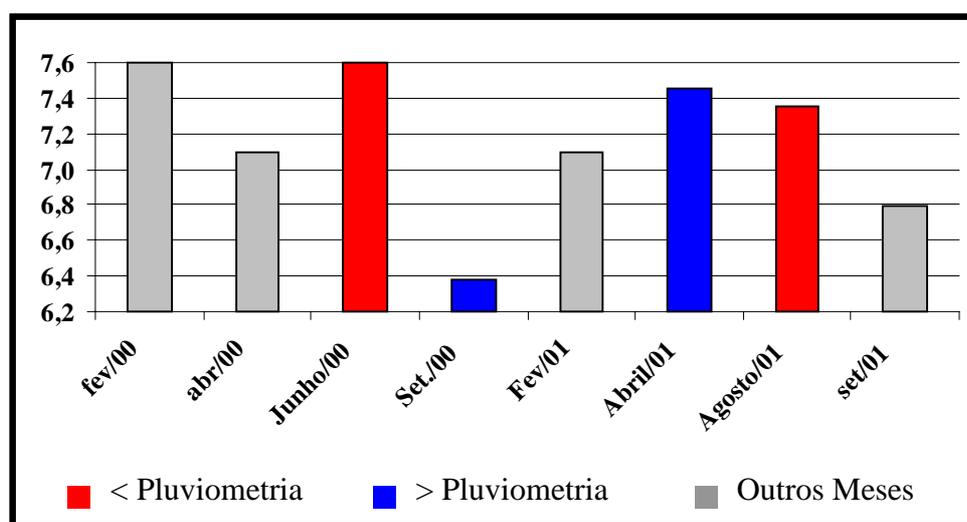
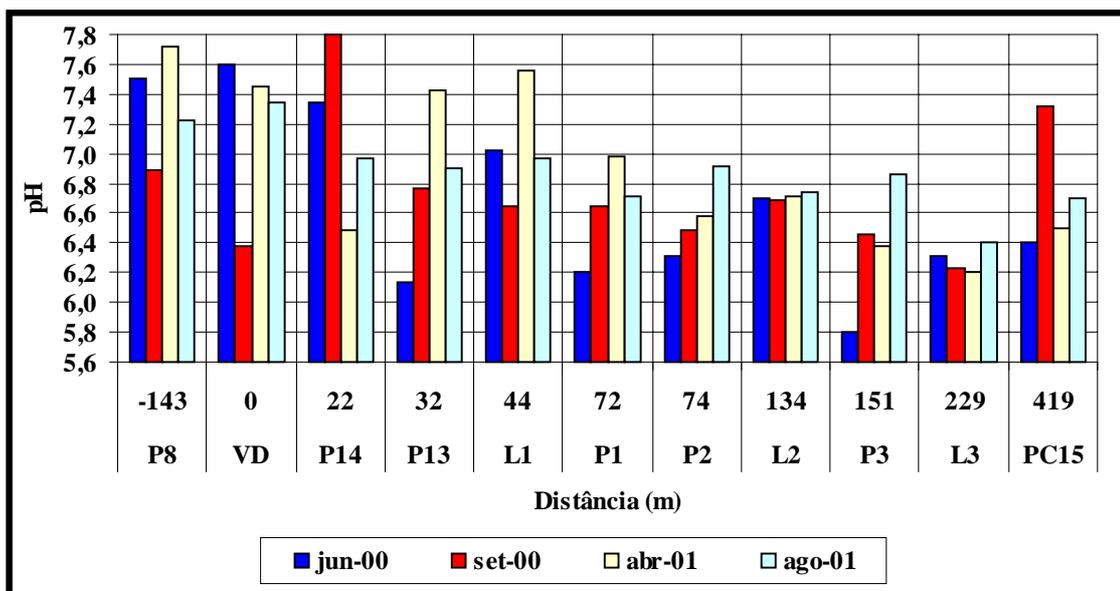


Figura 5.1. – pH no chorume em todos os meses monitorados.

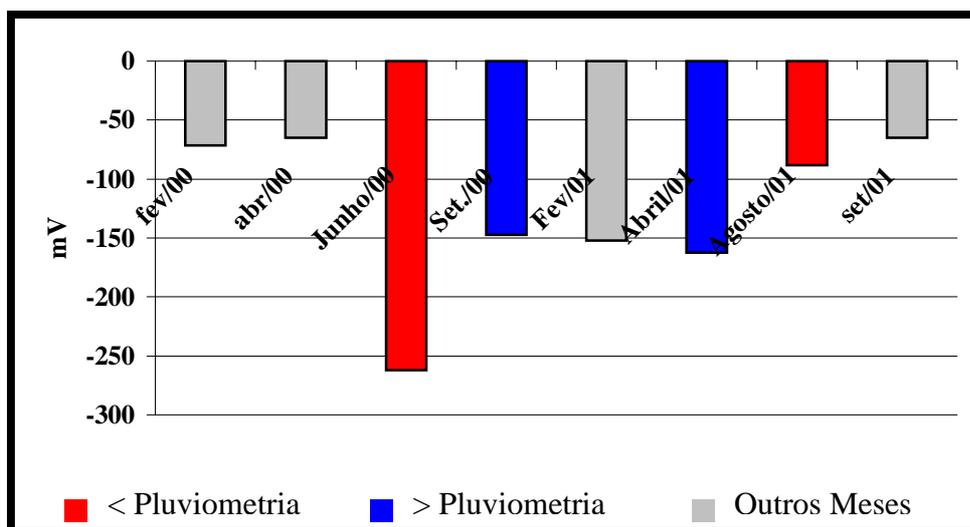


**Figura 5.2.** – pH referente aos pontos P8, VD, P14, P13, L1, P2, P1, L2, P3, L3 e PC15, nos meses de junho de 2000, setembro de 2000, abril de 2001 e agosto de 2001.

### 5.1.2. - Potencial Redox (Eh)

O potencial redox é uma medida do estado de oxidação das águas subterrâneas. Em geral, águas subterrâneas naturais, que apresentam baixos valores de Eh, são águas reduzidas que percolam por aquíferos com certa quantidade de matéria orgânica. As águas subterrâneas oxidadas, em geral, são águas subsuperficiais, de rápida circulação, com certo grau de oxigenação. Portanto, as áreas mais oxidadas podem ser mapeadas como áreas não contaminadas e as áreas mais reduzidas, podem ser interpretadas para delimitação da pluma de contaminação.

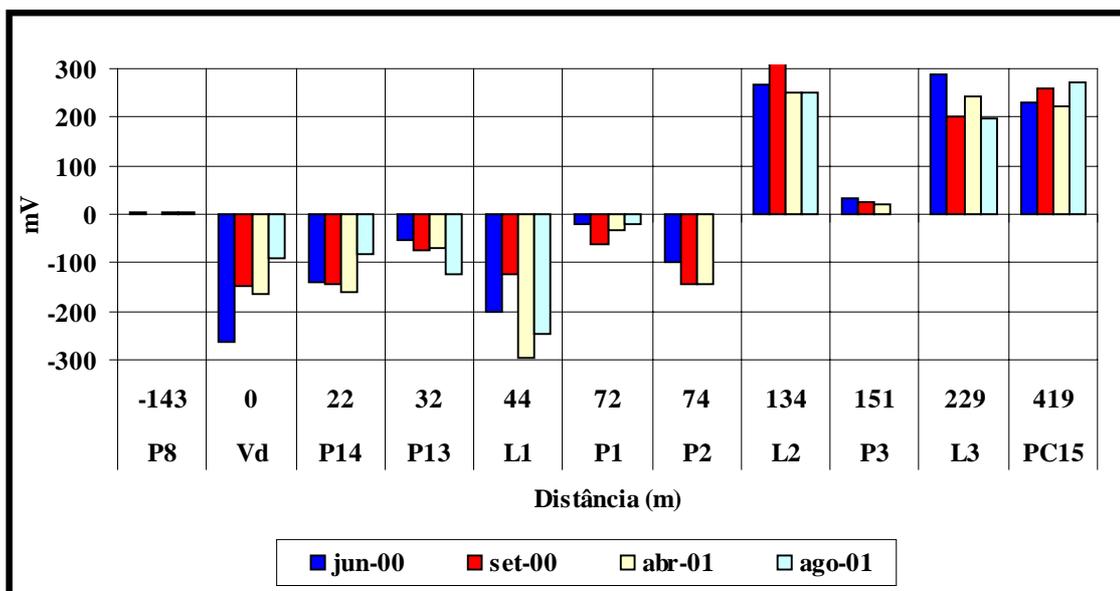
A figura 5.3 apresenta o potencial redox no chorume. Nota-se que os valores são negativos, mostrando que o material lixiviado obtido é reduzido. O potencial redox no mês de junho de 2000, que é um mês de menor pluviometria, apresenta o valor mais negativo, provavelmente porque esta medida de campo tenha sido realizada em um ano de pluviosidade baixa, ocorrendo uma maior concentração do chorume e tornando-o mais reduzido. O mês de setembro foi o mês de maior pluviometria adotada do ano de 2000 e o valor do potencial redox foi menos negativo, ou seja, mais oxidado. A ocorrência deste resultado, provavelmente seja devido à diluição do chorume. No ano de 2001 tal tendência não ocorreu.



**Figura 5.3.** – Eh do chorume de todos meses monitorados

Verifica-se que no mês de abril de 2001, que foi o de maior índice pluviométrico, o valor do potencial redox foi o mais negativo deste ano, ou seja, mais reduzido, quando o que seria de se esperar é que esse potencial redox fosse menos reduzido, devido à ocorrência da diluição provocada pela maior pluviometria. E no mês de agosto de 2001, no qual ocorreu a menor pluviometria, seria de se esperar que ocorresse um maior potencial redox em função da concentração dos elementos que constituem o chorume. Este mês de agosto é mais oxidado em relação a abril e fevereiro, e menos oxidado em relação a setembro.

A figura 5.4 apresenta a variação do Eh nos pontos P8, VD, P14, P13, L1, P2, P1, L2, P3, L3 e PC15 nos anos monitorados de 2000 e 2001, respectivamente. Os potenciais negativos registrados dão uma indicação da extensão da pluma de contaminação em campo. Verifica-se que a partir de uma distância de 134 m da fonte de contaminação, o potencial redox apresenta valores positivos, indicando uma maior oxidação, ou seja, uma menor contaminação, com exceção em P3 onde o potencial redox apresentou um valor de  $-0,40\text{mV}$ , porém já se aproximando da faixa oxidada, não sendo detectado no gráfico por ser um valor muito próximo de zero.



**Figura 5.4.** – Eh referente aos pontos P8, VD, P14,P13, L1, P2, P1, L2, P3, L3 e PC15, nos meses de junho 2000, setembro de 2000, abril de 2001 e agosto de 2001.

### 5.1.3. - Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio disponível em um sistema é consumido à medida que exista uma maior quantidade de agentes redutores no meio a ser estudado.

Segundo Deutsch (1997), quando a chuva entra em contato com o material de um lixão ou aterro sanitário, ela se encontra oxidada, devido ao contato com o oxigênio do ar. Porém, quando ela percola através do resíduo, ela reage com a matéria orgânica degradável e o oxigênio dissolvido é consumido para formar  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  (equação 1 apresentada no capítulo 2), tornando assim a substância gerada reduzida e baixando a concentração de oxigênio dissolvido no chorume.

A figura 5.5 apresenta o oxigênio dissolvido no chorume do lixão da vala de drenagem. Observa-se uma tendência a menores valores de OD para os meses de maior pluviometria.

Para fevereiro de 2000 e setembro de 2001 ocorreram concentrações elevadas de oxigênio dissolvido, em relação aos meses eleitos de maior e menor pluviometria.

A figura 5.6 apresenta a variação do oxigênio dissolvido nos pontos P8, VD, P14, P13, L1, P1, P2, L2, P3, L3 e PC15 nos anos de 2000 e 2001, respectivamente. No mês de junho de 2000, que é um mês de baixa pluviometria, as concentrações de oxigênio dissolvido são elevadas, em relação á setembro do mesmo ano que em geral são baixas. Em abril de 2001, mês de alta pluviometria, a concentração de oxigênio dissolvido é baixa, com exceção de L1, L2, L3 e PC15.

Observa-se que nos piezômetros, tanto em 2000 como em 2001 a pluviometria baixa gerou níveis de oxigênio dissolvido significativamente mais altos, o que não seria de se esperar, enquanto que nas lagoas isto já não foi observado, em 2001.

Embora até a distância de 74 m, não haja um comportamento sistemático da presença de OD, a partir da distância de 229 m, os valores de OD são em geral mais elevados mostrando uma possível redução dos efeitos da pluma de contaminação do chorume.

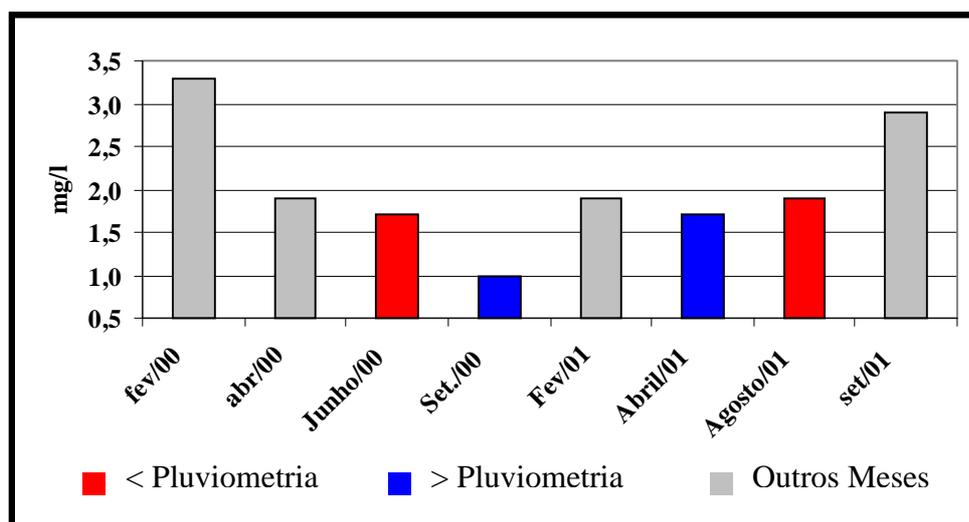


Figura 5.5. – OD do choro de todos meses monitorados.

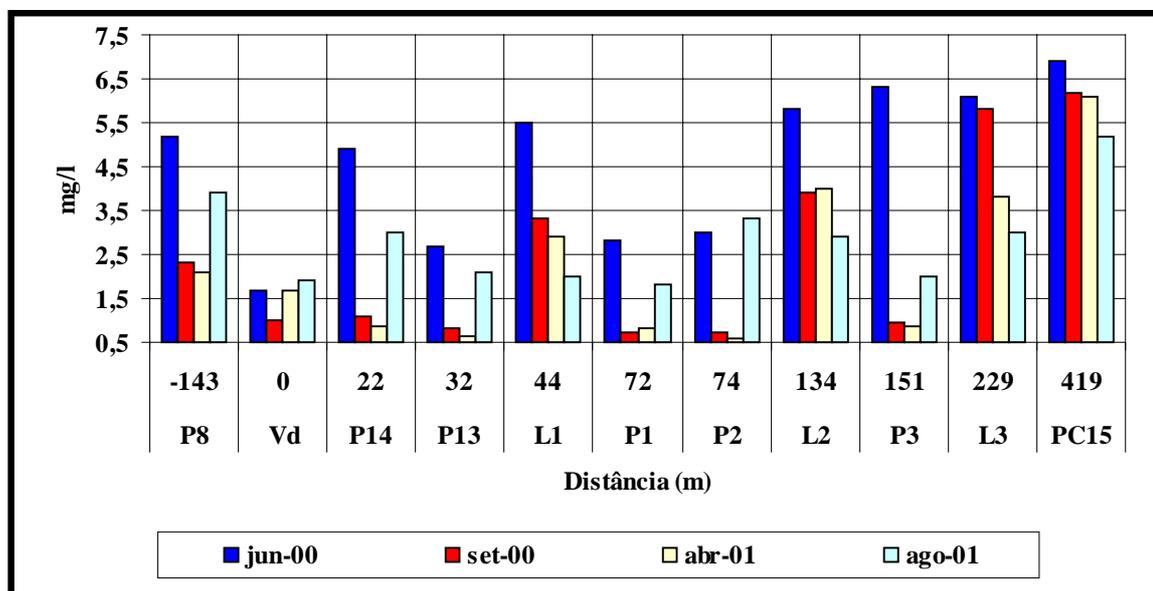


Figura 5.6. – OD referente aos pontos P8, VD, P14, P13, L1, P2, P1, L2, P3, L3 e PC15, nos meses de junho de 2000, setembro de 2000, abril de 2001 e agosto de 2001.

#### 5.1.4. - Condutividade Elétrica (CE)

“A condutividade elétrica (CE) é a medida da facilidade de uma água conduzir a corrente elétrica, estando diretamente ligada com o teor de sais dissolvidos (STD) sob forma de íons” (Santos, 1997).

A figura 5.7 apresenta a CE do chorume, indicando uma condutividade elétrica média em torno de  $15.400 \mu\text{S. cm}^{-1}$ .

As análises mostraram elevado valor na condutividade elétrica, revelando altas concentrações de íons dissolvidos, possivelmente sais solúveis, uma vez que os metais aparecem em concentrações reduzidas. Segundo Chu et al. (1994), a concentração de sais aumenta vagarosamente com a idade do aterro e como consequência da decomposição da matéria orgânica.

A figura 5.8 apresenta os resultados nos pontos P8, VD, P14, P13, L1, P2, P1, L2, P3, L3 e PC15 nos anos de 2000 e 2001, respectivamente. Verifica-se que as CE para os meses de maior pluviometria possuem valores mais elevados do que para os meses de menor pluviometria, exceto para os pontos monitorados L1, P1, L2, P3 e L3 que possuem CE mais elevadas.

À montante do lixão observa-se baixos valores da CE nos 4 meses selecionados para o monitoramento, caracterizando portanto, pouca influência dos contaminantes. Os maiores valores da condutividade elétrica se situam perto da fonte de contaminação localizados a 22m e 32m, respectivamente, da fonte de contaminação. A partir de 134 m, ocorre um decaimento das concentrações, votando a se elevar em P3 a 151 m e tornando a sofrer um decaimento a partir de L3 a 229 m, mostrando um possível delineamento da pluma de contaminação indicando uma diminuição dos contaminantes dissolvidos nas águas superficiais e subterrâneas.

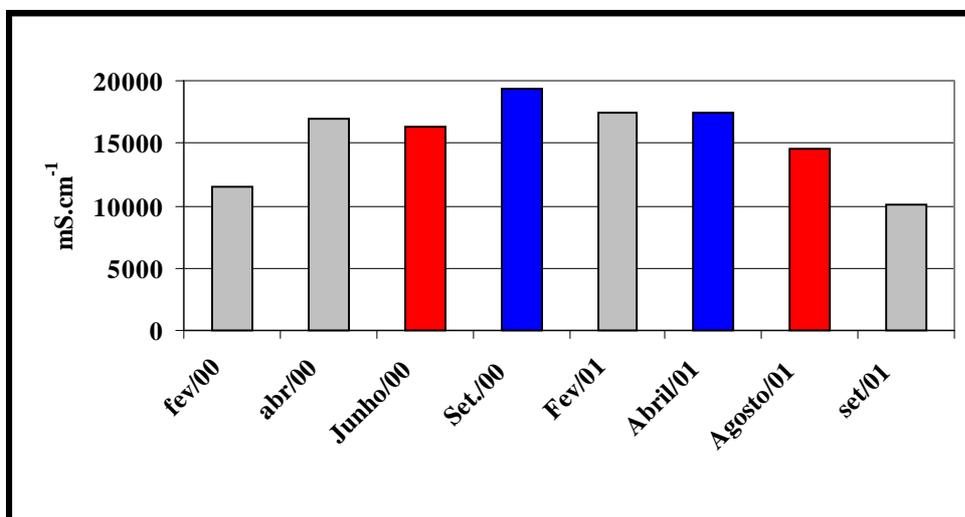
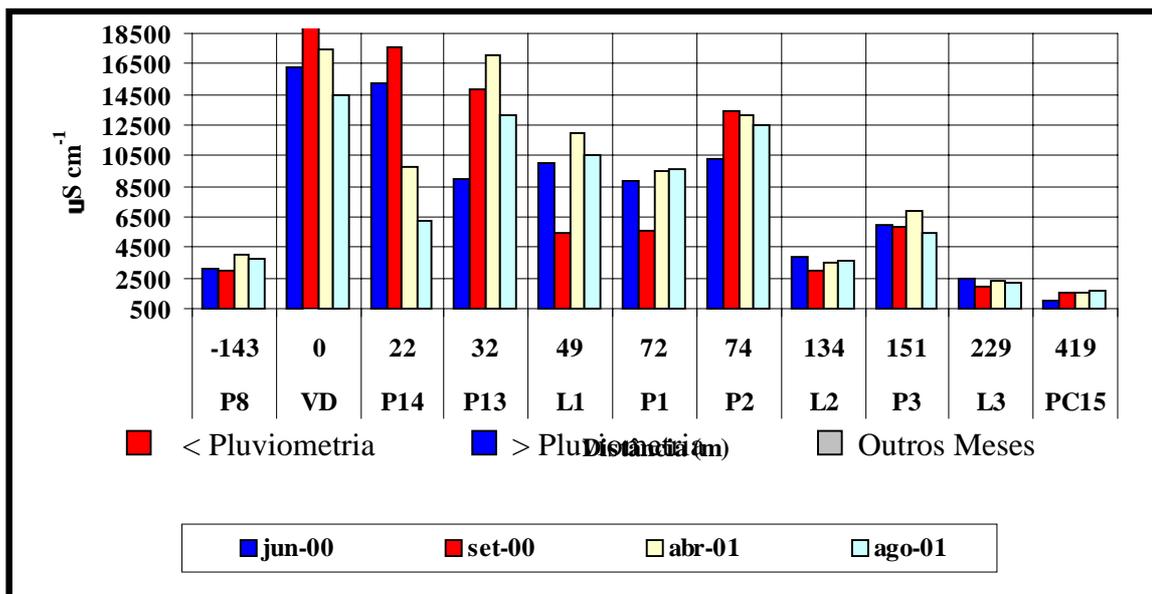


Figura 5.7. – Condutividade Elétrica no chorume de todos



**Figura 5.8.** – CE referente aos pontos P8, VD, P14, P13, L1, P2, P1, L2, P3, L3 e PC15, nos meses de junho de 2000, setembro de 2000, abril de 2001 e agosto de 2001.

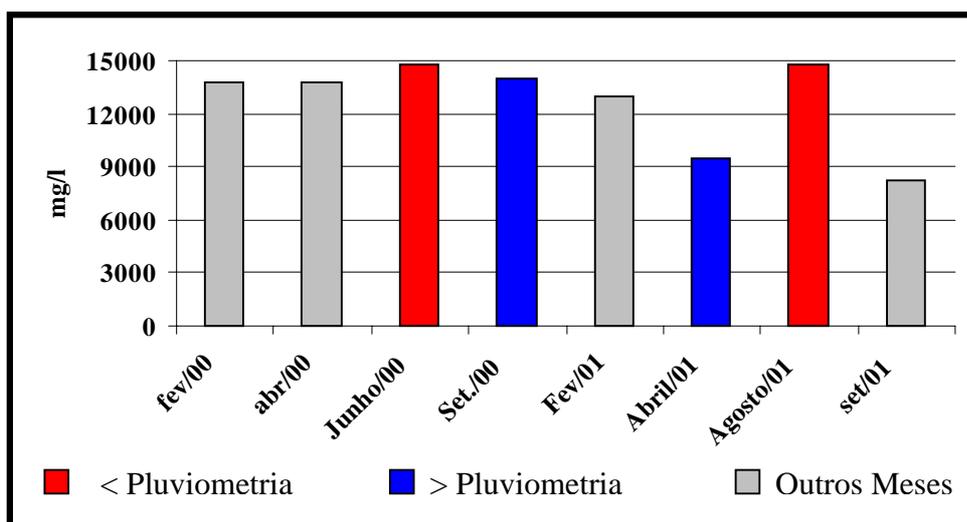
### 5.1.5. - Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

A figura 5.9 apresenta as concentrações de STD no chorume do lixão e as figuras 5.14 e 5.15 a variação das concentrações STD nos pontos P8, P14, L1, P2, P1, L2, P3, L3 e PC15 para os anos de 2000 e 2001, respectivamente.

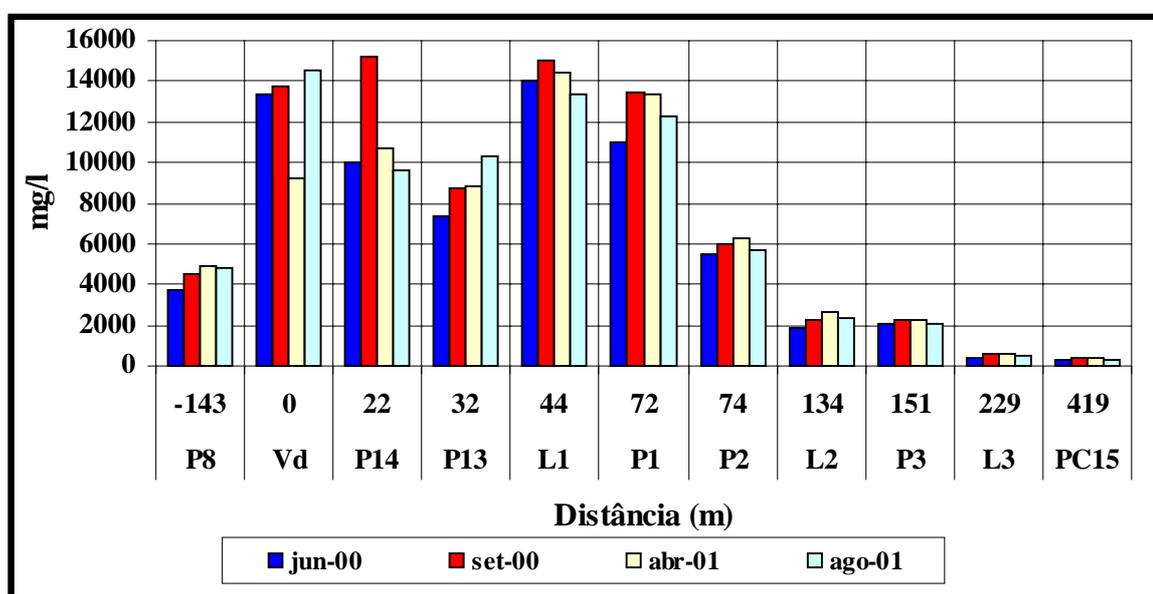
Na figura 5.9 as concentrações dos sólidos totais dissolvidos do chorume não apresentam diferenças significativas de valores. Nos meses monitorados de maior pluviometria, ocorreu uma variação de um ano para o outro (uma diminuição de cerca de 4500 mg/l), enquanto que nos de menor pluviometria, não houve variação significativa.

Verificam-se na figura 5.10 valores elevados de STD para todos os pontos monitorados perto do lixão a jusante. Porém, observa-se que em L2 a partir dos 134 m, há uma nítida diminuição do valor dos sólidos totais dissolvidos mostrando uma relação com a CE.

Em PC15 as concentrações máximas de sólidos totais dissolvidos nos meses eleitos de maior e menor pluviometria estão abaixo do teor máximo permitido pela Resolução CONAMA, que é de 500 mg/l e do permitido pela ANVISA que é de 1000 mg/l.



**Figura 5.9.** – Sólidos Totais Dissolvidos no chorume de todos meses monitorados.



**Figura 5.10.** – STD referente aos pontos P8, VD, P14, P13, L1, P2, P1, L2, P3, L3 e PC15, nos meses de junho de 2000, setembro de 2000, abril de 2001 e agosto de 2001.

## 5.2. - Parâmetros Medidos em Laboratório

### 5.2.1. - Cloreto (Cl<sup>-</sup>)

A figura 5.11 apresenta as concentrações em todos os meses medidos no chorume. A média das concentrações nos 8 meses é de 7012 mg/l, aproximadamente 8 vezes maior que a média dos níveis de “referência”, que é de 427 mg/l, que, conforme mencionado, anteriormente, está acima do permitido pela resolução CONAMA.

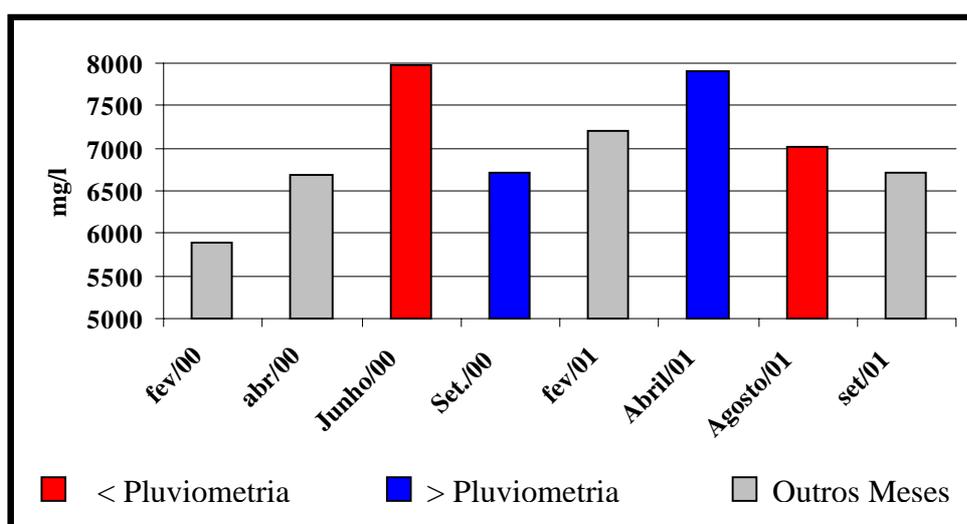
Em junho do ano 2000, mês adotado de menor pluviometria, ocorre uma maior concentração de cloreto e em abril mês adotado de maior pluviometria o ano de 2001, verifica-se também uma maior concentração, ou seja, não se verifica uma tendência definida.

Comparando o valor médio de cloreto de São Pedro da Aldeia com os valores dos aterros de Muribeca (Jucá, 1999) e Jangurussu, (Sabadia, 2000) que são de, respectivamente, 4912 mg/l e 4487 mg/l, o valor médio registrado pode ser considerado elevado.

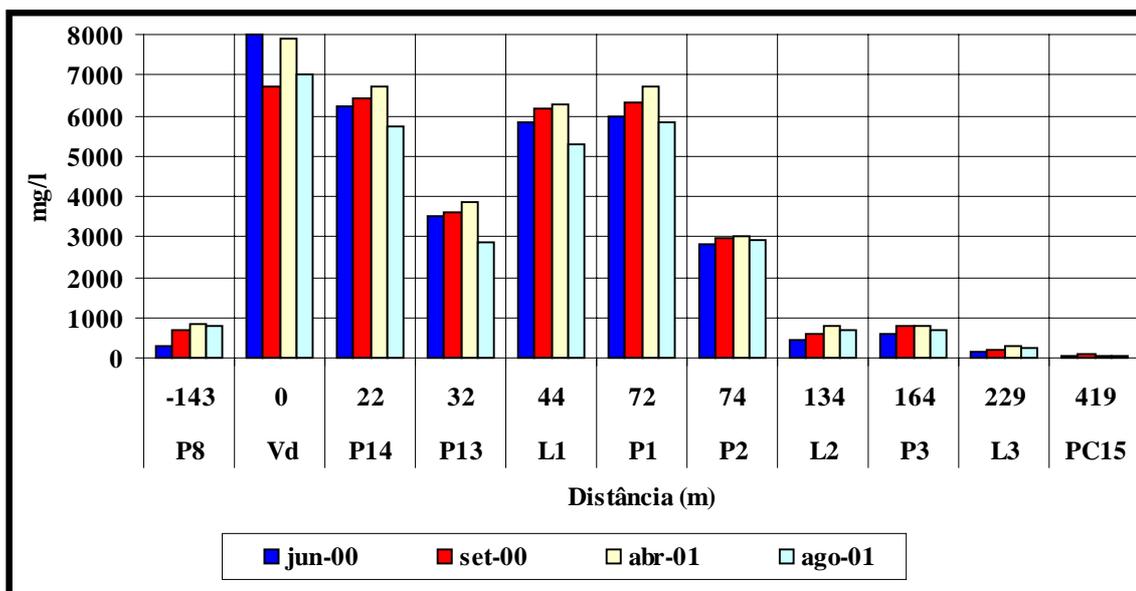
A figura 5.12 apresenta as concentrações de cloreto monitoradas nos pontos P8, VD, P14, P13, L1, P1, P2, L2, P3, L3 e PC15 para os anos de 2000 e 2001, respectivamente. Novamente se observa que a partir de 134 m há uma queda significativa nos teores de cloreto, porém não atendendo ao padrão CONAMA.

Em L3, a 229 m da fonte de contaminação, nos meses de junho e setembro de 2000, os valores de cloreto, 172 mg/l e 190 mg/l respectivamente, estão abaixo dos valores de referência dos limites estabelecidos pelo CONAMA, assim como no PC15.

Observa-se que as concentrações são um pouco mais elevadas em abril de 2001, que foi um mês de alta pluviometria. Este aumento da concentração se deu possivelmente porque em 2001 foram vazados cerca de 450.000 L de lodo de esgoto doméstico por caminhões limpa fossa e escoaram diretamente para a drenagem à jusante do lixão onde estão instalados os piezômetros, aumentando ainda mais as concentrações de contaminantes. Ressalta-se, no entanto, que os valores de referência (Vide Tabela 5.1) da região estão abaixo de 250 mg/l somente no Alecrim. Um outro dado a ser assinalado é que a partir de outubro de 1999, até o último monitoramento, a prefeitura do município passou a vazar cerca de 20 t/dia de algas marinhas provenientes da laguna de Araruama e de 10 t/dia de sedimentos derivados das salinas do município. A concentração de cloreto na Lagoa de Araruama é de 41.100mg/l (CPRM, 2000), maior do que a salinidade do mar (cerca de 35000 mg/l).



**Figura 5.11.** – Concentrações de Cl<sup>-</sup> no chorume de todos meses monitorados.



**Figura 5.12.** – Cl<sup>-</sup> referente aos pontos P8,VD, P14,P13, L1, P2, P1, L2, P3, L3 e PC15, de meses de junho de 2000, setembro de 2000, abril de 2001 e agosto de 2001.



**Figura 5.13.** – Caminhão limpa fossa vazando esgoto na drenagem.



**Figura 5.14.** – Caminhão limpa fossa vazando esgoto na drenagem, vista de outro ângulo.

### 5.2.2. Brometo ( $\text{Br}^-$ )

O brometo não é um íon muito comum de ser encontrado na literatura sobre aterros sanitários, mas, possivelmente ele tenha sido introduzido no local de estudo como contaminante através das algas marinhas dos sedimentos das salinas ali depositados, conforme relatado anteriormente, devido a esta particularidade este íon pode ser utilizado como traçador de contaminantes. As concentrações de brometo na água da Laguna de Araruama são de 0,1 mg/l (CPRM, 2000). As principais fontes de brometo são a água do mar, salmouras naturais, e subprodutos da recuperação dos sais de potássio em depósitos salinos.

A figura 5.15 apresenta as concentrações de brometo no chorume, onde a concentração média do brometo é de 33,5 mg/l. Observa-se um aumento nas concentrações nos meses de maior pluviosidade.

A figura 5.16 apresenta a variação das concentrações de brometo nos pontos P8,VD, P14, P13, L1, P2, P1, L2, P3, L3 e PC15 nos anos de 2000 e 2001, respectivamente.

Verifica-se que em junho de 2000, mês de baixa pluviometria, as concentrações do íon brometo são mais elevadas em P14, P13, L1 e L2 e em setembro, mês de alta pluviometria, ocorrem concentrações mais elevadas em P1 e P2.

Verifica-se que em agosto de 2001, mês de baixa pluviometria, somente P2 e P3 ultrapassam as concentrações de abril, mês de maior pluviosidade.

Notam-se concentrações significativas do íon brometo, nos 2 anos de campanha, em L1 e P2, nos 2 anos monitorados, estas concentrações se mostraram elevadas, observando-se

maiores concentrações em abril de 2001 mostrando uma discrepância para P13 e P14 que possui concentrações baixas. Até 134 m, ocorrem ainda concentrações significativas para o ano de 2000 decaindo a zero em P3, L3 e PC15, ou seja, não há indícios de contaminação, como também isto ocorre no piezômetro P8 a montante.

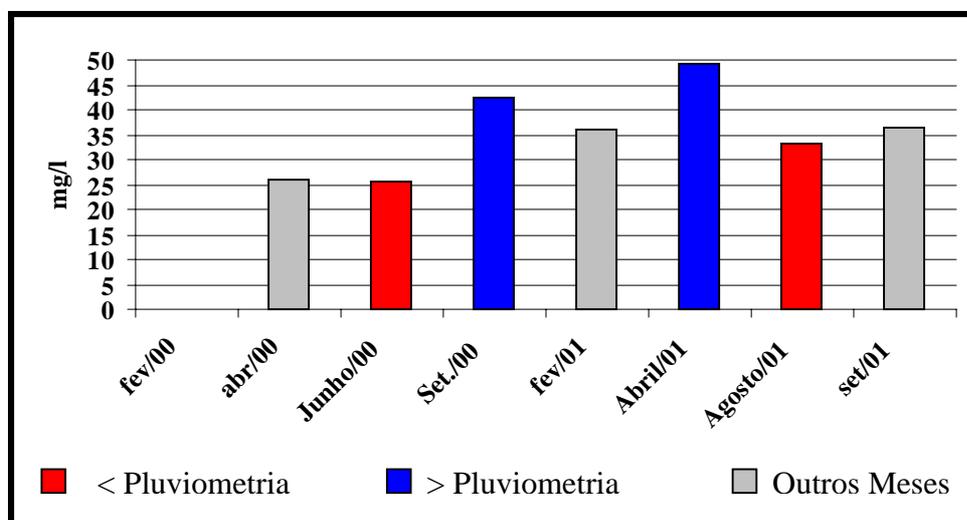


Figura 5.15. – Concentrações de Br<sup>-</sup> no chorume de todos meses monitorados.

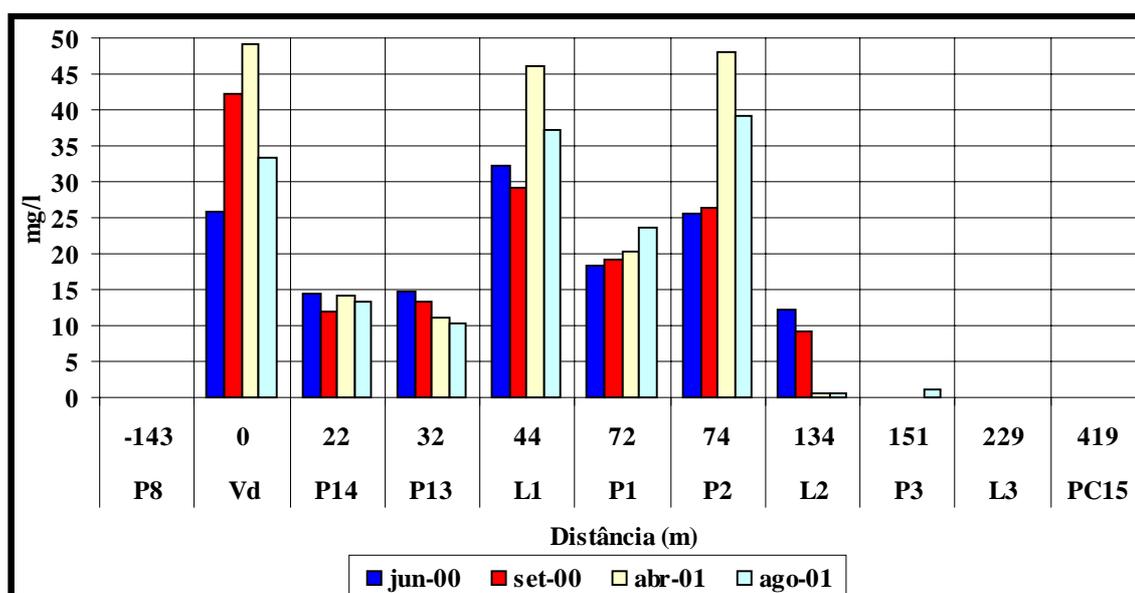


Figura 5.16. – Br<sup>-</sup> referente aos pontos P8, VD, P14, L1, P2, P1, L2, P3, L3 e PC15, nos meses de junho de 2000, setembro de 2000, abril de 2001 e agosto de 2001.

### 5.2.3. Sódio (Na<sup>+</sup>)

A figura 5.17 apresenta as concentrações de Na<sup>+</sup> no chorume do lixão e a figura 5.18 nos pontos P8, VD, P14, P13, L1, P2, P1, L2, P3, L3 e PC15 nos anos de 2000 e 2001, respectivamente.

A concentração média de sódio no chorume, nos 8 meses monitorados, é de 4461 mg/l, sendo a menor concentração medida no mês de Junho de 2000 (3.620 mg/l) e a máxima

no mês de setembro de 2001 (5.680 mg/l). Nos meses de fevereiro, abril e junho de 2000 e fevereiro e setembro de 2001 os índices de pluviometria são baixos (vide figura 3.2) e as concentrações de sódio estão acima da média, excetuando junho e fevereiro de 2000.

Comparando o valor médio do sódio de São Pedro da Aldeia com os valores dos aterros de Gramacho (Ritter, 2003) e Jangurussu, (Sabadia, 2000) que são de, respectivamente, 3089 mg/l e 1950 mg/l o valor médio registrado pode ser considerado elevado.

Na figura 5.18 observa-se que as ocorrências das concentrações mais elevadas não estão necessariamente localizadas nos meses de maior pluviometria.

Até 74 m as concentrações médias de sódio estão extremamente elevadas decaindo um pouco até 151 m, porém indicando contaminação e ficando a níveis toleráveis a partir de 229 m.

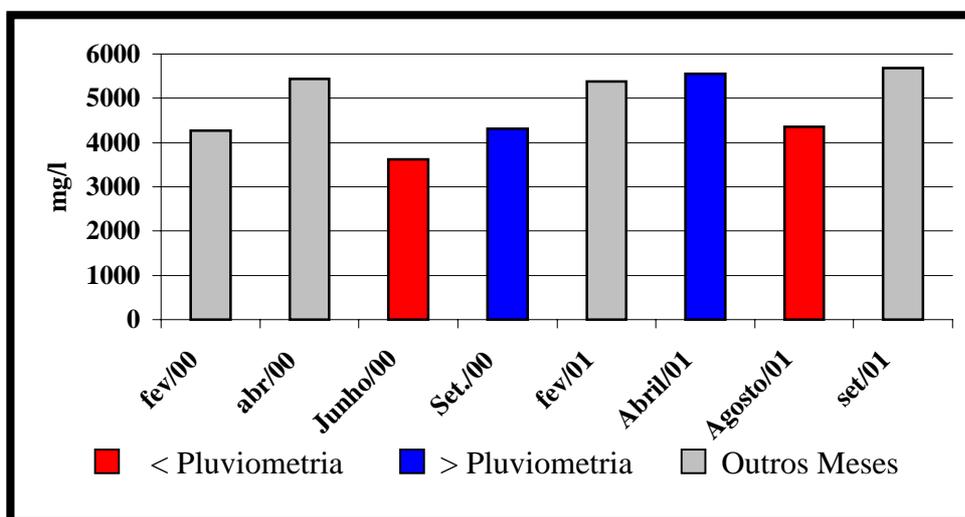
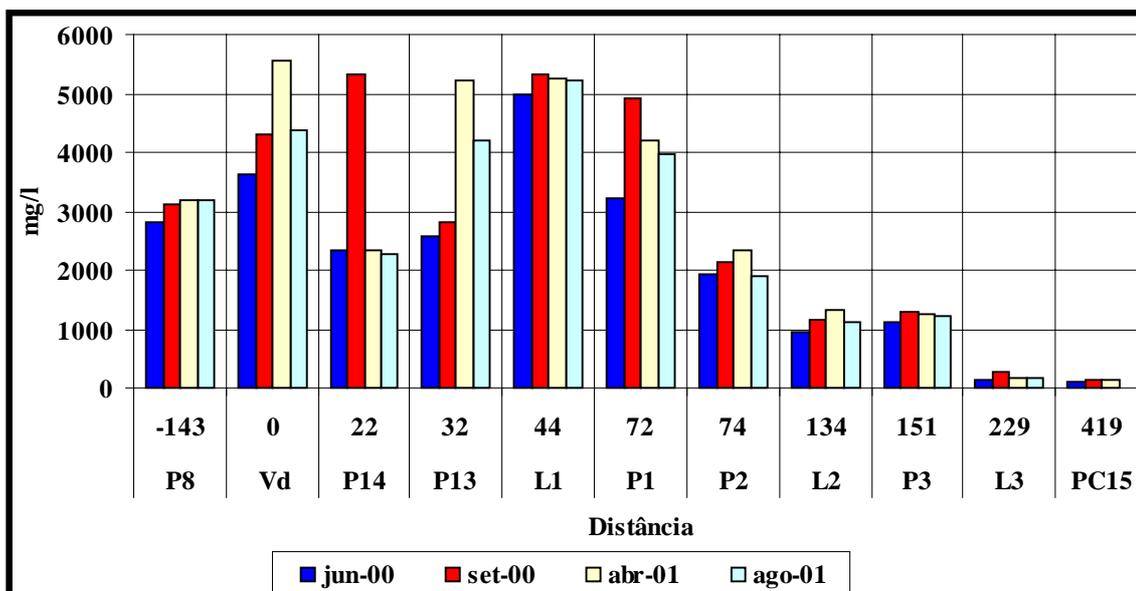


Figura 5.17. – Na<sup>+</sup> no chorume de todos meses monitorados.



**Figura 5.18.** – Na<sup>+</sup> referente aos pontos P8,VD, P14,P13, L1, P2, P1, L2, P3, L3 e PC15, nos meses de junho de 2000, setembro de 2000, abril de 2001 e agosto de 2001.

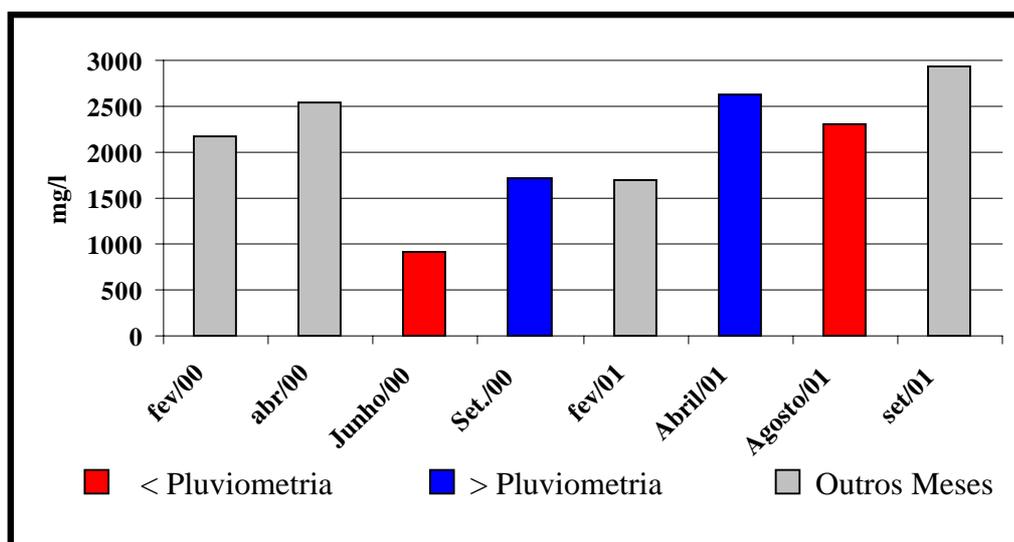
#### 5.2.4. Potássio (K<sup>+</sup>)

A figura 5.19 apresenta as concentrações de potássio no chorume do lixão e as figura 5.20 à variação das concentrações do potássio nos pontos P8, VD, P14, L1, P2, P1, L2, P3, L3 e PC15 nos anos de 2000 e 2001, respectivamente.

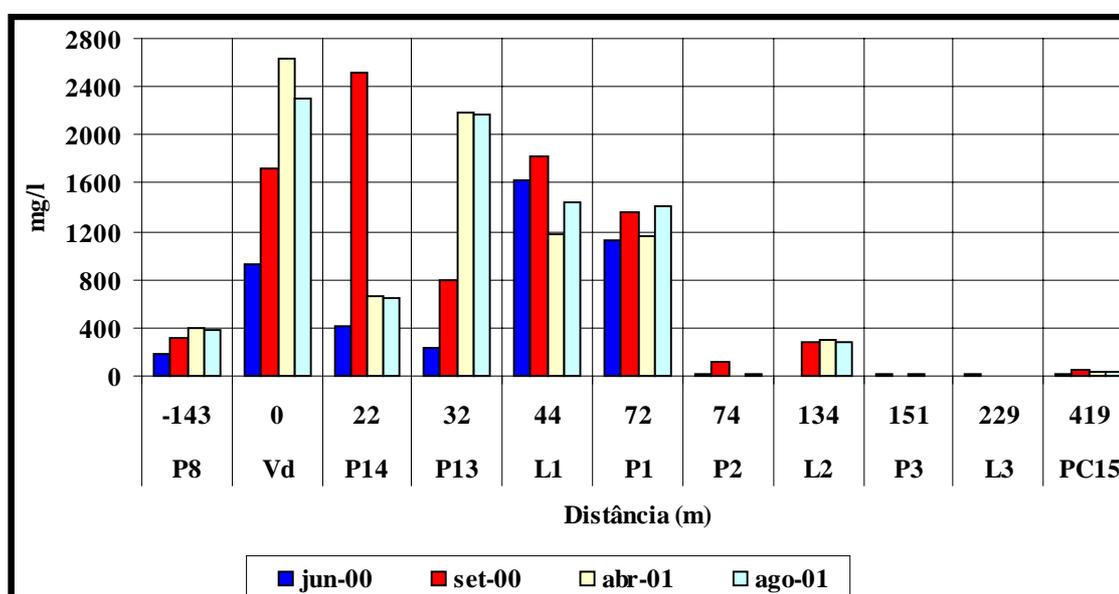
Da figura 5.19 observa-se que a concentração média do íon potássio no chorume é de 1898 mg/l. Com os resultados obtidos no chorume, verifica-se que a pluviometria não influencia nos resultados. No ano de 2000, no mês eleito como de menor pluviometria ocorreu a menor concentração de potássio, enquanto que em 2001 a pluviometria interferiu pouco.

Comparando o valor médio do potássio de São Pedro da Aldeia com os valores dos aterros de Gramacho (Ritter, 2003) e Jangurussu (Sabadia, 2000) que são de, respectivamente, 1681mg/l e 2277mg/l o valor médio registrado neste trabalho encontra-se de acordo com literatura pesquisada.

A figura 5.20 mostra que não ocorre uma diferença significativa de valores entre os meses eleitos como de maior e menor pluviosidade, somente em P14 observa-se um valor elevado em setembro de 2000. Mas verificou-se que nos dois anos eleitos para monitoramento um decaimento acentuado nos pontos P2, L2, P3, L3 e PC15, ou seja, o avanço da concentração para o potássio começa a decair em P2 a partir dos 74 m.



**Figura 5.19.** – Concentrações de K<sup>+</sup> no chorume de todos os meses monitorados.



**Figura 5.20.** – K<sup>+</sup> referente aos pontos P8,VD, P14, P13, L1, P2, P1, L2, P3, L3 e PC15, nos meses de junho de 2000, setembro de 2000, abril de 2001 e agosto

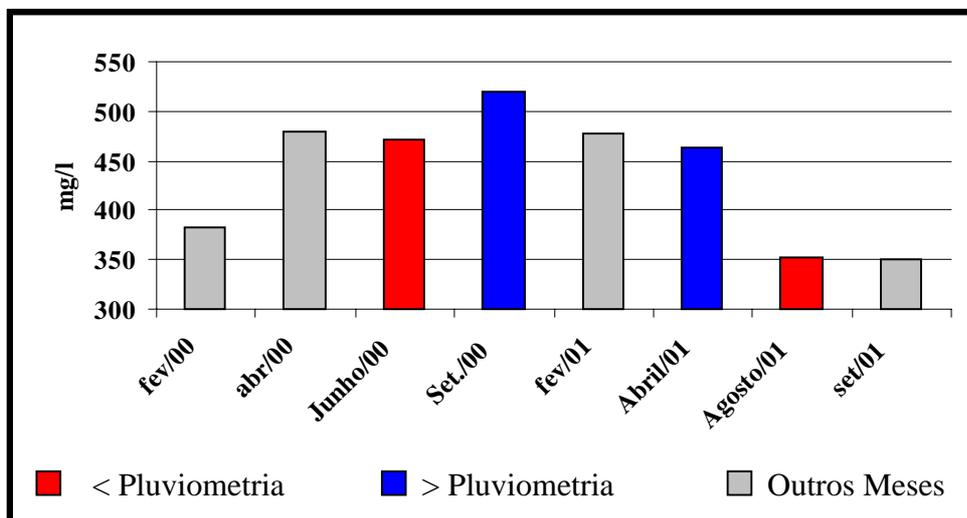
### 5.2.5. Cálcio (Ca<sup>+2</sup>)

A figura 5.21 apresenta as concentrações do íon Ca<sup>+2</sup> no chorume do lixão e a figura 5.22 apresenta a variação das concentrações do íon Ca<sup>+2</sup> nos pontos P8, Vd, P14, L1, P2, P1, L2, P3, L3 e PC15 nos anos de 2000 e 2001, respectivamente.

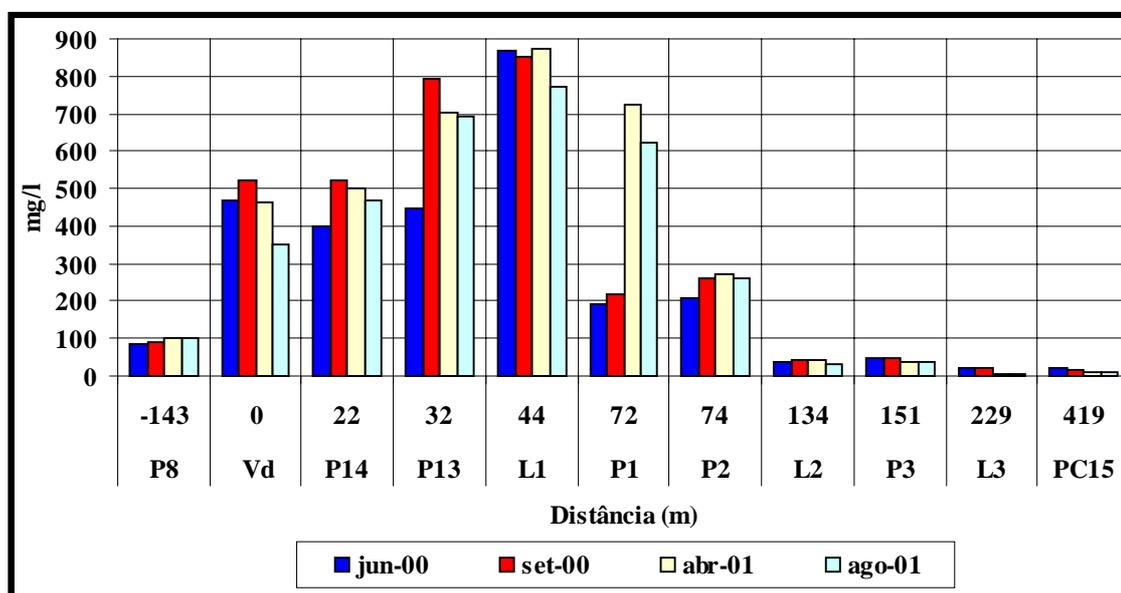
A média da concentração de cálcio no chorume do lixão é de 436,96 mg/l. Este valor é alto se compararmos com os dados da literatura. O aterro de Gramacho possui cerca de 200mg/l e o lixão do Distrito Federal e no de Jangurussu as concentrações são de 188 mg/l e

78,6 mg/l respectivamente. Este valor possivelmente reflete a lixiviação de ostras ali depositadas provenientes dos resíduos de salina e algas marinhas depositadas no lixão.

Observa-se na figura 5.22 valores de concentração de cálcio maiores nos piezômetros P13 e P1 e na lagoa L1 do que no chorume. A concentração por cálcio não é mais significativa a partir de 134 m.



**Figura 5.21.** – Concentrações de Ca<sup>+2</sup> no chorume de todos meses monitorados.



**Figura 5.22.** – Ca<sup>+2</sup> referente aos pontos P8,VD, P14,P13, L1, P2, P1, L2, P3, L3 e PC15, nos meses de junho de 2000, setembro de 2000, abril de 2001 e agosto de 2001.

### 5.2.6. Magnésio ( $Mg^{+2}$ )

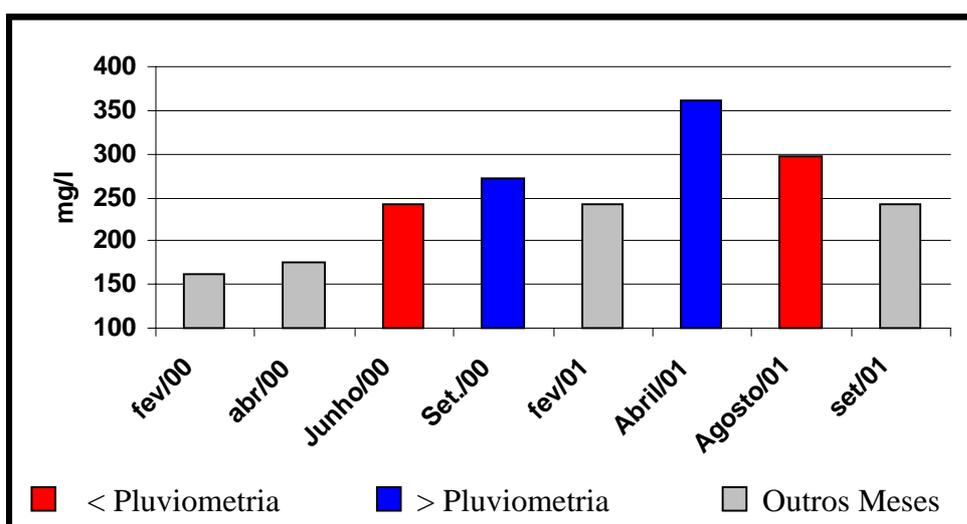
A figura 5.23 apresenta as concentrações de  $Mg^{+2}$  no chorume do lixão e a figura 5.24 às concentrações  $Mg^{+2}$  nos pontos P8, P14, L1, P2, P1, L2, P3, L3 e PC15 nos meses de menor e maior pluviometria.

Na figura 5.23 o magnésio no chorume apresentou uma concentração média de 293 mg/l. Em 2000, observou-se uma maior concentração em setembro, mês eleito como de maior pluviometria, este valor possivelmente reflete também a lixiviação de ostras provenientes dos resíduos de salina e algas marinhas depositadas no lixão mostrando a mesma relação observada com o cálcio.

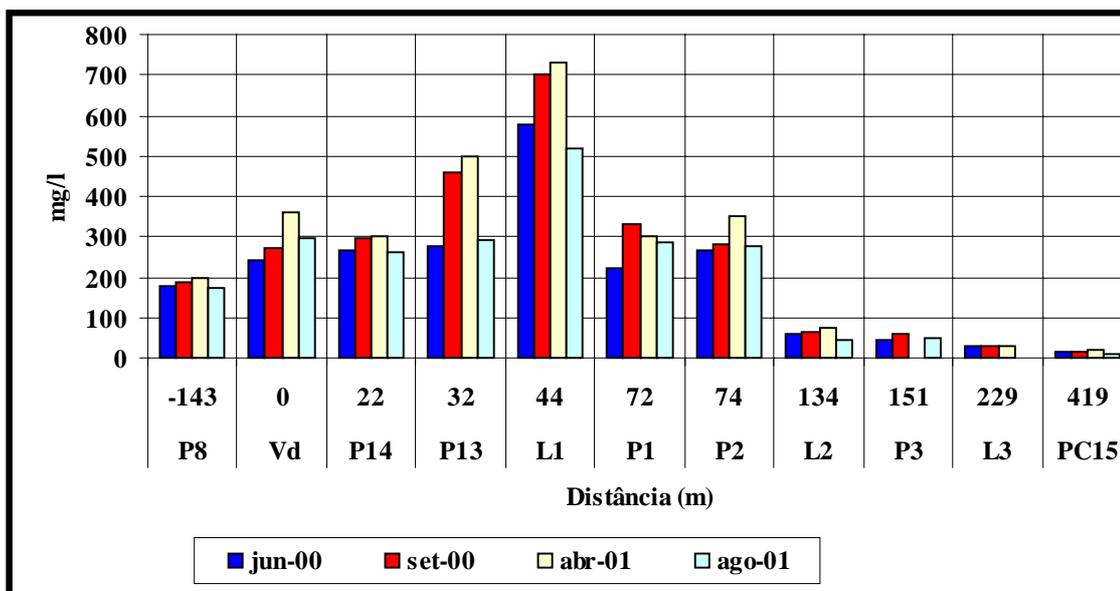
O aterro de Gramacho possui cerca de 92 mg/l (Ritter, 2003) e o lixão do Distrito Federal (Santos, 1996) e Jangurussu (Sabadia, 2000) as concentrações são de 35,5 mg/l e 173 mg/l respectivamente, mostrando um valor elevado em relação a literatura pesquisada.

Nota-se que em L1 (figura 5.24) encontram-se os maiores valores em relação ao magnésio e a média das concentrações fica em torno de 633 mg/l nos meses de maior e menor pluviometria que é maior que o chorume. Esta lagoa (L1) drena o chorume do lixão superficial e subsuperficialmente.

Foram registrados valores elevados nos meses de maior pluviometria, porém verifica-se um decaimento nas concentrações em L2, P3, L3 e PC15 nos meses de maior e menor pluviometria eleitos para o monitoramento, ou seja, o mesmo comportamento observado para o cálcio.



**Figura 5.23.** – Concentrações de  $Mg^{+2}$  no chorume de todos meses monitorados.



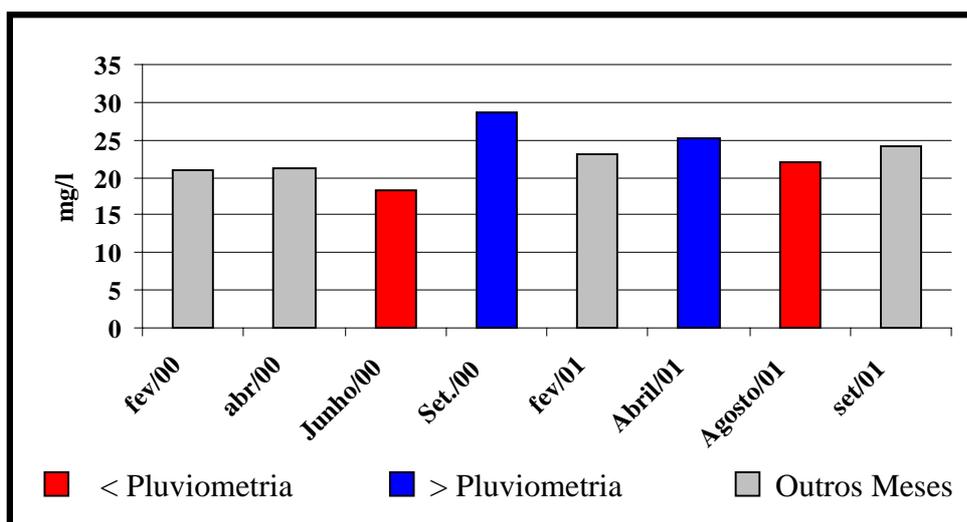
**Figura 5.24.** –  $Mg^{+2}$  referentes aos pontos P8, P14,P13, L1, P2, P1, L2, P3, L3 e PC15, nos meses de junho de 2000, setembro de 2000, abril de 2001 e agosto de 2001.

### 5.2.7. Amônio ( $NH_4^+$ )

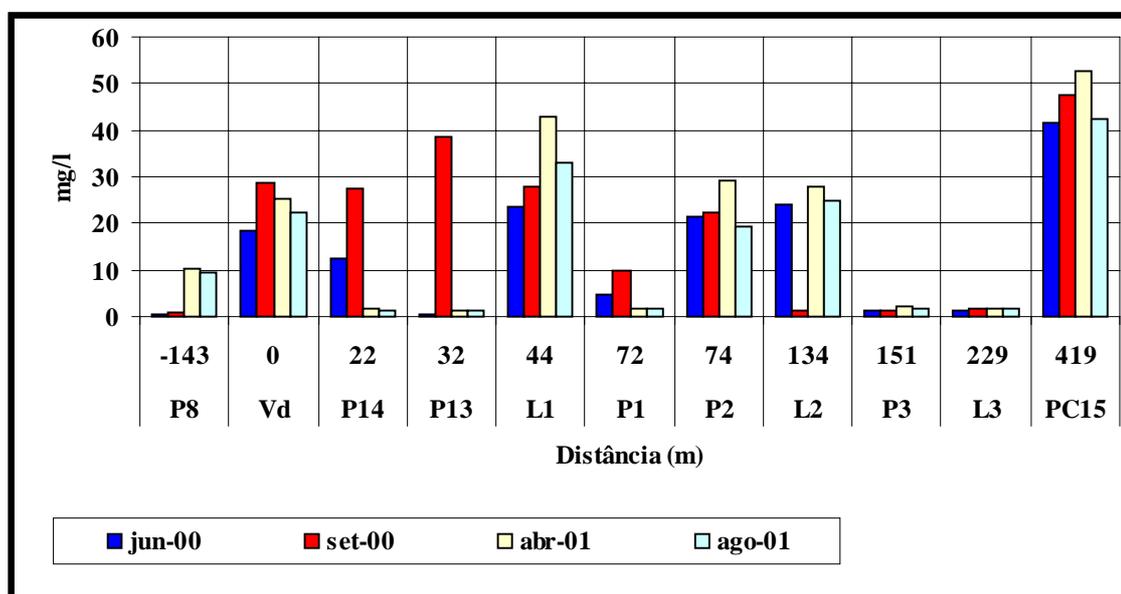
A figura 5.25 apresenta as concentrações de amônio no chorume do lixão e a figura 5.26 as concentrações de amônio nos pontos P8, VD, P14,P13, L1, P2, P1, L2, P3, L3 e PC15 nos meses de menor e maior pluviosidade, nos anos monitorados de 2000 e 2001.

A concentração média no chorume é de 19,30 mg/l, não ocorrendo variação significativa para os meses monitorados de menor e maior pluviosidade. O aterro de Gramacho possui uma média de 1667 mg/l e o lixão do Distrito Federal possui 955 mg/l. Então verifica-se que as concentrações de amônio de São Pedro da Aldeia estão baixas.

Observa-se na figura 5.26 no piezômetro P13 que ocorre uma variação significativa no ano de 2000 entre o mês eleito como maior pluviosidade e o de menor. Em L1 e P2 as concentrações são elevadas para os anos de 2000 e 2001 Quando se analisa em 2001 os valores decaem fortemente tanto para P13 como P14, também se verifica que na lagoa L2 ocorre uma concentração elevada no mês de menor pluviosidade, no ano de 2000. O poço de cacimba (PC15) apresenta valores mais elevados (média 47,7 mg/l). Este poço está instalado em uma área de pasto, tendo muito excremento animal e em épocas chuvosas a água carrega estes excrementos para dentro do poço, mas não ocorre diferença significativa entre maior e menor pluviosidade nas concentrações observadas. Pode-se notar que na área de influência do lixão começa a ocorrer decaimento a partir de 151 m, voltando a se elevar em PC15 a 419 m, conforme motivos apresentados acima.



**Figura 5.25.** - Concentrações de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no chorume de todos meses monitorados.



**Figura 5.26.** – NH<sub>4</sub><sup>+</sup> referente aos pontos P8, VD, P14, P13, L1, P2, P1, L2, P3, L3 e PC15, nos meses de junho de 2000, setembro de 2000, abril de 2001 e agosto de 2001.

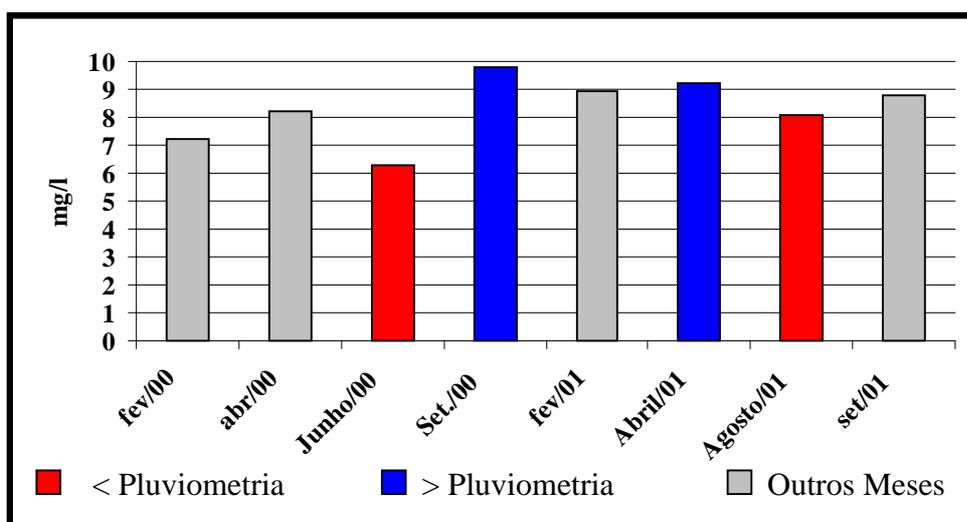
### 5.2.8. Ferro (Fe<sub>(total)</sub>) e Manganês (Mn)

As figuras 5.27 e 5.28 apresentam as concentrações de ferro<sub>(total)</sub> e Manganês no chorume e a figura 5.29 as concentrações de ferro<sub>(total)</sub> e Manganês em relação ao potencial redox e figura 5.30 as concentrações nos pontos P8, P14, P13, L1, P2, P1, L2, P3, L3 e PC15 nos anos monitorados de 2000 e 2001.

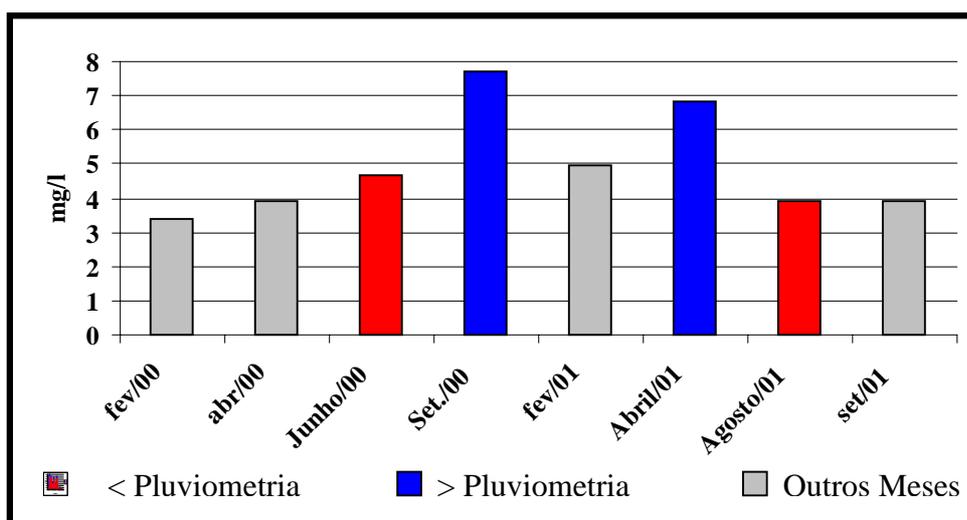
Nas figuras 5.27 e 5.28 as concentrações de ferro e manganês no chorume são em média aproximadamente 8,0 mg/l e 5,0 mg/l respectivamente e as maiores concentrações encontram-se nos meses de maior pluviometria.

Observa-se na figura 5.29 uma relação entre o ferro, manganês e o potencial redox. Nota-se que ao longo dos pontos monitorados que quando se afasta da fonte de contaminação, o Eh vai se tornando mais oxidado, ou seja, aumenta seu valor enquanto as concentrações de ferro e manganês vão diminuindo. Este fenômeno mostra uma relação desses íons com o potencial redox. Nota-se que a pluma de contaminação começa a sofrer um decaimento a partir de L2 a 134 m.

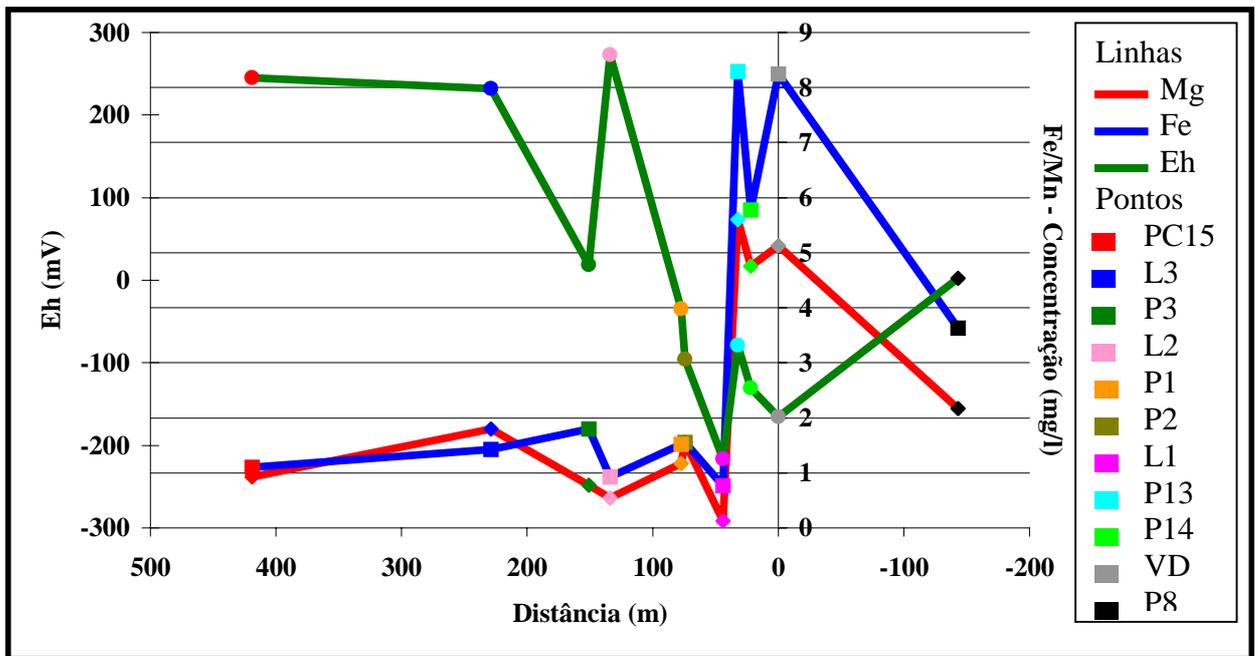
Na figura 5.30 observa-se uma tendência de maiores concentrações nos meses de maior pluviosidade. Possivelmente sendo resultado do material dos resíduos ali depositados e do material do solo que com precipitação pluviométrica sofre uma lixiviação.



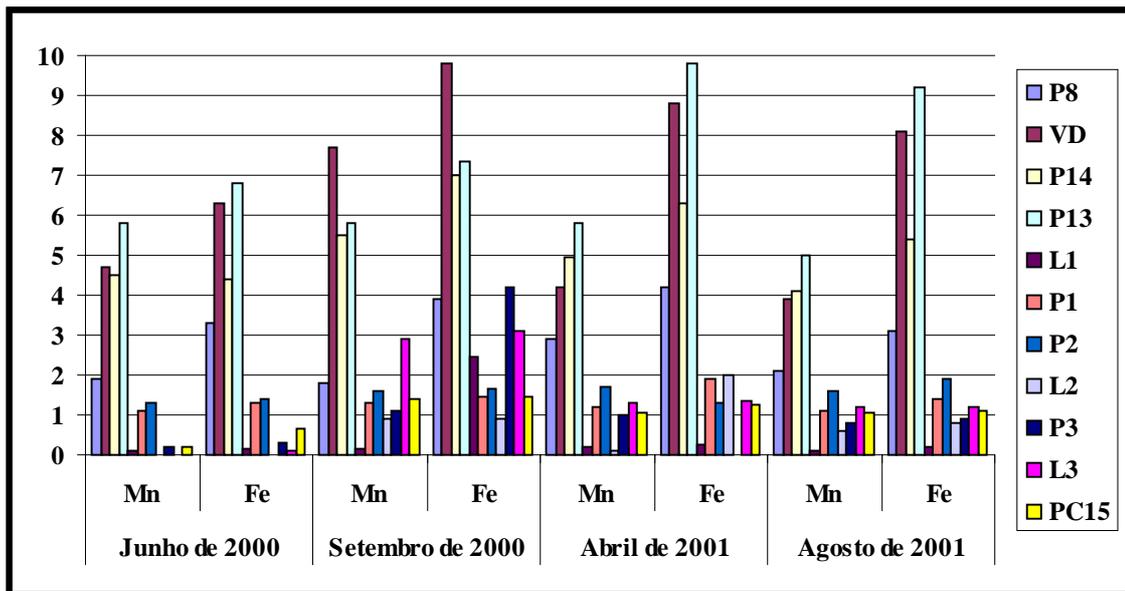
**Figura 5.27.** – Concentrações de Ferro (total) no chorume de todos meses monitorados.



**Figura 5.28.** – Concentrações de Manganês no chorume de todos meses monitorados.



**Figura 5.29.** - Concentração de Ferro e Manganês, referente aos pontos P8, VD, P14, P13, L1, P2, P1, L2, P3, L3 e PC15, em relação ao Potencial Redox.



**Figura 5.30.** – Ferro e Manganês referente aos pontos P8, VD, P14, P13, L1, P2, P1, L2, P3, L3 e PC15 no mês de junho de 2000, setembro de 2000, abril de 2001 e agosto de 2001.

### 5.2.9. Bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) e Sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

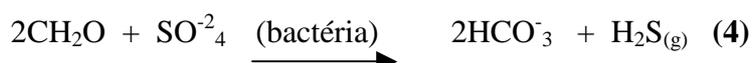
A decomposição da matéria orgânica por processo anaeróbico em um aterro sanitário produz metano por fermentação, de acordo com a reação simplificada (2).



Uma das possíveis fontes de  $\text{HCO}_3^-$  é a reação do gás metano com o íon sulfato, ocorrendo redução do metano de acordo com a reação (3), (Hem, 1985).



A reação (4) é outro tipo de produção de  $\text{HCO}_3^-$  discutido por muitos autores (Sayles & Manheim, 1975 em Kunkle G. R et al, 1976). É onde o  $\text{CH}_2\text{O}$  representa uma fonte de matéria orgânica e o resultado é a produção de bicarbonato e gás sulfídrico (Freeze, 1979).

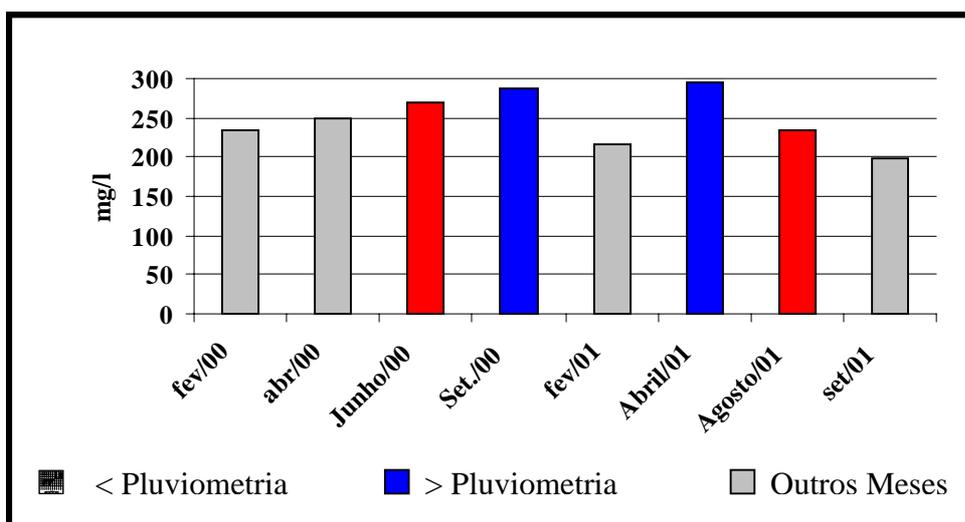


As figuras 5.31 e 5.32 apresentam as concentrações de  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  no chorume e a tabela 5.2. as variações das concentrações de  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  nos pontos P8, VD,P14, P13, L1, P2, P1, L2, P3, L3 e PC15 nos anos monitorados de 2000 e 2001.

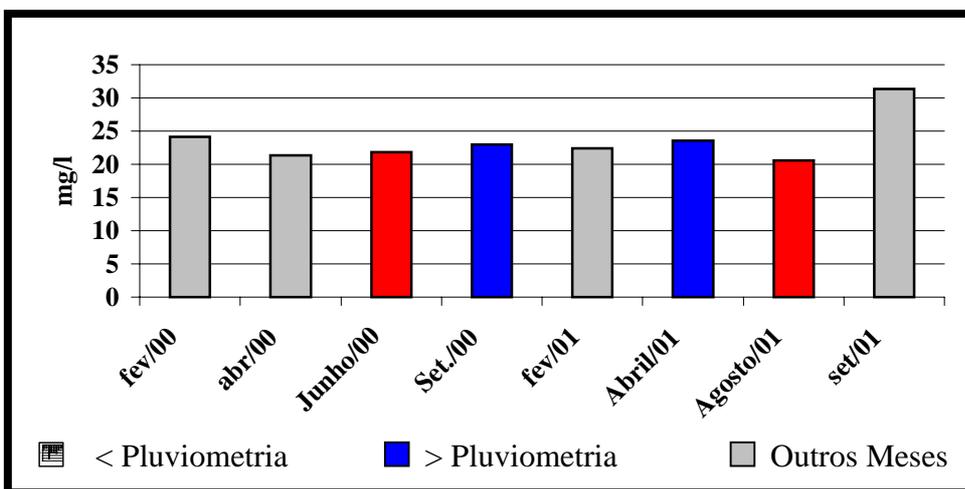
Na figura 5.31 observa-se que as maiores concentrações de  $\text{HCO}_3^-$  ocorrem nos meses de maior pluviometria, mas não diferindo de maneira muito significativa dos meses indicados como de menor chuva. Na figura 5.32 a maior concentração de sulfato no chorume ocorre no mês de setembro de 2001, que é um mês que teve baixa pluviosidade.

A tabela 5.2 apresenta as concentrações nos pontos monitorados. Verifica-se que a concentração do íon bicarbonato é elevada até o ponto L2 sofrendo um decaimento a partir de P3 a 151 m do ponto de contaminação se comparada com a do íon sulfato. Observa-se ainda que nos pontos mais afastados as concentrações do íon sulfato ficam um pouco mais elevadas. Provavelmente ao se afastar da fonte de contaminação a concentração de matéria orgânica diminui e por sua vez a produção de metano, sendo estes dois compostos são responsáveis pela produção de  $\text{HCO}_3^-$  (Vide equações 3 e 4). Segundo a literatura as maiores concentrações de metano e matéria orgânica encontram-se em áreas bem próximos aos lixões ou aterros sanitários diminuindo assim, as concentrações do íon sulfato nos piezômetros perto do ponto de contaminação (El – Fadel, et al 1995).

A presença de odor fétido na água detectado em alguns piezômetros mais próximos ao lixão, adverte para a existência de  $\text{H}_2\text{S}_{(g)}$  (gás sulfídrico).



**Figura 5.31.** – Concentrações de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> no chorume de todos meses monitorados.



**Figura 5.32.** – Concentrações de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> no chorume de todos meses monitorados.

**Tabela 5.2.** - Concentrações dos íons HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> e SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>

| Pontos | Dist. (m) | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |        | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> |        | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |          | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> |        |
|--------|-----------|-------------------------------|--------|-------------------------------|--------|-------------------------------|----------|-------------------------------|--------|
|        |           | Jun-00                        | Jun-00 | Set-00                        | Set-00 | Abril-01                      | Abril-01 | Ago-01                        | Ago-01 |
| P8     | -143      | 115,80                        | 2,80   | 123,10                        | 3,20   | 118,30                        | 4,40     | 116,30                        | 4,10   |
| VD     | 0         | 268,30                        | 21,80  | 286,80                        | 23,00  | 293,80                        | 23,60    | 198,00                        | 31,30  |
| P14    | 22        | 253,10                        | 3,10   | 238,90                        | 3,42   | 263,50                        | 3,60     | 201,80                        | 2,20   |
| P13    | 32        | 188,50                        | 3,70   | 187,70                        | 2,20   | 172,80                        | 2,70     | 76,80                         | 2,90   |
| L1     | 44        | 248,30                        | 19,10  | 239,80                        | 20,60  | 233,50                        | 15,20    | 219,40                        | 13,20  |
| P2     | 74        | 160,30                        | 2,71   | 142,30                        | 3,00   | 143,40                        | 3,10     | 103,40                        | 3,70   |
| P1     | 72        | 152,10                        | 3,72   | 161,40                        | 4,00   | 139,30                        | 4,40     | 116,30                        | 3,10   |
| L2     | 134       | 93,90                         | 18,70  | 68,90                         | 24,00  | 79,30                         | 14,30    | 81,40                         | 13,30  |
| P3     | 151       | 25,70                         | 15,10  | 22,10                         | 14,00  | 16,30                         | 16,60    | 14,30                         | 14,40  |
| L3     | 229       | 24,10                         | 13,90  | 32,30                         | 15,10  | 17,50                         | 14,20    | 12,30                         | 13,20  |
| P15    | 419       | 19,70                         | 16,90  | 9,70                          | 13,60  | 13,20                         | 12,30    | 11,20                         | 15,10  |

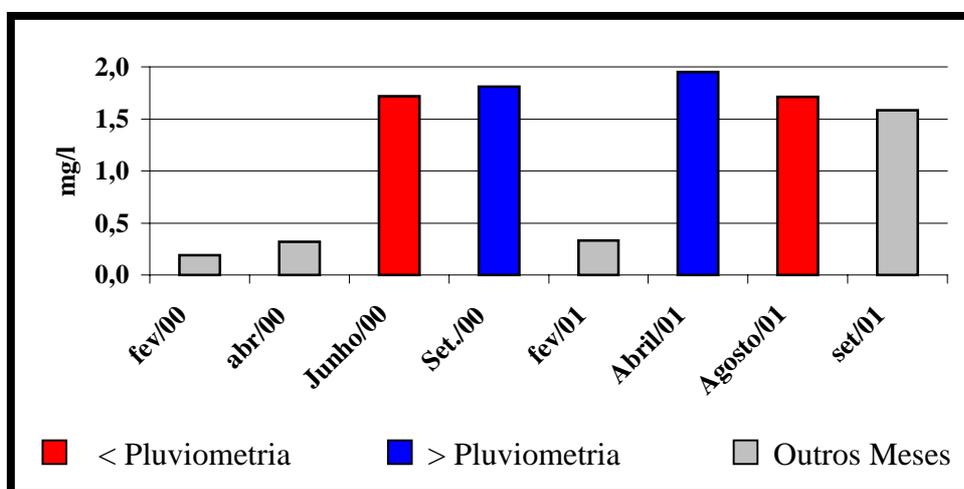
### 5.2.10. Bário ( $Ba^{+2}$ )

A figura 5.33 apresenta as concentrações de bário no chorume e a figura 5.33 as concentrações de bário nos pontos P8, P14, L1, P2, P1, L2, P3, L3 e PC15 nos meses de menor e maior pluviometria, nos anos monitorados de 2000 e 2001.

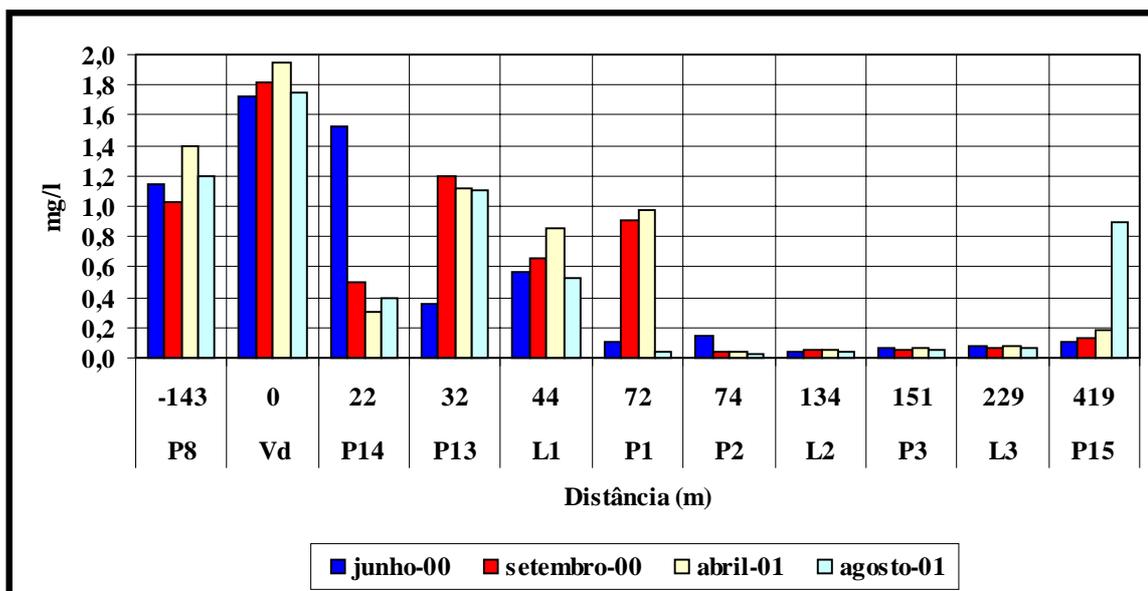
A concentração de bário no poço de referencia de São Pedro da Aldeia são de 0,0007 mg/l e 0,0051 mg/l , portanto estando estas concentrações abaixo do limite permissível da Resolução CONAMA que é de 1 mg/l. Porém, verifica-se, que a concentração no chorume é de 1,80 mg/l em 2000 e de 1,90 mg/l em 2001. Os aterros do Distrito Federal (Santos, 1996) e Jangurussu (Sabadia, 2000) possuem uma concentração em média de 0,16 mg/l e 0,65 mg/l respectivamente.

Verificam-se valores baixos em P2, L2, P3 e L3 nos meses eleitos para o monitoramento em 2000 e 2001. Em P8, a montante, notam-se valores elevados nos 2 anos de monitoramento e em PC15 foi observado uma elevação da concentração de bário no mês de agosto de 2001 que é um considerado de baixa pluviometria.

Observa-se que a partir de P2 a 74 m começa ocorrer um decaimento das concentrações do íon bário e um delineamento da pluma de contaminação.



**Figura 5.33.** – Concentrações de bário no chorume de todos meses monitorados.



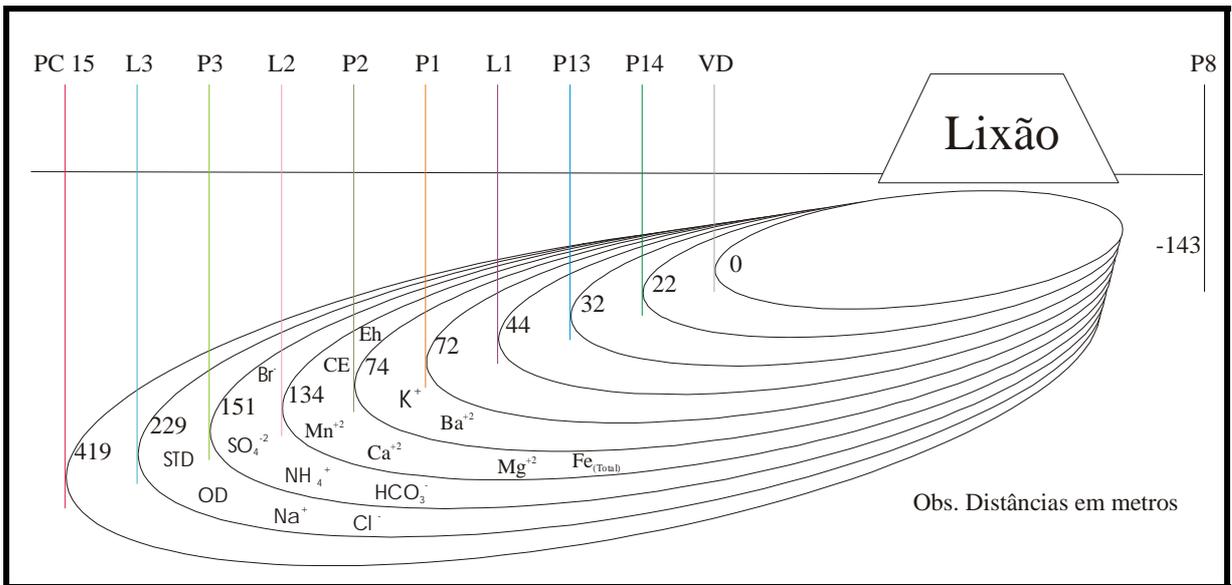
**Figura 5.34.** – Ba<sup>2+</sup> referente aos pontos P8, P14,P13, L1, P2, P1, L2, P3, L3 e PC15 nos meses de junho de 2000, setembro de 2000, abril de 2001 e agosto de 2001.

### 5.2.11. Metais Pesados

Os valores das concentrações dos metais pesados estão apresentados no anexo I. Os íons Pb<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, e Hg<sup>2+</sup> apresentaram concentrações sempre abaixo dos respectivos limites de detecção. E os íons Cr<sub>(total)</sub>, Cu<sup>2+</sup>, Sn<sup>4+</sup> e Ni<sup>2+</sup> apresentaram limite de concentração zero. De acordo com a literatura a presença de metais pesados em chorume de aterros de resíduos domiciliares é pouco significativa (vide tabela 2.13).

### 5.2.12. Limites da Pluma de Contaminação a Jusante

A figura 5.35 apresenta o início do delineamento dos parâmetros da pluma de contaminação. Estes parâmetros mostram que a partir de 74 metros começa a ocorrer um decaimento, ou seja, uma atenuação das concentrações, estando os valores mais baixos localizados a 229 metros em diante.



**Figura 5.35.** - Delineamento dos parâmetros da pluma de contaminação

## CAPITULO 6

### CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Pelas análises de campo e laboratório das águas superficiais e subterrâneas foi possível caracterizar os principais contaminantes presentes no lixão de São Pedro da aldeia e no seu entorno.

Foi observada uma redução do pH na medida que se aumenta a distância do ponto de contaminação e que esta tendência só foi interrompida em PC15. Os valores obtidos para o pH não permitiram que se estabelecesse uma correlação entre pH e períodos de maior ou menor pluviosidade.

Os potenciais redox negativos registrados dão uma indicação da extensão da pluma de contaminação em campo. Verifica-se que a partir de uma distância de 134 m da fonte de contaminação, o potencial redox apresenta valores positivos, indicando uma maior oxidação, ou seja, uma menor contaminação, iniciando assim um decaimento nos valores da pluma de contaminação com exceção em P3 onde o potencial redox apresentou um valor de  $-0,40\text{mV}$ , porém já se aproximando da faixa oxidada.

Observa-se uma tendência a menores valores de OD para os meses de maior pluviometria, o que está de acordo com as expectativas.

Embora até a distância de 72 m, não haja um comportamento sistemático da presença de OD, a partir da distância de 229 m, os valores de OD são em geral mais elevados mostrando uma possível redução dos efeitos da pluma de contaminação do chorume.

À montante do lixão observa-se baixos valores da CE nos 4 meses eleitos para o monitoramento, caracterizando portanto, pouca influência dos contaminantes. Os maiores valores da condutividade elétrica se situam perto fonte de contaminação da fonte de contaminação localizados a 22m e 32m, respectivamente, da fonte de contaminação. A partir de 134 m há uma nítida diminuição do valor da condutividade elétrica, indicando uma diminuição dos contaminantes dissolvidos nas águas superficiais e subterrâneas.

Verificam-se valores elevados de STD para todos os pontos monitorados perto do lixão a jusante. Mas, observa-se que a partir dos 134 m de distancia da fonte de contaminação, ocorre redução das concentrações, voltando a se elevar a uma distância de 151 m e tornando a sofrer uma redução a partir de 229 m, mostrando um possível delineamento da pluma de contaminação e uma relação com a CE.

As concentrações de cloreto a 229 m da fonte de contaminação, nos meses de junho e setembro de 2000, são de 172 mg/l e 190 mg/l respectivamente e estão abaixo dos valores de

referência dos limites estabelecidos pelo CONAMA, assim como no PC15. As concentrações de cloreto são um pouco mais elevadas em abril de 2001, que foi um mês de alta pluviometria.

O íon brometo não é muito comum de ser encontrado na literatura sobre aterros sanitários, mas, possivelmente ele tenha sido introduzido no local de estudo como contaminante através das algas marinhas dos sedimentos das salinas ali depositados, podendo, este íon ser utilizado como traçador.

Ocorrem até 134 m concentrações significativas do íon brometo para o ano de 2000 decaindo a zero em P3, L3 e PC15, ou seja, não há indícios de contaminação, como também isto ocorre no piezômetro P8 a montante.

Observa-se que as ocorrências das concentrações mais elevadas do íon sódio não estão necessariamente localizadas nos meses de maior pluviometria. Até 74 m as concentrações médias de sódio estão extremamente elevadas decaindo um pouco até 151 m, porém indicando contaminação e ficando a níveis toleráveis a partir de 229 m.

Observa-se que a concentração média do íon potássio no chorume é de 1898 mg/l, verifica-se que a pluviometria não influencia nas concentrações. No ano de 2000, no mês eleito como de menor pluviometria ocorreu a menor concentração de potássio, enquanto que em 2001 a pluviometria interferiu pouco. O avanço da concentração para o potássio começa a decair em P2 a partir dos 74 m, sofrendo uma pequena elevação em L2 aos 134 m e voltando a decair.

A média da concentração de cálcio no chorume do lixão é de 436,96 mg/l. Este valor é alto se compararmos com os dados da literatura.

Este valor possivelmente reflete a lixiviação de ostras provenientes dos resíduos de salina e algas marinhas depositadas no lixão. A concentração do íon cálcio diminui a partir dos 134 m.

O magnésio no chorume apresentou uma concentração média de 293 mg/l. Em 2000, observou-se uma maior concentração em setembro, mês eleito como de maior pluviometria, este valor possivelmente reflete também a lixiviação de ostras provenientes dos resíduos de salina e algas marinhas depositadas no lixão mostrando a mesma relação observada com o cálcio. Foram registrados valores elevados nos meses de maior pluviometria, porém verifica-se um decaimento nas concentrações em L2, P3, L3 e PC15 nos meses de maior e menor pluviometria eleitos.

A concentração média do íon amônio no chorume é de 19,30 mg/l, não ocorrendo variação significativa para os meses monitorados de menor e maior pluviometria, porem em relação ao PC15 observa-se concentrações elevadas, provavelmente por ser uma área de pastagem, possuindo uma grande quantidade de excremento animal. Na área de influência do

lixão começa a ocorrer decaimento a partir de 151 m, voltando a se elevar em a 419 m, fora da área do lixão.

Observa-se uma relação entre o ferro, manganês e o potencial redox, nota-se que ao longo dos pontos monitorados que se afastar da fonte de contaminação, o Eh vai se tornando mais oxidado, ou seja, aumenta seu valor, enquanto as concentrações de ferro e manganês vão diminuindo. Nota-se que a pluma de contaminação começa a sofrer um decaimento a partir de 134 m.

As maiores concentrações de  $\text{HCO}_3^-$  ocorrem nos meses de maior pluviometria, mas não diferindo de maneira muito significativa dos meses indicados como de menor chuva. A maior concentração de sulfato ocorre no mês de setembro de 2001, que é um mês que teve baixa pluviosidade. Verifica-se que a concentração do íon bicarbonato é elevada até o ponto L2, sofrendo um decaimento a partir desse ponto se comparada com a do íon sulfato. Nos pontos mais afastados as concentrações do íon sulfato ficam um pouco mais elevadas, provavelmente ao se afastar da fonte de contaminação a concentração de matéria orgânica diminui e por sua vez a produção de metano, sendo estes dois compostos responsáveis pela produção de  $\text{HCO}_3^-$ . Observa-se um decaimento a partir de a 151 m do ponto de contaminação se comparada com a do íon sulfato.

Observa-se presença de odor fétido na água detectado em alguns piezômetros mais próximos ao lixão, adverte para a existência de  $\text{H}_2\text{S}_{(g)}$  (gás sulfídrico).

Verificam-se valores baixos de bário em P2, L2, P3 e L3 nos meses eleitos para o monitoramento em 2000 e 2001. Em P8, que é um poço construído, a montante notam-se valores elevados nos 2 anos de monitoramento e em PC15 foi observado uma elevação da concentração de bário no mês de agosto de 2001 que é um considerado de baixa pluviometria. A partir de 74 m começa ocorrer um decaimento das concentrações do íon bário e um delineamento da pluma de contaminação.

Os íons  $\text{Pb}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{Cd}^{+2}$ , e  $\text{Hg}^{+2}$  apresentaram concentrações sempre abaixo dos respectivos limites de detecção. E os íons  $\text{Cr}_{(total)}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Sn}^{+4}$  e  $\text{Ni}^{+2}$  apresentaram limite de concentração zero.

A redução da contaminação é observada a partir dos 74 m estando os valores mais baixos localizados a 229 m, porém esta distância encontra-se bem próxima dos limites do Haras Cabo Frio.

O tempo de residência de aproximadamente de 13 anos do lixo na região em estudo pode ser considerado pequeno em termos de propagação da contaminação do lençol freático. No futuro esta região pode se tornar um foco de contaminação, caso a propagação atinja as propriedades rurais localizadas a jusante. Embora a contaminação ainda pareça que esteja a

uma pequena distância da fonte de contaminação, é neste momento que medidas de remediação são mais eficientes e os custos mais reduzidos.

Para futuros estudos semelhantes sugere-se que antes da implantação dos piezômetros deve ser feito um levantamento geofísico, através de métodos geelétricos (eletroressistividade, polarização induzida e eletromagnético indutivo), para determinar melhores pontos de localização e profundidades para instalação desses aparelhos.

Alguns poços de observação, ou piezômetros de grandes diâmetros, devem ser construídos, pois são mais indicados para realização de testes de bombeamento ou “slug tests”, mas a preferência absoluta deve ser dada para a implantação de piezômetros multiníveis, pois as informações que estes podem fornecer são muito mais completas.

É recomendada análise de compostos orgânicos para melhor caracterização dos contaminantes presentes no lixão.

## CAPITULO 7

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS UTILIZADAS

1. ABNT, Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, NB – 843, dez., 1985.
2. ABNT, Construção de poços de monitoramento e amostragem, NBR, 13895, JUN. 1977.
3. ARAÚJO, G. N. R., *Estudos Geoquímico da contaminação dos Recursos Hídricos e sua propagação nas Adjacências do Aterro de Resíduos Sólidos Jockey Club-DF*. Tese de M.Sc., Instituto de Geociências/UNB, Brasília, DF, Brasil, 1996.
4. BARBOSA. M. C. Investigação Geoambiental do Depósito de Argila sob o Aterro de Resíduos Urbanos de Gramacho, RJ  
Tese D.S.C. Programa de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, 1994
5. BOAVENTURA; R G., BISPOS S.R., BRITO. B E V., ARAÚJO G. N. R. Geoquímica de Solo e Água no Aterro Sanitário (Lixão) do Distrito Federal. Instituto de Geociências, Departamento de Geoquímica e Recursos Minerais Universidade de Brasília – UNB V Congresso Brasileiro de Geoquímica e III Congresso de Geoquímica dos países de Língua Portuguesa, Niterói/RJ, 1995. Resumos expandidos - publicado em CDROM.
6. CETESB, SOUZA, B, H, DERISIO, C, J. Guia técnico de coleta de amostras de água, 1977.
7. CETESB 06.010, Construção de poços de monitoramento de aquífero freático, Procedimento ABR. 1988, atualizado em NOV. 1999.
8. CETESB, Amostragem e monitoramento das águas subterrâneas, norma 1988.
9. CHU, L. M., CHEUNG, K. C., WONG, M.. Variations in the chemical properties of landfill leachate. Environ. Management, vol. 18, nº. 01, pp. 105, 1994
10. CIDE. 2000. Centro de Informações e dados do Rio de Janeiro. Anuário Estatístico do Estado do Rio de Janeiro 1999-2000. [www.cide.rj.gov.br](http://www.cide.rj.gov.br)
11. COTTON, F. A., WILKINSON, G., *Química Inorgânica*. Trad. De Hoaracio Macedo. Rio de Janeiro. Ed. Livros Técnicos e Científicos Editora, 1978.
12. CHRISTENSEN, H T, BJERG, P. L., BANWART A S, JAKOBSEN, R., GORM H , HANS-JØRGEN, A. “Characterization of redox conditions in groundwater contaminant plumes”. Journal of Contaminant Hydrology, DK-2800, Lyngby, Denmark, Received 12 July 1999; received in revised form 22 March 2000; accepted 29 May 2000.
13. CLARK, J. A., PISKIN, R., Contaminants in groundwater: Chemical processes, “Groundwater Contaminants”, National academy Press, Washington, pp. 46-64, 1977.

14. DE DEUS, S. B. A, *Tratamento de Lixívias Produzidas em Aterros Sanitários. Monografia.*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Porto Alegre, RS, Brasil, Junho de 1998.
15. DEUTSCH, W. J. *Groundwater Geochemistry: fundamentals and applications to contamination*, Lewis Publishers-New York, 1997.
16. EL-FADEL, M., FINDIKAKIS, N. A., “Environmental Impacts of Waste Landfilling”. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT*, n. 50, California, U.S.A, p. 1-25, 18 de dez. 1995.
17. FREEZE, R. A., CHERRY, A. J. *Groundwater*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1979.
18. GIORDANO, G., FERREIRA, A. J., RITTER, R., CAMPOS, C. J., ROSSO, A. C. T., “Tratamento do Chorume do Aterro Metropolitano de Gramacho Rio de Janeiro – Brasil”. In: *XXVIII Congresso Internacional de Engenharia Sanitária Y Ambiental*, Cancun, México, Outubro, 2002.
19. HEM. D. J. *Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water.*, U. S. Geological Survey Water – Supply Paper 2254, p. 156, 1985.
20. IBGE. *Anuários Estatísticos do Brasil*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1991 - 1992.
21. IBGE. *Censo Populacional*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1996.
22. IBGE. *Censo Populacional*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2000.
23. JARDIM, N.S. *Lixo Municipal: Manual de gerenciamento integrado*. São Paulo: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT), e Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), 1995, p 278.
24. JUCÁ, T. F. J., MONTEIRO, D. E. V., OLIVEIRA, S. J. F., MACIEL, J. F., *Monitoramento Ambiental do Aterro de Resíduos Sólidos da Muribeca* REGEO, 1999.
25. JUCÁ, T. F. J., *Disposição Final dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil*, REGEO, 2003
26. KUNKLE, G. R., Shade, W. J. *Monitoring Ground – Water Quality Near a Sanitary Landfill* Univ. of Toledo Environmental Sciences Institute. , 1976.
27. LIMA, S. J., RITTER. E. FERREIRA. A. J. ALMEIDA, R. M. R. *Avaliação da Contaminação do Lençol Freático no Lixão do Município de São Pedro da Aldeia*. Congress Groudwater and Human Developmentl, Mar Del Plata – Argentina, 2002.
28. LIMA, S. J., RITTER. E. FERREIRA. A. J. ALMEIDA, R. M. R. *Contaminação do Lençol Freático no Lixão do Município de São Pedro da Aldeia*. V Congresso Brasileiro de Geotécnica Ambiental, 2003.

29. MACFARLANE, I. C. Gas explosion hazards in sanitary landfills. *Public Works*, 101, 76–78, 138, 1970.
30. PROJETO RESUB LAGOS. Caracterização Hidrogeológica do Município de São Pedro da Aldeia e Iguaba Grande. Relatório final de pesquisa. UFF, Niterói, 2000.
31. RITTER, E. *O efeito da salinidade na difusão e sorção de alguns íons inorgânicos em soluções múltiplas para solos argilosos salinos e não salinos* – Tese D. Sc. Programa de Engenharia Civil, COPPE/ UFR, Rio de Janeiro, RJ, Brasil 1988.
32. RITTER, E., Campos, J. C , Gatro, R. L. Contamination Process Trough on Organic Soil of Gramacho MSw . Ninth Internacional Waste Management and Landfill Symposium, Sadinia 2003.
33. SABADIA, J.A.B. CASAS, A. SANTIAGO, M.M.F,. MENDES FILHO, J., A Problemática da Destinação Final de Resíduos Sólidos Urbanos:O Aterro do Jangurussu e os Recursos Hídricos Subterrâneos da Cidade de Fortaleza – Ceará, 1ª *Joint World Congress on Groundwater* , 2000.
34. SANT’ANA FILHO, R. *Importância dos serviços de limpeza urbana*. In: Administração dos Serviços de Limpeza Urbana, Belo Horizonte, ABES, 1991.
35. SANTOS, V. C. P., Neto, S. M. P., Kóide, S “Características do Chorume do Aterro do Jockey Club/DF”, In REGEO, 2002.
36. SANTOS, P. C. V. Estudo da Contaminação da Água Subterrânea por percolado de aterro de resíduos sólidos – caso Jockey Clube – DF. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM – 32A/96, Departamento de Engenharia Civil, UNB, Brasília – DF. 137p, 1996.
37. SANTOS, C. A., *Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações – Noções de Hidroquímica* – LABHID – Laboratório de Hidrogeologia da UFPE, cap. 05, pp. 88, CPRM, 1997.
38. YOUNG, P. J. AND HEASMAN, L. A. An assessment of the odor and toxicity of the trace components of landfill gas. In *Landfill Gas, Proceedings of the 8th International Landfill Gas Symposium*, GRCD, San Antonio, Texas, p. 23, 1985
39. YOUNG, P. AND PARKER, A. Vapors, odors, and toxic gases from landfills. In *Hazardous and Industrial Waste Management and Testing, Proceedings of the Third Symposium*, (L. P. Jackson, A. R. Rohlik and R. A. Conway, eds), Pennsylvania: ASTM-Philadelphia. p. 24–41, 1983
40. YOUNG, P. AND PARKER, A. Origin and control of landfill odors. *SCI London, Chem. Ind. London*, 9, 329–334, 1984.
41. WALLS, J. S. Protecting groundwater from landfill leachate. *Water Sewage Works*, 122, 68, 1975.

42. ZANONI, A. E. (1972). Ground water pollution and sanitary landfills—a critical review. *Ground Water*, 10,3–13, 1972.

## CAPITULO 8

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS CONSULTADAS

1. ADAMSE, A. D., HOEKS, J., DEBONT, J. A. M. AND KESSEL, J. F. Microbial activities in soil near natural gas leaks. *Archiv fur Microbiologie*, 83, 32–51 1972.
2. APELO, C. A., POSTMA J., D., *Geochemistry, groundwater and pollution*. A.A BALKEMA/ ROTTERDAM/ BROOKFIELD, 1994.
3. BERNDT, P. M., *Ground – Water quality near an inactive landfill and Sludge – Spreading Area*, Tallahassee, Florida, U. S. GEOLOGICAL SURVEY, Tallahassee, Florida, 1993.
4. BRANCO, S.M. - *Uma grave ameaça paira sobre o homem do século XX*, Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico S.A., 1972, p. 16..
5. CALMBACH, L. & WATERLOO HYDROGEOLOGIC. *AquaChem User’s Manual. Aqueous Geochemical Data-Analysis, Plotting & Modeling*. Waterloo Hydrogeologic inc. v.3.7 for Windows 95/98/NT, Canada, 1998-1999, 183p.
6. D J. *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*, United States Government Printing Office, 3° ed, 1985..
7. FERREIRA, A. *A questão dos resíduos sólidos urbanos: um projeto institucional da UNESP*. São Paulo: FUNDUNESP, 1994.
8. FLOWER, F. B., LEONE, I. A., GILMAN, E. F, AND ARTHUR, J. J. *Vegetation kills in landfill environs*. In *Management of gas and leachate in landfills*, Proceedings of the 3<sup>ed</sup> Annual Municipal Solid Waste Research Symposium, St. Louis, p. 272 595, 218–236, 1977.
9. Guiguer J.,N. *Poluição das Águas Subterrâneas Causadas por Aterros Sanitários: Uma Abordagem Matemático-experimental*. Tese de M.Sc, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1987.
10. *GROUND WATER SAMPLING AND ANAYLSIS, Technical Guidance Manual For Hydrogeologic Investigations And Ground Water Monitoring, Chapter 10*, [www.epa.gov/region4/water/drinkingwate](http://www.epa.gov/region4/water/drinkingwate), Fevereiro 1995.
11. LANGMUIR, D. *Aqueous Environmental Geochemistry*, Prentice-Hall, Inc, New Jersey, 1997.
12. LEAL, S. A.. *As Águas Subterrâneas no Brasil. O Estado das Águas no Brasil- Perspectivas de Gestão e Informação de Recursos Hídricos*, Brasília-DF: ANEEL, SIH; MMA, SRH; MME, p.139-164.1999.

13. LINDENBERG, R.C. *Compostagem*. In: Resíduos Sólidos Domésticos: Tratamento e Disposição Final, 1, CETESB, p.13-72, 1990,.
14. MCBEAN, EA. E ROVERS, FA. /FARQUHAR, GJ., *Solid Waste LandFill Engineering and Design*, Prentice Hal, Inc / New Jersey, 1995. p. 461, 468, 469.
15. OLIVEIRA, W.E. Resíduos sólidos. Revista DAE, 1974, v.97, p.96-103, 1974.
16. PARISOT, E. H., GUIGUER, N., REBOUÇAS, A. C., CABRAL, D., DUARTYE, U. Bol. IG-USP Série científica vol. 16, São Paulo-SP, pp32-45, 1985.
17. PARKER, A. Landfill gas problems—case histories. In *Landfill Gas Symposium*, Harwell Laboratory, paper 3, 1981.
18. PEREIRA NETO, J.T. *Conceitos modernos de compostagem*. In: Técnicas de Tratamento de Lixo Domiciliar Urbano, ABES, 1992.
19. REICHERT, SILVA E FLECK. Proteção de Águas Subterrâneas na Implantação de Aterro Sanitário, 1977.
20. RIOS, P. L. J. Ministério Público da União DRHI-SERLA - A Evolução da Lei de Recursos Hídricos no Estado do Rio de Janeiro
21. RUMP, HH, 1999. Laboratory Manual for the Examination of Water, Waste Water and Soil, Wiley , Vch.
22. SA, L.A.C. M. DE; KIRCHNER, F.F.; LOCH, C. - "Resíduos Sólidos: Uma solução através do Sensoriamento Remoto", In: *Anais do VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, pp. 129-134, Curitiba, maio de 1993
23. SAYLES, F. L, MANHEIM. F. T. Interstitial solutions and diagenesis in deeply buried marine sediments: results from the deep sea drilling project. *Geochemica et Cosmochica Acta*. V. 3, p 103-127, 1975.
24. SCHALCH, V. *Atividades envolvidas no gerenciamento de resíduos sólidos*. In: Tauk Tornisielo, Us. Epa - United States. Environmental Protection Agency. The solid waste dilemma: an agenda for action. Washington: U.S. .Government Print Office, 1989, p. 70.
25. SCUDINO,P.C.B. Técnicas de Investigação da Qualidade das Águas Subterrâneas, 1997.
26. STUMM, W., MORGAN, J. J. Aquatic chemistry. 2ed. N.Y. :John Wiley & Sons., 1981.
27. WILSON, N., Soil water and ground water sampling, Lewis publishers, Londres, 1995.

## **ANEXO**

Resultados do Monitoramento das Águas do Entorno do Lixão  
de São Pedro da Aldeia

## ANEXO

### Resultados do Monitoramento das águas superficiais e subterrâneas do Lixão de São Pedro da Aldeia – RJ – Fevereiro/2000

|      | pH   | Tc <sup>0</sup> | CE(uS) | Eh(mV)  | OD   | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | Br <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> | Na <sup>+</sup> |
|------|------|-----------------|--------|---------|------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|
| P8   | 7,61 | 27,60           | 4900   | 3,90    | 5,20 | 14,50                         | 880             | 0,00            | 3,70                          | 3152            |
| VD   | 7,60 | 29,80           | 11450  | -71,30  | 3,30 | 117,10                        | 5880            | 0,02            | 24,10                         | 4271            |
| P14  | 7,61 | 29,60           | 10240  | -132,80 | 4,80 | 18230                         | 4340            | 0,01            | 3,80                          | 5212            |
| P13  | 6,28 | 29,90           | 8160   | -51,30  | 3,10 | 10920                         | 3010            | 0,01            | 1,90                          | 2286            |
| L1   | 7,8  | 31,90           | 11580  | -256,00 | 5,90 | 27,80                         | 6520            | 0,13            | 14,30                         | 4680            |
| P2   | 6,36 | 27,10           | 11390  | -42,30  | 3,60 | 165,50                        | 2280            | 0,21            | 2,62                          | 2192            |
| P1   | 6,97 | 27,20           | 9490   | -39,10  | 3,70 | 142,20                        | 4165            | 0,11            | 4,30                          | 4185            |
| L2   | 6,20 | 30,40           | 4120   | 125,10  | 4,30 | 77,20                         | 790             | 0,12            | 16,05                         | 1498            |
| P3   | 6,64 | 27,20           | 5750   | 81,20   | 5,20 | 21,20                         | 711             | 0,00            | 19,00                         | 1179            |
| L3   | 6,11 | 31,10           | 2300   | 75,20   | 4,80 | 19,20                         | 390             | 0,00            | 15,90                         | 18.50           |
| PC15 | 6,47 | 23,10           | 1520   | 185,70  | 5,20 | 19,20                         | 78              | 0,00            | 16,00                         | 119.00          |

|      | K <sup>+</sup> | Mg <sup>+2</sup> | Ca <sup>+2</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | Al <sup>+3</sup> | Fe(total) | Mn <sup>+2</sup> | STD      | Ba <sup>+2</sup> |
|------|----------------|------------------|------------------|------------------------------|------------------|-----------|------------------|----------|------------------|
| P8   | 462            | 142              | 88               | 0,62                         | 0,185            | 1,90      | 1,82             | 3150,20  | 1,07             |
| VD   | 2173           | 162              | 383              | 35,40                        | 0,0054           | 7,20      | 3,40             | 13780,10 | 1,45             |
| P14  | 2171           | 272              | 432              | 22,10                        | 0,29             | 4,00      | 4,90             | 13331,40 | 1,33             |
| P13  | 656            | 196              | 501              | 31,10                        | <0,05            | 3,70      | 5,50             | 6800,00  | 0,40             |
| L1   | 1151           | 340              | 733              | 21,30                        | 0,19             | 0,21      | 0,09             | 14120,30 | 0,57             |
| P2   | 30,30          | 230              | 198              | 21,00                        | 1,10             | 1,80      | 1,49             | 4350,80  | 0,03             |
| P1   | 1421           | 222              | 174              | 8,20                         | <0,05            | 0,19      | 1,32             | 10040,50 | 0,82             |
| L2   | 217            | 51               | 33               | 1,61                         | <0,05            | 0,29      | 0,91             | 9900,00  | 0,04             |
| P3   | 7,70           | 41               | 41               | 1,32                         | <0,05            | 3,28      | 0,89             | 2104,20  | 0,05             |
| L3   | 1,90           | 22               | 19               | 1,62                         | <0,05            | 0,07      | 2,70             | 315,20   | 0,06             |
| PC15 | 35,30          | 8,10             | 17               | 1,31                         | <0,05            | 0,23      | 5,10             | 298,30   | 0,14             |

|      | Cr   | Ni <sup>+2</sup> | Cu <sup>+2</sup> | Cd <sup>+2</sup> | Hg <sup>+2</sup> | Zn <sup>+2</sup> | Sn <sup>+4</sup> | Pb <sup>+2</sup> |
|------|------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| P8   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0                | 0,00             | <0,01            | 0,00             | 0,00             |
| VD   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0                | 0,00             | <0,01            | 0,00             | 0,00             |
| P14  | 0,00 | 0,00             | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,03            |
| P13  | 0,00 | 0,00             | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,03            |
| L1   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| P2   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| P1   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0                | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| L2   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| P3   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| L3   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| PC15 | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |

Obs.: dados em mg/l, exceto: pH, CE, Eh e T.

## ANEXO

### Resultados do Monitoramento das águas superficiais e subterrâneas do Lixão de São Pedro da Aldeia – RJ –Abril/2000

|      | pH   | Tc0   | CE(uS) | Eh(mV) | OD   | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | Br <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> | Na <sup>+</sup> |
|------|------|-------|--------|--------|------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|
| P8   | 7,09 | 26.00 | 3980   | 65.10  | 5.80 | 13.50                         | 680             | 0,08            | 2,9                           | 3563            |
| VD   | 7,1  | 27.20 | 16980  | -65.20 | 1.90 | 119.20                        | 6680            | 26,00           | 21,3                          | 5443            |
| P14  | 7,59 | 23.50 | 16460  | -81.80 | 4.60 | 192.10                        | 6420            | 12,71           | 2,9                           | 5206            |
| P13  | 6,19 | 24.80 | 9430   | -74.50 | 3.50 | 110.20                        | 3621            | 11,21           | 3,2                           | 2313            |
| L1   | 7,56 | 26.90 | 11980  | -8.10  | 5.80 | 26.80                         | 6190            | 29,10           | 18,3                          | 5235            |
| P2   | 6,49 | 23.90 | 12470  | -96    | 2.60 | 163.30                        | 2940            | 25,14           | 2,96                          | 2318            |
| P1   | 7,03 | 26.00 | 9290   | -5,2   | 3.80 | 148.20                        | 6320            | 17,40           | 3,8                           | 4196            |
| L2   | 6,8  | 26.10 | 4290   | 16.80  | 3.10 | 87.20                         | 580             | 11,80           | 18                            | 1318            |
| P3   | 6,4  | 24.30 | 6760   | 74.20  | 6.20 | 19.20                         | 790             | 0,01            | 16                            | 1278            |
| L3   | 6,35 | 26.50 | 2520   | 86.80  | 5.80 | 21.20                         | 190             | 0,00            | 14,8                          | 272             |
| PC15 | 6,68 | 24.10 | 1680   | 242    | 6.20 | 23.20                         | 78              | 0,00            | 16,1                          | 131             |

|      | K <sup>+</sup> | Mg <sup>+2</sup> | Ca <sup>+2</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | Al <sup>+3</sup> | Fe    | Mn <sup>+2</sup> | STD       | Ba <sup>+2</sup> |
|------|----------------|------------------|------------------|------------------------------|------------------|-------|------------------|-----------|------------------|
| P8   | 420            | 241              | 95               | 0.84                         | 0.235            | 2.8   | 1,84             | 2416,70   | 0,98             |
| VD   | 2540           | 176              | 479              | 36.20                        | 0.0078           | 8.2   | 3.90             | 13710,80  | 1,34             |
| P14  | 2514           | 296              | 333              | 24.30                        | 0.29             | 40    | 4.40             | 13140,80  | 1,5              |
| P13  | 793            | 276              | 489              | 40.70                        | <0.050           | 3.2   | 4.20             | 7456,20   | 0.50             |
| L1   | 1830           | 580              | 735              | 26.70                        | 0.19             | 0.19  | 0,08             | 14891,60  | 0,56             |
| P2   | 26             | 280              | 198              | 21.00                        | 1.10             | 1.60  | 1,9              | 4512,10   | 0,02             |
| P1   | 1361           | 220              | 174              | 9.10                         | <0.050           | 0.23  | 1,19             | 11921,7 0 | 0,78             |
| L2   | 205            | 58               | 32               | 1.84                         | <0.050           | 0.19  | 0,87             | 10427,70  | 0,07             |
| P3   | 7.60           | 42               | 41               | 1.38                         | <0.050           | 3.20  | 0,91             | 19905,70  | 0,06             |
| L3   | 2.70           | 28               | 17               | 1.42                         | <0.050           | 0.088 | 2,8              | 508,60    | 0,07             |
| PC15 | 35             | 17               | 31               | 1.22                         | 0.62             | 0.65  | 0,12             | 225,30    | 0,19             |

|      | Cr   | Ni <sup>+2</sup> | Cu <sup>+2</sup> | Cd <sup>+2</sup> | Hg <sup>+2</sup> | Zn <sup>+2</sup> | Sn <sup>+4</sup> | Pb <sup>+2</sup> |
|------|------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| P8   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | <0,01            | 0,00             | 0,00             |
| VD   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | <0,01            | 0,00             | 0,00             |
| P14  | 0,00 | 0,00             | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,03            |
| P13  | 0,00 | 0,00             | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,03            |
| L1   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| P2   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| P1   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| L2   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| P3   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| L3   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| PC15 | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |

Obs.: dados em mg/l. exceto: pH. CE. Eh e T.

## ANEXO

### Resultados do Monitoramento das águas superficiais e subterrâneas do Lixão de São Pedro da Aldeia – RJ – Junho/2000

|      | pH   | Tc0  | CE(uS) | Eh(mV)  | OD   | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | Br <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> | Na <sup>+</sup> |
|------|------|------|--------|---------|------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|
| P8   | 7,50 | 21.8 | 3050   | 3,60    | 5,20 | 115,80                        | 290,00          | 0,07            | 2,80                          | 2830,00         |
| VD   | 7,60 | 27.2 | 16300  | -262,20 | 1,70 | 268,30                        | 7980,00         | 25,80           | 21,80                         | 3620,00         |
| P14  | 7,35 | 27.1 | 15230  | -138,10 | 4,90 | 253,10                        | 6208,00         | 14,52           | 3,10                          | 2341,00         |
| P13  | 6,14 | 28   | 8990   | -53,70  | 2,70 | 188,50                        | 3526,00         | 14,80           | 3,70                          | 2590,00         |
| L1   | 7,02 | 25.6 | 9993   | -201,20 | 5,50 | 248,30                        | 5834,00         | 32,30           | 19,10                         | 4970,00         |
| P2   | 6,31 | 27   | 10320  | -98,20  | 3,00 | 160,30                        | 2824,00         | 25,47           | 2,71                          | 1930,00         |
| P1   | 6,21 | 27   | 8880   | -22,40  | 2,80 | 152,10                        | 5980,00         | 18,30           | 3,72                          | 3210,00         |
| L2   | 6,70 | 30   | 3894   | 269,00  | 5,80 | 93,90                         | 430,00          | 12,10           | 18,70                         | 960,00          |
| P3   | 5,80 | 27   | 6020   | 31,20   | 6,30 | 25,70                         | 600,00          | 0,06            | 15,10                         | 1105,00         |
| L3   | 6,31 | 29   | 2480   | 289,00  | 6,10 | 24,10                         | 172,00          | 0,00            | 13,90                         | 129,00          |
| PC15 | 6,41 | 25   | 1000   | 232,00  | 6,90 | 19,70                         | 63,00           | 0,00            | 16,90                         | 105,00          |

|      | K <sup>+</sup> | Mg <sup>+2</sup> | Ca <sup>+2</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | Al <sup>+3</sup> | Fe(total) | Mn <sup>+2</sup> | STD       | Ba <sup>+2</sup> |
|------|----------------|------------------|------------------|------------------------------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|
| P8   | 182,00         | 176,00           | 85,00            | 0,52                         | 0,19             | 3,30      | 1,90             | 3716,70   | 1,15             |
| VD   | 920,00         | 241,00           | 471,00           | 18,30                        | 0,007891         | 6,30      | 4,70             | 14720,80  | 1,72             |
| P14  | 421,00         | 267,00           | 402,00           | 12,40                        | 0,34             | 4,40      | 5,50             | 14320,80  | 1,53             |
| P13  | 232,00         | 276,00           | 448,00           | 0,61                         | 0,004942         | 4,80      | 5,80             | 7336,20   | 0,35             |
| L1   | 1630,00        | 580,00           | 866,00           | 23,50                        | 0,16             | 0,17      | 0,08             | 14241,60  | 0,56             |
| P2   | 19,00          | 266,00           | 208,00           | 21,30                        | <0,05            | 0,10      | 1,60             | 5519,10   | 0,14             |
| P1   | 1130,00        | 220,00           | 190,00           | 4,60                         | <0,05            | 0,16      | 1,30             | 10957,7 0 | 0,11             |
| L2   | 6.30           | 58,00            | 39,00            | 24,00                        | <0,05            | 0,10      | 0,83             | 10307,70  | 0,05             |
| P3   | 8.30           | 42,00            | 49,00            | 1,19                         | <0,05            | 0,10      | 1,10             | 2105,70   | 0,06             |
| L3   | 14.00          | 28,00            | 21,00            | 1,32                         | <0,05            | 0,08      | 1,80             | 407,60    | 0,08             |
| PC15 | 23.10          | 15,00            | 22,00            | 41,40                        | 0,79             | 0,63      | 1,38             | 325,30    | 0,11             |

|      | Cr   | Ni <sup>+2</sup> | Cu <sup>+2</sup> | Cd <sup>+2</sup> | Hg <sup>+2</sup> | Zn <sup>+2</sup> | Sn <sup>+4</sup> | Pb <sup>+2</sup> |
|------|------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| P8   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | <0,01            | 0,00             | 0,00             |
| VD   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | <0,01            | 0,00             | 0,00             |
| P14  | 0,00 | 0,00             | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,03            |
| P13  | 0,00 | 0,00             | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,03            |
| L1   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| P2   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| P1   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| L2   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| P3   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| L3   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| PC15 | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |

obs.: dados em mg/l, exceto: pH, CE, Eh e T

## ANEXO

### Resultados do Monitoramento das águas superficiais e subterrâneas do Lixão de São Pedro da Aldeia – RJ – Setembro/2000

|      | pH   | Tc0   | CE(uS)   | Eh(mV)  | OD   | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | Br <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> | Na <sup>+</sup> |
|------|------|-------|----------|---------|------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|
| P8   | 6,89 | 26.80 | 2980,00  | 0,98    | 2,30 | 123,10                        | 680,00          | 0,04            | 3,20                          | 3108,00         |
| VD   | 6,38 | 27.40 | 19340,00 | -147,50 | 0,98 | 286,80                        | 6720,00         | 42,30           | 23,00                         | 4310,00         |
| P14  | 7,8  | 24.50 | 17560,00 | -145,30 | 1,10 | 238,90                        | 6420,00         | 12,02           | 3,42                          | 5320,00         |
| P13  | 6,77 | 24.80 | 14900,00 | -72,20  | 0,83 | 187,70                        | 3621,00         | 13,21           | 2,20                          | 2820,00         |
| L1   | 6,65 | 27.50 | 5430,00  | -123,10 | 3,30 | 239,80                        | 6190,00         | 29,10           | 20,60                         | 5320,00         |
| P2   | 6,49 | 24.90 | 13420,00 | -143,20 | 0,73 | 142,30                        | 2940,00         | 26,30           | 3,00                          | 2130,00         |
| P1   | 6,65 | 26.80 | 5630,00  | -63,20  | 0,74 | 161,40                        | 6320,00         | 19,20           | 4,00                          | 4931,00         |
| L2   | 6,68 | 27.90 | 2985,00  | 321,00  | 3,90 | 68,90                         | 580,00          | 9,30            | 24,00                         | 1150,00         |
| P3   | 6,46 | 25.70 | 5810,00  | 25,30   | 0,95 | 22,10                         | 790,00          | 0,08            | 14,00                         | 1285,00         |
| L3   | 6,23 | 29.10 | 1998,00  | 201,00  | 5,80 | 32,30                         | 190,00          | 0,00            | 15,10                         | 264,00          |
| PC15 | 7,32 | 25.10 | 1500,00  | 258,00  | 6,20 | 9,70                          | 77,00           | 0,00            | 13,60                         | 119,00          |

|      | K <sup>+</sup> | Mg <sup>+2</sup> | Ca <sup>+2</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | Al <sup>+3</sup> | Fe(total) | Mn <sup>+2</sup> | STD      | Ba <sup>+2</sup> |
|------|----------------|------------------|------------------|------------------------------|------------------|-----------|------------------|----------|------------------|
| P8   | 320,00         | 190,00           | 91,00            | 0,79                         | 0.235            | 3,90      | 1,79             | 4536,40  | 1,02             |
| VD   | 1723,00        | 272,00           | 520,00           | 28,70                        | 0.025            | 9,80      | 7,71             | 15177,50 | 1,81             |
| P14  | 2514,00        | 296,00           | 524,00           | 27,60                        | 0.29             | 7.35      | 5,50             | 8778,50  | 0,50             |
| P13  | 793,00         | 457,00           | 793,00           | 38,70                        | <0.050           | 6,80      | 5,81             | 15034,10 | 1,20             |
| L1   | 1830,00        | 702,00           | 854,00           | 27,70                        | 0.19             | 2.45      | 0,15             | 5992,30  | 0,66             |
| P2   | 116,00         | 280,00           | 261,00           | 22,20                        | 1.1              | 0,60      | 1,60             | 13406,40 | 0,04             |
| P1   | 1361,00        | 330,00           | 216,00           | 10,00                        | <0.050           | 0,35      | 1,30             | 2228,70  | 0,91             |
| L2   | 280,00         | 62,00            | 43,00            | 1,48                         | <0.050           | 0,30      | 0,89             | 2266,90  | 0,05             |
| P3   | 7,60           | 57,00            | 46,00            | 1,47                         | <0.050           | 4,20      | 1,10             | 565,90   | 0,05             |
| L3   | 2,10           | 32,00            | 23,00            | 1,62                         | <0.050           | 0,10      | 2,90             | 370,40   | 0,06             |
| PC15 | 45,00          | 17,00            | 18,00            | 47,70                        | 0.62             | 0,85      | 1,38             | 4536,40  | 0,13             |

|      | Cr   | Ni <sup>+2</sup> | Cu <sup>+2</sup> | Cd <sup>+2</sup> | Hg <sup>+2</sup> | Zn <sup>+2</sup> | Sn <sup>+4</sup> | Pb <sup>+2</sup> |
|------|------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| P8   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | <0,01            | 0,00             | 0,00             |
| VD   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | <0,01            | 0,00             | 0,00             |
| P14  | 0,00 | 0,00             | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,03            |
| P13  | 0,00 | 0,00             | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,03            |
| L1   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| P2   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| P1   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| L2   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| P3   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| L3   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| PC15 | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |

Obs.: dados em mg/l. exceto: pH, CE, Eh e T.

## ANEXO

### Dados do Monitoramento das águas superficiais e subterrâneas do Lixão de São Pedro da Aldeia – RJ – Fevereiro/2001

|      | PH   | Tc0  | CE(uS)   | Eh(mV)  | OD   | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | Br <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> | Na <sup>+</sup> |
|------|------|------|----------|---------|------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|
| P8   | 7,65 | 28   | 3980,00  | 4,50    | 5,80 | 13,50                         | 680,00          | 0.0096          | 3,90                          | 3183,00         |
| VD   | 7,10 | 29.8 | 16980,00 | -152,30 | 1,90 | 119,20                        | 7200,00         | 23.0            | 22,40                         | 5373,00         |
| P14  | 6,26 | 30   | 9430,00  | -145,20 | 4,60 | 192,10                        | 6840,00         | 14.81           | 2,70                          | 5253,00         |
| P13  | 7,61 | 30   | 16460,00 | -51,30  | 3,50 | 110,20                        | 3910,00         | 21.20           | 1,80                          | 2383,00         |
| L1   | 7,70 | 31   | 11980,00 | -265,00 | 5,80 | 26,80                         | 6320,00         | 39.1            | 16,30                         | 5249,00         |
| P2   | 6,41 | 28   | 4290,00  | -148,20 | 2,60 | 163,30                        | 3220,00         | 45.14           | 2,56                          | 2398,00         |
| P1   | 7,10 | 29.8 | 9290,00  | -4,21   | 3,80 | 148,20                        | 6665,00         | 19.4            | 4,80                          | 3199,00         |
| L2   | 6,40 | 29   | 4290,00  | 285,00  | 3,10 | 87,20                         | 780,00          | 0.84            | 16,00                         | 1298,00         |
| P3   | 6,64 | 27   | 6760,00  | 74,20   | 6,20 | 19,20                         | 798,00          | 11.49           | 18,00                         | 1378,00         |
| L3   | 6,40 | 34   | 2520,00  | 17,20   | 5,80 | 21,20                         | 290,00          | 0.0019          | 16,80                         | 192,00          |
| PC15 | 6,89 | 28   | 1680,00  | 285,00  | 6,20 | 23,20                         | 68,00           | 0.0011          | 17,10                         | 121,00          |

|      | K <sup>+</sup> | Mg <sup>+2</sup> | Ca <sup>+2</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | Al <sup>+3</sup> | Fe(total) | Mn <sup>+2</sup> | STD      | Ba <sup>+2</sup> |
|------|----------------|------------------|------------------|------------------------------|------------------|-----------|------------------|----------|------------------|
| P8   | 481,00         | 176,00           | 85,00            | 0.84                         | 0.235            | 3,20      | 1.68             | 4986,4   | 1.06             |
| VD   | 2213,00        | 241,00           | 478,00           | 46.6                         | 0.0078           | 8,90      | 4,95             | 12960,00 | 1821,00          |
| P14  | 2183,00        | 296,00           | 421,00           | 28.0                         | 0.29             | 5.34      | 4,85             | 14103,1  | 0.1976           |
| P13  | 662,00         | 276,00           | 512,00           | 39.9                         | <0.050           | 9.32      | 4,22             | 7748,5   | 1911,00          |
| L1   | 1639,00        | 580,00           | 864,00           | 28.8                         | 0.19             | 2.07      | 0,15             | 14149,9  | 0.3690           |
| P2   | 33,00          | 280,00           | 194,00           | 23.1                         | 1.1              | 0.91      | 1,62             | 4892,3   | 0.038            |
| P1   | 1394,00        | 220,00           | 178,00           | 11.1                         | <0.050           | 2.13      | 1,16             | 12106,4  | 0.91             |
| L2   | 208,00         | 58,00            | 31,00            | 1.85                         | <0.050           | 0,25      | 0,89             | 2348,8   | 0.045            |
| P3   | 8.60           | 42,00            | 41,00            | 1.49                         | <0.050           | 0.32      | 0,19             | 2166,6   | 0.052            |
| L3   | 2.90           | 28,00            | 13,00            | 1.52                         | <0.050           | 0,98      | 2,9              | 465,5    | 0.062            |
| PC15 | 33.50          | 8,98             | 18,10            | 1.22                         | <0.050           | 0.55      | 0,21             | 310,3    | 0.13             |

|      | Cr   | Ni <sup>+2</sup> | Cu <sup>+2</sup> | Cd <sup>+2</sup> | Hg <sup>+2</sup> | Zn <sup>+2</sup> | Sn <sup>+4</sup> | Pb <sup>+2</sup> |
|------|------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| P8   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | <0,01            | 0,00             | 0,00             |
| VD   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | <0,01            | 0,00             | 0,00             |
| P14  | 0,00 | 0,00             | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,03            |
| P13  | 0,00 | 0,00             | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,03            |
| L1   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| P2   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| P1   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| L2   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| P3   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| L3   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| PC15 | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |

Obs.: dados em mg/l, exceto: pH, CE, Eh e T

## ANEXO

### Resultados do Monitoramento das águas superficiais e subterrâneas do Lixão de São Pedro da Aldeia – RJ –Abril/2001

|      | PH   | Tc0  | CE(uS)   | Eh(mV)  | OD   | HCO3-  | Cl-     | Br-   | SO4-2 | Na+     |
|------|------|------|----------|---------|------|--------|---------|-------|-------|---------|
| P8   | 7,72 | 26.1 | 4020,00  | 3,80    | 2,10 | 118,30 | 830,00  | 0,06  | 4,40  | 3184,00 |
| VD   | 7,45 | 27.8 | 17500,00 | -162,40 | 1,70 | 293,80 | 7900,00 | 49,20 | 23,60 | 5552,00 |
| P14  | 6,49 | 26.9 | 9781,00  | -158,30 | 0,86 | 263,50 | 6720,00 | 14,30 | 3,60  | 2354,00 |
| P13  | 7,42 | 26.8 | 17020,00 | -68,20  | 0,62 | 172,80 | 3850,00 | 11,20 | 2,70  | 5222,00 |
| L1   | 7,56 | 26.1 | 11980,00 | -296,00 | 2,90 | 233,50 | 6290,00 | 46,00 | 15,20 | 5246,00 |
| P2   | 6,58 | 22.1 | 13210,00 | -142,30 | 0,58 | 143,40 | 3020,00 | 48,00 | 3,10  | 2338,00 |
| P1   | 6,98 | 24.7 | 9452,00  | -34,10  | 0,80 | 139,30 | 6730,00 | 20,20 | 4,40  | 4219,00 |
| L2   | 6,71 | 25.6 | 3520,00  | 251,00  | 4,00 | 79,30  | 785,00  | 0,62  | 14,30 | 1313,00 |
| P3   | 6,38 | 26.4 | 6924,00  | 19,30   | 0,88 | 16,30  | 802,00  | 0,09  | 16,60 | 1268,00 |
| L3   | 6,21 | 28   | 2310,00  | 241,00  | 3,80 | 17,50  | 293,00  | 0,00  | 14,20 | 183,00  |
| PC15 | 6,50 | 25.1 | 1520,00  | 220,00  | 6,10 | 13,20  | 72,00   | 0,00  | 12,30 | 122,00  |

|      | K <sup>+</sup> | Mg <sup>+2</sup> | Ca <sup>+2</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | Al <sup>+3</sup> | Fe(total) | STD      | Mn <sup>+2</sup> | Ba <sup>+2</sup> |
|------|----------------|------------------|------------------|------------------------------|------------------|-----------|----------|------------------|------------------|
| P8   | 399,00         | 198,00           | 102,40           | 10,30                        | <0.050           | 4,20      | 4874,00  | 2,90             | 1,40             |
| VD   | 2641,00        | 362,00           | 462,30           | 25,10                        | <0.050           | 8,88      | 9423,70  | 4,20             | 1,95             |
| P14  | 664,00         | 302,00           | 502,50           | 1,59                         | <0.050           | 6,30      | 10891,80 | 4,93             | 0,30             |
| P13  | 2189,00        | 497,00           | 702,60           | 1,20                         | <0.050           | 9,80      | 8855,20  | 5,80             | 1,12             |
| L1   | 1173,00        | 730,00           | 872,40           | 42,80                        | <0.050           | 0,23      | 14681,00 | 0,18             | 0,86             |
| P2   | 31.6           | 350,00           | 271,80           | 29,30                        | <0.050           | 1,30      | 6257,10  | 1,71             | 0,04             |
| P1   | 1164,00        | 301,00           | 724,40           | 1,90                         | <0.050           | 1,90      | 13342,90 | 1,18             | 0,98             |
| L2   | 295,00         | 72,30            | 42,30            | 27,70                        | <0.050           | 2,00      | 2634,10  | 0,12             | 0,05             |
| P3   | 8,80           | 55.9             | 39,60            | 1,94                         | <0.050           | 0,12      | 2212,60  | 0,98             | 0,06             |
| L3   | 3,30           | 31,20            | 3,20             | 1,78                         | <0.050           | 0,01      | 550,60   | 1,30             | 0,07             |
| PC15 | 37,80          | 21,80            | 13,20            | 52,60                        | <0.050           | 0,79      | 359,80   | 1,07             | 0,18             |

|      | Cr   | Ni <sup>+2</sup> | Cu <sup>+2</sup> | Cd <sup>+2</sup> | Hg <sup>+2</sup> | Zn <sup>+2</sup> | Sn <sup>+4</sup> | Pb <sup>+2</sup> |
|------|------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| P8   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | <0,01            | 0,00             | 0,00             |
| VD   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | <0,01            | 0,00             | 0,00             |
| P14  | 0,00 | 0,00             | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,03            |
| P13  | 0,00 | 0,00             | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,03            |
| L1   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| P2   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| P1   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| L2   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| P3   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| L3   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| PC15 | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |

Obs.: dados em mg/l, exceto: pH, CE, Eh e T.

## ANEXO

### Resultados do Monitoramento das águas superficiais e subterrâneas do Lixão de São Pedro da Aldeia – RJ – Agosto/2001

|      | pH   | Tc <sup>0</sup> | CE(uS)   | Eh(mV)  | OD   | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | Br <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> | Na <sup>+</sup> |
|------|------|-----------------|----------|---------|------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|
| P8   | 7,22 | 26.30           | 3810,00  | 2,10    | 3,90 | 116,30                        | 810,00          | 0,06            | 4,1                           | 3173,00         |
| VD   | 7,35 | 28.80           | 14500,00 | -88,40  | 1,90 | 235,00                        | 7020,00         | 33,20           | 20,6                          | 4362,00         |
| P14  | 6,97 | 26.40           | 6300,00  | -81,80  | 3,00 | 201,80                        | 5720,00         | 13,30           | 2,2                           | 2280,00         |
| P13  | 6,90 | 25.10           | 13201,00 | -122,00 | 2,10 | 76,80                         | 2850,00         | 10,20           | 2,9                           | 4202,00         |
| L1   | 6,97 | 25.80           | 10560,00 | -245,00 | 2,00 | 219,40                        | 5290,00         | 37,20           | 13,2                          | 5216,00         |
| P2   | 6,91 | 25.10           | 12480,00 | 1,50    | 3,30 | 103,40                        | 2900,00         | 39,20           | 3,7                           | 1900,00         |
| P1   | 6,71 | 24.90           | 9630,00  | -19,10  | 1,80 | 116,30                        | 5830,00         | 23,50           | 3,1                           | 3982,00         |
| L2   | 6,74 | 25.80           | 3680,00  | 252,00  | 2,90 | 81,40                         | 712,00          | 0,52            | 13,3                          | 1123,00         |
| P3   | 6,86 | 26.40           | 5400,00  | -0,40   | 2,00 | 14,30                         | 702,00          | 1,00            | 14,4                          | 1208,00         |
| L3   | 6,40 | 25.40           | 2140,00  | 198,00  | 3,00 | 12,30                         | 271,00          | 0,00            | 13,2                          | 171,00          |
| PC15 | 6,70 | 25.30           | 1680,00  | 270,00  | 5,20 | 11,20                         | 54,00           | 0,00            | 15,1                          | 90,0            |

|      | K <sup>+</sup> | Mg <sup>+2</sup> | Ca <sup>+2</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | Al <sup>+3</sup> | Fe(total) | Mn <sup>+2</sup> | STD      | Ba <sup>+2</sup> |
|------|----------------|------------------|------------------|------------------------------|------------------|-----------|------------------|----------|------------------|
| P8   | 389,00         | 171,00           | 100,40           | 9,30                         | <0.050           | 3,10      | 2,10             | 4796,50  | 1,20             |
| VD   | 2310,00        | 298,00           | 352,30           | 22,10                        | <0.050           | 8,10      | 3,90             | 14720,80 | 1,75             |
| P14  | 654,00         | 264,00           | 471,30           | 1,39                         | <0.050           | 5,40      | 4,10             | 9710,50  | 0,40             |
| P13  | 2169,00        | 289,00           | 692,60           | 1,10                         | <0.050           | 9,20      | 5,00             | 10348,60 | 1,10             |
| L1   | 1439,00        | 520,00           | 772,40           | 32,80                        | <0.050           | 0,19      | 0,08             | 13572,80 | 0,52             |
| P2   | 21,00          | 276.52           | 261,80           | 19,30                        | <0.050           | 0,98      | 1,61             | 5695,70  | 0,03             |
| P1   | 1414,00        | 285,00           | 624,40           | 1,60                         | <0.050           | 1,40      | 1,11             | 12313,70 | 0,04             |
| L2   | 275,00         | 42,80            | 32,30            | 24,80                        | <0.050           | 0,22      | 0,61             | 2308,10  | 0,04             |
| P3   | 6,80           | 48,70            | 37,60            | 1,64                         | <0.050           | 0,90      | 0,82             | 2038,10  | 0,05             |
| L3   | 1,80           | 26.1             | 3,13             | 1,63                         | <0.050           | 0,08      | 1,19             | 503,20   | 0,06             |
| PC15 | 27,80          | 9,60             | 11,20            | 42,60                        | <0.050           | 0,44      | 1,03             | 350,00   | 0,90             |

|      | Cr   | Ni <sup>+2</sup> | Cu <sup>+2</sup> | Cd <sup>+2</sup> | Hg <sup>+2</sup> | Zn <sup>+2</sup> | Sn <sup>+4</sup> | Pb <sup>+2</sup> |
|------|------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| P8   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | <0,01            | 0,00             | 0,00             |
| VD   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | <0,01            | 0,00             | 0,00             |
| P14  | 0,00 | 0,00             | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,03            |
| P13  | 0,00 | 0,00             | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,03            |
| L1   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| P2   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| P1   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| L2   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| P3   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| L3   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| PC15 | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |

Obs.: dados em mg/l, exceto: pH, CE, Eh e T.

## ANEXO

### Resultados do Monitoramento das águas superficiais e subterrâneas do Lixão de São Pedro da Aldeia – RJ –Setembro/2001

|      | pH   | Tc <sup>0</sup> | CE(uS) | Eh(mV) | OD   | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | Br <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> | Na <sup>+</sup> |
|------|------|-----------------|--------|--------|------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|
| P8   | 6.47 | 26              | 470    | 65.10  | 5.80 | 13.50                         | 680             | 0,06            | 3,3                           | 2164            |
| VD   | 6.79 | 27              | 1078   | -65.20 | 2.90 | 117.90                        | 6720            | 36,40           | 31,3                          | 5680            |
| P14  | 6.82 | 24.50           | 980    | -81.80 | 4.60 | 192.10                        | 6420            | 13,91           | 2,5                           | 4900            |
| P13  | 7.15 | 24              | 1668   | -74.50 | 3.50 | 110.20                        | 3621            | 13,08           | 3,8                           | 2620            |
| L1   | 6.35 | 27.90           | 995    | -8.10  | 5.80 | 26.80                         | 6190            | 32,10           | 18,8                          | 5110            |
| P2   | 6.52 | 24.60           | 1617   | -96    | 2.60 | 163.30                        | 2940            | 25,10           | 2,72                          | 2400            |
| P1   | 6.32 | 26.10           | 563    | -5.20  | 3.80 | 148.20                        | 6320            | 16,70           | 2,3                           | 4780            |
| L2   | 6.38 | 27.20           | 447    | 16.80  | 3.10 | 87.20                         | 580             | 8,30            | 19,3                          | 1890            |
| P3   | 6.87 | 25.40           | 580    | 74.20  | 6.20 | 19.20                         | 790             | 3,20            | 17,1                          | 1020            |
| L3   | 6.35 | 29.50           | 555    | 86.80  | 5.80 | 21.20                         | 190             | 0,00            | 14,7                          | 280             |
| PC15 | 6.72 | 25.20           | 510    | 231    | 6.20 | 23.20                         | 78              | 0,00            | 16,7                          | 119             |

|      | K <sup>+</sup> | Mg <sup>+2</sup> | Ca <sup>+2</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | Al <sup>+3</sup> | Fe(total) | STD      | Mn <sup>+2</sup> | Ba <sup>+2</sup> |
|------|----------------|------------------|------------------|------------------------------|------------------|-----------|----------|------------------|------------------|
| P8   | 320            | 176              | 63               | 0.74                         | 0.235            | 3,5       | 2714,40  | 1.79             | 1,03             |
| VD   | 2940           | 241              | 215              | 45.60                        | 0.0078           | 8,8       | 11180,50 | 3.90             | 1,58             |
| P14  | 2714           | 296              | 321              | 37.80                        | 0.29             | 5,2       | 8984,20  | 4.40             | 1,30             |
| P13  | 993            | 276              | 486              | 37.80                        | <0.050           | 3,9       | 6334,30  | 4.20             | 0,48             |
| L1   | 1730           | 580              | 821              | 26.70                        | 0.19             | 0,23      | 12058,00 | 0.091            | 0,52             |
| P2   | 21             | 280              | 198              | 24.10                        | 1.10             | 1.60      | 5119,30  | 1.30             | 0,02             |
| P1   | 1369           | 220              | 178              | 9.10                         | <0.050           | 0.23      | 9955,30  | 1.10             | 0,88             |
| L2   | 280            | 58               | 29               | 1.74                         | <0.050           | 0.31      | 1630,30  | 0.74             | 0,04             |
| P3   | 8.60           | 42               | 33               | 1.57                         | <0.050           | 3.20      | 2125,40  | 0.84             | 0,05             |
| L3   | 2.10           | 28               | 19               | 1.78                         | <0.050           | 0.088     | 402,40   | 2.30             | 0,06             |
| PC15 | 33             | 17               | 15               | 1.32                         | 0.62             | 0.65      | 225,60   | 0.96             | 0,17             |

|      | Cr   | Ni <sup>+2</sup> | Cu <sup>+2</sup> | Cd <sup>+2</sup> | Hg <sup>+2</sup> | Zn <sup>+2</sup> | Sn <sup>+4</sup> | Pb <sup>+2</sup> |
|------|------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| P8   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | <0,01            | 0,00             | 0,00             |
| VD   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | <0,01            | 0,00             | 0,00             |
| P14  | 0,00 | 0,00             | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,03            |
| P13  | 0,00 | 0,00             | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,01            | 0,00             | <0,03            |
| L1   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| P2   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| P1   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| L2   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| P3   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| L3   | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |
| PC15 | 0,00 | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             | 0,00             |

obs.: dados em mg/l, exceto: pH, CE, Eh e T.