



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
CAMPUS II - CAMPINA GRANDE

**CARACTERIZAÇÃO DO CHORUME PRODUZIDO NO ATERRO DA
MURIBECA-PE**

ROBERTA FALCÃO DE CERQUEIRA PAES

CAMPINA GRANDE
SETEMBRO -2003

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

CARACTERIZAÇÃO DO CHORUME PRODUZIDO NO ATERRO DA
MURIBECA-PE

ROBERTA FALCÃO DE CERQUEIRA PAES

CAMPINA GRANDE

2003

CGC
CGSC DIS

ROBERTA FALCÃO DE CERQUEIRA PAES

**CARACTERIZAÇÃO DO CHORUME PRODUZIDO NO ATERRO DA
MURIBECA-PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação,
nível Mestrado, em Engenharia Civil e Ambiental da
Universidade Federal de Campina Grande, em
cumprimento às exigências para obtenção do Grau de
Mestre.

Área de Concentração: Recursos Hídricos

Sub-área: Engenharia Sanitária e Ambiental

Orientadores: Prof. José Fernando Thomé Jucá – PhD

Prof^ª. Beatriz Susana Ovruski de Ceballos – Doutora

CAMPINA GRANDE - PB

2003



| | |
|-------|--|
| P126c | <p>Paes, Roberta Falcão de Cerqueira. Caracterização do chorume produzido no aterro da Muribeca - PE / Roberta Falcão de Cerqueira Paes. - Campina Grande, 2003. 122 f.</p> <p>Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2003. "Orientação : Prof. Dr. José Fernando Thomé Jucá, Profa. Dra. Beatriz Susana Ovruski de Ceballos". Referências.</p> <p>1. Aterro Sanitário - Muribeca (PE). 2. Chorume - Aterro da Muribeca (PE). 3. Chorume - Características. 4. Dissertação - Engenharia Civil. I. Jucá, José Fernando Thomé. II. Ceballos, Beatriz Suzana Ovruski de. III. Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande (PB). IV. Título</p> <p style="text-align: right;">CDU 628.472.3(813.4)(043)</p> |
|-------|--|

ROBERTA FALCÃO DE CERQUEIRA PAES

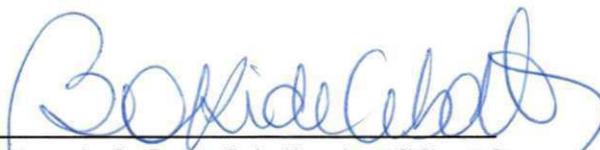
**CARACTERIZAÇÃO DO CHORUME PRODUZIDO NO ATERRO DA
MURIBECA-PE**

COMISSÃO EXAMINADORA



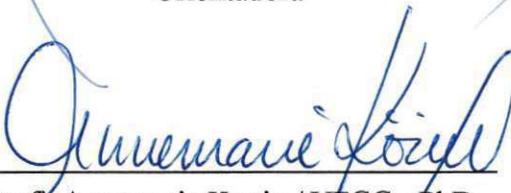
Prof. José Fernando Thomé Jucá / UFPE – PhD

Orientador



Prof. Beatriz S. O. de Ceballos / UFCG – DSc

Orientadora



Prof. Annemarie König / UFCG - PhD

Examinador Interno



Prof. Francisco Suetônio Mota / UFC - DSc

Examinador Externo

Campina Grande – PB

2003

Aos meus pais, Marcelo e Saete, por estarem sempre ao meu lado, não me deixando fraquejar nos momentos de dificuldade, além da educação e oportunidades que me proporcionaram.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por mais uma etapa vencida.

Ao Prof. José Fernando Thomé Jucá que permitiu a realização deste trabalho e também pela sua orientação e amizade.

À Prof^a Beatriz Susana Ovruski de Ceballos pela sua orientação, carinho e amizade.

Ao Prof. Rui de Oliveira pela sua atenção e auxílio nas análises estatísticas.

Aos professores, funcionários e colegas da AESA/UFPE pelos ensinamentos recebidos.

A todos do Grupo de Resíduos Sólidos GRS/UFPE pela amizade.

À Claudia Coutinho Nóbrega pelo seu incentivo e amizade, além dos primeiros ensinamentos recebidos sobre engenharia sanitária e ambiental.

Aos meus pais, Marcelo e Salete, minha irmã, Renata, e meu irmão, Marcelo, pelo carinho, dedicação e companheirismo.

Aos meus sobrinhos, Gabriel e Júlia, pela alegria que me proporcionam.

Ao CNPq pela bolsa concedida.

ÍNDICE

| | |
|---|-------------|
| LISTA DE FIGURAS | i |
| LISTA DE TABELAS | ix |
| LISTA DE SIGLAS | xiii |
| LISTA DE SÍMBOLOS | xiv |
| RESUMO | |
| ABSTRACT | |
| | |
| INTRODUÇÃO E OBJETIVOS | 1 |
| | |
| CAPÍTULO I – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | |
| 1.1 - Chorume | 3 |
| 1.2 - Alguns Fatores que Influenciam na Formação do Chorume | 6 |
| 1.2.1 - Composição do Lixo | 6 |
| 1.2.2 - Profundidade do Lixo | 6 |
| 1.2.3 - Umidade | 7 |
| 1.2.4 - Oxigênio Disponível | 8 |
| 1.2.5 - Temperatura | 8 |
| 1.2.6 - Idade do Aterro | 9 |
| 1.3 - Influência da Precipitação Pluviométrica na Formação dos Líquidos Percolados | 9 |
| 1.4 - Influência da Degradação dos Resíduos Sólidos nas Características Físicas, Químicas e Microbiológicas do Chorume | 11 |
| 1.4.1 - Fatores que Afetam a Digestão Anaeróbia | 17 |
| 1.5 - Caracterização do Chorume | 18 |
| 1.5.1 - Parâmetros Físicos e Químicos | 18 |
| 1.5.2 - Metais Pesados | 19 |
| 1.5.3 - Parâmetros Microbiológicos | 22 |
| 1.6 - Pesquisas de Caracterização de Chorume | 24 |
| | |
| CAPÍTULO II – MATERIAIS E MÉTODOS | |
| 2.1 - Descrição do Local de Estudo | 30 |
| 2.2 - Monitoramento dos Líquidos do Aterro da Muribeca | 31 |

| | | |
|----------------|--|-----------|
| 2.2.1 - | Pontos de Amostragem | 32 |
| 2.2.2 - | Período de Amostragem | 34 |
| 2.2.3 - | Instrumentação | 36 |
| 2.2.4 - | Coleta de Amostras de Chorume | 43 |
| 2.2.5 - | Determinação dos Parâmetros Físicos, Químicos e Microbiológicos | 44 |
| 2.3 - | Análises Estatísticas | 48 |
| 2.4 - | Considerações Finais | 50 |

CAPÍTULO III – APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

| | | |
|------------------|--|-----------|
| 3.1 - | Apresentação e Análise dos Resultados de Caracterização do Chorume do Aterro da Muribeca-PE | 51 |
| 3.2 - | Evolução na Qualidade do Chorume Analisado para Cada Célula | 57 |
| 3.2.1 - | Parâmetros Físicos e Químicos | 57 |
| 3.2.1.1 - | Célula 1 | 57 |
| 3.2.1.2 - | Célula 2 | 63 |
| 3.2.1.3 - | Célula 3 | 68 |
| 3.2.1.4 - | Célula 4 | 73 |
| 3.2.1.5 - | P2 e P21 | 78 |
| 3.2.2 - | Metais pesados | 84 |
| 3.2.2.1 - | Células 1, 2, 3 e 4 | 84 |
| 3.2.2.2 - | Riacho de chorume: P-2 e P-21 | 86 |
| 3.2.3 - | Parâmetros Microbiológicos | 87 |
| 3.2.3.1 - | Células 1, 2, 3 e 4 | 87 |
| 3.2.3.2 - | Riacho de Chorume: P-2 e P-21 | 88 |
| 3.3 - | Análises Estatísticas | 90 |
| 3.3.1 - | Método não-paramétrico – Teste de Kruskal-Wallis | 90 |
| 3.3.2 - | Matrizes de Correlação | 91 |

CAPÍTULO IV – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

| | | |
|----------------|--|------------|
| 4.1 - | Efeito da Profundidade na Qualidade do Chorume do Aterro da Muribeca | 99 |
| 4.1.1 - | Célula 1 | 99 |
| 4.2 - | Efeito da idade na qualidade dos parâmetros analisados para o chorume do Aterro da Muribeca | 107 |

| | |
|--|------------|
| 4.2.1 - Parâmetros Físicos e Químicos | 107 |
| CAPÍTULO V – CONCLUSÕES | 115 |
| CAPÍTULO VI – RECOMENDAÇÕES | 117 |
| CAPÍTULO VII – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 118 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|----------------------|---|----|
| Figura 1.1 - | Balanço hídrico em uma célula de aterro sanitário. | 10 |
| Figura 1.2 - | Etapas da digestão anaeróbia. | 13 |
| Figura 1.3 - | Variação de alguns parâmetros durante as fases de estabilização da matéria orgânica. | 16 |
| Figura 2.1 - | Vista lateral e disposição das células no Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) | 31 |
| Figura 2.2 - | Visualização dos pontos de amostragem utilizados para a caracterização do chorume produzido no Aterro da Muribeca- Jaboatão dos Guararapes (PE) | 33 |
| Figura 2.3 - | Riacho de Chorume – Pontos P-2 e P-21 | 33 |
| Figura 2.4 - | Ponto P-A | 33 |
| Figura 2.5 - | Pz-9 (C1) | 35 |
| Figura 2.6 - | Piezômetro Tipo Casagrande instalado nas células do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) | 37 |
| Figura 2.7 - | Piezômetro pronto para ser instalado em uma das células do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) | 38 |
| Figura 2.8 - | Coletor tipo caneca utilizado para coleta de chorume no interior dos piezômetros no Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) | 38 |
| Figura 2.9 - | Localização e perfil dos piezômetros Pz-5, Pz-6 e Pz-9 instalados na Célula 1 no Aterro da Muribeca - Jaboatão dos Guararapes (PE) | 39 |
| Figura 2.10 - | Localização e Perfil do Piezômetro Pz-8 instalado na Célula 2 no Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) | 40 |
| Figura 2.11 - | Localização e perfil do piezômetro Pz-1 instalado na Célula 3 no Aterro da Muribeca - Jaboatão dos Guararapes (PE) | 41 |
| Figura 2.12 - | Localização e perfil do piezômetro Pz-1 instalado na Célula 4 no Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) | 42 |
| Figura 2.13 - | Material utilizado na coleta de chorume | 43 |
| Figura 2.14 - | Coleta superficial no Riacho de Chorume | 44 |

| | | |
|----------------------|--|----|
| Figura 2.15 - | Coleta do chorume de um piezômetro instalado no Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) utilizando o coletor tipo “caneca” | 44 |
| Figura 3.1 - | Valores de pH no período março/1996 a agosto/2000 para os três piezômetros (Pz-9; Pz-5; Pz-6) instalados na célula 1 (C1) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 57 |
| Figura 3.2 - | Valores de Alcalinidade no período março/1996 a maio/2000 para os três piezômetros (Pz-9; Pz-5; Pz-6) instalados na célula 1 (C1) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 58 |
| Figura 3.3 - | Valores de Sólidos Voláteis no período março/1996 a maio/2000 para os três piezômetros (Pz-9; Pz-5; Pz-6) instalados na célula 1 (C1) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 59 |
| Figura 3.4 - | Valores de DBO ₅ no período março/1996 a maio/2000 para os três piezômetros (Pz-9; Pz-5; Pz-6) instalados na célula 1 (C1) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 60 |
| Figura 3.5 - | Valores de DQO no período março/1996 a maio/2000 para os três piezômetros (Pz-9; Pz-5; Pz-6) instalados na célula 1 (C1) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 61 |
| Figura 3.6 - | Valores de DBO ₅ /DQO no período março/1996 a maio/2000 para os três piezômetros (Pz-9; Pz-5; Pz-6) instalados na célula 1 (C1) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 62 |
| Figura 3.7 - | Valores de cloretos no período março/1996 a maio/2000 para os três piezômetros (Pz-9; Pz-5; Pz-6) instalados na célula 1 (C1) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 62 |

| | | |
|----------------------|--|----|
| Figura 3.8 - | Valores de pH no período abril/1996 a maio/2000 para o piezômetro Pz-8 instalado na célula 2 (C2) do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 64 |
| Figura 3.9 - | Valores de alcalinidade no período abril/1996 a maio/2000 para o piezômetro Pz-8 instalado na célula 2 (C2) do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 64 |
| Figura 3.10 - | Valores de sólidos voláteis no período abril/1996 a maio/2000 para o piezômetro Pz-8 instalado na célula 2 (C2) do Aterro da Muribeca- Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 65 |
| Figura 3.11 - | Valores de DBO ₅ no período abril/1996 a maio/2000 para o piezômetro Pz-8 instalado na célula 2 (C2) do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 66 |
| Figura 3.12 - | Valores de DQO no período abril/1996 a maio/2000 para o piezômetro Pz-8 instalado na célula 2 (C2) do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 66 |
| Figura 3.13 - | Valores de DBO ₅ /DQO no período abril/1996 a maio/2000 para o piezômetro Pz-8 instalado na célula 2 (C2) do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 67 |
| Figura 3.14 - | Valores de cloretos no periodo abril/1996 a maio/2000 para o piezômetro Pz-8 instalado na célula 2 (C2) do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 68 |
| Figura 3.15 - | Valores de pH no período maio/1999 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 3 (C3) do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 69 |

| | | |
|----------------------|--|----|
| Figura 3.16 - | Valores de alcalinidade no período maio/1999 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 3 (C3) do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 70 |
| Figura 3.17 - | Valores de sólidos voláteis totais no período maio/1999 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 3 (C3) do Aterro da Muribeca- Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 70 |
| Figura 3.18 - | Valores de DBO ₅ no período agosto/1999 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 3 (C3) do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 71 |
| Figura 3.19 - | Valores de DQO no período maio/1999 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 3 (C3) do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 72 |
| Figura 3.20 - | Valores de DBO ₅ /DQO no período maio/1999 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 3 (C3) do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 72 |
| Figura 3.21 - | Valores de cloretos no período maio/1999 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 3 (C3) do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 73 |
| Figura 3.22 - | Valores de pH no período julho/1999 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 4 (C4) do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 74 |
| Figura 3.23 - | Valores de alcalinidade no período julho/1999 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 4 (C4) do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 74 |

| | | |
|----------------------|--|----|
| Figura 3.24 - | Valores de sólidos voláteis totais no período maio/2000 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 4 (C4) do Aterro da Muribeca-PE e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 75 |
| Figura 3.25 - | Valores de DBO ₅ no período julho/1999 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 4 (C4) do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 76 |
| Figura 3.26 - | Valores de DQO no período julho/1999 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 4 (C4) do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 77 |
| Figura 3.27 - | Valores de DBO ₅ /DQO no período julho/1999 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 4 (C4) do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 77 |
| Figura 3.28 - | Valores de cloretos no período julho/1999 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 4 (C4) do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 78 |
| Figura 3.29 - | Valores de pH no período março/1996 a janeiro/2001 para os pontos P-2 e P-21 no Riacho de Chorume do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 79 |
| Figura 3.30 - | Valores de alcalinidade no período março/1996 a maio/2001 para os pontos P-2 e P-1 no Riacho de Chorume do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 80 |
| Figura 3.31 - | Valores de sólidos voláteis totais no período março/1996 a maio/2001 para os pontos P-2 e P-1 no Riacho de Chorume do Aterro da Muribeca- Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 80 |

| | | |
|----------------------|---|-----|
| Figura 3.32 - | Valores de DBO ₅ no período março/1996 a janeiro/2001 para os pontos P-2 e P-1 no Riacho de Chorume do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 81 |
| Figura 3.33 - | Valores de DQO no período março/1996 a janeiro/2001 para os pontos P-2 e P-1 no Riacho de Chorume do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 82 |
| Figura 3.34 - | Valores de DBO ₅ /DQO no período março/1996 a janeiro/2001 para os pontos P-2 e P-1 no Riacho de Chorume do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 83 |
| Figura 3.35 - | Valores de cloretos no período março/1996 a maio/2001 para os pontos P-2 e P-1 no Riacho de Chorume do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período | 83 |
| Figura 4.1 - | Valores de pH no período março/1999 a maio/2000 para três piezômetros (Pz-9 (5m); Pz-5 (15m); Pz-6 (18m)) em diferentes profundidades instalados na célula 1 (C1) do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) | 99 |
| Figura 4.2 - | Valores da alcalinidade no período março/1999 a maio/2000 para três piezômetros (Pz-9 (5m); Pz-5 (15m); Pz-6 (18m)) em diferentes profundidades instalados na célula 1 (C1) do Aterro da Muribeca- Jaboatão dos Guararapes (PE) | 101 |
| Figura 4.3 - | Valores dos sólidos voláteis totais no período março/1999 a maio/2000 para três piezômetros (Pz-9 (5m); Pz-5 (15m); Pz-6 (18m)) em diferentes profundidades instalados na célula 1 (C1) do Aterro da Muribeca- Jaboatão dos Guararapes (PE) | 103 |
| Figura 4.4 - | Valores da DBO ₅ no período março/1999 a maio/2000 para três piezômetros (Pz-9 (5m); Pz-5 (15m); Pz-6 (18m)) em diferentes profundidades instalados na célula 1 (C1) do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) | 104 |

| | | |
|----------------------|--|-----|
| Figura 4.5 - | Valores da DQO no período março/1999 a maio/2000 para três piezômetros (Pz-9 (5m); Pz-5 (15m); Pz-6 (18m)) em diferentes profundidades instalados na célula 1 (C1) do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) | 105 |
| Figura 4.6 - | Valores de cloretos no período março/1999 a maio/2000 para três piezômetros (Pz-9 (5m); Pz-5 (15m); Pz-6 (18m)) em diferentes profundidades instalados na célula 1 (C1) do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) | 106 |
| Figura 4.7 - | Valores do pH no período agosto/2000 a maio/2001 para os seis piezômetros (Pz-9 (C1); Pz-5 (C1); Pz-6 (C1); Pz-8 (C2); Pz-1 (C3); Pz-1 (C4)) em diferentes profundidades, instalados nas células 1, 2, 3 e 4 (C1, C2, C3 e C4) do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) | 108 |
| Figura 4.8 - | Valores de alcalinidade no período março/1999 a maio/2001 para os seis piezômetros (Pz-9 (C1); Pz-5 (C1); Pz-6 (C1); Pz-8 (C2); Pz-1 (C3); Pz-1 (C4)) em diferentes profundidades, instalados nas células 1, 2, 3 e 4 (C1, C2, C3 e C4) do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) | 109 |
| Figura 4.9 - | Valores de sólidos voláteis no período março/1999 a maio/2001 para os seis piezômetros (Pz-9 (C1); Pz-5 (C1); Pz-6 (C1); Pz-8 (C2); Pz-1 (C3); Pz-1 (C4)) em diferentes profundidades, instalados nas células 1, 2, 3 e 4 (C1, C2, C3 e C4) do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) | 110 |
| Figura 4.10 - | Valores de DBO ₅ no período março/1999 a maio/2001 para os seis piezômetros (Pz-9 (C1); Pz-5 (C1); Pz-6 (C1); Pz-8 (C2); Pz-1 (C3); Pz-1 (C4)) em diferentes profundidades, instalados nas células 1, 2, 3 e 4 (C1, C2, C3 e C4) do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) | 111 |

| | | |
|----------------------|--|-----|
| Figura 4.11 - | Valores de DQO no período março/1999 a maio/2001 para os seis piezômetros (Pz-9 (C1); Pz-5 (C1); Pz-6 (C1); Pz-8 (C2); Pz-1 (C3); Pz-1 (C4)) em diferentes profundidades, instalados nas células 1, 2, 3 e 4 (C1, C2, C3 e C4) do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) | 112 |
| Figura 4.12 - | Valores de cloretos no período março/1999 a maio/2001 para os seis piezômetros (Pz-9 (C1); Pz-5 (C1); Pz-6 (C1); Pz-8 (C2); Pz-1 (C3); Pz-1 (C4)) em diferentes profundidades, instalados nas células 1, 2, 3 e 4 (C1, C2, C3 e C4) do Aterro da Muribeca-Jaboatão dos Guararapes (PE) | 113 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|---------------------|--|----|
| Tabela 1.1 - | Origens de alguns íons encontrados no chorume | 5 |
| Tabela 1.2 - | Valores mínimos e máximos de alguns parâmetros de qualidade do chorume | 5 |
| Tabela 1.3 - | Valores de alguns parâmetros de caracterização do chorume durante as fases ácida e metanogênica | 16 |
| Tabela 1.4 - | Faixas de variação de alguns metais pesados do chorume de resíduos domésticos | 20 |
| Tabela 1.5 - | Concentrações de organismos indicadores de contaminação fecal em alguns tipos de resíduos | 23 |
| Tabela 1.6 - | Valores obtidos nas análises químicas do chorume coletado no aterro sanitário de Bauru-SP no período de 16/06/99 a 26/07/00 | 25 |
| Tabela 1.7 - | Valores da caracterização do chorume do Aterro Sanitário de Piracicaba-SP (1º semestre de 1997) | 26 |
| Tabela 1.8 - | Resultados obtidos para alguns parâmetros de qualidade (pH, DBO ₅ e DQO) para o chorume do Aterro Sanitário de Bauru | 27 |
| Tabela 1.9 - | Valores médios de alguns parâmetros de qualidade para o chorume do Aterro Sanitário de Pirai (RJ) | 28 |
| Tabela 2.1 - | Identificação dos pontos de amostragem utilizados no monitoramento do chorume no Aterro da Muribeca, identificando-os de acordo com as células e idades dos resíduos sólidos aterrados | 34 |
| Tabela 2.2 - | Informações sobre os períodos de amostragem para todos os pontos de coleta de chorume no Aterro da Muribeca-PE | 35 |
| Tabela 2.3 - | Profundidade, localização e data de início de operação dos piezômetros instalados no Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) | 37 |
| Tabela 2.4 - | Parâmetros utilizados na caracterização do chorume coletado no Aterro da Muribeca-PE | 45 |
| Tabela 3.1 - | Valores médios, mínimos e máximos dos parâmetros analisados para o chorume de 4 células no Aterro da Muribeca-PE no período março/1996 a setembro/2001 | 53 |

| | | |
|----------------------|--|----|
| Tabela 3.2 - | Valores médios, mínimos e máximos dos parâmetros analisados em 2 pontos do Riacho de Chorume (P-2 e P-21) e 3 pontos ao longo do Aterro da Muribeca (P-C, P-D e P-A) no período março/1996 a setembro/2002 | 55 |
| Tabela 3.3 - | Valores de metais pesados no período agosto/1996 a maio/1999 para o piezômetro Pz-9 instalado na célula 1 (C1) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) | 84 |
| Tabela 3.4 - | Valores de metais pesados no período janeiro/2001 a maio/2001 para o piezômetro Pz-8 instalado na célula 2 (C2) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) | 85 |
| Tabela 3.5 - | Valores de metais pesados no período janeiro/2001 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 3 (C3) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) | 85 |
| Tabela 3.6 - | Valores de metais pesados no período janeiro/2001 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 4 (C4) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) | 85 |
| Tabela 3.7 - | Valores de metais pesados no período dezembro/1996 a maio/2001 para o P-2 no Riacho de Chorume do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) | 86 |
| Tabela 3.8 - | Valores de metais pesados no período dezembro/1996 a maio/2001 para o P-21 no Riacho de Chorume do Aterro da Muribeca– Jaboatão dos Guararapes (PE) | 87 |
| Tabela 3.9 - | Valores de coliformes fecais e totais no período janeiro/1997 a maio/1999 para o piezômetro Pz-9 (C1) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) | 88 |
| Tabela 3.10 - | Valores de coliformes fecais e totais no período jan/01 a abr/01 para os piezômetro Pz-8 (C2), Pz-1 (C3) e Pz-1 (C4) do Aterro da Muribeca– Jaboatão dos Guararapes (PE) | 88 |
| Tabela 3.11 - | Valores de coliformes fecais e totais no período abril/1996 a janeiro/2001 para os P-2 e P-21 no Riacho de Chorume do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) | 89 |

| | |
|---|----|
| Tabela 3.12 - Resultados obtidos na análise não-paramétrica (Teste de Kruskal-Wallis) para o chorume do Aterro da Muribeca-PE | 93 |
| Tabela 3.13 - Matriz de correlação dos resultados dos parâmetros de caracterização do chorume coletado no Pz-9 na Célula 1 do Aterro da Muribeca-PE | 94 |
| Tabela 3.14 - Matriz de correlação dos resultados dos parâmetros de caracterização do chorume coletado no Pz-6 na Célula 1 do Aterro da Muribeca-PE | 94 |
| Tabela 3.15 - Matriz de correlação dos resultados dos parâmetros de caracterização do chorume coletado Pz-5 na Célula 1 do Aterro da Muribeca-PE | 95 |
| Tabela 3.16 - Matriz de correlação dos resultados dos parâmetros de caracterização do chorume obtido nos Pz-9, Pz-6 e Pz-5 na Célula 1 no Aterro da Muribeca-PE | 95 |
| Tabela 3.17 - Matriz de correlação dos resultados dos parâmetros de caracterização do chorume coletado no Pz-8 na Célula 2 do Aterro da Muribeca-PE | 96 |
| Tabela 3.18 - Matriz de correlação dos resultados dos parâmetros de caracterização do chorume coletado nas Célula 1 e 2 (Pz-9, Pz-6, Pz-5 e Pz-8) do Aterro da Muribeca-PE | 96 |
| Tabela 3.19 - Matriz de correlação dos resultados dos parâmetros de caracterização do chorume coletado no Pz-1 na Célula 3 do Aterro da Muribeca-PE | 97 |
| Tabela 3.20 - Matriz de correlação dos resultados dos parâmetros de caracterização do chorume coletado no Pz-1 na Célula 4 do Aterro da Muribeca-PE | 97 |
| Tabela 3.21 - Matriz de correlação dos resultados dos parâmetros de caracterização do chorume coletado no Pz-1 na Célula 3 e no Pz-1 na Célula 4 do Aterro da Muribeca-PE | 98 |

| | |
|--|-----------|
| Tabela 3.22 - Matriz de correlação dos resultados dos parâmetros de caracterização do chorume coletado nos Pz-9, Pz-6 e Pz-5 na Célula 1, Pz-8 na Célula 2, Pz-1 na Célula 3 e no Pz-1 na Célula 4 no Aterro da Muribeca-PE | 98 |
|--|-----------|

LISTA DE SIGLAS

| | |
|--------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| APHA | American Public Health Association |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| ETC | Estação de Tratamento de Chorume |
| NBR | Norma Brasileira |
| UFCG | Universidade Federal de Campina Grande |
| UFPE | Universidade Federal de Pernambuco |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|------------------|--------------------------------|
| C1 | Célula 1 |
| C2 | Célula 2 |
| C3 | Célula 3 |
| C4 | Célula 4 |
| CF | Coliformes fecais |
| CH ₄ | Gás Metano |
| Cl | Cloretos |
| °C | Graus Celsius |
| CO ₂ | Gás Carbônico |
| COT | Carbono Orgânico Total |
| CT | Coliformes totais |
| DBO ₅ | Demanda Bioquímica de Oxigênio |
| DQO | Demanda Química de Oxigênio |
| EF | Estreptococos fecais |
| H ₂ O | Água |
| kg | Quilograma |
| km | Quilometro |
| ml | Mililitro |
| N | Nitrogênio |
| NMP | Número Mais Provável |
| P | Fósforo |
| pH | Potencial Hidrogeniônico |
| O ₂ | Oxigênio |
| STV | Sólidos Totais Voláteis |

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo caracterizar o chorume produzido no Aterro da Muribeca, localizado no município de Jaboatão dos Guararapes em Pernambuco, em células com resíduos aterrados há aproximadamente 16 anos (C1 e C2) e células mais novas com resíduos aterrados a aproximadamente 4 anos (C3 e C4); em 2 pontos ao longo do aterro onde o chorume escoava a céu aberto no Riacho de Chorume (P-2 e P-21), o qual recebia o chorume e descarregava no Rio Muribequinha, e mais três pontos: P-C, P-D e P-A – chorume concentrado, chorume diluído e chorume afluyente das lagoas da Estação de Tratamento de Chorume – ETC, respectivamente.

Foram utilizados dados coletados entre março de 1996 e agosto de 2002 dos seguintes parâmetros físicos e químicos: pH, alcalinidade, sólidos voláteis totais, DBO₅, DQO, cloretos e metais pesados (cádmio, chumbo, cobalto, cobre, cromo, manganês e zinco). Os parâmetros microbiológicos estudados foram coliformes fecais e totais. Para a coleta do chorume nas células, foram instalados piezômetros (poços de coleta) a partir de furos de sondagem (SPT) em diferentes profundidades (C1: 5, 15 e 18m; C2: 15m; C3 e C4: 10m). A coleta nos outros pontos (P-2, P-21, P-C, P-D e P-A) foi superficial.

Os resultados foram analisados associados com a precipitação pluviométrica e foi comparado o efeito da profundidade de coleta sobre esses parâmetros, assim como o efeito da idade da célula. Análises estatísticas foram utilizadas para os parâmetros físicos e químicos das células do Aterro da Muribeca; o método matrizes de correlação foi elaborado para estabelecer o nível de significância entre esses parâmetros e a precipitação pluviométrica. O método não-paramétrico Kruskal-Wallis (SOKAL & ROLHF, 1981) foi usado para verificar se a variação dos parâmetros foi semelhante entre as diferentes células.

As células mais antigas (C1 e C2) apresentaram menores valores para os diferentes parâmetros (DBO₅: C1 entre 59 e 2.673mg/l; C2 entre 469 e 6.683mg/l e DQO: C1 variou entre 679 e 12.071mg/l e C2 entre 3.975 e 16.500mg/l) comparados aos das células mais recentes (C3 e C4) (DBO₅: C3 entre 147 e 4.552 e C4 variou entre 2.680 e 18.850mg/l; DQO: C3 entre 6.694 e 16.100mg/l e C4 entre 6.250 e 37.900mg/l), devido as primeiras estarem em um processo avançado de degradação da matéria orgânica, visto que vários parâmetros de qualidade (pH, DBO₅, DQO entre outros) são influenciados pela idade dos resíduos aterrados. No geral, a medida que avança o

processo de decomposição aumenta o pH até valores médios de 8,0 e decrescem a DBO₅ e a DQO, sendo o quociente DBO₅/DQO em torno de 0,2 para material mais estabilizado. Observaram-se também flutuações desses valores.

Os pontos P-2 e P-21 (chorume efluente das células do aterro que escoam a céu aberto) apresentaram valores menores de DBO₅ (P2 entre 134 e 3.316mg/l e P21 entre 22 e 1.295mg/l) e DQO (P2 entre 1.236 e 5.959mg/l e P21 entre 170 e 5.985), provavelmente devido à diluição causada pela chuva. Os pontos P-C, P-D e P-A apresentaram valores maiores que em P-2 e P-21 de pH, cloretos, cádmio, cobalto, cobre, cromo e zinco, porém menores que nos piezômetros. Como as amostras foram coletadas a céu aberto, o chorume encontrava-se mais diluído que nas células, porém em estágio de diluição menor do que no Riacho de Chorume.

O teste de Kruskal-Wallis mostrou que células com mesma idade e mesma profundidade de coleta apresentaram comportamentos semelhantes para os parâmetros analisados. Já o conjunto de células com diferentes idades e profundidades de coleta não apresentaram comportamento semelhante. Nas matrizes de correlação, foi observado que, quanto maior o número de piezômetros estudados, maior o número de correlações significativas.

O conhecimento da composição do chorume do aterro é muito importante para conhecer o grau de contaminação e prever o impacto que o mesmo pode ocasionar ao meio ambiente, além de ser fundamental na escolha da melhor forma de tratamento.

Abstract

This dissertation aimed at characterising the leachate produced in a landfill known as Muribeca, which is situated in the city of Jaboatão dos Guararapes in Pernambuco. One should draw attention to the fact the leachate under study was produced in cells whose waste was filled approximately 16 years ago (C1 and C2), as well as in more recent cells, which were filled about 4 years ago (C3 and C4), in two different points along the landfill (P2 and P21), where the leachate flowed, in the open air, into the Leachate Stream. The latter received the leachate and unloaded it into the Muribequinha River. Last but not least, three other points were chosen for the sake of investigation (P-C, P-D and P21), in which it was possible to find concentrated leachate, diluted leachate and the leachate that flows from the ponds which constitute the Leachate Treatment Station, respectively.

With a view to carry out the present study, it was necessary to make use of data, which was collected from March 1996 to August 2002, of the following physical and chemical parameters: pH, alkalinity, total and volatile solids, BOD, QOD, clorets and heavy metal (cadmium, lead, cobalt, copper, chrome, manganese and zinc). Concerning the microbiological parameters, fecal and total coliforms were studied. In order to collect the leachate in the cells, while borings were carried out, piezometers (collection wells) were installed in different depths –Standard Penetration Test- (C1:5, 15 and 18m; C2: 15m; C3 and C4:10m). The collection in the other points was superficial.

The results were analyzed in association with pluviometric precipitation (rain fall). An afterwards, the effect of the collection depth and the age of the cell on the parameters quoted above was compared. Statistical analyses were used for the physical and chemical parameters of Muribeca Landfill cells. The correlation matrix method was elaborated to establish the level of significance between these parameters and the pluviometric precipitation (rainfall). The Kruskal-Wallis (SOKAL & Rolhf 1981) Method was used with a view to verify if the variation of the parameters was similar among different cells.

The other cells (C1 and C2) present lower values to the different parameters (BOD: C1 between 59 and 2.673mg/l; C2 between 469 and 6.683mg/l and QDO: C1 varied between 679 and 12.071mg/l and C2 between 3975 and 16.50mg/l). Concerning the newer cells (C3 and C4) the values were: (BOD :C3 between 147 and 4.552 e C4

between 2.680 and 18.850mg/l; QDO: C3 between 6.694 and 16.100mg/l and C4 between 6250 and 37.900mg/l. The reason for this variation lies in the fact that the first ones were in an advanced process of organic-matter degradation, since several parameters of quality (pH, BOD, QOD, among others) are influenced by the age of the filled waste. Generally speaking, as the process of decomposition advances, the pH rises up to the average of 8,0 and both BOD and QOD decrease, presenting a BOD quotient of about 0,2 for the more stabilized matter. Fluctuation of these values was also observed.

The points P2 and P21 presented lower values of BOD (P2 between 134 and 3.316 mg/l and P21 between 22 and 1.295 mg/l) and QOD (P2 between 1.236 and 5.959mg/l and P21 between 170 and 5.985). This variation must have been due to the dilution caused by the rain. The pints P-C, P-D and P-A showed higher values than in P-2 and P-21, when it comes to pH, Clorets, cadmium, cobalt, copper, chrome and zinc. On the other hand, these values were lower than in the piezometers. As the samples were collected in the pen air, leachate was found more diluted than in the cells, but in a less advanced stage of dilution than in the Leachate Stream.

The Kruskal- Wallis Test revealed that cells with the same age and collection depth presented similar behavior to the parameters analyzed, whereas the group of cells with different ages and collection depths did not. In the correlation matrix, it was observed that the greater the number of collection wells studied, the higher the number of significant correlations.

Knowledge of the composition of the landfill leachate is very important if one wishes to know the degree of contamination and to predict the impact this may have on the environment. Furthermore, this knowledge is essential when it comes to choosing the best form of treatment.

INTRODUÇÃO

Um dos maiores contaminantes do solo, das águas subterrâneas e superficiais – o chorume – também denominado de líquido percolado, é o resultado da ação enzimática dos microrganismos e dos produtos resultantes da degradação dos resíduos, e da infiltração de água nos aterros. O desenvolvimento da atividade microbiana no interior das células de aterramento, associado a fatores ambientais, é capaz de promover a percolação de quantidade significativa de chorume. Em função da elevada concentração de matéria orgânica e outros materiais inorgânicos, o chorume constitui-se como um poluente extremamente agressivo ao ambiente, necessitando de tratamento anterior ao seu lançamento no corpo receptor (PIRES, 2002).

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

O chorume possui altos índices de matéria orgânica e microrganismos patogênicos. Também tem índices significantes de matéria inorgânica, incluindo metais pesados.

Aterros que possuem resíduos aterrados entre 2-5 anos, não apenas têm os índices de matéria orgânica e microrganismos decrescendo progressivamente, como também a sua composição muda significativamente (CHEN, 1996).

O volume do líquido percolado depende de fatores como a precipitação na área do aterro, evapotranspiração, escoamento superficial e/ou infiltração subterrânea, umidade natural do lixo entre outros. As características físicas, químicas e biológicas do chorume dependem do tipo de resíduo aterrado, do grau de decomposição, clima, estação do ano, idade do aterro, profundidade do resíduo aterrado e tipo de operação do aterro, entre outros. Assim pode-se afirmar que a composição dos líquidos percolados pode variar consideravelmente de um local para outro, como também em um mesmo local e entre uma e outra época do ano.

A caracterização da composição do chorume no aterro constitui uma ferramenta essencial para o gerenciamento dos seus impactos, por ser umas das principais fontes de poluição de águas na zona de influência. A análise dos principais parâmetros físicos e químicos do chorume (pH, DBO₅, DQO, cloretos, entre outros), fornece não só informações sobre o desenvolvimento dos processos biológicos dentro do aterro, como indica os principais poluentes que podem ser removidos no seu tratamento. Também pode sugerir qual tratamento, seja biológico, físico-químico ou a combinação desses processos, será provavelmente o mais eficiente (CARVALHO, 2001).

OBJETIVOS

São objetivos deste trabalho:

- analisar, preliminarmente, os dados obtidos para o chorume do Aterro da Muribeca;
- avaliar o efeito do tempo e da precipitação pluviométrica na evolução das características do chorume;
- comparar o efeito da profundidade de coleta sobre os parâmetros de caracterização do chorume;
- avaliar o efeito da idade das células sobre as características chorume;
- analisar, através de métodos estatísticos, correlações e semelhanças de comportamento existentes entre parâmetros físicos e químicos monitorados no chorume.

CAPÍTULO I

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 - Chorume

O chorume é um líquido oriundo da decomposição da matéria orgânica presente nos resíduos sólidos domésticos por ação de exo-enzimas produzidas por bactérias e outros microrganismos, assim como por produtos variados do metabolismo celular, além de transformações químicas que ocorrem naturalmente na massa em decomposição. As enzimas solubilizam e quebram a matéria orgânica em moléculas simples, que podem ser assimiladas pelas células dos microrganismos, principalmente bactérias. É fator essencial na formação do chorume a umidade natural dos resíduos devido à água de constituição dos vários materiais e líquidos provenientes da dissolução da matéria orgânica pelas enzimas secretadas pelos microrganismos (LUZ, 1981; SCHALCH, 1984).

De uma forma geral, os líquidos percolados, também chamados de percolado ou lixiviado, são aqueles que compõem a fase líquida do aterro sanitário. São formados pelas águas das chuvas que caem sobre o aterro, bem como águas de nascentes que percolam através dos resíduos e incluem o chorume, originado da decomposição da matéria orgânica. Esses líquidos, juntamente com os gases, ocupam os interstícios existentes na fase sólida. Os termos “chorume”, “percolado” ou “lixiviado” serão utilizados nesta dissertação de forma indiferenciada.

O volume do líquido percolado depende de vários fatores como: precipitação pluviométrica na área do aterro, evapotranspiração, escoamento superficial e/ou infiltração subterrânea, umidade natural do lixo, grau de compactação e capacidade do solo em reter umidade.

As características físicas, químicas e biológicas do chorume dependem do tipo de resíduo aterrado, do grau de decomposição, clima, estação do ano, idade do aterro, profundidade do resíduo aterrado e tipo de operação do aterro, entre outros. Assim, pode-se afirmar que a composição dos líquidos percolados pode variar

consideravelmente de um local para outro, como também em um mesmo local e entre uma e outra época do ano (REINHART & GROSH, 1998).

O chorume é um líquido de alto poder poluidor, de composição bastante heterogênea: possui uma elevada Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO₅ (de até 60.000 mg O₂/l), Demanda Química de Oxigênio – DQO (de até 90.000 mg O₂/l), metais pesados e altas concentrações de bactérias coliformes (fecais ou termotolerantes e totais) indicadores de contaminação fecal (SISINNO & OLIVEIRA, 2000).

O chorume dos resíduos recém-dispostos (lixo novo) é de qualidade diferente do resultante dos resíduos que já se encontram há mais tempo depositados (lixo velho). Pode-se notar, por exemplo, através do pH, que no princípio tende a ser ácido, passando para a faixa alcalina em chorume de lixo velho, bem como a DBO₅ e a DQO que, inicialmente são altas e tendem a decrescer drasticamente com o passar do tempo como resultado da biodegradação da matéria orgânica (PHILIPS *et al.*, 1994 *apud* SISINNO & OLIVEIRA, 2000).

Os principais componentes do chorume podem ser reunidos em quatro grupos (BATSTONE, 1989):

- cátions e ânions, como: Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Fe⁺⁺, Na⁺, amônia, carbonatos, sulfatos e cloretos;
- metais traços: Mn, Cr, Ni, Pb, Cd, entre outros;
- compostos orgânicos variados, usualmente medidos como: Carbono Orgânico Total (COT), DQO e DBO₅;
- microrganismos, tais como bactérias, fungos, protozoários, helmintos e vírus, entre outros (GERBA, 1996).

A Tabela 1.1 apresenta a origem de alguns íons presentes no chorume e a Tabela 1.2 apresenta os valores e faixas de variação mais frequentes de alguns dos parâmetros de qualidade analisados em aterros sanitários para caracterizar o chorume, de acordo com diferentes autores.

Devido às altas concentrações de matéria orgânica e de metais pesados, assim como às grandes variações de suas concentrações, o chorume causa sérios problemas ambientais e de saúde pública. A contaminação das águas superficiais e subterrâneas pelos líquidos percolados é um dos maiores problemas ambientais atuais, sendo que o uso destas poderá ficar comprometido por longo tempo (SISINNO & OLIVEIRA,

2000). Quanto à população, os danos estão relacionados com a ingestão de alimentos irrigados com águas contaminadas, água contaminada e com o contato direto com o chorume.

Tabela 1.1 – Origens de alguns íons encontrados no chorume

| Íons | Origem |
|--|--|
| Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} | Material orgânico, entulhos de construção, cascas de ovos e outros alimentos |
| PO_4^{-3} , NO_3^- , CO_3^{-2} | Material orgânico de diversas origens |
| Cu^{+2} , Fe^{+2} , Sn^{+2} | Material eletrônico, latas, tampas de garrafas |
| Hg^{+2} , Mn^{+2} | Pilhas comuns e alcalinas, lâmpadas fluorescentes |
| Ni^{+2} , Cd^{+2} , Pb^{+2} | Baterias recarregáveis (celular, telefone sem fio, automóveis) |
| Al^{+3} | Latas descartáveis, utensílios domésticos, cosméticos, embalagens laminadas em geral |
| Cl^- , Br^- , Ag^- | Tubos de PVC, negativos de filmes e raios X |
| As^{+3} , Sb^{+3} , Cr^{+3} | Embalagens de tintas, vernizes, solventes orgânicos |

Fonte: SEGATO (2000)

Tabela 1.2 – Valores mínimos e máximos de alguns parâmetros de qualidade do chorume

| Parâmetros | Pohland & Harper (1985) | South Florida Landfills (1987) | Ehrig (1989) | Qasim & Chiang (1994) |
|---|----------------------------|-----------------------------------|-----------------|--------------------------|
| pH | 4,7 - 8,8 | 6,1 - 7,5 | 4,5 - 9,0 | 5,2 - 6,4 |
| DBO ₅ (mg O ₂ /l) | 4 - 57.700 | - | 20 - 40.000 | 80 - 28.000 |
| DQO (mg O ₂ /l) | 31 - 71.700 | 530 - 3.000 | 500 - 60.000 | 400 - 40.000 |
| Cloro (mg/l) | 30 - 5.000 | 112 - 2.360 | 100 - 5.000 | 70 - 1330 |
| Amônia (mg/l) | 2 - 1.030 | 9,4 - 1.340 | 30 - 3.000 | 56 - 482 |
| Fósforo Total (mg/l) | 0,2 - 120 | 1,5 - 130 | 0,1 - 30 | 8 - 35 |
| Ferro (mg/l) | 4 - 2.200 | 1,8 - 22 | 3 - 2.100 | 0,6 - 325 |
| Cádmio (mg/l) | 70 - 3.900 | < 0,005 | < 0,05 - 0,140 | < 0,05 |
| Chumbo (mg/l) | 0,001 - 1,44 | < 0,105 | 0,008 - 1,020 | 0,5 - 1,0 |
| Zinco (mg/l) | 0,06 - 220 | - | 0,03 - 120 | 0,1 - 30 |

Fonte: REINHART & GROSH (1998)

Quanto maior o conhecimento da composição do chorume em relação ao tempo de aterramento, a profundidade da célula e a precipitação pluviométrica, entre outros, maiores serão as condições de escolha da melhor forma de tratamento, diminuindo ou até evitando impactos negativos ao meio ambiente e à saúde pública.

1.2 - Alguns fatores que influenciam na composição do chorume

A variação da qualidade do chorume produzido em um aterro de resíduos sólidos é determinada pela composição dos resíduos, pela profundidade das células do aterro, pela idade do lixo, quantidade de umidade e de oxigênio disponível, entre outros fatores. Todos estes fatores influenciam diretamente na sua composição e, sendo assim, o chorume produzido em cada célula do aterro terá uma composição própria (REINHART & GROSH, 1998).

1.2.1 - Composição do Lixo

Os resíduos sólidos municipais depositados em aterros sanitários possuem uma composição bastante heterogênea, que vai desde a matéria orgânica, alta DBO (até 60.000mg/l) e DQO (até 90.000mg/l) até materiais como lâmpadas e baterias com elevadas concentrações de metais pesados (cádmio, chumbo, lítio, mercúrio) (Tabela 1.2).

Devido à grande variedade de resíduos sólidos aterrados e à diversidade de fatores intervenientes, suposições gerais não podem ser feitas sobre a relação composição dos resíduos e qualidade do chorume, sendo importante caracterizar o chorume de cada aterro.

1.2.2 - Profundidade do Lixo

A espessura da massa de lixo aterrado é importante na qualidade do chorume captado nas diferentes profundidades das células. À medida que a água percola através do aterro carrega o percolado do lixo, o qual tende a aumentar a concentração dos diferentes parâmetros nos pontos mais profundos (McBEAN *et al.*, 1995).

Entretanto, MELO *et al.* (2002) estudaram o grau de contaminação ao longo da profundidade em uma célula antiga (16 anos) do Aterro da Muribeca (PE), onde amostras líquidas e sólidas de diferentes profundidades foram coletadas a partir de sondagem à percussão (SPT), tendo como objetivo a análise dos agentes tóxicos por meio de testes de fitotoxicidade. Esses testes consistiram em semear sementes de tomate (*Lycopersicon lycopersicum*) e repolho (*Brassica oleraceae*) e observar a quantidade de sementes germinadas assim como o comprimento da raiz, e, então calculou-se o índice de germinação (%) e o crescimento médio da raiz (%). Os resultados mostraram que, com o aumento da profundidade havia aumento gradativo do índice de germinação, tanto para o chorume como para o resíduo sólido, indicando um material menos tóxico em profundidades mais elevadas, assim como maior disponibilidade de nutrientes. De acordo com os autores, o desaparecimento da toxicidade com o aumento da profundidade pode ser indicador da maturidade da massa de lixo depositada na célula.

1.2.3 - Umidade

A umidade é provavelmente o fator de maior influência na estabilização do lixo e na qualidade do chorume. A literatura recomenda desde um mínimo de 25% até a umidade ótima de 40 a 70% (BARLAZ *et al.*, 1990; CHEN & BOWERMAN, 1974).

Segundo CHUGH *et al.* (1998) *apud* PIRES (2002), a umidade é essencial para transportar microrganismos, para estimular seu metabolismo e para mobilizar os produtos residuais. Na ausência de descarga líquida, os produtos residuais tendem a se acumular em concentrações tóxicas ao redor dos microrganismos. A umidade também é necessária para o transporte de nutrientes e transferência de calor. Assim, o fluxo de umidade através de um aterro estimula a atividade microbiana de biodegradação; fornecendo melhor acesso dos substratos insolúveis e dos nutrientes solúveis aos microrganismos. O teor de umidade e o movimento de umidade são variáveis separadas, afetando a metanogênese do aterro. O fluxo de umidade através de um leito de resíduos aumenta a taxa de produção de metano de 25 a 50% em relação ao mesmo teor de umidade, sem fluxo. Este aumento da taxa metanogênica é atribuído a uma distribuição mais uniforme dos nutrientes, aos precursores metanogênicos e ao acerto do pH.

1.2.4 - Oxigênio Disponível

A quantidade de oxigênio livre ou molecular (O_2) em um aterro determina o tipo do processo metabólico de decomposição (anaeróbio ou aeróbio). A decomposição aeróbia ocorre naturalmente durante o aterramento inicial do lixo enquanto o oxigênio molecular ainda está disponível. Durante a decomposição aeróbia, os microrganismos degradam a matéria orgânica até dióxido de carbono, água e resíduos orgânicos mais simples, produtos da degradação parcial, liberando considerável calor. Já na degradação anaeróbia, altas concentrações de ácidos orgânicos, amônia, hidrogênio, dióxido de carbono, metano e água são produzidos (MCBEAN *et al.*, 1995).

1.2.5 - Temperatura

A temperatura no aterro apresenta-se bastante variável e não é dependente da temperatura ambiental nem de suas flutuações, sendo portanto um fator incontrolável nas células, e influencia bastante nos processos metabólicos de biodegradação (LU *et al.*; 1985).

A temperatura é um fator de grande importância na digestão anaeróbia, pois afeta os processos biológicos de diferentes maneiras. Dentre seus principais efeitos incluem-se as alterações na velocidade do metabolismo das bactérias, o equilíbrio iônico e a solubilidade dos substratos (FORESTI, 1987).

Devido ao fato da temperatura afetar diretamente o crescimento e a sobrevivência dos microrganismos, estes são classificados em: psicrófilos (0 a 20°C); mesófilos (20 a 45°C) e termófilos (45 a 70°C). Embora a produção de metano pode ocorrer numa faixa bastante ampla de temperatura (0 a 97°C), cada grupo de bactérias tem temperatura ótima de metabolismo, onde a velocidade de transformação da matéria orgânica ou taxa metabólica é a máxima possível nessas condições ambientais. Dois níveis ótimos de temperatura têm sido associados à digestão anaeróbia, um na faixa mesófila (30 a 35°C) e o outro na faixa termófila (50 a 55°C) (CHERNICHARO, 1997). Desvios dessas faixas, seja para menos ou para mais, diminuirão a taxa do metabolismo microbiano, alterando a produção de enzimas, degradando-as e chegando até a produzir sua inativação (PELCZAR, 1996).

A temperatura influencia também na solubilidade de alguns sais (quanto maior a temperatura, maior a solubilidade), enquanto outros tornam-se mais insolúveis e precipitam, tais como o CaCO_3 e CaSO_4 (LU *et al.*, 1985).

O efeito da espessura do aterro, condições de degradação (aeróbia ou anaeróbia), composição, umidade, entre outros fatores podem alterar a temperatura medida na massa de resíduos.

1.2.6 - Idade do Aterro

O tempo de aterramento influi sobre a qualidade do chorume, de forma que o seu potencial poluidor apresenta-se inversamente proporcional ao tempo de aterramento. A quantidade de substâncias químicas no lixo é finita e, a qualidade do chorume alcança um limite de diversidade de seus componentes depois de aproximadamente dois ou três anos, seguidos pelo declínio gradual nos anos seguintes. Geralmente o chorume de aterros novos tem altas DBO_5 e DQO, que diminuirão, estabilizando-se depois de aproximadamente 10 anos (MCBEAN *et al.*, 1995; LU *et al.*, 1985).

Todos os contaminantes não atingem os picos máximos e mínimos de concentrações ao mesmo tempo. Devido à maior facilidade natural de biodegradação de numerosos compostos orgânicos, estes diminuem mais rapidamente que os inorgânicos ou que os orgânicos recalcitrantes (DeWALLE, 1978). Os compostos inorgânicos são removidos apenas pelo efeito da infiltração da água da chuva que os solubiliza (QASIM & CHIANG, 1994). Para os compostos orgânicos, entretanto, sua diminuição ocorre através da decomposição e biotransformação como também pela infiltração e lixiviação da água da chuva.

1.3 - Influência da precipitação pluviométrica na formação dos líquidos percolados

Dentre os diversos fatores que contribuem para a qualidade e a quantidade do chorume, a precipitação pluviométrica é importante na qualidade e quantidade do percolado a ser produzido pelo aterro. Nos meses de alto índice pluviométrico, observa-se um aumento considerável na quantidade dos líquidos percolados, sendo a água o

principal fator de sua formação, entretanto, em locais onde a evapotranspiração supera a precipitação pouco ou nenhum líquido percolado será formado.

A estimativa do volume dos líquidos percolados gerados em um aterro sanitário é fundamentada no balanço hídrico, que consiste na soma das parcelas de água que entram e na subtração das parcelas que deixam a célula do aterro, como ilustra a Figura 1.1.

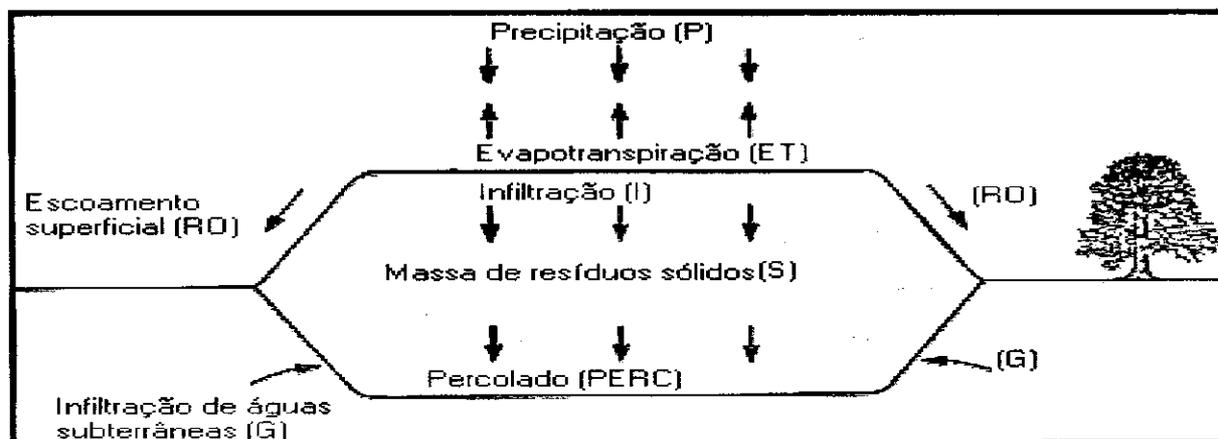


Figura 1.1 – Balanço hídrico em uma célula de aterro sanitário (FARQUHAR, 1988)

São parcelas de água que entram no aterro: a precipitação pluviométrica e o fluxo do lençol freático que atinge a massa de resíduos. As parcelas perdidas pelo aterro ocorrem através do escoamento superficial, evaporação e transpiração das plantas (Equação 1.1) (FARQUHAR, 1988).

$$\text{PERC} = P - \text{RO} - \text{ET} + G \quad (\text{Eq. 1.1})$$

Onde:

PERC = percolado

P = precipitação

RO = escoamento superficial

ET = evapotranspiração

G = infiltração de águas subterrâneas

1.4 - Influência da degradação dos resíduos sólidos nas características físicas, químicas e microbiológicas do chorume

Após a disposição dos resíduos no aterro, ocorre o início do processo de biodegradação – sequência de reações físicas, químicas e biológicas – com a formação do chorume e de biogás, principalmente o metano.

Para uma melhor caracterização da composição qualitativa dos líquidos percolados gerados em um aterro, é importante o conhecimento da fase do processo de degradação anaeróbia em que a matéria orgânica aterrada se encontra, uma vez que as características de cada fase influenciam diretamente na qualidade do percolado ao longo do processo de estabilização (CASTRO, 2001).

A composição do chorume é, também, função da idade do aterro. As taxas e características da produção de líquidos percolados e biogás gerados variam ao longo do processo de biodegradação e refletem o processo que acontece dentro do aterro. A duração desses estágios depende das condições físicas, químicas e microbiológicas que se desenvolvem dentro do aterro ao longo do tempo (POHLAND *et al.*, 1985)

De acordo com POHLAND e GOULD (1986) nenhum aterro apresenta uma única fase ou uma sequência ordenada de fases de degradação, existindo um conjunto simultâneo de diferentes fases e idades, cujo desenvolvimento pode variar de acordo com as condições físicas, químicas e biológicas, associadas às células do aterro (MERBACH JR., 1989).

O processo de degradação anaeróbia ocorre naturalmente em um aterro sanitário, comportando-se como um reator anaeróbio. A digestão anaeróbia ocorre em quatro fases (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994; CHERNICHARO, 1997) descritas a seguir e ilustradas na Figura 1.2.

Hidrólise – nesta etapa, o material orgânico complexo é convertido em compostos dissolvidos através de exo-enzimas hidrolíticas excretadas pelas bactérias heterótrofas. As proteínas são degradadas em (poli)peptídeos para depois transformarem-se em aminoácidos; os carboidratos são transformados em açúcares solúveis (mono e dissacarídeos) e os lipídios são convertidos em ácidos graxos de longa cadeia de carbono (C₁₅ a C₁₇) e glicerina.

Acidogênese – nesta etapa, as bactérias fermentativas assimilam os compostos dissolvidos, gerados no processo de hidrólise e os transformam, excretando substâncias orgânicas simples como ácidos graxos voláteis (AGV), álcoois, ácido láctico e compostos inorgânicos como CO₂, H₂, NH₃, H₂S entre outros.

Acetogênese – nesta fase ocorre a conversão dos produtos da acidogênese em compostos que formam os substratos para produção de metano: acetato, hidrogênio e dióxido de carbono.

Metanogênese – ocorre a formação do metano através da descarboxilação do acetato pelas bactérias metanogênicas acetotróficas (arqueo acetogênicas), e da hidrogenação de dióxido de carbono pelas bactérias arqueo-metanogênicas hidrogenotróficas.

Participam do processo de degradação anaeróbia numerosas bactérias, sendo que apenas algumas foram identificadas (BIDONE & POVINELLI, 1999):

Bactérias heterótrofas fermentativas – são importantes nos dois estágios iniciais da digestão anaeróbia. São responsáveis pela produção de enzimas que, liberadas no meio, hidrolisam os compostos de cadeia complexa (celulose, hemicelulose, pectina) e os transformam em compostos moleculares de cadeias simples. Esses últimos são fermentados, resultando em uma variedade de produtos como etanol, butiratos, acetatos e propionatos, de menor peso molecular.

Bactérias arqueo acetogênicas produtoras de hidrogênio – consideradas essenciais à degradação anaeróbia, estas bactérias fermentam ácidos voláteis transformando-os em hidrogênio e acetato.

Bactérias arqueo acetogênicas consumidoras de H₂ ou homoacetogênicas – fermentam um amplo espectro de compostos de um carbono e ácido acético, precursores do metano.

Bactérias arqueo metanogênicas – formam um grupo especial, composto de várias espécies com diferentes formas celulares, reunidas atualmente no domínio das arqueobactérias metanogênicas anaeróbias estritas. Obtêm energia para o crescimento e formação do metano por meio de mecanismos ainda não inteiramente conhecidos. Considera-se que o pH ideal para o seu crescimento e produção enzimática situa-se entre 6,8 e 7,2, podendo variar entre as espécies.

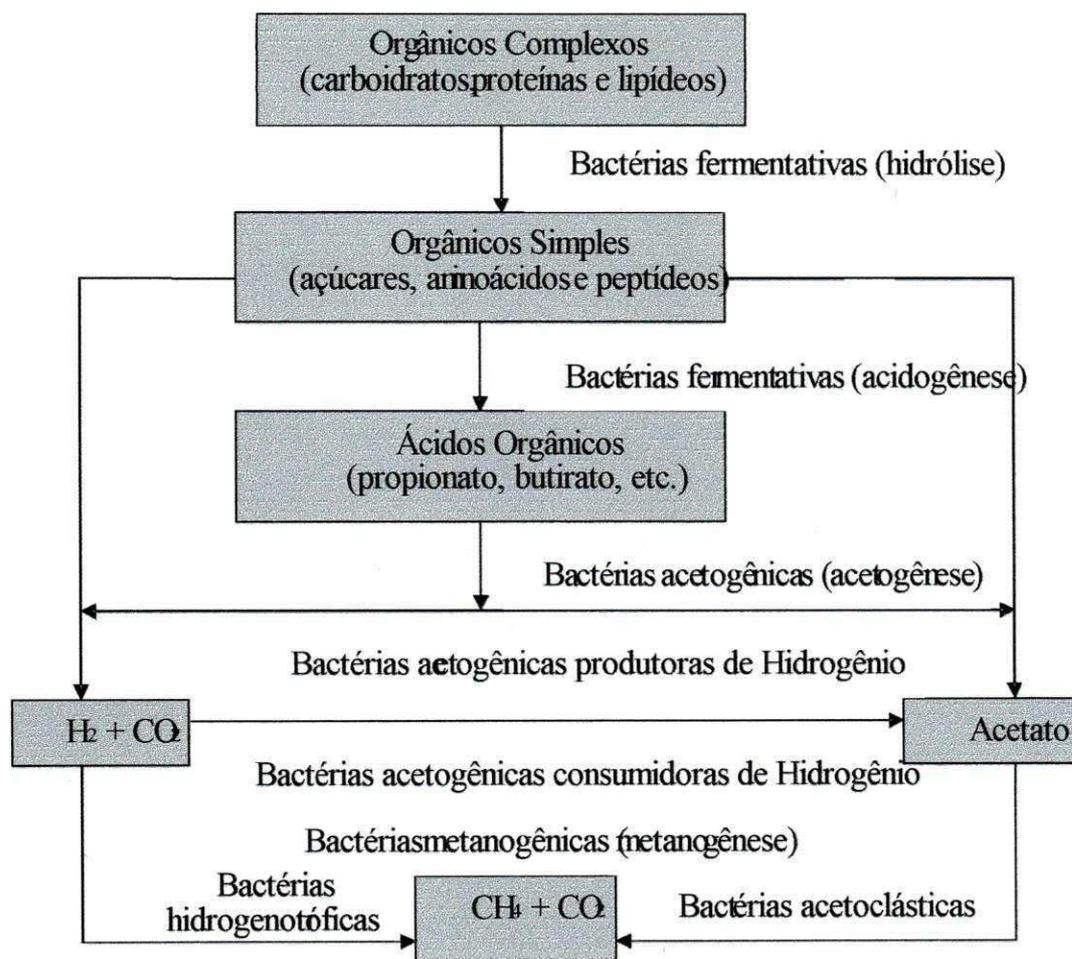


Figura 1.2 – Etapas da digestão anaeróbia (CHERNICHARO, 1997)

FARQUHAR e ROVERS (1973) *apud* SCHALCH (1992) estudaram as etapas da degradação da matéria orgânica no caso específico de substratos sólidos confinados em aterros sanitários. De acordo com estes autores, são as seguintes as fases da degradação:

Fase I – aeróbia: o oxigênio se encontra presente como um componente de ar, permanecendo assim durante vários dias, até que, em função da cobertura diária do lixo, passem a vigorar as condições anaeróbias, sendo o dióxido de carbono o principal gás produzido;

Fase II – anaeróbia não metanogênica: começam a predominar as condições anaeróbias com um aumento significativo na produção das quantidades de dióxido de carbono e hidrogênio; simultaneamente há acentuado decréscimo de oxigênio livre, que tende a 0 (zero);

Fase III – anaeróbia metanogênica e instável: é caracterizada pela primeira evidência de produção de metano, havendo em consequência, redução nas produções de dióxido de carbono e hidrogênio;

Fase IV – anaeróbia metanogênica e estável: as produções dos gases metano e dióxido de carbono atingem uma composição constante, o que sugere, segundo os autores, que na massa de resíduos que está sendo degradada, estejam prevalecendo as atividades das metanobactérias.

POHLAND e GOULD (1986) acrescentaram uma quinta fase ao modelo apresentado por FARQUAR e ROVERS (1973), denominada “maturação final”. A Figura 1.3 ilustra a variação de alguns parâmetros durante as fases de estabilização da matéria orgânica em um aterro sanitário. São as seguintes as fases de estabilização:

Fase I – ajustamento inicial: esta fase está associada com a disposição inicial dos resíduos sólidos e com a acumulação de umidade dentro do aterro. Durante o primeiro estágio de decomposição, microrganismos aeróbios degradam a matéria orgânica para CO_2 , H_2O e os resíduos orgânicos particulados, produzindo considerável calor. Como apenas uma quantidade finita de oxigênio é aterrada juntamente com o lixo e há limitações no transporte do ar dentro do aterro, então a decomposição aeróbia é responsável apenas por uma pequena parcela da biodegradação dentro do aterro. O chorume produzido durante esta fase inicial é provavelmente resultado da umidade aterrada com o lixo durante a compactação e construção das células.

Fase II – transição: ocorre a transformação do ambiente aeróbio para anaeróbio, como evidencia a depleção de oxigênio dentro do aterro. A tendência para as condições de redução é estabelecida de acordo com a mudança de elétrons aceptores de oxigênio para nitratos e sulfatos e a substituição do oxigênio por dióxido de carbono. No fim desta fase, concentrações de DQO (480 a 18.000mg O_2/l) e ácidos orgânicos voláteis (AOV) (100 a 3000mg/l) podem ser detectadas no chorume.

Fase III – formação de ácidos: o processo de biodegradação anaeróbia da fase ácida é realizado por uma população mista de bactérias anaeróbias estritas e facultativas. Bactérias anaeróbias facultativas ajudam na quebra de materiais e na redução do potencial redox para que as bactérias metanogênicas possam crescer. Queda nos valores de pH é freqüentemente observada, resultando em um chorume agressivo quimicamente. As mais altas concentrações de DBO_5 (1.000 a 57.700 mg O_2/l), DQO

(1.500 a 71.100 mg O₂/l) ocorrem durante esta fase de formação de ácidos. Crescimento da biomassa associada a formação de ácidos (bactérias acidogênicas) e o rápido consumo de substratos e nutrientes são as características principais desta fase.

Fase IV – fermentação metanogênica: a transição da fase de formação ácida para a fase de fermentação metanogênica ocorre de 4 a 10 anos depois da instalação do depósito de lixo e pode continuar por um período de vários anos. Durante a fase IV, ácidos intermediários são consumidos pelas bactérias metanogênicas e convertidos em metano e dióxido de carbono. Condições de redução correspondentes a esta fase irão influenciar na solubilidade dos compostos inorgânicos, resultando na precipitação ou dissolução desses constituintes. Por exemplo, sulfatos e nitratos são reduzidos para sulfitos e amônia, respectivamente. Concentrações de DBO e DQO declinam a medida que muitos desses materiais são convertidos para gás. Uma pequena porção de lixo contendo compostos orgânicos recalcitrantes (ex.: lignina) não é degradada e permanece no aterro por mais tempo. O pH é elevado sendo controlado pelo sistema tampão do bicarbonato e conseqüentemente suporta o crescimento de bactérias metanogênicas. O metabolismo metanogênico é relativamente lento, mas eficiente, no decorrer de muitos anos (entre 1 e 5 anos). Metais pesados são removidos por complexação e precipitação.

Fase V – maturação final: durante o estágio final de estabilização em aterros, nutrientes e substratos disponíveis tornam-se limitados e a atividade biológica é reduzida. A produção de gás diminui e o chorume permanece com concentrações mais baixas. Oxigênio e espécies oxidativas podem reaparecer vagarosamente. Contudo, a lenta degradação de frações orgânicas resistentes pode continuar com a produção de substâncias húmicas. A Tabela 1.3 apresenta os valores de alguns parâmetros de avaliação da qualidade do chorume durante as fases ácida e metanogênica.

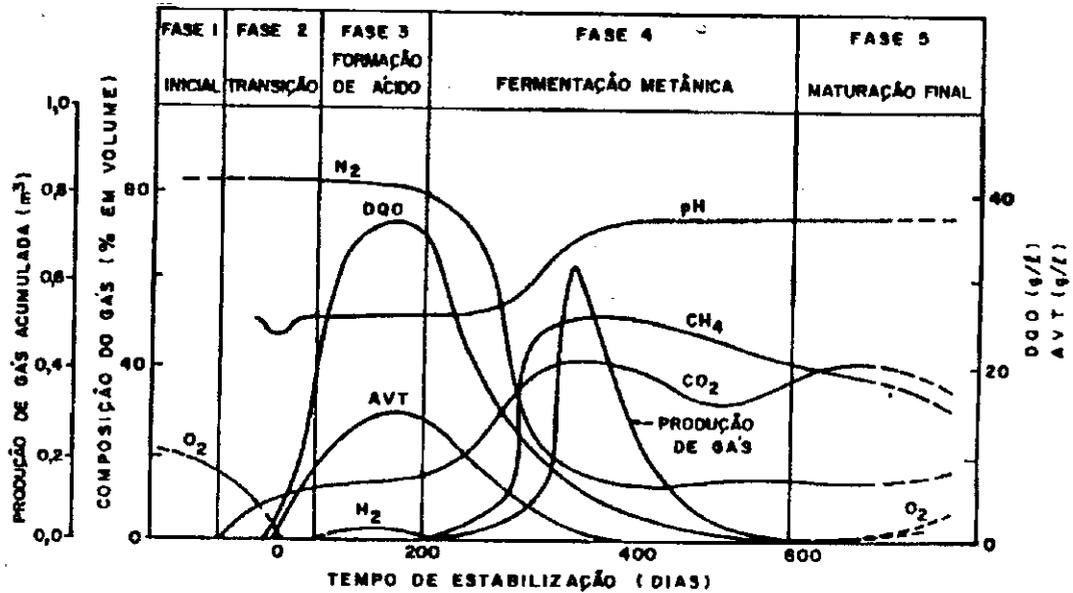


Figura 1.3 – Variação de alguns parâmetros durante as fases de estabilização da matéria orgânica (POHLAND & GOULD, 1986)

Tabela 1.3 – Valores de alguns parâmetros de caracterização do chorume durante as fases ácida e metanogênica

| Parâmetro | Fase ácida | | Fase metanogênica | |
|--|------------|----------------|-------------------|-------------|
| | Média | Faixa | Média | Faixa |
| pH | 6,1 | 4,5 – 7,5 | 8 | 7,5 – 9 |
| DBO ₅ (mg O ₂ /l) | 13.000 | 4.000 – 40.000 | 180 | 20 – 550 |
| DQO (mg O ₂ /l) | 22.000 | 6.000 – 60.000 | 3.000 | 500 – 4.500 |
| Sulfato (mg SO ₄ ⁼ /l) | 500 | 70 – 1.750 | 80 | 10 – 420 |
| Cálcio (mg Ca ⁺⁺ /l) | 1.200 | 10 – 2.500 | 60 | 20 – 600 |
| Magnésio (mg Mg ²⁺ /l) | 470 | 50 – 1.150 | 180 | 40 – 350 |
| Ferro (mg/l) | 780 | 20 – 2.100 | 15 | 3 – 280 |
| Manganês (mg/l) | 25 | 0,3 – 65 | 0,7 | 0,03 – 45 |

Fonte: PALMISANO & BARLAZ (1996)

1.4.1 - Fatores que afetam a digestão anaeróbia

Visto que a digestão anaeróbia é o principal processo microbiológico que ocorre num aterro sanitário e portanto na formação do chorume, é importante considerar os fatores físicos, químicos e biológicos que afetam a mesma, tais como temperatura, pH, teor de umidade e concentração de metais pesados, entre outros.

A digestão anaeróbia depende fortemente da temperatura. MCCARTY (1964) *apud* MERBACH (1989), estudando a metanogênese em reatores com lodos de estações de tratamento de esgotos, verificou que em temperaturas biologicamente altas, as reações processavam-se rapidamente, com aumento da eficiência do processo. Os organismos metanogênicos desenvolvem-se naturalmente em duas faixas de temperatura, a mesofílica (30 a 40°C) e a termofílica (50 a 60°).

Para uma maior eficiência do processo de digestão anaeróbia, o pH deve estar compreendido entre 6,3 e 7,8; nesta faixa ocorre uma elevada taxa de metanogênese. As populações para a fermentação ácida são muito menos sensíveis para valores baixos ou altos do pH. Dessa maneira, quando ocorre um desbalanceamento no sistema, tem-se o acúmulo de ácidos voláteis, caso a capacidade tampão determinada em sua maior parte pela alcalinidade a bicarbonato não seja suficiente para a neutralização. Nesse caso, ocorrerá queda do pH, provocando um desbalanceamento maior, prevalecendo a fermentação ácida sobre a fermentação metanogênica (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994; BIDONE e POVINELLI, 1999).

A umidade exerce importante papel na metanogênese de aterros sanitários, pois, além de suprir as necessidades dos microrganismos através da mobilização de nutrientes e substratos, possibilita o transporte de enzimas e outros produtos microbianos por todo o sistema. Contudo, a umidade isoladamente não se constitui fator fundamental, mas deve-se considerar a necessidade de associação com outros parâmetros como temperatura, pH, compactação e composição do lixo (MERBACH, 1989). Até um determinado nível de umidade pode haver estímulo de produção de gás, no entanto infiltrações excessivas podem causar retardamento na produção. Isso pode ser devido ao favorecimento da fermentação ácida da matéria orgânica, com liberação de grandes

quantidades de ácidos graxos voláteis, determinando a inibição do processo metanogênico.

Os metais pesados em certas concentrações podem inibir ou estimular o processo de digestão anaeróbia. O conceito de toxicidade é visto como relativo, uma vez que depende de fatores que vão desde a concentração da substância, pH, temperatura, até a presença de outros compostos (POVINELLI, 1987 *apud* MERBACH, 1989).

1.5 - Caracterização do Chorume

O estudo da composição qualitativa do chorume é de grande importância para o conhecimento do nível de contaminação que o aterro pode provocar no meio ambiente, permitindo avaliar o processo de biodegradação que ocorre no aterro, além de fornecer subsídios para escolha da melhor forma de tratamento para esses líquidos. Para caracterizar o chorume, deve ser analisada uma série de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos.

1.5.1 - Parâmetros físicos e químicos

Potencial Hidrogeniônico – pH, representa o equilíbrio entre íons H^+ e íons OH^- . O comportamento do pH está diretamente relacionado à degradação anaeróbia dos resíduos, uma vez que durante as fases de hidrólise e acidogênese, o pH tende a ser ácido devido à formação de ácidos orgânicos e dióxido de carbono. Em seguida vem a fase acetogênica, que converte os produtos da acidogênese em substratos para a formação do metano (acetato, hidrogênio e dióxido de carbono). Como na fase metanogênica estes compostos serão metabolizados por bactérias metanogênicas, mantendo baixa as concentrações de ácidos orgânicos, o pH tende a aumentar, ficando próximo ao neutro (faixa ideal para bactérias metanogênicas de 6,3 a 7,8) (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994; BIDONE e POVINELLI, 1999)

O pH deveria ser ácido nas células contendo resíduos mais recentes e básico nas células mais antigas, que já estariam na fase metanogênica de degradação, porém isto nem sempre é verificado uma vez que dentro de uma mesma célula ocorrem

simultaneamente várias fases de decomposição, devido às diferentes idades dos resíduos aterrados.

Alcalinidade - é a medida da capacidade dos íons presentes em uma água capazes em neutralizar ácidos. A alcalinidade pode ser devido a bicarbonatos, carbonatos ou hidróxidos, sendo a maior contribuição devido a bicarbonatos (SAWYER, McCARTY, PARKIN, 1994)

DBO₅ - a Demanda Bioquímica de Oxigênio é definida como a quantidade de oxigênio requerida pelas bactérias para estabilizar a matéria orgânica em condições aeróbias (SAWYER, McCARTY, PARKIN, 1994). Representa a quantidade de matéria orgânica presente no lixo, podendo chegar a valores altos como 57.700mg O₂/l (POHLAND & HARPER, 1985), entretanto esses valores tendem a diminuir com o avanço da idade do aterro.

DQO - a Demanda Química de Oxigênio (DQO) é a quantidade de oxigênio necessária à oxidação química da matéria orgânica, através de um agente químico (dicromato de potássio). À medida que a idade do aterro aumenta e os resíduos são degradados, as concentrações de DBO₅ e DQO decrescem. Entretanto, a DBO₅ decresce mais rápido enquanto que a DQO ainda permanece no chorume devido à matéria orgânica dificilmente degradável. Através da relação DBO₅/DQO, pode-se determinar o estágio de decomposição em que o aterro se encontra. De acordo com TCHOBANOGLOUS, THEISEN, VIGIL (1993) aterros novos possuem relação DBO₅/DQO na ordem de 0,7 enquanto que em aterros antigos esta relação se aproxima de 0,2. CHEN (1996) estudou nove aterros na região central de Taiwan e observou que a relação DBO₅/DQO diminuía rapidamente em aproximadamente 1 ano, mantendo um nível relativamente constante ao longo dos anos seguintes. O Aterro Sanitário de Futekeng em Taiwan inicialmente tinha concentrações entre 0,6 e 0,8, depois de 5 anos de operação os valores de DBO₅/DQO caíram para 0,2-0,4.

1.5.2 - Metais Pesados

Os metais pesados são aqueles que têm densidade maior que 5g/cm³. São comumente utilizados na indústria e podem, se presentes em elevadas concentrações, retardar ou inibir o processo biológico aeróbio ou anaeróbio de biodegradação. Alguns

metais (As, Co, Cr, Cu, Se e Zn) são essenciais aos organismos em pequenas quantidades, enquanto outros não desempenham qualquer função no metabolismo, sendo tóxicos aos organismos vivos (SISINNO & OLIVEIRA, 2000).

As concentrações dos metais presentes no chorume de resíduos domésticos são relativamente baixas, aumentando caso haja o despejo de resíduos industriais. As concentrações variam de acordo com a fase de decomposição do lixo, sendo maiores durante a fase de fermentação ácida – quando estes elementos estarão mais solúveis – e menores na fase final de estabilização, onde o pH normalmente é mais básico (RAY e CHAN, 1986).

Na Tabela 1.4 apresentam-se alguns metais freqüentes no chorume de resíduos domésticos e suas faixas de variação.

Tabela 1.4 – Faixas de variação de alguns metais pesados do chorume de resíduos domésticos

| Elemento | Concentrações (mg/l) |
|-----------------|-----------------------------|
| Cádmio | 0,007 – 0,15 |
| Chumbo | 0,005 – 1,60 |
| Cobalto | 0,004 – 0,13 |
| Cobre | 0,003 – 2,80 |
| Cromo | 0,0005 – 1,90 |
| Ferro | 0,22 – 2.820,00 |
| Manganês | 0,003 – 79,00 |
| Mercúrio | 0,0001 – 0,01 |
| Níquel | 0,02 – 2,20 |
| Zinco | 0,03 – 350,00 |

Fonte: RAY e CHAN (1986)

Em um estudo sobre os teores de metais pesados no chorume do lixo urbano, ROUSSEAU *et al.* (1989) *apud* SISINNO & OLIVEIRA (2000) observaram que os plásticos são uma importante fonte de cádmio e níquel; o chumbo e o cobre se manifestam em quantidades consideráveis nos metais ferrosos; o papel contém mercúrio; a borracha representa uma grande fonte de zinco e as pilhas são grandes

contribuintes de mercúrio, cádmio, zinco e níquel à massa de lixo. A seguir, citam-se alguns dos metais pesados mais freqüentemente presentes no chorume.

Cádmio (Cd) - com densidade $8,6\text{g/cm}^3$, é utilizado em indústrias de galvanoplastia, na fabricação de baterias, em tubos de televisão, lâmpadas fluorescentes; é utilizado, também, como pigmento e estabilizador de plásticos polivinílicos. As águas não poluídas contêm menos do que $1\mu\text{g/l}$ de Cd e, no caso de contaminação das águas superficiais, esta ocorre por descarga de resíduos industriais e lixiviação de aterros sanitários, ou de solos que recebem lodo de esgoto. As principais vias de exposição ao Cd são os alimentos, a água para o consumo humano, ar, cigarros e exposição industrial.

Chumbo (Pb) - com densidade de $11,34\text{g/cm}^3$. A contaminação do solo por chumbo pode ocorrer de forma natural ou geológica e principalmente por atividades humanas. O chumbo é utilizado largamente na fabricação de tintas, em corantes, na produção de cerâmica e na indústria gráfica, entre outros. É um metal que tem efeito cumulativo no organismo, provocando uma doença crônica chamada saturnismo. Os efeitos da intoxicação por chumbo são: tontura, irritabilidade, dor de cabeça, perda de memória.

Cobre (Cu) - tem densidade de $8,96\text{g/cm}^3$. É essencial aos animais e vegetais. É tóxico em concentrações extremamente baixas. A ingestão desse metal pode acarretar no homem, irritação e corrosão da mucosa, problemas hepáticos, renais, irritação do sistema nervoso e depressão.

Cromo (Cr) - com densidade de $7,19\text{g/cm}^3$; é usado na fabricação de ligas metálicas empregadas na indústrias de transporte, construções e fabricação de tijolos e refratários; é utilizado, também, na indústria têxtil, fotográfica e de vidros. O Cr é um elemento essencial ao ser humano, que se mostra necessário para o metabolismo da glicose, lipídeos e para a utilização de aminoácidos em vários sistemas; parece ser importante, também, para a prevenção de diabete e arteriosclerose.

Manganês (Mn) - possui densidade de $7,43\text{g/cm}^3$; muito usado na manufatura do aço, de compostos químicos, pilhas, eletrodos para solda em ligas com o níquel e o cobre, na indústria de fertilizantes e fungicidas.

Zinco (Zn) - possui densidade de $7,14\text{g/cm}^3$; utilizado em materiais galvanizados, fios elétricos pigmentos para pinturas, cosméticos, produtos farmacêuticos, inseticidas, entre outros produtos industriais. O Zn é um elemento essencial aos seres vivos, com uma média diária necessária de 10 a 20 mg; tem função na síntese e metabolismo de

proteínas e ácidos nucléicos e na divisão mitótica das células. Este material tende a ser menos tóxico que os outros metais pesados, porém, os sintomas de toxicidade por Zn são vômitos, desidratação, dores de estômago, náuseas, desmaios e descoordenação dos músculos. O Zn mostra uma relação fortemente positiva sobre o Cd; a hipertensão induzida pelo Cd pode ser reduzida pelo Zn.

1.5.3 - Parâmetros Microbiológicos

A maioria dos microrganismos presentes no chorume é de heterótrofos e mesófilos e até termófilos com capacidade para sobreviver sob amplas faixas de temperatura. Dentre os microrganismos presentes no aterro, estão os patogênicos, ali depositados com o lixo doméstico através dos papéis higiênicos usados, fraldas descartáveis, resíduos fecais de animais domésticos, animais mortos e lodos de estações de tratamento de esgotos (GERBA, 1996). Estes microrganismos patogênicos são geralmente do trato entéricos (vírus, bactérias, cistos de protozoários e ovos de helmintos) ou patógenos oportunistas presentes em diferentes locais do corpo humano e até no próprio ambiente.

Os coliformes são bactérias do intestino dos animais homeotérmicos usados como indicadores do grau de contaminação fecal (CEBALLOS, 2000). GREW *et al.* (1970) *apud* GERBA (1996) relataram que as fezes de cachorros e gatos possuem concentrações de coliformes fecais de $2,3 \times 10^7$ UFC/g e $7,9 \times 10^6$ UFC/g respectivamente. Já as fezes humanas contêm entre 10^9 a 10^{11} UFC/g (MARA, 1976).

Os coliformes totais são bactérias presentes no intestino do homem e de animais de sangue quente, entretanto, podem também estar associados à vegetação e ao solo. Algumas espécies podem se multiplicar no solo ou na água. Os coliformes fecais, constituindo subgrupo das bactérias coliformes, são comumente utilizados como indicador de contaminação fecal, dada a sua ocorrência restrita em fezes humanas e de outros animais de sangue quente. A detecção dessas bactérias indica o risco da presença de organismos patogênicos (CARVALHO, 2001).

A Tabela 1.5, a seguir, ilustra as concentrações de coliformes fecais e totais em alguns tipos de resíduos.

Tabela 1.5 – Concentrações de organismos indicadores de contaminação fecal em alguns tipos de resíduos.

| | Organismos por grama | | |
|-------------------|----------------------|--------------------|-------------------|
| | Lodo de esgoto | Resíduo hospitalar | Resíduo municipal |
| Coliformes totais | $2,8 \times 10^9$ | $9,0 \times 10^8$ | $7,7 \times 10^8$ |
| Coliformes fecais | $2,4 \times 10^8$ | $9,0 \times 10^8$ | $4,7 \times 10^8$ |

Fonte: GERBA (1996)

A quantidade de bactérias varia de acordo com a idade e as características químicas do chorume. Com o aumento da idade aumenta a mortalidade bacteriana. Temperaturas altas e superiores a 50°C inibem a sobrevivência e o crescimento bacteriano, se estas forem mesofílicas. Entretanto, as concentrações de bactérias ainda são elevadas no chorume (de até 10^9 NMP/100ml) (GERBA, 1996).

OLIVEIRA (1997) *apud* CARVALHO (2001) caracterizou o chorume do lixão de Jangurussu – Fortaleza (CE) e observou concentrações de coliformes fecais entre $1,3 \times 10^4$ e $2,4 \times 10^6$ NMP/100ml, com valor médio de $5,8 \times 10^4$ NMP/100ml, já os coliformes totais variaram entre $4,3 \times 10^4$ e $1,2 \times 10^8$ NMP/100ml, com valor médio de $5,0 \times 10^6$ NMP/100ml.

LIMA *et al.*, (2000) estudaram o chorume do lixão do Roger na cidade de João Pessoa-PB, em três furos de sondagem (SPT), em zonas mais antigas e zonas mais recentes e obtiveram as seguintes variações: coliformes fecais entre 10^6 e 10^4 NMP/100g; *E. coli* entre 10^5 e 10^2 NMP/100g e estreptococos fecais 10^4 NMP/100g. A maior contaminação ocorreu na coluna de lixo mais nova, a qual apresentou estratificação crescente de CF e *E. coli* com a profundidade. Provavelmente, o escoamento do chorume desde as camadas superiores contribuiu com a pouca estratificação vertical da contaminação microbiana. A menor concentração de bactérias indicadoras de contaminação fecal nas colunas velhas evidencia a redução microbiana à medida que avança o processo de bioestabilização.

1.6 - Pesquisas de caracterização de chorume

PASCHOALATO (2000), analisou alguns parâmetros em líquidos percolados de dois aterros de Ribeirão Preto: Lixão de Serrana (em funcionamento entre 1978 e 1989) e Aterro de Dumont (atividades iniciadas em 1990), distintos nos aspectos geológicos, cronológicos e operacionais. No Lixão de Serrana foram monitorados 10 poços, enquanto que no Aterro de Dumont havia apenas um ponto de coleta. Todos os parâmetros analisados apresentaram variações significativas devido ao tipo de solo do local. O Lixão de Serrana possui formação cenozóica ou rochosa nas extremidades e formação arenosa na parte central do terreno. A maioria dos resultados, para o Lixão de Serrana, apresentou valores mais elevados nos líquidos coletados nas extremidades e menores sobre a formação arenosa da parte central (solo pouco permeável, líquidos percolados não sofrem diluição das águas pluviais). Também foi observado que os valores obtidos nas amostras coletadas no Aterro de Dumont tenderam a ser maior para quase todos os parâmetros, provavelmente devido à idade dos resíduos aterrados. A seguir, alguns resultados: a alcalinidade de bicarbonato teve, em 8 poços do Lixão de Serrana, valores entre 870 e 2.500mg/l e, em outros dois, de 8.043 e 9.367mg/l. Já para o Aterro de Dumont o valor foi de 4.630mg/l. O pH apresentou valores entre 6,5 e 7,9 (Lixão de Serrana) e 7,91 para o Aterro de Dumont, que indicam uma fase avançada de degradação da matéria orgânica. A DBO₅ variou entre 33 e 940 mg O₂/l nos dois aterros e a DQO entre 91 e 5.200mg O₂/l, que, junto com os valores de pH, confirmam a avançada fase de degradação (fase metanogênica); os maiores valores foram observados na parte central do lixão e no Aterro de Dumont. Os cloretos variaram entre 215 e 3.350mg/l. Quanto aos metais, apresentaram as seguintes variações: cobalto (0,006 a 2,106mg/l); cromo total (0,025 a 1,824mg/l), ferro (4,291 a 125,3mg/l), manganês (0,122 a 1,375mg/l), níquel (0,030 a 2,681mg/l) e zinco (0,001 a 5,970mg/l).

SEGATO (2000) caracterizou o chorume do Aterro da cidade de Bauru (SP). As amostras foram coletadas em um tanque de armazenamento, antes do chorume ser bombeado para tratamento em uma lagoa, não havendo distinção de idade, já que ocorreu mistura do líquido percolado mais novo com o das células mais antigas. A Tabela 1.6 ilustra os resultados obtidos nas análises químicas.

Os valores de pH deveriam caracterizar um chorume mais estabilizado, porém as altas concentrações de DQO (entre 60.000 e 96.000mg O₂/l) não correspondem a um chorume estabilizado. Quanto aos metais, os valores de zinco, cobre e ferro estão na mesma faixa de 200mg/l. Os valores mais altos de manganês, podem ser explicados pelo fato de que tanto as pilhas comuns e as alcalinas como as lâmpadas fluorescentes vão para o aterro juntamente com o lixo comum. Os altos valores de nitrogênio amoniacal não convertidos em nitrato e nitrito são característicos de um chorume com alta carga orgânica. Os valores baixos de nitrito indicam também um chorume não estabilizado. Os cloretos e sulfatos, em valores elevados, indicam alta carga de matéria orgânica, além de resíduos de tubos de PVC, negativos de filmes e raios-X, que também contribuem para um aumento do teor de cloretos no chorume.

Tabela 1.6 – Valores obtidos nas análises químicas do chorume coletado no aterro sanitário de Bauru (SP) no período de 16/06/99 a 26/07/00

| Parâmetro | 16/06/99 | 07/07/99 | 10/08/99 | 17/09/99 | 11/10/99 | 17/05/00 | 14/06/00 | 26/07/00 |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| pH | 6,9 | 7,2 | 7,4 | 7,4 | 8,2 | 7,8 | 7,5 | 7,3 |
| Alcalinidade (mg CaCO ₃ /l) | 8.500 | 13.500 | 11.000 | 11.500 | 13.000 | * | * | * |
| DQO (mg/l) | 96.000 | 66.000 | 89.000 | 80.000 | 76.000 | 81.000 | 78.000 | 60.000 |
| Nitrogênio amoniacal (mg/l) | 1.135 | 1.850 | 1.880 | 1.850 | 750 | 900 | 1.300 | 1.020 |
| Nitrato (mg/l) | 650 | 1.660 | 1.750 | 1.400 | 1.000 | 750 | 700 | 550 |
| Nitrito (mg/l) | 7,5 | 7 | 16,5 | 15 | 20 | 15 | 13 | 12 |
| Zinco (mg/l) | 175 | 260 | 220 | 190 | 220 | 180 | 200 | 220 |
| Cloretos (mg/l) | 4.300 | 4.850 | 4.600 | 5.700 | 5.300 | 5.500 | 5.800 | 6.600 |
| Cobre (mg/l) | 365 | 105 | 195 | 320 | 220 | 180 | 190 | 150 |
| Ferro (mg/l) | 500 | 435 | 70 | 190 | 70 | 150 | 180 | 135 |
| Manganês (mg/l) | 350 | 50 | 250 | 1.200 | 500 | 450 | 250 | 350 |
| Sulfato (mg/l) | 4.000 | 4.000 | 3.500 | 6.000 | 5.000 | 4.000 | 4.500 | 3.500 |
| Fósforo total (mg/l) | 285 | 250 | 100 | 540 | 620 | 550 | 600 | 735 |

Fonte: SEGATO (2000)

CASTRO (2001) caracterizou o chorume do Aterro Sanitário de Piracicaba (SP) preliminarmente ao tratamento do mesmo em um sistema australiano de lagoas, e obteve os resultados apresentados na Tabela 1.7 (1º semestre de 1997).

Tabela 1.7 – Valores da caracterização do chorume do Aterro Sanitário de Piracicaba (1º semestre de 1997)

| Parâmetro | Valor |
|---|---------|
| pH | 7,8 |
| Alcalinidade (mg/l CaCO ₃) | 3.570,0 |
| Sólidos Totais Voláteis (mg/l) | 3.406,0 |
| DBO ₅ (mg/l O ₂) | 1.640,0 |
| DQO (mg/l O ₂) | 3.935,0 |
| Cobre (mg/l) | 0,08 |
| Manganês (mg/l) | 0,85 |
| Zinco (mg/l) | 0,20 |

Fonte: CASTRO (2001)

De acordo com os valores de pH, DBO₅ e DQO, percebe-se que é um chorume característico de um aterro antigo com material orgânico em avançado estado de degradação.

CINTRA *et al.* (2002) avaliou a qualidade do chorume produzido no Aterro Sanitário de Bauru (SP), parcialmente drenado e acumulado em um tanque a jusante do aterro. Esse aterro encontra-se instalado sobre uma área de solo arenoso, não impermeabilizado corretamente, de forma que, boa parte do chorume infiltra-se no solo, representando um grande potencial de contaminação de aquíferos.

A Tabela 1.8 apresenta os resultados obtidos das análises das amostras coletadas no tanque de armazenamento de chorume no Aterro Sanitário de Bauru-SP.

Tabela 1.8 – Resultados de alguns parâmetros de qualidade (pH, DBO₅ e DQO) do chorume do Aterro Sanitário de Bauru.

| Data da Análise (2000) | Temperatura (°C) | pH | DBO ₅ (mg O ₂ /l) | DQO (mg O ₂ /l) | DBO ₅ /DQO | Condutividade (µS/cm) |
|------------------------|------------------|------------|---|----------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 19/jul | - | - | 1.400 | 3.940 | 0,36 | - |
| 26/jul | - | - | 1.050 | 4.860 | 0,22 | - |
| 26/jul | - | - | 1.210 | 5.730 | 0.21 | - |
| 10/ago | - | 7,1 | 1.116 | 4.920 | 0,23 | 20.700 |
| 22/set | 21,3 | 7,6 | 5.400 | 9.800 | 0,55 | 14.500 |
| 29/set | 23,2 | 6,7 | 9.020 | 20.580 | 0,44 | 14.080 |
| 06/out | 23,4 | 6,9 | 15.080 | 29.920 | 0,50 | 13.250 |
| 13/out | 22,3 | 6,5 | 18.320 | 29.600 | 0,62 | 12.400 |
| 27/out | 26,3 | 6,1 | 14.840 | 29.960 | 0,50 | 9.770 |
| 17/nov | 22,6 | 7,6 | 4.080 | 6.920 | 0,59 | 8.350 |
| 24/nov | 26,0 | 7,5 | 2.800 | 4.840 | 0,58 | 5.030 |
| 30/nov | 20,3 | 7,3 | 5.640 | 8.060 | 0,70 | 5.200 |
| 08/dez | 25,8 | 7,7 | 8.480 | 14.880 | 0,57 | 6.720 |
| 15/dez | 23,9 | 7,7 | 4.560 | 8.860 | 0,51 | 5.420 |

Fonte: CINTRA *et al.* (2002)

Durante o período estudado, observou-se variação significativa nos parâmetros analisados. A DBO₅ teve valores entre 1.050 e 18.320mg O₂/l, variação bastante expressiva, que, de acordo com o autor, está correlacionada com os índices pluviométricos. Da mesma forma, a DQO variou ao longo do período entre 3.940 e 29.920mg O₂/l. O pH apresentou uma queda na época chuvosa, que também pode estar relacionada com o aumento da DBO₅ e DQO.

CAMPOS *et al.* (2002) determinaram as características do chorume produzido no Aterro Sanitário de Pirai (RJ), que entrou em operação em maio de 2000 e onde, serão dispostos cerca de 220.000 toneladas de lixo ao longo de sua vida útil (30 anos). A Tabela 1.9 mostra os valores médios para os parâmetros analisados.

Tabela 1.9 – Valores médios de alguns parâmetros de qualidade para o chorume do Aterro Sanitário de Pirai (RJ)

| Parâmetros | Chorume |
|--|---------|
| pH | 8,0 |
| Alcalinidade total (mg CaCO ₃ /L) | 3.540 |
| Condutividade (mS/cm) | 9,13 |
| Cor (mg Pt/L) | 2.300 |
| SDT - Sólidos Dissolvidos Totais (mg/l) | 4.611 |
| SST – Sólidos Suspensos Totais (mg/l) | 147 |
| COT – Carbono Orgânico Total (mg/l) | 300 |
| DQO (mg O ₂ /l) | 933 |
| DBO ₅ (mg O ₂ /l) | 287 |
| Cloretos (mg/l) | 1.280 |
| Sulfeto (mg/l) | 1,3 |
| N-NH ₄ ⁺ (mg/l) | 456 |
| Detergentes (mg/l) | 0,9 |
| Cádmio (mg/l) | 0,01 |
| Cálcio (mg/l) | 1.200 |
| Cobre (mg/l) | 0,03 |
| Sódio (mg/l) | 584 |
| Zinco (mg/l) | 0,06 |
| Coliformes fecais (NMP/100ml) | 90.000 |
| Coliformes totais (NMP/100ml) | 240.000 |

Fonte: CAMPOS *et al.* (2002)

Os valores obtidos por CAMPOS *et al.* (2002) (Tabela 1.9) evidenciam um chorume em avançado estado de degradação (DBO₅ de 287mg O₂/l e DQO de 933mg O₂/l), porém o aterro é relativamente recente, tendo entrado em operação em maio de 2000.

De acordo com os resultados observados para diversos aterros e parâmetros, percebe-se que os mesmos variam significativamente de um aterro para outro e até no

mesmo aterro, dependendo de fatores como idade do aterro, formação geológica, precipitação pluviométrica, entre outros. Sendo assim, é necessário conhecer as características do chorume de cada aterro para avaliar o potencial poluidor para a região e principalmente para que se possa recomendar a forma mais indicada para tratamento desses líquidos.

CAPÍTULO II

MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta pesquisa foram estudadas as características qualitativas do chorume gerado no Aterro da Muribeca no período 1996 – 2002.

Parâmetros físicos, químicos e microbiológicos foram analisados em amostras coletadas nos poços de chorume (piezômetros) instalados nas células C1, C2, C3 e C4, em diferentes profundidades, no riacho de escoamento do chorume das células até o Rio Muribequinha (P-2 e P-21) e em alguns pontos do Aterro da Muribeca (P-C, P-D e P-A).

2.1 – Descrição do Local de Estudo

A área (60 hectares) onde foi realizado o presente estudo corresponde ao Aterro da Muribeca, situado na Região Metropolitana do Recife no Município de Jaboatão dos Guararapes no Estado de Pernambuco.

Diariamente, esse aterro recebe 2.800 toneladas de resíduos domésticos e industriais. Sua operação teve início em 1985 e funcionou, até 1994, como um depósito de resíduos a céu aberto (lixão). Nesse ano, começou o processo de biorremediação da área, que consistiu na transformação do lixão em um aterro sanitário. Para isso, foram construídas 9 células (cada uma com 200x200m), conforme ilustra a Figura 2.1, com espessura da camada de lixo entre 20 e 30m.

O Aterro da Muribeca produz, diariamente, entre 1 e 5 l/s de líquidos percolados, dependendo da precipitação pluviométrica diária. Até setembro de 2002, todo o chorume produzido era lançado no Rio Muribequinha, e o percurso do chorume desde as células até o rio era realizado através do Riacho de Chorume. Após outubro de 2002, o chorume produzido no Aterro passou a ser drenado e encaminhado para tratamento na Estação de Tratamento de Chorume (ETC) localizada no próprio Aterro. A ETC consta de uma lagoa anaeróbia e três facultativas seguidas por um sistema bio-químico para pós-tratamento do chorume.

O clima na região é classificado como quente e úmido, apresentando uma temperatura média entre 26°C (fevereiro) e 23°C (julho), enquanto a umidade relativa

Paes, R. F. C. 2003. Caracterização do Chorume Produzido no Aterro da Muribeca-PE.
Dissertação de Mestrado

varia entre 70 e 80%. A maior parte da precipitação pluviométrica está concentrada entre fevereiro e julho e a média anual é em torno de 1750mm. A evapotranspiração mensal varia entre 100mm e 190mm (JUCÁ *et al.*, 1996).

A topografia do aterro da Muribeca tem características distintas: áreas elevadas com cotas entre 10 e 70 metros, apresentando um relevo ondulado composto por morros e colinas situadas ao redor do aterro e moldadas sobre o embasamento cristalino e áreas baixas com cotas inferiores a 10 metros exibindo um relevo plano, constituído por depósitos de sedimentos quaternários (aluviões), que coincidem com as planícies de inundação dos vales de riachos e rios, sendo o vale principal o do Rio Jaboatão.

Aproximadamente a 500 metros a jusante dos limites do aterro, ocorre um aquífero poroso aluvionar de grande extensão, que recebe recarga pelas falhas e fraturas, precipitações pluviométricas e dos rios que drenam a área. Os aluviões, formados por sedimentos predominantemente arenosos, se apresentam como faixas de pouca espessura (menos de três metros), nas proximidades da área do aterro, e aumentam consideravelmente sua extensão na medida que se aproxima do vale do Rio Jaboatão, podendo alcançar espessuras de 15 metros.

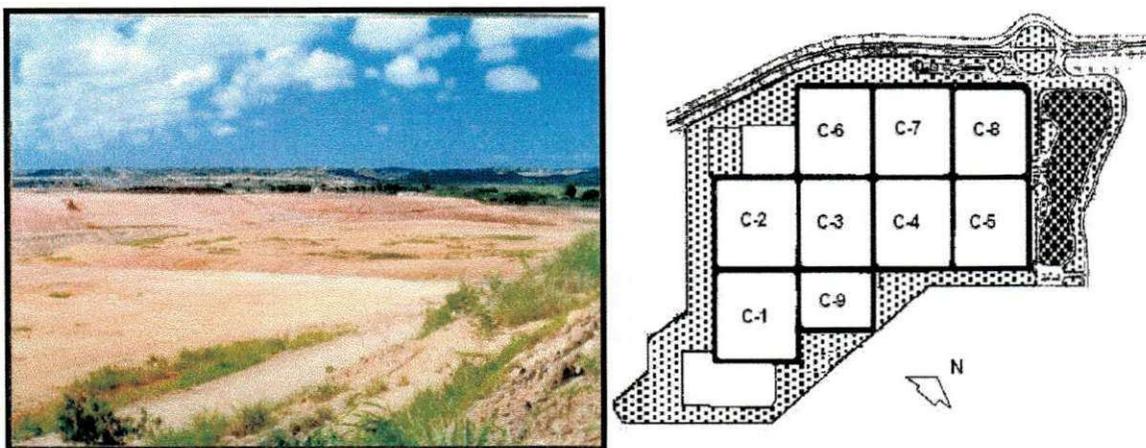


Figura 2.1 – Vista lateral e disposição das células no Aterro da Muribeca (Jaboatão dos Guararapes-PE)

2.2 – Monitoramento dos líquidos do Aterro da Muribeca

O monitoramento de líquidos no Aterro da Muribeca consta da amostragem das águas superficiais que circundam a área do aterro (Riacho de Chorume, Rios

Muribequinha e Jaboatão), das águas subterrâneas e do chorume em diferentes células e profundidades.

2.2.1 – Pontos de Amostragem

Para esta pesquisa, foram monitoradas as células C1, C2, C3 e C4, o Riacho de Chorume até o Rio Muribequinha (P-2 e P-21) e mais 03 pontos de coleta (P-C; P-D e P-A) conforme Figura 2.2.

As células C1 e C2 possuem resíduos aterrados há mais de 16 anos; já as células C3 e C4 são compostas de resíduos mais recentes (4 anos). Para a coleta do chorume nestas células, foram instalados piezômetros (poços de coleta). Na C1, foram instalados 3 piezômetros a diferentes profundidades: Pz-9 (5m de profundidade); Pz-5 (15m de profundidade) e Pz-6 (18m de profundidade). A Célula 2 possui apenas um piezômetro (Pz-8) instalado a 15m de profundidade. As Células 3 (Pz-1) e 4 (Pz-1) possuem, cada uma, um piezômetro instalado a 10m de profundidade.

P-2 e o P-21 são pontos de amostragem no Riacho de Chorume, este último próximo à descarga no Rio Muribequinha. Este rio recebia todo o chorume produzido no Aterro, ou seja, havia uma mistura de chorume produzido por células antigas e pelas células novas. O ponto P-2 estava localizado próximo às células e o P-21 situava-se próximo às margens do Rio Muribequinha. Estes pontos, atualmente, não recebem mais chorume, o qual é totalmente drenado para o ponto P-A, efluente final do aterro.

Como o sistema de drenagem e a ETC foram concluídos durante o período da pesquisa, foram escolhidos 2 pontos de coleta onde ainda havia chorume escoando a céu aberto (P-C, próximo à Célula 9 e P-D, próximo à Célula4), além do P-A, que se constituiu atualmente no efluente final do Aterro e afluente à ETC.

A Tabela 2.1 resume as informações sobre os pontos de amostragem e as Figuras de 2.3 a 2.5 ilustram alguns dos pontos estudados.

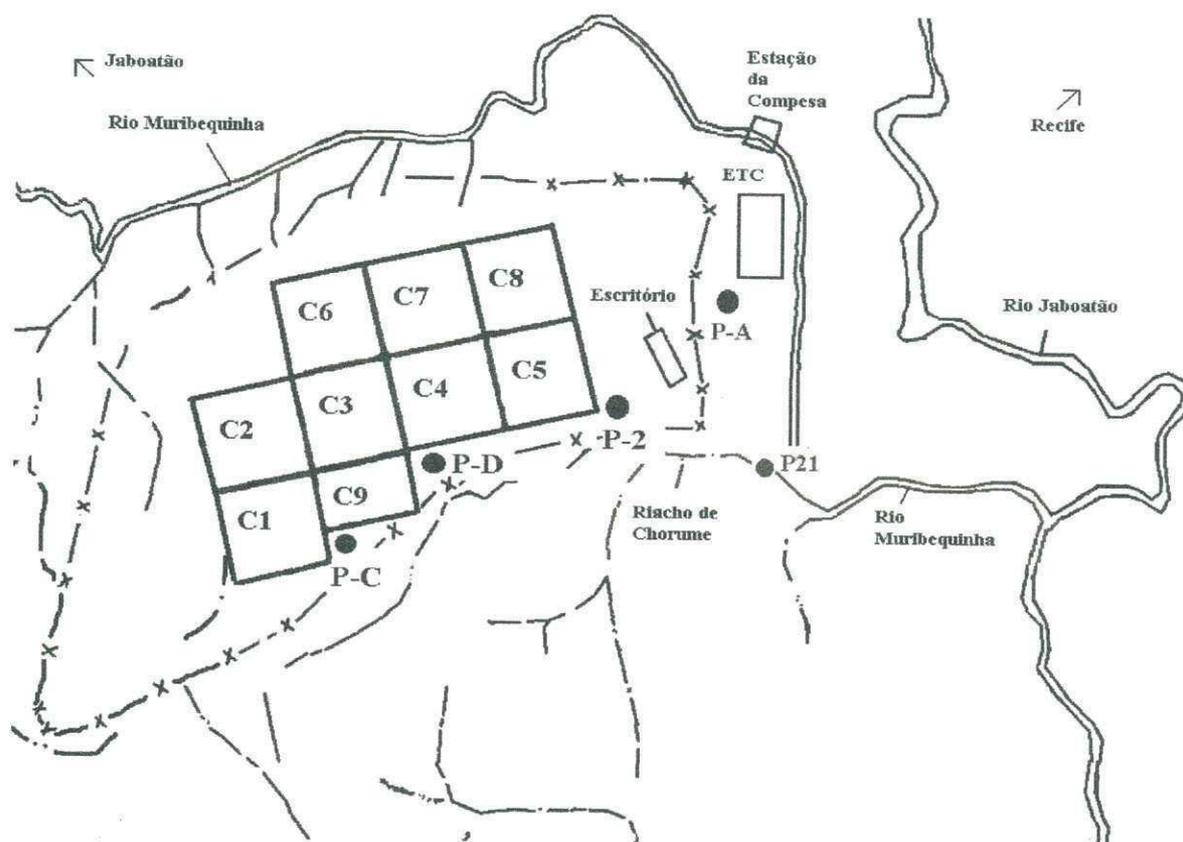


Figura 2.2 – Visualização dos pontos de amostragem utilizados para a caracterização do chorume produzido no Aterro da Muribeca – Jaboaão dos Guararapes (PE)

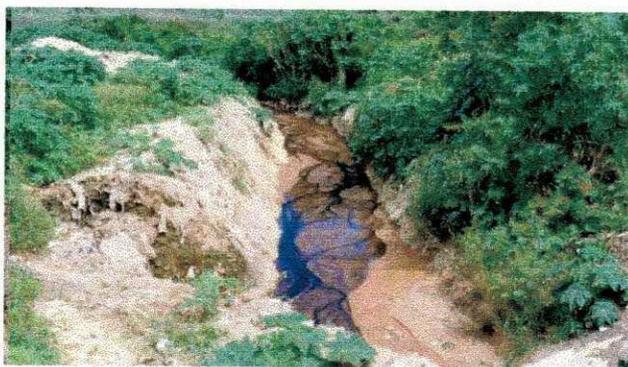


Figura 2.3 – Riacho de Chorume – Pontos P-2 e P-21



Figura 2.4 – Ponto P-A

Tabela 2.1 – Identificação dos pontos de amostragem utilizados no monitoramento do chorume no Aterro da Muribeca- Jaboatão dos Guararapes (PE), identificando-os de acordo com as células e idades dos resíduos sólidos aterrados.

| Pontos de Amostragem | Profundidade de Coleta (m) | Localização | Idade dos Resíduos Sólidos |
|----------------------|----------------------------|---|----------------------------|
| Pz-9 | 5 | | |
| Pz-5 | 15 | Célula 1 | > 16 anos |
| Pz-6 | 18 | | |
| Pz-8 | 15 | Célula 2 | > 16 anos |
| Pz-1 | 10 | Célula 3 | > 4 anos |
| Pz-1 | 10 | Célula 4 | > 4 anos |
| P-2 | Superficial | Riacho de Chorume, no ponto de saída do chorume das células | - |
| P-21 | Superficial | Riacho de Chorume, num ponto próximo ao Rio Muribequinha | - |
| P-C | Superficial | Chorume concentrado, próximo a C3 | - |
| P-D | Superficial | Chorume diluído, próximo a C4 | - |
| P-A | Superficial | Afluente da ETC | - |

2.2.2 – Período de Amostragem

A Tabela 2.2 informa os períodos de amostragem para os pontos de coleta.



Figura 2.5 – Piezômetro Pz-9 (Célula1) no Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE)

Tabela 2.2 – Informações sobre os períodos de amostragem para os pontos de coleta de chorume no Aterro da Muribeca-PE

| Pontos de Amostragem | Localização | Período de Coleta |
|----------------------|---|---------------------|
| Pz-9 | | mar/1996 a ago/2000 |
| Pz-5 | Célula 1 | mar/1999 a mai/2000 |
| Pz-6 | | mar/1999 a mai/2000 |
| Pz-8 | Célula 2 | abr/1999 a mai/2001 |
| Pz-1 | Célula 3 | mai/1999 a mai/2001 |
| Pz-1 | Célula 4 | jul/1999 a mai/2001 |
| P-2 | Riacho de chorume, no ponto de saída do chorume das células P-2 | mar/1996 a mai/2001 |
| P-21 | Riacho de chorume, num ponto próximo ao Rio Muribequinha | mar/1996 a mai/2001 |
| P-C | Chorume concentrado, perto da C3 | ago/2002 |
| P-D | Chorume diluído, perto da C4 | ago/2002 |
| P-A | Afluente da ETC | ago/2002 |

2.2.3 – Instrumentação

Para a coleta de chorume em diferentes profundidades das células, foi necessário a instalação de piezômetros, tipo “Casagrande”. Os mesmos foram instalados a partir de furos de sondagem (SPT). A Tabela 2.3 mostra os piezômetros no Aterro da Muribeca, informando as profundidades, localização e data de início de operação.

Para a realização dos furos de sondagem, foram observadas as prescrições das normas NBR-8036 (Normas Gerais de Sondagem e Reconhecimento para Fundações de Edifícios), NBR-6484 (Método de Execução de Sondagem) e NBR-6502 (Terminologia de Rochas e Solos) da ABNT. As sondagens foram do tipo contínua à percussão, sem lavagem e com o auxílio de um revestimento de 6,35cm (2 ½”) de diâmetro interno ao longo de toda profundidade. Após concluído o furo de sondagem, foi instalado o piezômetro. À medida que o mesmo era inserido, era retirado o revestimento.

Os piezômetros foram confeccionados com tubos de PVC rosqueáveis com $\phi = 2''$, possuindo um pré-filtro de areia. Apresentam a extremidade inferior perfurada numa extensão de 60 cm. O selamento externo ao piezômetro foi executado com cimento-bentonita e a superfície foi selada com argila, conforme Figura 2.6. A Figura 2.7 mostra o piezômetro pronto para instalação em uma das células do Aterro.

Para a coleta do chorume no interior dos piezômetros, foi utilizado um coletor tipo caneca mostrado na Figura 2.8.

As Figuras 2.9 a 2.12, a seguir, indicam a localização dos piezômetros nas células. Para cada célula, os piezômetros estão representados em planta baixa e em perfil.

Tabela 2.3 – Profundidade, localização e data de início de operação dos piezômetros instalados no Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE)

| Piezômetro | Profundidade | Localização | Data de Início |
|------------|--------------|-------------|----------------|
| Pz-9 | 5m | C1 | mar/96 |
| Pz-5 | 15m | | mar/99 |
| Pz-6 | 18m | | mar/99 |
| Pz-8 | 15m | C2 | abr/99 |
| Pz-1 | 10m | C3 | mai/99 |
| Pz-1 | 10m | C4 | jul/99 |

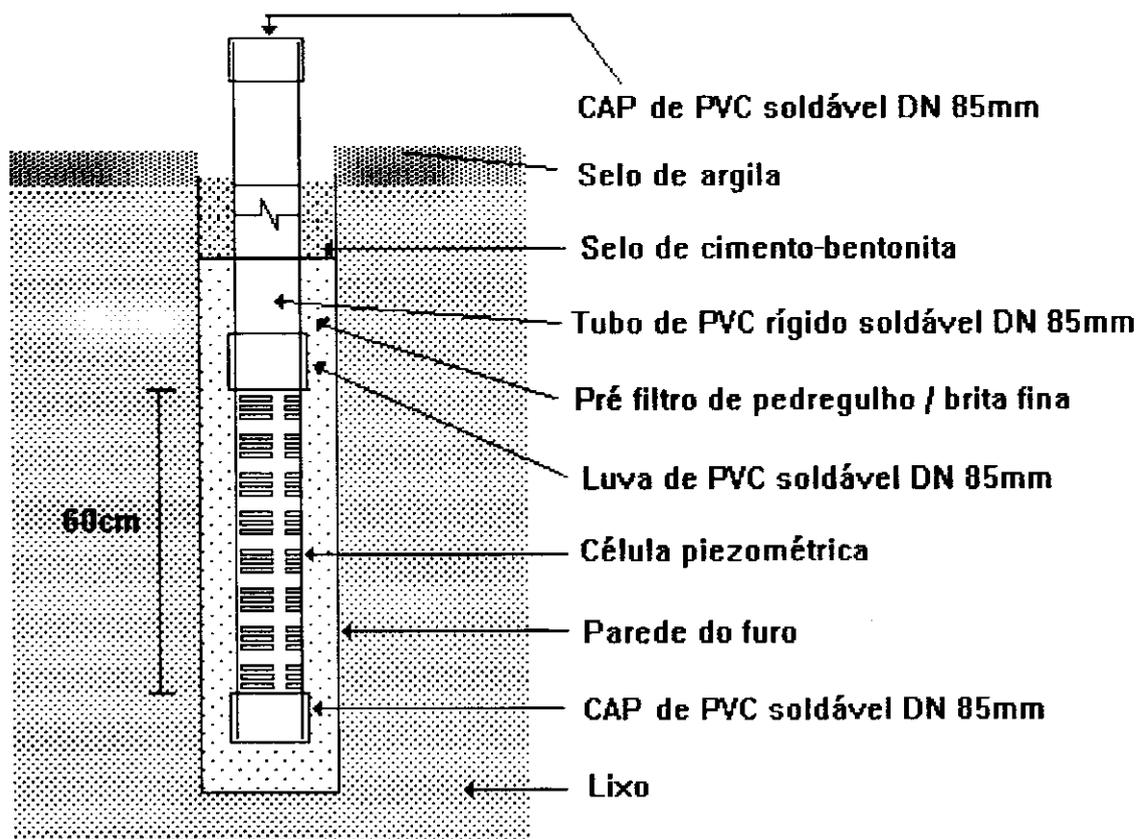


Figura 2.6 – Piezômetro tipo Casagrande instalado nas células do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE)

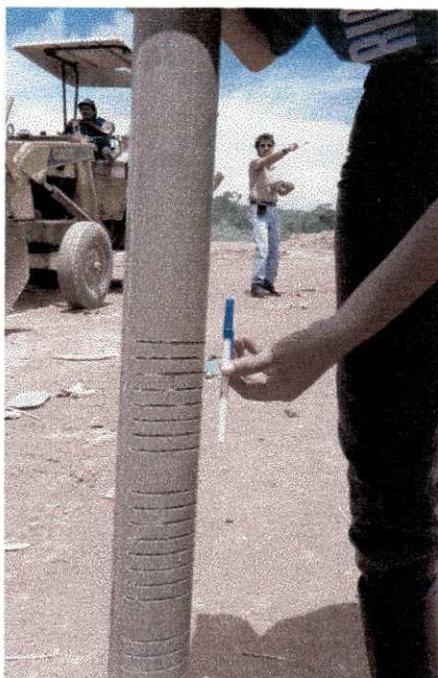


Figura 2.7 – Piezômetro pronto para ser instalado em uma das células do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE)



Figura 2.8 – Coletor tipo caneca utilizado para coleta de chorume no interior dos piezômetros no Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE)

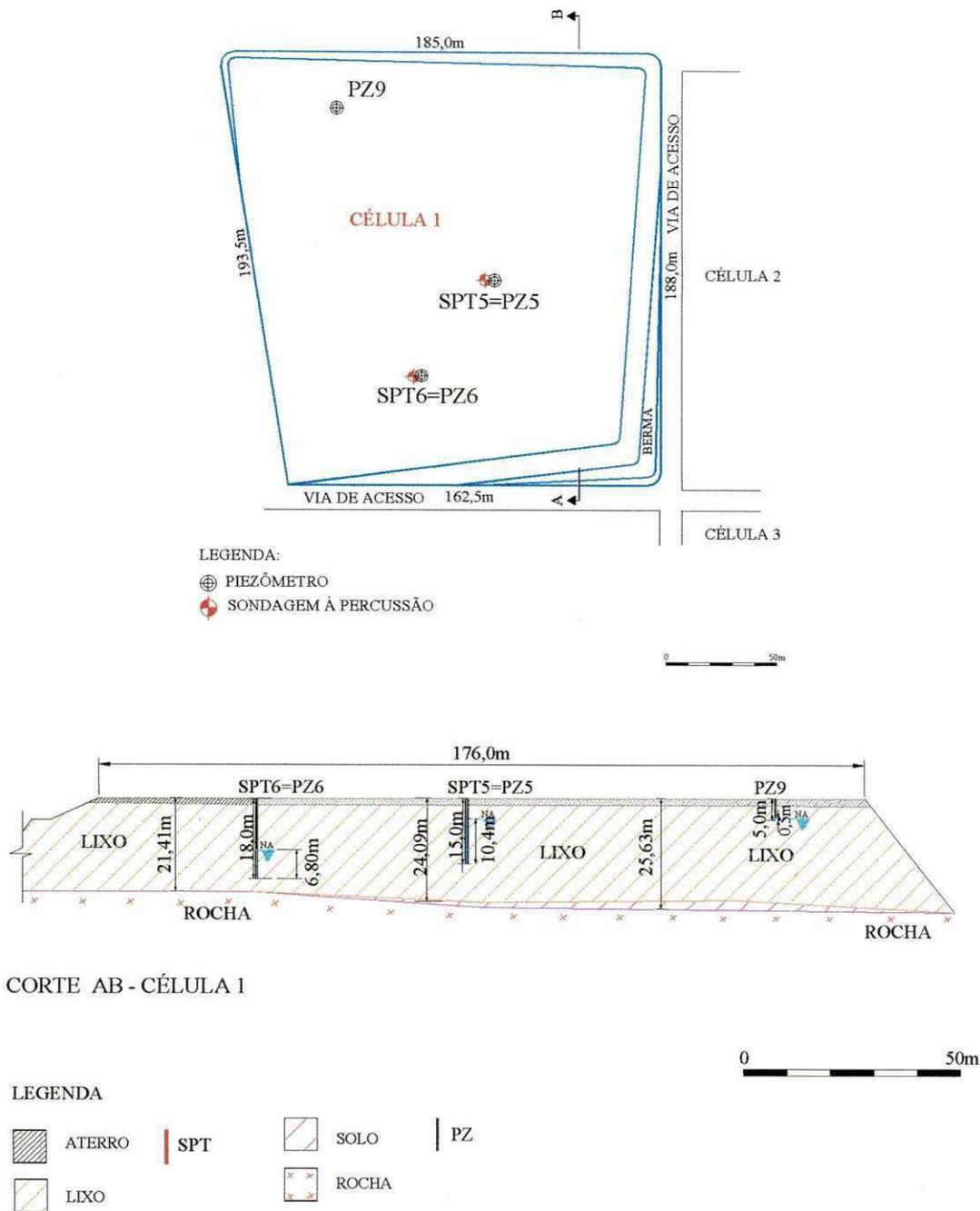


Figura 2.9 – Localização e perfil dos piezômetros Pz-5, Pz-6 e Pz-9 instalados na Célula 1 no Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE)

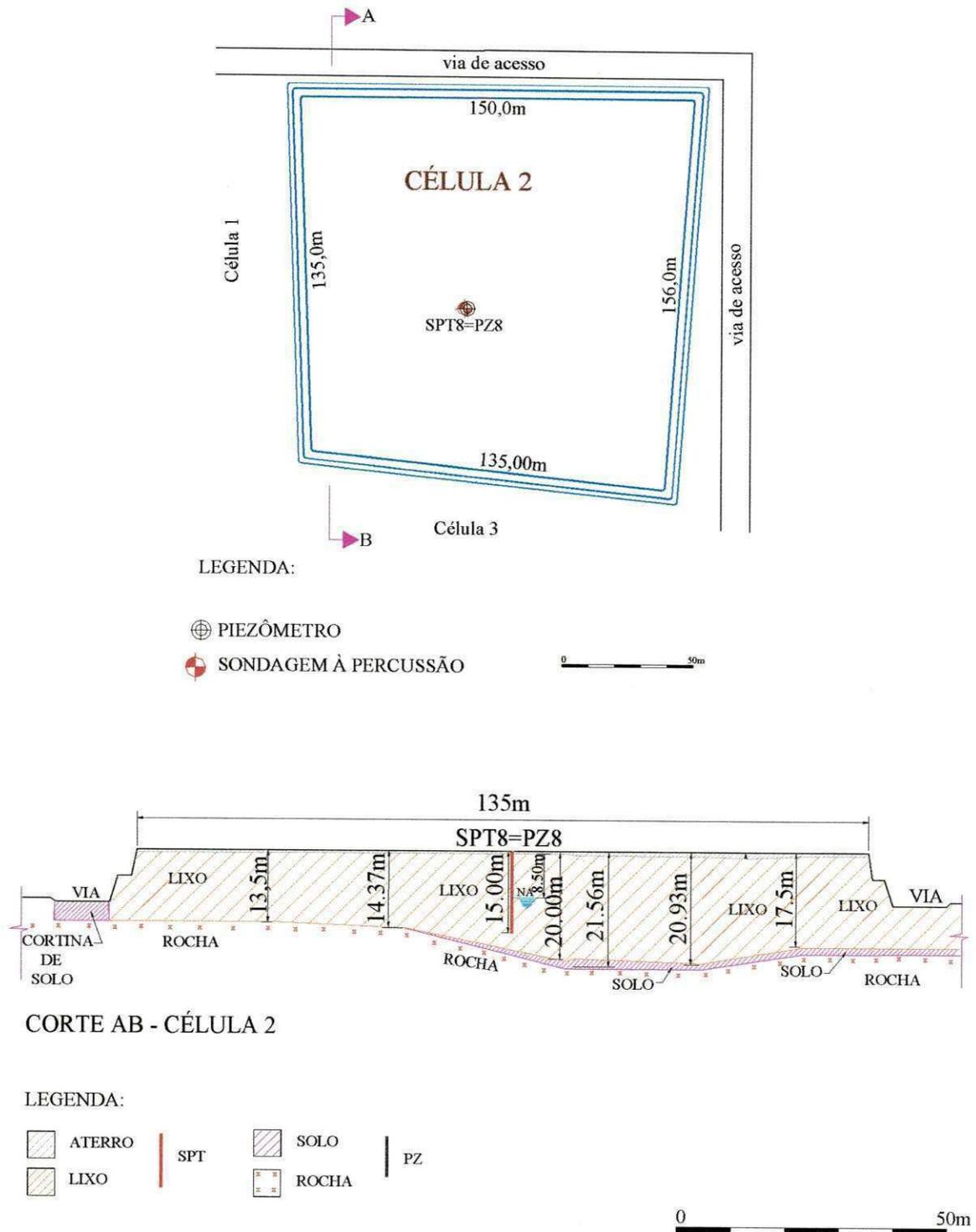


Figura 2.10 – Localização e Perfil do Piezômetro Pz-8 instalado na Célula 2 no Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE)

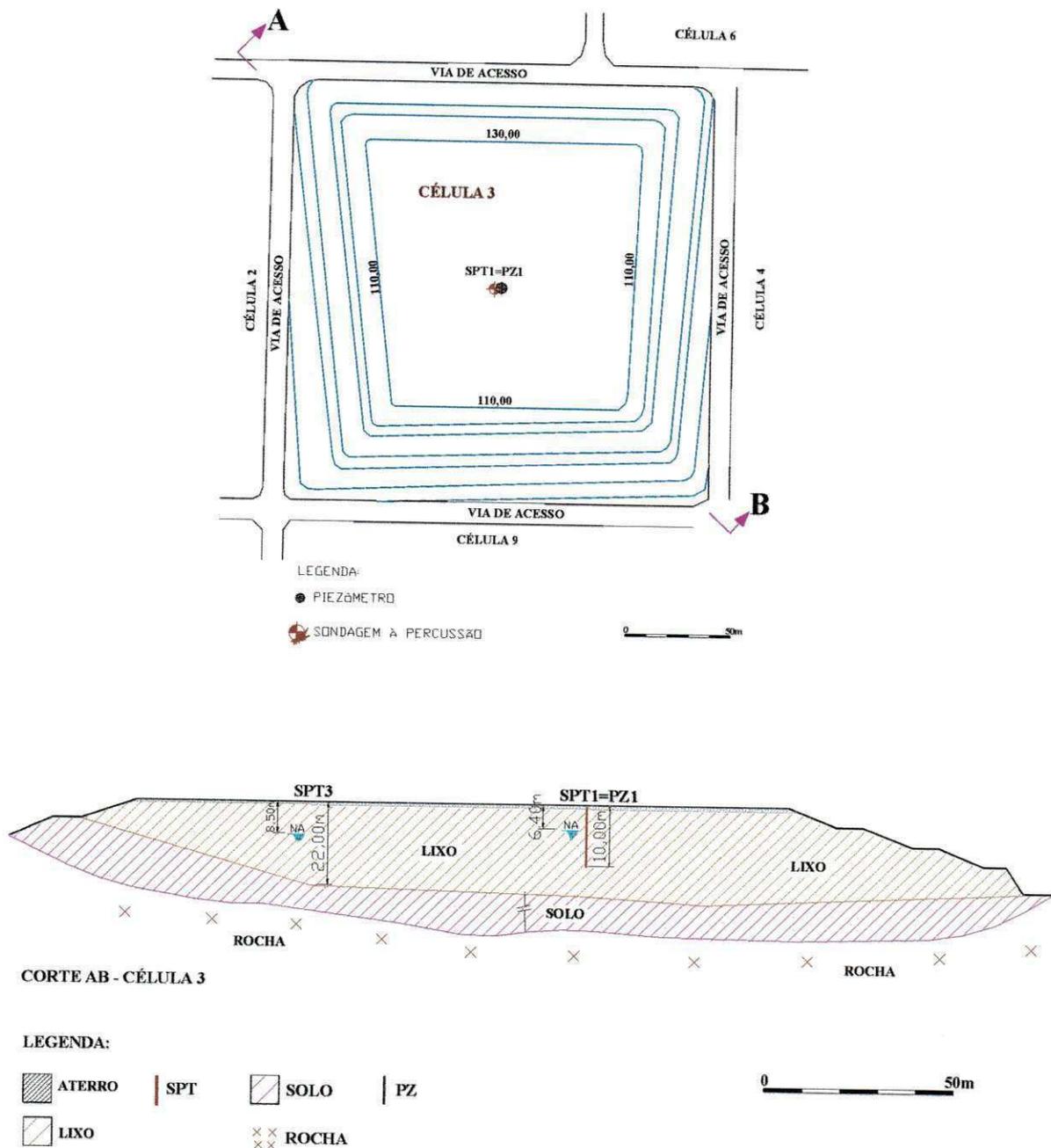


Figura 2.11 – Localização e perfil do piezômetro Pz-1 instalado na Célula 3 no Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE)

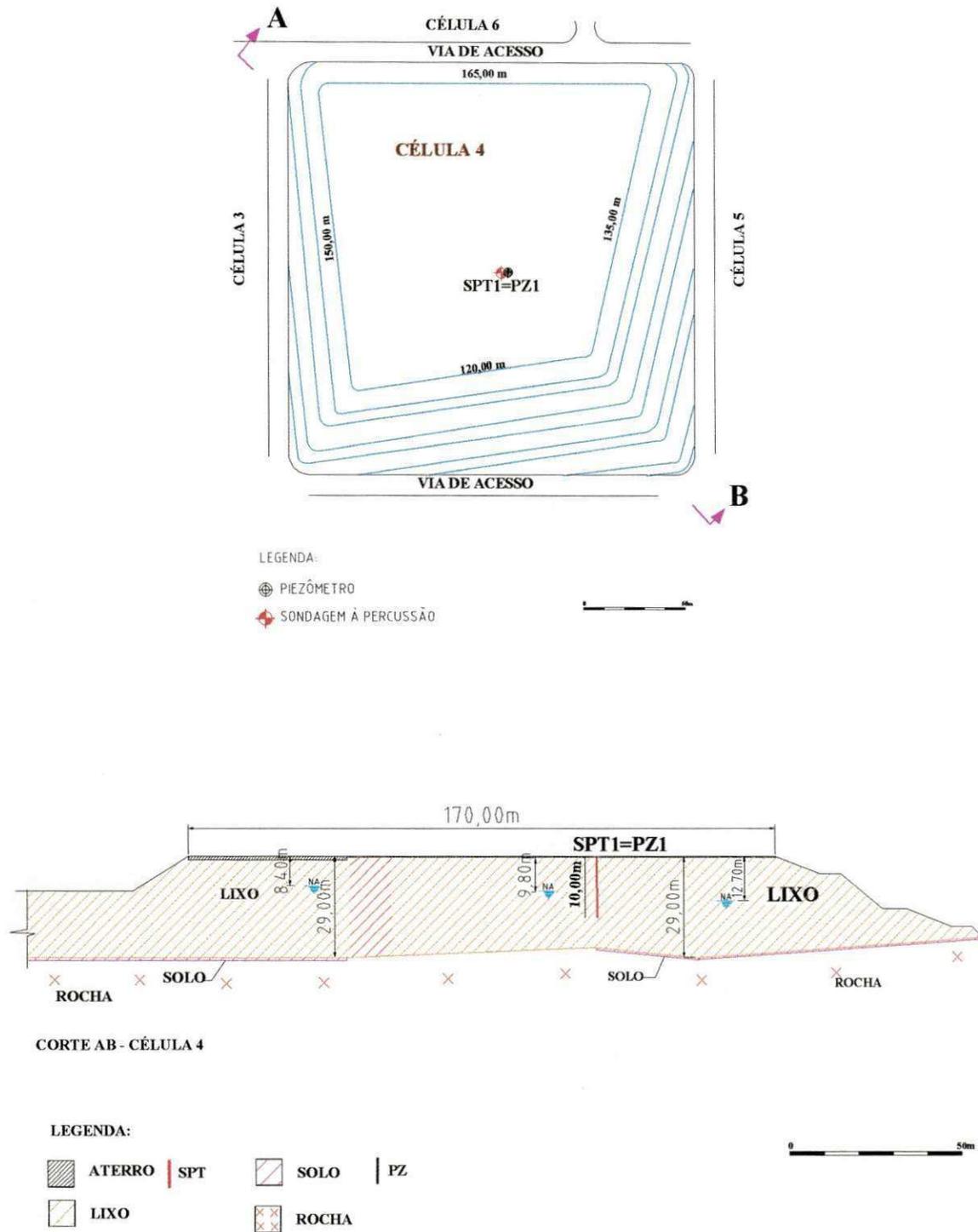


Figura 2.12 – Localização e perfil do piezômetro Pz-1 instalado na Célula 4 no Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE)

2.2.4 – Coleta de amostras de chorume

Para coletar e conservar as amostras de chorume, adotou-se a técnica da CETESB (1986) descrita no Guia de Coleta e Conservação de Amostras de Água. Para os parâmetros físicos e químicos, cerca de 5 litros de amostras foram acondicionados em bombonas plásticas previamente lavadas e secas. Para as análises de metais, utilizou-se cerca de 1 litro de amostra. Para os ensaios microbiológicos, cerca de 200ml foram acondicionados em recipientes de vidro previamente esterilizados e, após amostragem, esses frascos eram colocados em banhos de gelo a uma temperatura de 4°C. A Figura 2.13 mostra o material de coleta.

Para a realização das coletas em todos os pontos, foram envolvidas, em média, 5 pessoas, todas utilizando equipamentos de proteção individual, tais como luva, máscara, bota e avental, entre outros. Em épocas de chuva, o acesso foi difícil em alguns pontos de coleta. As Figuras 2.13 e 2.14 ilustram a coleta de chorume em um ponto superficial e em um piezômetro.

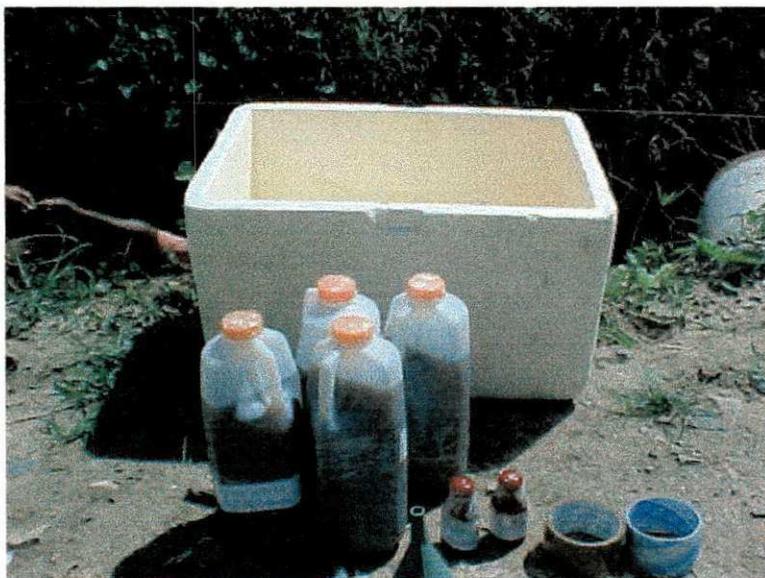


Figura 2.13 – Material utilizado na coleta de chorume



Figura 2.14 – Coleta superficial no Riacho de Chorume



Figura 2.15 – Coleta do chorume de um piezômetro instalado no Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) utilizando o coletor tipo “caneca”.

2.2.5 – Determinação dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos

Para caracterizar o chorume produzido no Aterro da Muribeca, foram analisados parâmetros físicos, químicos e microbiológicos nas amostras coletadas nos pontos já mencionados. As análises foram realizadas no Departamento de Engenharia Química da UFPE, de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 19ª edição (1995). A Tabela 2.4 apresenta os parâmetros utilizados para caracterizar o chorume e, a seguir, são descritos os métodos empregados.

Tabela 2.4 – Parâmetros utilizados na caracterização do chorume coletado no Aterro da Muribeca (PE)

| Parâmetros/Unidade | Métodos Analíticos |
|--|---|
| Parâmetros físicos e químicos | |
| 1. pH | Método potenciômetro com medidor de pH, calibrado com soluções tampão de pH 7 e 9 |
| 2. Alcalinidade total, a bicarbonatos e a carbonatos (mgCaCO ₃ /l) | Método titulométrico com ácido sulfúrico como solução titulante e fenolftaleína e metil-orange como indicadores |
| 3. DBO ₅ (mgO ₂ /l) | Método dos frascos padrão, com incubação a 20°C por 5 dias |
| 4. DQO (mgO ₂ /l) | Método da refluxação fechada do dicromato de potássio |
| 5. Cloretos (mgCl/l) | Método argentométrico de Mohr, com solução titulante nitrato de prata 0,049 N e cromato de potássio como solução indicadora |
| 6. Metais pesados (mg/l) (Cádmio, chumbo, cobalto, cobre, cromo, manganês e zinco) | Espectroscopia de Absorção Atômica |
| Parâmetros microbiológicos | |
| 7. Coliformes totais (NMP/100ml) | Tubos Múltiplos |
| 8. Coliformes fecais (NMP/100ml) | Tubos Múltiplos |

Todos os métodos analíticos seguiram as indicações de APHA (1995).

i) pH

A determinação do pH é feita eletrometricamente. O princípio da medição eletrométrica do pH é a determinação da atividade iônica do hidrogênio, utilizando o eletrodo padrão de hidrogênio, que consiste de uma haste de platina sobre o qual o gás hidrogênio flui a uma pressão de 101KPa (SILVA & OLIVEIRA, 2001).

ii) Alcalinidade

A determinação da alcalinidade total baseia-se na titulação de um determinado volume (VA) de amostra, com solução de ácido sulfúrico de normalidade N, sob agitação discreta, até o pH que corresponde ao ponto de inflexão ou de equivalência da curva da titulação. O ponto de inflexão que corresponde à determinação da alcalinidade total pode ser detectado experimentalmente através da adição do titulante padrão. Nesse método, o ponto de inflexão é aquele no qual a adição de um incremento mínimo de ácido provoca uma diminuição pronunciada de pH. Na prática da determinação de alcalinidade total de amostras de água residuárias domésticas e chorume, nos quais a principal fonte de alcalinidade é o sistema carbônico, o ponto de inflexão está situado na faixa $4 < \text{pH} < 5$, sendo comumente definido $\text{pH} = 4,5$. Determinado o volume de ácido (A) necessário para atingir tal ponto, a alcalinidade total pode ser calculada com base no princípio da equivalência química:

$$\text{AlcTotal}(\text{mgCaCO}_3 / \text{l}) = \frac{N * A}{VA} * 50.000 \quad \text{Equação. 2.1}$$

onde:

A = volume de ácido gasto na titulação, ml;

N = normalidade do ácido, N;

VA = volume da amostra, ml.

iii) DBO₅

Este método é um bioensaio, baseado na medida de oxigênio consumido por organismos vivos (na maioria bactérias), que utilizam a matéria orgânica presente nos despejos, sob condições padrões. Consiste em encher com a amostra em análise e suas diluições, até seu transbordamento, frascos com volumes determinados e que sejam vedados de forma a não permitir a entrada de ar e incubá-los sob uma determinada temperatura (20°C) durante 5 dias. A DBO₅ é determinada através do método dos frascos padrões de DBO₅, seguindo o procedimento analítico descrito no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1995). A Equação 2.2 é utilizada para o cálculo da DBO₅.

$$DBO_5(mgO_2/l) = (OD_b - OD_i) * \left(\frac{VF}{VA}\right) - (OD_b - OD_a) \quad \text{Equação. 2.2}$$

onde:

OD_b = oxigênio dissolvido da prova em branco após incubação durante 5 dias a 20°C, mg O₂/l;

OD_i = oxigênio dissolvido da amostra diluída após incubação durante 5 dias a 20°C, mg O₂/l;

OD_a = oxigênio dissolvido da amostra bruta, medido na ocasião da incubação, mg O₂/l;

VF = volume do frasco de DBO₅, ml;

VA = volume da amostra, ml.

iv) DQO

A DQO é uma medida da quantidade de oxigênio requerida para a oxidação química da matéria orgânica. O teste está baseado no fato de que quase todos os compostos orgânicos, sob condições ácidas, podem ser oxidados por agentes oxidantes fortes, como: permanganato de potássio, sulfato cérico, iodeto de potássio, dicromato de potássio, entre outros. Assim, a matéria orgânica presente numa água residuária é medida pela quantidade consumida de dicromato de potássio que, na presença do catalisador sulfato de prata, oxida todo esse material (APHA, 1995).

v) cloretos

O cloreto (Cl⁻) pode ser determinado por titulação com uma solução padrão de nitrato de prata, após o adequado pré-tratamento das amostras. O procedimento para o pré-tratamento das amostras é o seguinte (SILVA & OLIVEIRA, 2001): hidróxido de alumínio é adicionado à amostra, em seguida é adicionado peróxido de hidrogênio à amostra filtrada, o pH é ajustado com hidróxido de sódio ou ácido sulfúrico 1 N usando fenolftaleína como indicador. Para titular, adiciona-se 1 ml de solução indicadora de cromato de potássio e então se titula com nitrato de prata. Uma prova em branco é preparada com água destilada, até o estabelecimento da coloração marrom avermelhada.

A concentração de cloreto numa determinada amostra é calculada pela seguinte expressão:

Paes, R. F. C. 2003. Caracterização do Chorume Produzido no Aterro da Muribeca-PE. Dissertação de Mestrado

$$Cl^{-} (mg/l) = \frac{(A - B) \times N \times 35450}{VA} \quad \text{Equação. 2.3}$$

onde:

A = volume gasto para titular a prova que contém a amostra, ml

B = volume gasto para titular a prova em branco, ml

N = normalidade do nitrato de prata, N

VA = volume da amostra, ml

vi) Coliformes totais e fecais

Os coliformes totais e fecais foram quantificados através da técnica de tubos múltiplos (NMP), seguindo recomendação APHA (1995). Utilizou-se Caldo Lactosado (DIFCO) na fase presuntiva incubado à 37° - 24/48h e Caldo Verde Brilhante BÍlis 2% (DIFCO) à 37°C na fase confirmativa de coliformes totais. O caldo E.C. – MUG (DIFCO) à 44,5°C – 24h foi usado para o teste confirmativo de coliformes fecais.

2.3 – Análises estatísticas

Análises estatísticas foram aplicadas para os dados dos parâmetros físicos e químicos do chorume coletado nas células, nos seguintes pontos: Pz-9, Pz-5 e Pz-6, na Célula 1; Pz-8, na Célula 2; Pz-1, na Célula 3 e Pz-1, na Célula 4. Os parâmetros considerados foram pH, alcalinidade, SVT, DBO₅, DQO e cloretos, além da precipitação pluviométrica.

Matrizes de correlação foram utilizadas para verificar a existência de correlações significativas entre diferentes conjuntos de dados, ou seja, se os dados desses conjuntos variaram da mesma maneira. Correlações positivas ocorrem quando os valores de uma variável crescem à medida que também crescem os valores de uma segunda variável, porém se os valores de uma variável crescem à proporção que diminuem os valores da outra, a correlação é negativa. Para obtenção das referidas matrizes, utilizou-se o programa *SPSS for Windows 9.0*.

Para cada célula, foi obtida uma matriz de correlação, assim como para cada piezômetro da célula 1. Em seguida, as matrizes foram calculadas para conjuntos de células: Células 1 e 2, Células 3 e 4 e Células 1, 2, 3 e 4.

O teste de Kruskal-Wallis (SOKAL & ROHLF, 1981) foi aplicado aos dados de chorume com o objetivo de verificar a existência ou não da hipótese nula, ou seja, se determinado parâmetro possui variação semelhante para a média em um determinado conjunto de amostras. Este teste foi escolhido por ser um método não-paramétrico, ou seja, as amostras não dependem da distribuição, podendo ser utilizado para um pequeno número de amostras como as aqui analisadas. Inicialmente, foi aplicado o método aos conjuntos de todos os piezômetros; em seguida, o teste foi reaplicado para conjuntos de células semelhantes, sendo adotados os critérios de idade das células e profundidade de coleta do chorume. Um conjunto foi formado pelas Células 1 e 2 e outro pelas Células 3 e 4. Para as Células 1 e 2 foi aplicado o teste 2 vezes, a primeira para o conjunto dos 4 piezômetros (Pz-9, Pz-5, Pz-6 e Pz-8) e a outra apenas aos dois piezômetros de mesma profundidade (Pz-5 e Pz-8).

O teste de Kruskal-Wallis baseia-se na idéia de classificação das variáveis. Inicialmente, classificam-se todas as variáveis do menor para o maior valor, ignorando a divisão entre grupos; para essa classificação, dá-se o nome de "ranking". Durante o procedimento, ocorrem repetições nos valores das variáveis. Para essas repetições calcula-se a média do ranking ocupado por cada valor repetido. A seguir, reconstitui-se os dados originais para cada grupo com sua respectiva classificação ou média da classificação no caso de variáveis repetidas. Em seguida, resolve-se a seguinte expressão (Equação 2.4):

$$H = \left[\frac{12}{\sum n_i * \left(\sum n_i + 1 \right)} \sum \frac{\left(\sum R \right)^2}{n_i} \right] - 3 \left(\sum n_i + 1 \right) \quad \text{Equação 2.4}$$

Onde:

$\sum n_i$ – soma do tamanho das amostras analisadas

12 e 3 – são constantes

$\left(\sum_i^{n_i} R \right)$ – soma dos “ranks” de cada grupo

A Equação 2.4 é apropriada para dados sem repetições, porém se repetições forem observadas deve-se dividir por um fator de correção D. Este fator de correção é calculado de acordo com a Equação 2.5.

$$D = 1 - \frac{\sum_j^m T_j}{\left(\sum_i^a n_i - 1 \right) \sum_i^a n_i \left(\sum_i^a n_i + 1 \right)} \quad \text{Equação 2.5}$$

Onde T_j é uma função de t_j ($T_j = t_j^3 - t_j$), o número de repetições em cada grupo de estudo. Então $H = H/D$. Após determinar H e conhecer o grau de liberdade, o resultado da hipótese nula é obtido através da tabela do qui-quadrado.

2.4 – Considerações finais

Com os resultados das análises dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, o passo seguinte foi a análise dos dados, que será apresentada da seguinte forma:

- análise preliminar de todos os dados obtidos para o chorume do Aterro da Muribeca;
- análise do efeito do tempo e da precipitação sobre o chorume estudado;
- comparação do efeito da profundidade de coleta sobre os parâmetros de qualidade do chorume;
- avaliação do efeito da idade das células sobre o chorume;
- análise estatística para os parâmetros físicos e químicos do chorume.

CAPÍTULO III

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

3.1 – Apresentação e Análise dos Resultados de Caracterização do Chorume do Aterro da Muribeca-PE

As Tabelas 3.1 e 3.2 apresentam as médias e as faixas de variação (máximos e mínimos) para os parâmetros avaliados ao longo do período estudado. Na elaboração destas tabelas foram considerados todos os piezômetros e pontos amostrados. Verifica-se heterogeneidade nos valores obtidos, relacionada com a idade dos resíduos aterrados, índices pluviométricos e profundidade de coleta dos líquidos percolados.

As células mais antigas (C1 e C2) apresentaram valores inferiores para a maioria dos parâmetros analisados, comparados aos encontrados nas células mais recentes (C3 e C4). Isto se explica por estarem as primeiras em um processo avançado de degradação da matéria orgânica, visto que vários parâmetros de qualidade são influenciados pela idade dos resíduos aterrados (PHILIPS *et al.*, 1994 *apud* SISINNO e OLIVEIRA, 2000).

Os pontos P-2 e P-21 (chorume efluente das células do Aterro da Muribeca que escoam a céu aberto até o Rio Muribequinha) apresentaram valores menores para os parâmetros, devido à diluição causada pela precipitação pluviométrica. No período chuvoso, a precipitação alcançou valor mensal de até 634,9mm (junho de 2000); já no período seco, a precipitação mínima foi de 14,2mm (dezembro de 1998).

Os pontos P-C, P-D e P-A apresentaram valores maiores para alguns parâmetros (pH, cloretos, cobalto, cobre, e zinco) que em P-2 e P-21, porém menores que nos piezômetros. Como foram amostras coletadas a céu aberto, o chorume encontrava-se mais diluído que aquele oriundo das células, porém não estava ainda no mesmo estágio de diluição como no Riacho de Chorume. Estes pontos não apresentaram valores máximos e mínimos, uma vez que houve apenas uma coleta.

O pH das amostras dos piezômetros teve valores entre 6,9 e 8,6, variando de neutro a básico. De acordo com Palmisano & Barlaz (1996), o pH, na fase metanogênica, varia entre 7,5 e 9,0. Então, estes valores permitem dizer que as células

encontram-se, na sua maioria, na fase metanogênica de decomposição, embora alguns valores não estejam na faixa definida pelos autores. Os pontos P-2 e P-21 apresentaram valores de pH entre 6,9 e 8,51 e os pontos P-C, P-D e P-A entre 8,19 e 8,51. Percebe-se que todos os pontos analisados no aterro têm pH correspondente a resíduos em fase avançada de degradação, segundo a literatura especializada supra citada.

No chorume a alcalinidade de bicarbonato variou entre 46 e 12.590 mg/l, com os menores valores no canal de chorume, devido à diluição pelas águas das chuvas.

O teor de matéria orgânica, expresso como DBO₅ e DQO, variou entre 22 e 18.850 mg/l e de 170 e 37.900 mg/l, respectivamente. Os maiores valores foram encontrados em células mais recentes, onde a biodegradação ocorre ativamente. Valores menores foram encontrados no canal de chorume devido a diluição provocada pelas águas das chuvas.

Assim como a DBO₅ e a DQO, os sólidos voláteis também indicam concentração de matéria orgânica. Este parâmetro apresentou valores entre 59 e 19.725 mg/l; os menores valores foram encontrados no canal de chorume.

O cloreto, no chorume, variou de 43 a 7.501 mg/l. Da mesma forma que os outros parâmetros, menores valores foram encontrados no chorume diluído.

Os metais pesados apresentaram maiores valores para o chorume coletado nos piezômetros e menores valores no riacho, como se mostra nas Tabelas 3.1 e 3.2.

Os valores de coliformes totais e fecais foram elevados nas células do aterro (C4: CF entre $2,4 \cdot 10^5$ e $2,4 \cdot 10^8$; CT entre $3 \cdot 10^3$ e $2,4 \cdot 10^8$) como também no Riacho de Chorume (P21: CF entre $2,8 \cdot 10^3$ e $2,4 \cdot 10^8$; CT entre $1,6 \cdot 10^4$ e $2,4 \cdot 10^8$). Os maiores valores corresponderam à Célula 4 e o menor à célula 3. Já no Riacho, o maior valor foi encontrado em P-2.

Tabela 3.1 – Valores médios, mínimos e máximos dos parâmetros analisados para o chorume de 4 células no Aterro da Muribeca no período março/1996 a setembro/2001

| Parâmetros | C1 | | C2 | | C3 | C4 |
|----------------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| | Pz-9 (5m) | Pz-5 (15m) | Pz-6 (18m) | Pz-8 (C2) | Pz-1 (10m) | Pz-1 (10m) |
| PH | 7,70 (7,17-8,24) | 7,81 (7,31-8,19) | 7,91 (7,29-8,39) | 8,04 (7,45-8,36) | 8,31 (8,15-8,44) | 8,3 (8,05-8,62) |
| Alcalinidade (mg/l) | 4496 (1200-8575) | 4768 (492-6874) | 6931 (4221-7869) | 7.866 (2.874-12.590) | 6.751 (3.718-11.617) | 6.396 (3.940-10.593) |
| Sólidos Voláteis (mg/l) | 2630 (788-5853) | 3199 (1999-7058) | 6178 (2092-12048) | 6.319 (611-19.725) | 7.998 (5.300-13.163) | 13.886 (8.144-31.351) |
| DBO5 (mg/l) | 838 (59-2673) | 969 (387-1621) | 1023 (241-2165) | 2.787 (469-6.683) | 2.362 (147-4.552) | 7.367 (2.680-18.850) |
| DQO (mg/l) | 2010 (679-6565) | 2303 (767-3365) | 5.247 (2.516-12.071) | 7.427 (3.975-16.500) | 9.015 (6.694-16.100) | 16.879 (6.250-37.900) |
| Cloretos (mg/l) | 2219 (1056-3700) | 2663 (158-5441) | 3.823 (3.222-4.595) | 4.441 (1.690-7.501) | 3.552 (2.945-4.226) | 3.815 (2.430-5.792) |
| Cádmio (mg/l) | 0,039 (0,007-0,05) | - | - | 0,09 (0,06-0,13) | 0,15 (0,07-0,35) | 0,13 (0,01-0,26) |
| Chumbo (mg/l) | 0,41 | - | - | 1,24 | 1,32 | 1,19 |

Tabela 3.1 (Continuação) – Valores médios, mínimos e máximos dos parâmetros analisados para o chorume de 4 células no Aterro da Muribeca no período Março/1996 a Setembro/2001

| Parâmetros | C1 | | C2 | | C3 | C4 |
|-------------------|--|------------|------------|--|--------------------------------------|--|
| | Pz-9 (5m) | Pz-5 (15m) | Pz-6 (18m) | Pz-8 (15m) | Pz-1 (10m) | Pz-1 (10m) |
| Chumbo | 0,41 (0,09-0,66) | - | - | 1,24 (0,8-2,63) | 1,32 (0,47-1,91) | 1,19 (0,32-2,35) |
| Cobalto | 0,095 (0,01-0,13) | - | - | 0,18 (0,12-0,31) | 0,51 (0,12-1,01) | 0,20 (0,16-0,43) |
| Cobre | 0,44 (0,03-2,4) | - | - | 0,23 (0,11-0,43) | 0,8 (0,1-2,31) | 0,65 (0,15-1,57) |
| Cromo | 0,26 (0,07-0,65) | - | - | 0,15 (0,14-0,16) | 0,07 | 0,09 (0,04-0,22) |
| Manganês | 1,56 (0,19-2,95) | - | - | 0,54 (0,15-0,83) | 0,64 (0,21-1,24) | 0,9 (0,74-1,06) |
| Zinco | 1,75 (0,18-2,88) | - | - | 0,31 (0,16-0,52) | 0,53 (0,17-1,3) | 4,15 (0,61-10,79) |
| Coliformes fecais | 2,43-5,0.10 ⁷ | - | - | 1,1.10 ⁵ -1,5.10 ⁶ | 4,0.10 ⁵ | 2,4.10 ⁵ -2,4.10 ⁸ |
| Coliformes totais | 2,0.10 ³ -5.10 ⁷ | - | - | 2,4.10 ⁵ -2,1.10 ⁷ | 4.10 ² -9.10 ⁵ | 3.10 ³ -2,4.10 ⁸ |

Tabela 3.2 – Valores médios, mínimos e máximos dos parâmetros analisados em 2 pontos do Riacho de Chorume (P-2 e P-21) e 3 pontos ao longo do Aterro da Muribeca (P-C, P-D e P-A) no período março/1996 a setembro/2002

| Parâmetro | P-2 | P-21 | P-D | P-C | P-A |
|----------------------------|-------------------------|----------------------|-------|-------|-------|
| pH | 7,92 (7,00-8,51) | 7,72 (6,9-8,37) | 8,19 | 8,51 | 8,24 |
| Alcalinidade (mg/l) | 3.303 (172,3-7.487) | 1.463 (46-4.387) | - | - | - |
| Sólidos Voláteis (mg/l) | 3.386 (1.336-12.702) | 965 (59-2.332) | - | - | - |
| DBO5 (mg/l) | 1.249 (134-3.316) | 411 (22-1.295) | - | - | - |
| DQO (mg/l) | 2.913 (1.236-5.959) | 1.341 (170-5.985) | 1.933 | - | - |
| Cloretos (mg/l) | 2.382 (907-5.018) | 731 (43-2.747) | 1.450 | 2.250 | 2.440 |
| Cádmio (mg/l) | 0,028 (0,007-0,06) | 0,066 (0,007-0,2) | - | 0,13 | - |
| Chumbo (mg/l) | 0,41 (0,09-0,99) | 0,22 (0,05-0,87) | - | - | - |

Tabela 3.2 (Continuação) – Valores médios, mínimos e máximos dos parâmetros analisados em 2 pontos do Riacho de Chorume (P-2 e P-21) e 3 pontos ao longo do Aterro da Muribeca (P-C, P-D e P-A) no período março/1996 a setembro/2002

| Parâmetro | P-2 | P-21 | P-D | P-C | P-A |
|-------------------|-------------------------|-------------------------|------------|------------|------------|
| Cobalto | 0,162 (0,05-0,34) | 0,062 (0,01-0,16) | - | 0,30 | 0,04 |
| Cobre | 0,18 (0,03-0,57) | 0,30 (0,03-1,08) | - | 1,56 | 0,34 |
| Cromo | 0,108 (0,07-0,16) | 0,12 (0,05-0,38) | - | 0,23 | 0,14 |
| Manganês | 0,49 (0,17-1,69) | 0,42 (0,13-0,6) | - | 0,02 | 0,18 |
| Zinco | 0,36 (0,15-0,94) | 0,40 (0,06-1,13) | - | 0,18 | 0,64 |
| Coliformes fecais | $9,0.10^2$ - $2,4.10^8$ | $2,8.10^3$ - $2,4.10^8$ | - | - | - |
| Coliformes totais | $7,5.10^3$ - $2,4.10^8$ | $1,6.10^4$ - $2,4.10^8$ | - | - | - |

3.2 – Efeito do tempo na qualidade do chorume analisado para cada célula

3.2.1 – Parâmetros físicos e químicos

3.2.1.1 – Célula 1

Na Figura 3.1 observa-se a evolução do pH ao longo do período de estudo nas amostras coletadas na C1, através de 3 piezômetros ali instalados. Os resíduos aterrados nesta célula têm aproximadamente 16 anos.

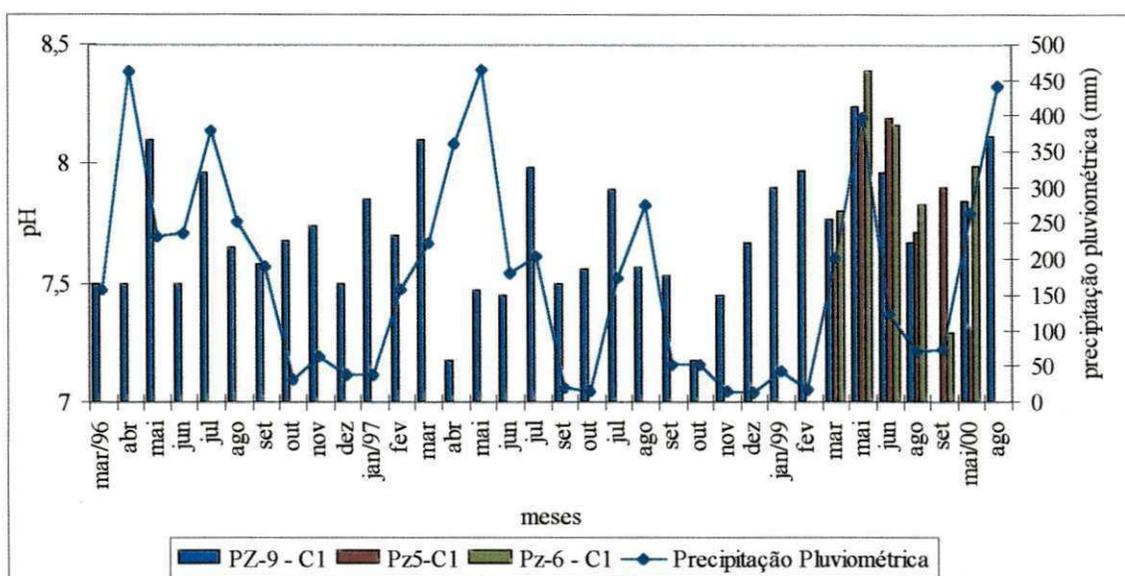


Figura 3.1 – Valores de pH no período março/1996 a agosto/2000 para os três piezômetros (Pz-9; Pz-5; Pz-6) instalados na célula 1 (C1) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

Para a célula 1 não se verificaram acentuadas variações de pH. No Pz-9, instalado a 5m de profundidade, este parâmetro apresentou pequenas variações, desde valores próximos a neutralidade até alcalinos (valores entre 7,17 e 8,24), mantendo-se estável na faixa básica, com um valor médio de 7,7. Não se observaram, ao longo do período de 33 meses, flutuações acentuadas do pH.

Para as amostras do Pz-5, instalado a 15 metros de profundidade na C1, o pH apresentou valores entre 7,31 e 8,19 e muito próximos aos encontrados no Pz-9, indicando que os resíduos estariam em fase avançada de degradação da matéria orgânica – metanogênese. As bactérias arqueo metanogênicas aumentam o pH ao transformarem

os ácidos produzidos na fase acetogênica em metano, ao consumirem os íons hidrogênio (POHLAND & GOULD, 1986). Ao longo dos meses analisados, não se verificou tendência crescente ou decrescente com relação ao pH nas amostras deste piezômetro.

O pH das amostras coletadas com o piezômetro (Pz-6) instalado a 18m de profundidade variou de 7,29 a 8,39, com valor médio de 7,9, ou seja, o pH foi alcalino e evidencia também uma atividade metanogênica avançada, com consumo dos ácidos pelas bactérias metanogênicas.

Na Figura 3.2, observa-se que a alcalinidade não apresentou um comportamento associado à precipitação pluviométrica. No Pz-9, a alcalinidade variou entre 1.200 e 8.575mg/lCaCO₃, com valor médio de 4.496mg/lCaCO₃. Os menores valores ocorreram no ano de 1996. Comportou-se relativamente constante nos anos de 1997 e 1998.

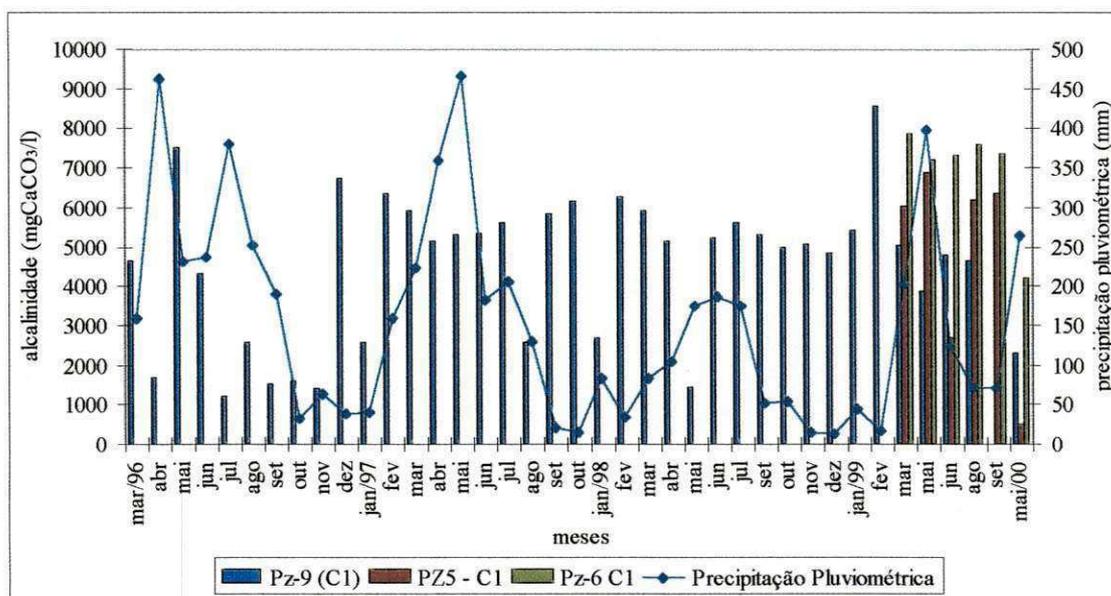


Figura 3.2 – Valores de Alcalinidade no período março/1996 a maio/2000 para os três piezômetros (Pz-9; Pz-5; Pz-6) instalados na célula 1 (C1) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

Para o Pz-5, a alcalinidade variou entre 492 e 6.874mg/l CaCO₃, com valor médio de 4.768 mg/l CaCO₃. Ao longo do tempo estudado, também não verificou-se comportamento associado à precipitação pluviométrica, igual que no Pz-9.

A alcalinidade das amostras coletadas a 18m no Pz-6 variou entre 4.221 e 7.869 mg/l CaCO_3 , com valor médio de 6.931 mg/l CaCO_3 . Este piezômetro também não apresentou comportamento associado com a precipitação pluviométrica.

A Figura 3.3 contém informações sobre sólidos voláteis e precipitação pluviométrica, na Célula 1.

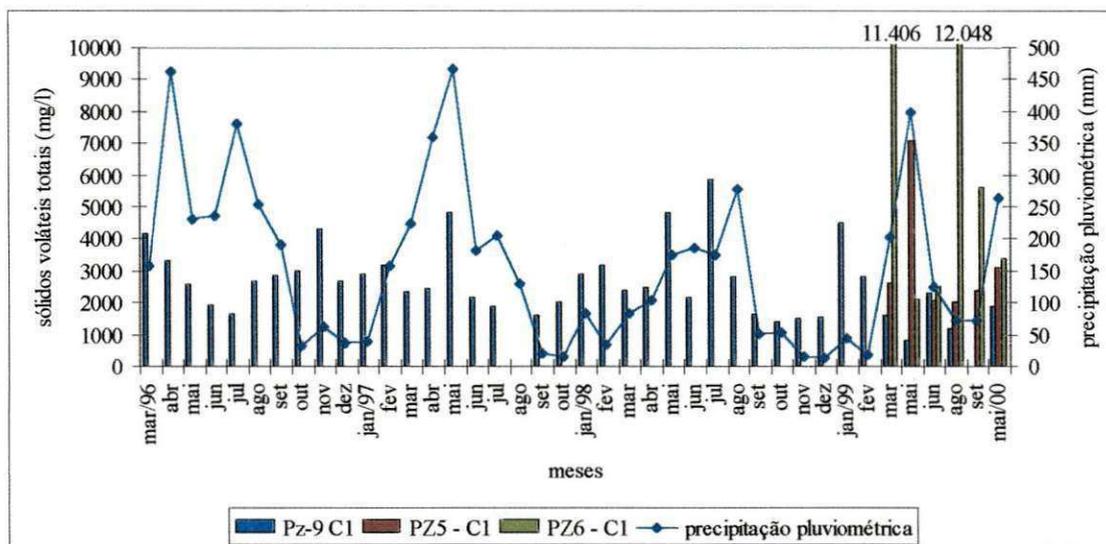


Figura 3.3 – Valores de Sólidos Voláteis no período março/1996 a maio/2000 para os três piezômetros (Pz-9; Pz-5; Pz-6) instalados na célula 1 (C1) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

No Pz-9 os sólidos voláteis tiveram valor médio de 2.630mg/l, no Pz-5 de 3.199mg/l e no Pz-6 valor médio de 6.178mg/l. Percebe-se que, ao longo do tempo, os sólidos voláteis totais tiveram tendência de aumentarem com o aumento da precipitação pluviométrica, nos três piezômetros. Tal fato pode ser associado com o efeito da chuva, que solubiliza a matéria orgânica e assim aumenta as concentrações de sólidos voláteis.

De acordo com a Figura 3.4, a matéria orgânica biodegradável do Pz-9, aqui representada pela DBO_5 , variou entre 68 e 2.673mg/l, com valor médio de 838 mg/l. Percebe-se que, ao longo do tempo, os valores da DBO_5 tiveram uma tendência a decrescer, comportamento este associado com a biodegradação. Em março e setembro de 1996, a DBO_5 encontrava-se com valores acima de 2.000mg/l, com tendência a diminuir nos meses seguintes, aumentando novamente em fevereiro de 1999 e posteriormente voltando a decrescer. Observou-se que em alguns meses de altos índices

pluviométricos, ocorreram quedas das concentrações deste parâmetro, e portanto, pode-se associar esse comportamento à diluição da matéria orgânica.

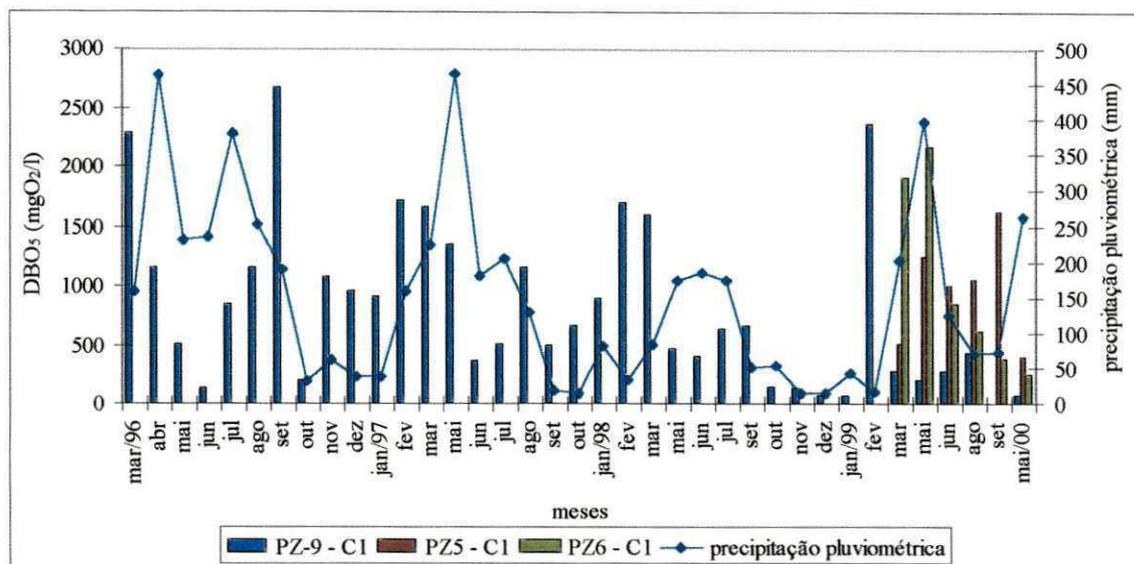


Figura 3.4 – Valores de DBO₅ no período março/1996 a maio/2000 para os três piezômetros (Pz-9; Pz-5; Pz-6) instalados na célula 1 (C1) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

Para o Pz-5 (15m de profundidade), a DBO₅ variou entre 387 e 1621 mg/l, com valor médio de 969mg/l, com um comportamento irregular ao longo do tempo.

A DBO₅, nas amostras do Pz-6, variou entre 241 e 2.195mg/l, com valor médio de 1.023mg/l. Neste piezômetro, a DBO₅ diminuiu ao longo do tempo, comportamento coerente com a biodegradação da matéria orgânica.

Na Figura 3.5 observa-se que o Pz-9 apresentou valor de DQO de 6.565mg/l, no início dos estudos (março de 1996) e, no decorrer do tempo, a DQO foi diminuindo, com valor médio de 2.010mg/l. Pode-se dizer que este valor é típico de matéria orgânica em estado de degradação, sendo este comportamento semelhante ao observado para DBO₅. Observaram-se diluições, provocadas pela precipitação pluviométrica, como ocorreu nos meses de junho e julho de 1996 e março, maio e junho de 1999.

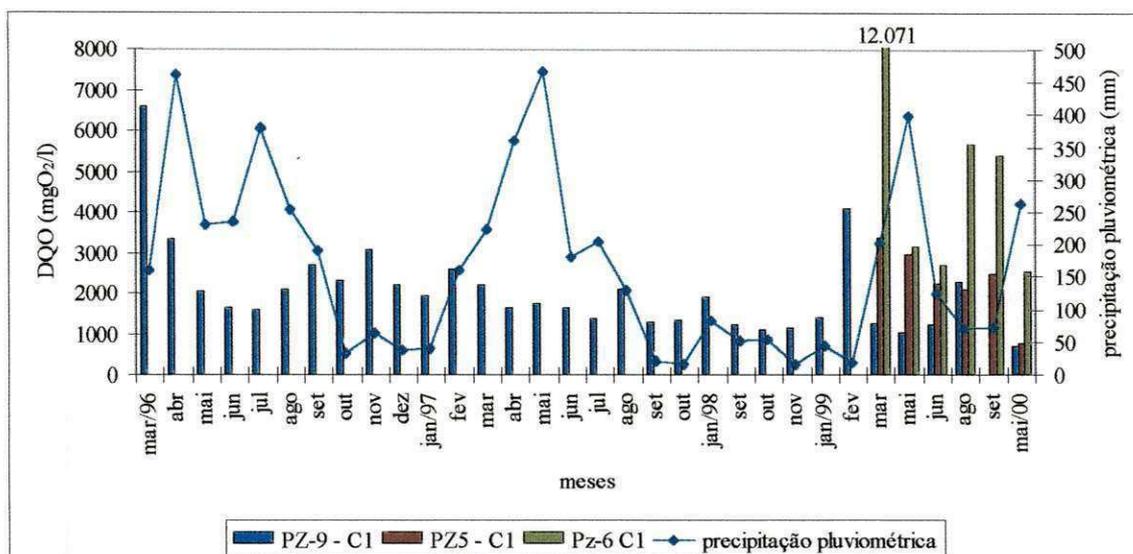


Figura 3.5 – Valores de DQO no período março/1996 a maio/2000 para os três piezômetros (Pz-9; Pz-5; Pz-6) instalados na célula 1 (C1) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

A DQO, para o Pz-5, variou entre 767 e 3.365 mg/l, com valor médio de 2.303mg/l. Na Figura 3.5 percebe-se uma queda nos valores da DQO com o tempo.

Para o Pz-6 observaram-se variações entre 241 e 2.195mg/l. Este piezômetro não apresentou um comportamento linear de decréscimo, indicando aumento da degradação da matéria orgânica, semelhante ao que se verifica mais adiante para Pz-1 (C3). O Pz-6 teve DQO de 12.071 mg/l, em março de 1999, valor bastante alto, porém caindo, dois meses depois, para 3.150mg/l, voltando a apresentar valores um pouco elevados (5.667 e 5.393 mg/l, nos meses de agosto e setembro de 1999, respectivamente) e terminando o período de estudo com 2.516mg/l. Provavelmente, este comportamento é devido aos índices pluviométricos, já que nos meses de agosto e setembro de 1999 a precipitação foi de 71,5 e 72,6mm, respectivamente, e em maio de 2000, de 264,4mm, causando uma diluição nos líquidos que percolam para o interior da célula.

Os valores da relação DBO_5/DQO fornecem uma idéia da biodegradabilidade da matéria orgânica presente em uma massa de resíduos aterrada: valores entre 0,5 e 0,7 são comumente relatados para aterros recentes, enquanto que para aterros mais antigos os valores variam entre 0,2 e 0,3 (TCHOBANOUGLOUS, THEISEN, VIGIL, 1993). Para o Pz-9 obteve-se valor médio de 0,38, para o Pz-5 de 0,45 e para o Pz-6 de 0,24, conforme Figura 3.6.

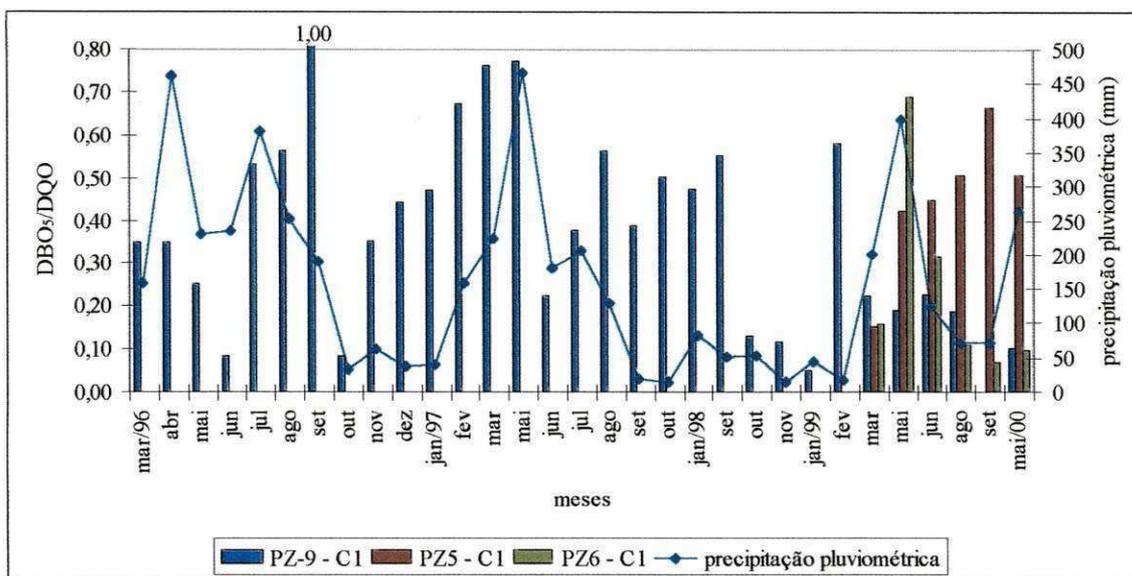


Figura 3.6 – Valores de DBO₅/DQO no período março/1996 a maio/2000 para os três piezômetros (Pz-9; Pz-5; Pz-6) instalados na célula 1 (C1) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

A Figura 3.7 representa o comportamento, ao longo do tempo, para os cloretos, na C1.

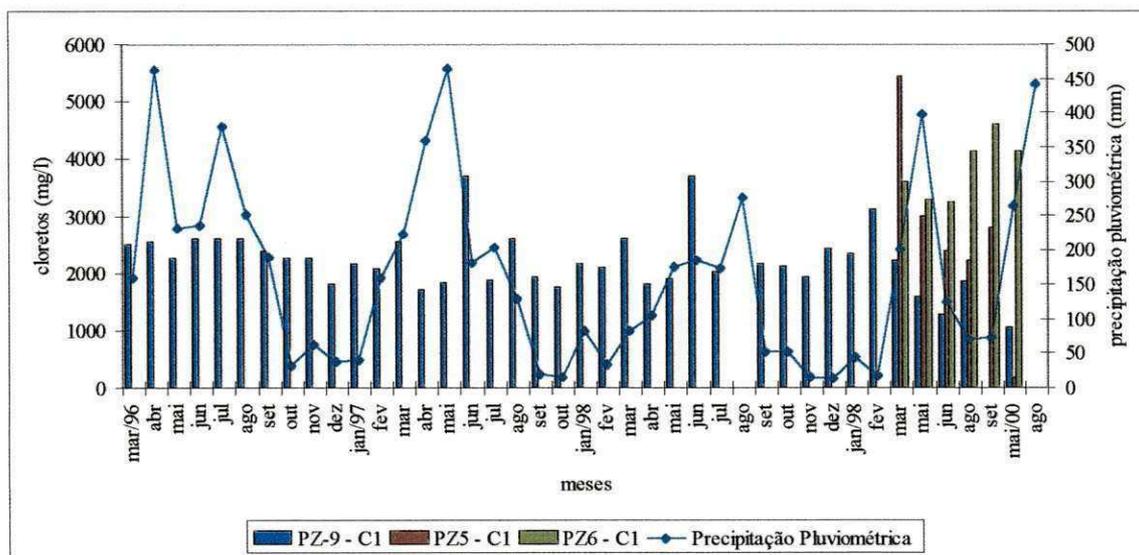


Figura 3.7 – Valores de cloretos no período março/1996 a maio/2000 para os três piezômetros (Pz-9; Pz-5; Pz-6) instalados na célula 1 (C1) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

No Pz-9, os cloretos variaram entre 1.056 e 3.700mg/l, com valor médio de 2.219mg/l. Nota-se que, entre março de 1996 e março de 1998, os cloretos apresentaram valores em torno do valor médio, porém, a partir desse mês, os valores apresentaram uma tendência a decrescer, terminando o período de estudo com 1.056mg/l, indicando o efeito das diluições devido a alta precipitação entre março e maio de 1997.

Para o Pz-5, os cloretos variaram entre 158 e 5.441 mg/l, com valor médio de 2.663 mg/l. Os valores de cloretos para este piezômetro apresentaram comportamento decrescente com o tempo, como pode ser visto na Figura 3.7. Observando os valores da precipitação entre março de 1996 e janeiro de 1998, percebe-se o efeito da precipitação pluviométrica na concentração desse parâmetro: aumentos e decréscimos deste parâmetro com a menor precipitação e aumento com as chuvas mais intensas.

Os cloretos variaram, no Pz-6, entre 3.222 e 4.595 mg/l. Observou-se que os valores de cloretos apresentaram comportamento decrescente entre março e junho de 1998, voltando a aumentar nos meses seguintes.

3.2.1.2 – Célula 2

De acordo com a Figura 3.8, o pH das amostras obtidas com o Pz-8 variou entre 7,45 e 8,36, não apresentando comportamento associado com a precipitação pluviométrica. Entretanto apresentou pequenas variações ao longo do tempo.

A alcalinidade no Pz-6 variou entre 2.874 e 12.590mg/l, de acordo com a Figura 3.9, e, ao longo do tempo, apresentou tendência a decrescer. Nos meses estudados durante 1999, a alcalinidade teve valores maiores que 10.000 mg/l CaCO₃, que decresceram a partir de março de 2000, provavelmente devido a precipitação pluviométrica. Visto que os valores do pH foram entre 7,45 e 8,36, a forma predominante de alcalinidade durante o período estudado foi devido a bicarbonatos (SAWYER, McCARTY, PARKIN, 1994).

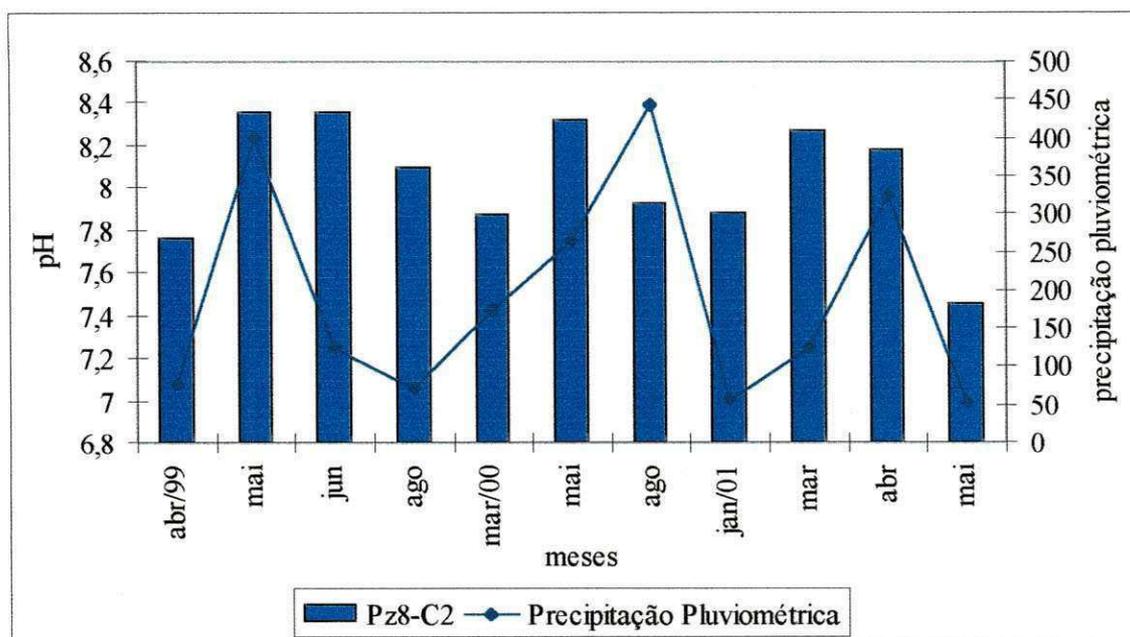


Figura 3.8 – Valores de pH no período abril/1996 a maio/2000 para o piezômetro Pz-8 instalado na célula 2 (C2) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

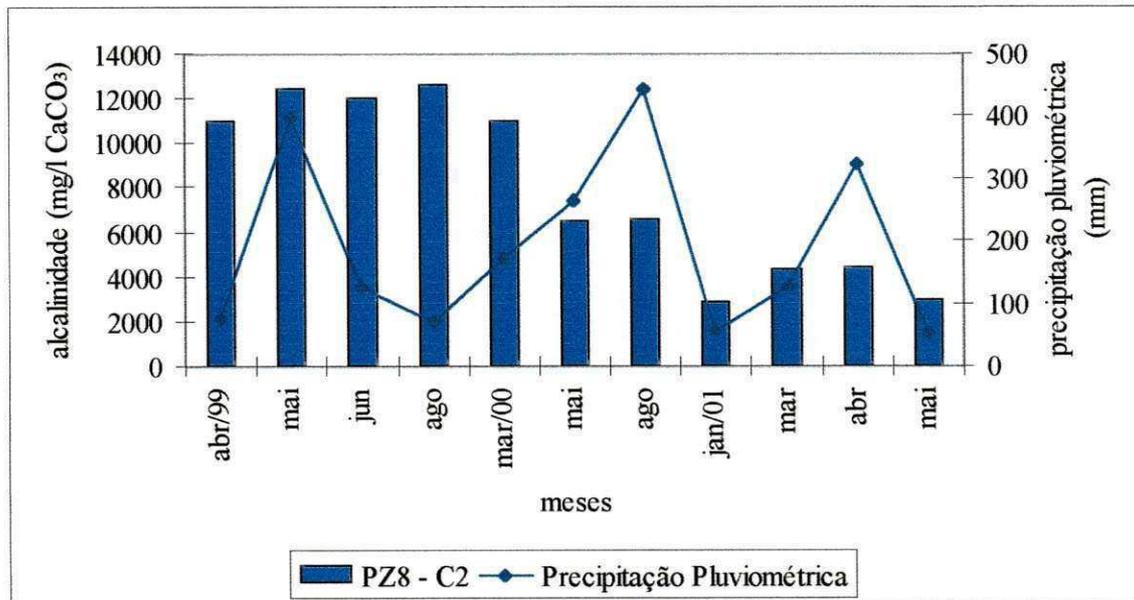


Figura 3.9 – Valores de alcalinidade no período abril/1996 a maio/2000 para o piezômetro Pz-8 instalado na célula 2 (C2) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

Observou-se que, nos primeiros meses avaliados, os sólidos voláteis totais (Figura 3.10) tiveram valores elevados, e associados à presença de matéria orgânica biodegradável. A partir de junho de 1999, esses valores diminuíram, ficando próximo a 4.000mg/l até o fim do estudo, exceto nos meses de março de 2000 (queda acentuada) e abril de 2001 (aumento).

No Pz-8, a matéria orgânica, representada pela DBO_5 , apresentou variação entre 469 e 6.683mg/l, com valor médio de 2.787mg/l, conforme Figura 3.11. Da mesma forma que os sólidos voláteis, observaram-se, nos meses de abril e maio de 1999, altos valores para DBO_5 , também relacionada à presença de matéria orgânica biodegradável. A partir de junho de 1999, os valores tenderam a cair, porém apresentaram variações no comportamento.

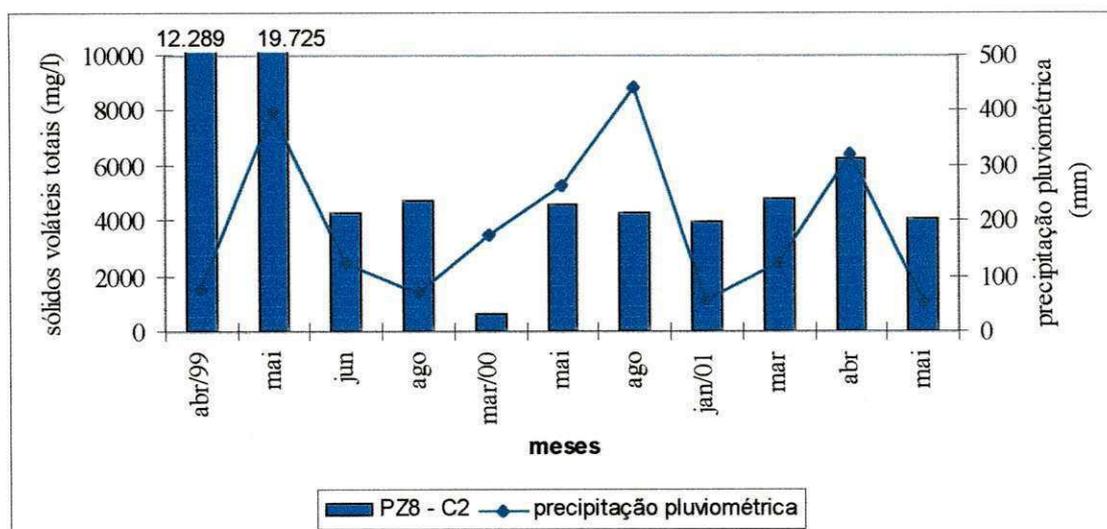


Figura 3.10 – Valores de sólidos voláteis no período abril/1996 a maio/2000 para o piezômetro Pz-8 instalado na célula 2 (C2) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

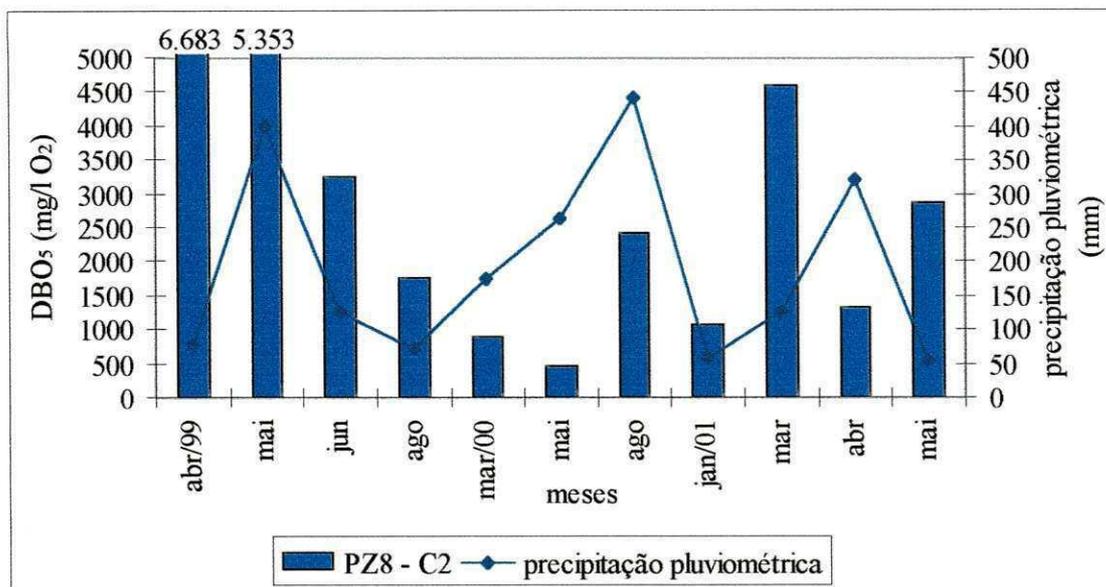


Figura 3.11 – Valores de DBO₅ no período abril/1996 a maio/2000 para o piezômetro Pz-8 instalado na célula 2 (C2) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

Os valores de DQO, na Célula 2, estão indicados na Figura 3.12.

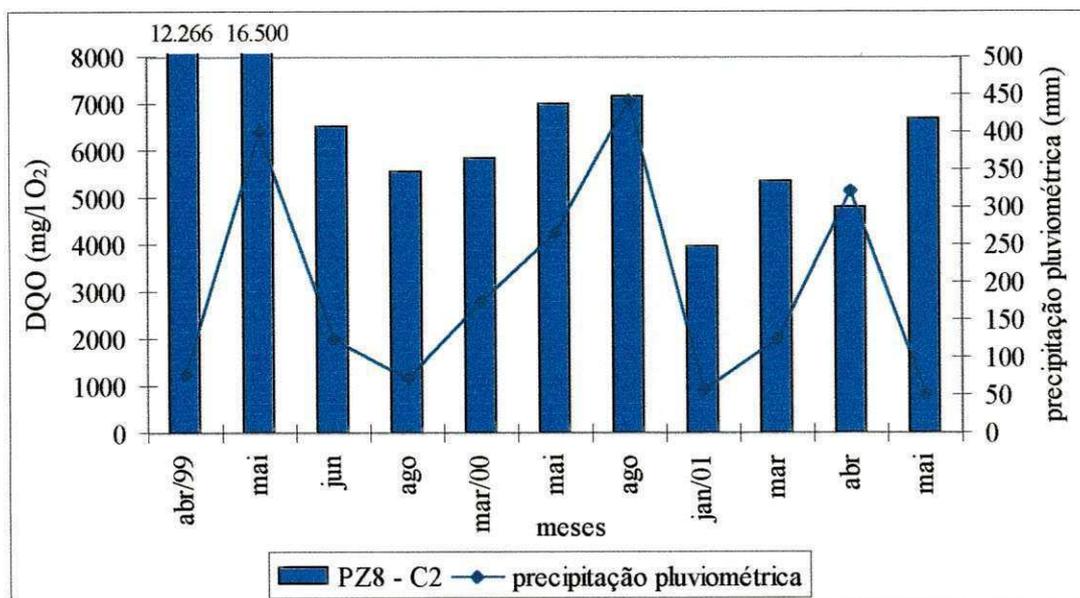


Figura 3.12 – Valores de DQO no período abril/1996 a maio/2000 para o piezômetro Pz-8 instalado na célula 2 (C2) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

No Pz-8, a DQO variou entre 3.975 e 16.500mg/l, com valor médio de 7.427mg/l. A DQO, que representa a matéria orgânica presente no chorume, teve

variações que se assemelharam com os sólidos voláteis e a DBO_5 , já que nos meses de abril e maio de 1999 seus valores também se apresentaram bastante elevados, caindo nos meses seguintes.

Na Célula 2 (C2), observou-se que a relação DBO_5/DQO variou desde valores correspondentes a aterros antigos (0,2 e 0,3) até aterros recentes (entre 0,5 e 0,7) (Figura 3.13), sendo o valor médio situado próximo ao intervalo para aterros antigos.

Nas amostras deste piezômetro, os cloretos (Figura 3.14) tiveram valor médio de 4.441mg/l e variação entre 3.135 e 7.501mg/l. Ao longo do tempo, este parâmetro não mostrou tendência a decrescer, embora teve comportamento bastante irregular. Percebe-se que, no mês de maio de 2000, os valores foram menores, mês este em que também se observaram os menores valores de sólidos voláteis, DBO_5 e DQO . Entre abril e agosto de 1999, percebe-se que os cloretos apresentaram diluições (meses de altos índices precipitados) e concentrações (meses em que choveu menos), porém no mês de agosto de 2000 este comportamento não foi verificado. Neste mês, a precipitação foi de 443,4mm e apresentou a maior concentração de cloretos; provavelmente, a chuva trouxe material contendo cloretos para o aterro.

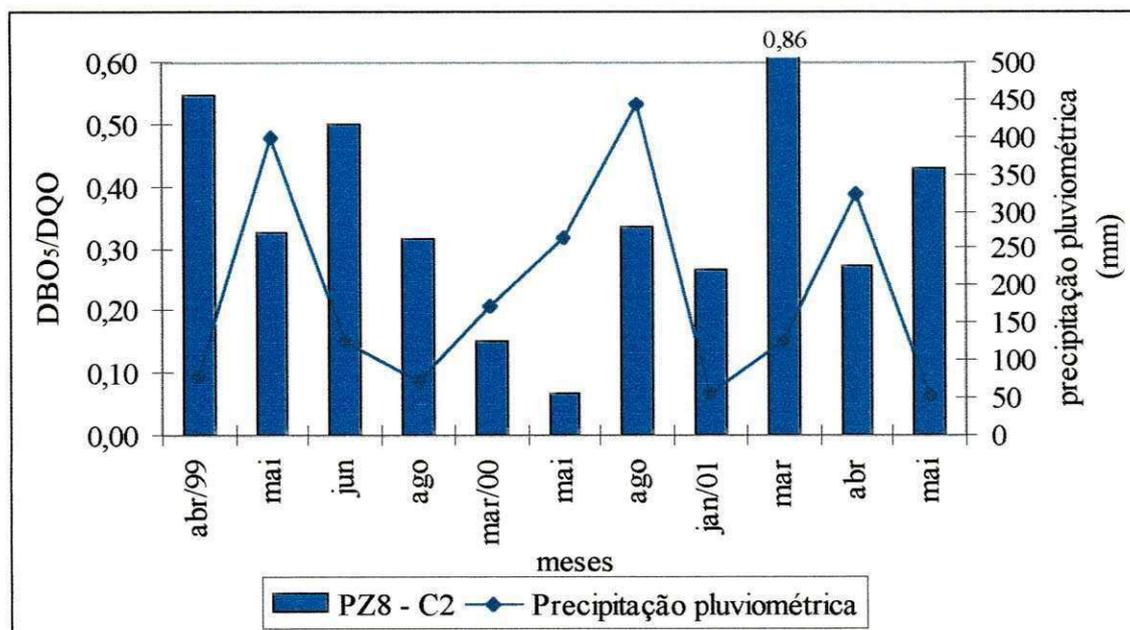


Figura 3.13 - Valores de DBO_5/DQO no período abril/1996 a maio/2000 para o piezômetro Pz-8 instalado na célula 2 (C2) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

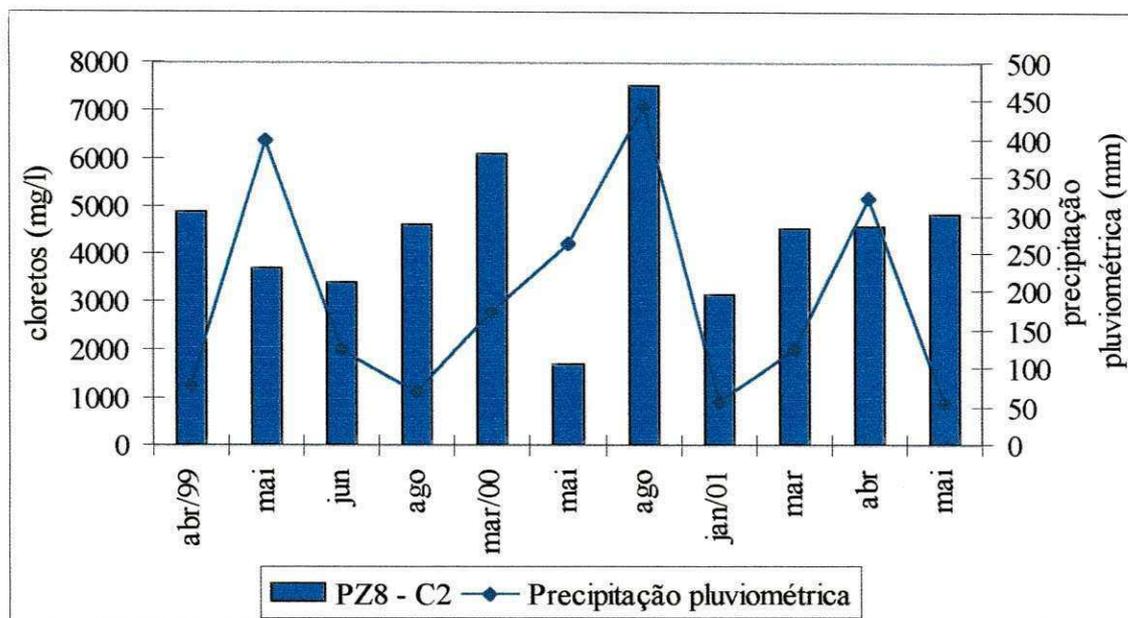


Figura 3.14 – Valores de cloretos no período abril/1996 a maio/2000 para o piezômetro Pz-8 instalado na célula 2 (C2) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

3.2.1.3 – Célula 3

A Figura 3.15 contém os valores de pH e de precipitação pluviométrica determinados na Célula 3.

No Pz-1 (célula C3, profundidade 10 m) o pH variou entre 8,15 e 8,44, com valor médio de 8,31. Houve pouca variação nos valores do pH para as amostras deste piezômetro, ao longo do tempo, e não se verificou forte influência da precipitação pluviométrica sobre os valores deste parâmetro. O chorume deste piezômetro é característico de resíduos aterrados há aproximadamente 4 anos: a variação do pH dentro da faixa alcalina sugere, fortemente, que esta célula encontra-se em fase metanogênica de degradação da matéria orgânica.

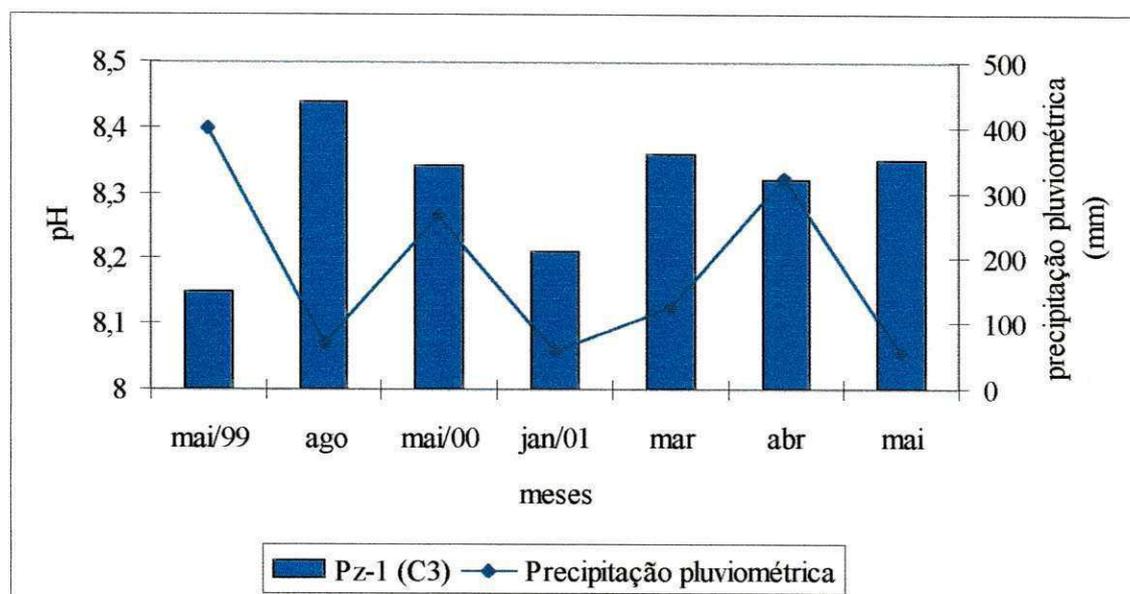


Figura 3.15 – Valores de pH no período maio/1999 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 3 (C3) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

A Figura 3.16 ilustra a variação da alcalinidade no mesmo piezômetro: entre 3.718 e 11.617mg/l, com valor médio de 6.751mg/l. Nos meses de maio e agosto de 1999, a alcalinidade apresentou os valores mais elevados no Pz-1 (C3), entretanto, estes tenderam a cair a partir de maio, não apresentando influência da precipitação pluviométrica.

De acordo com a Figura 3.17, os sólidos voláteis totais variaram entre 5.300 e 13.163mg/l. Este parâmetro também não sofreu, aparentemente, influência da precipitação pluviométrica. Os valores foram elevados no início do período (maio e agosto de 1999), decaindo nos meses restantes (maio de 2000; março, abril e maio de 2001), porém apresentaram uma elevação em janeiro de 2001, mês em que as chuvas foram mais intensas (aproximadamente 100 mm).

A DBO₅ (Figura 3.18) variou entre 147 e 4.552 mg/l, com média de 2.362mg/l. O comportamento destas amostras foi atípico, já que se observou um aumento dos valores com o tempo, quando o esperado era uma redução da DBO₅, visto que a matéria orgânica degrada-se ao longo do tempo. Verificou-se que no mês de maior índice pluviométrico, os valores da DBO₅ tenderam a diminuir, porém devido à profundidade de coleta (10 m) e à camada de cobertura da célula não se poderia afirmar que a precipitação causaria diluições significativas.

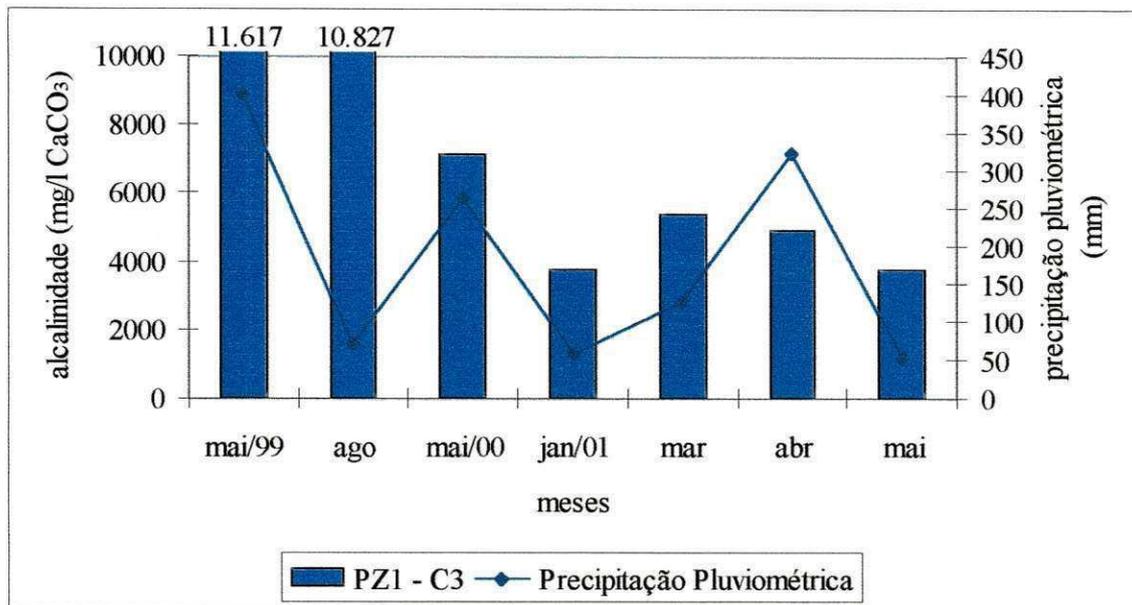


Figura 3.16 – Valores de alcalinidade no período maio/1999 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 3 (C3) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

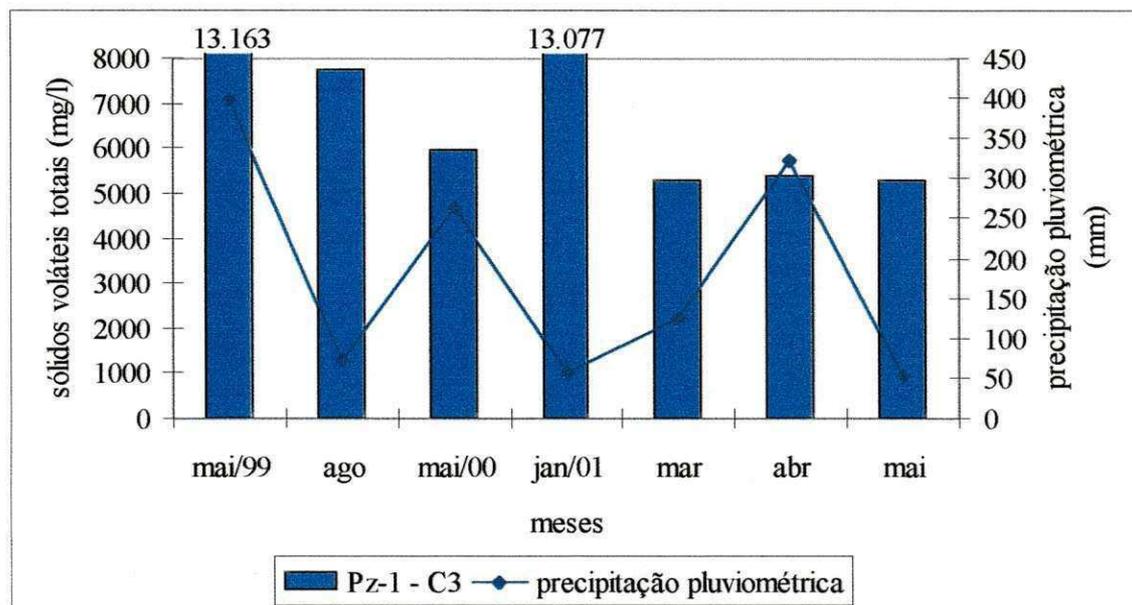


Figura 3.17 – Valores de sólidos voláteis totais no período maio/1999 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 3 (C3) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

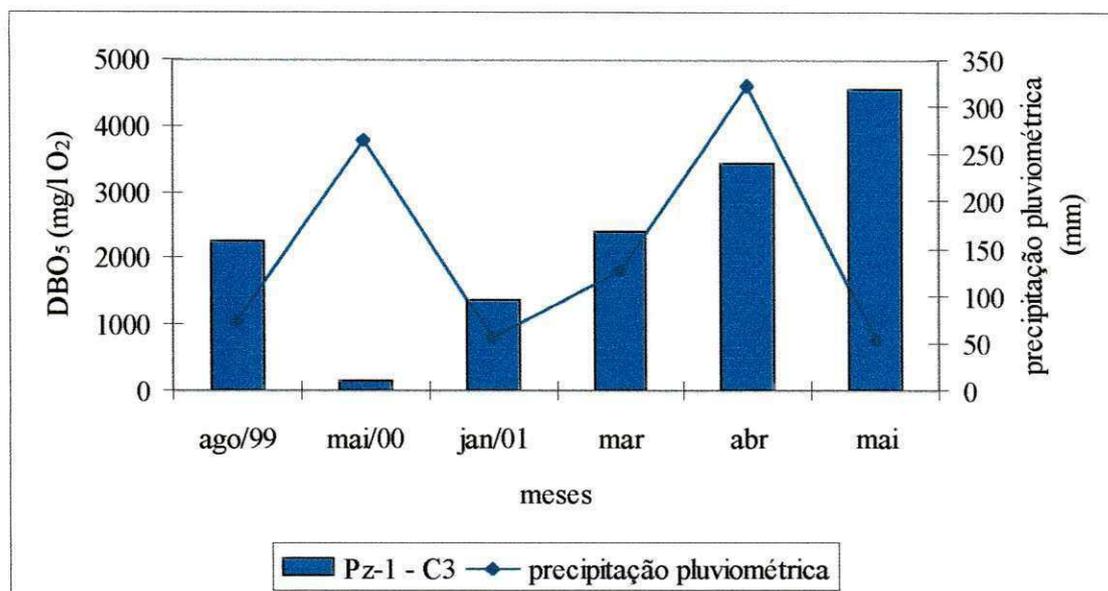


Figura 3.18 – Valores de DBO₅ no período agosto/1999 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 3 (C3) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

Na Figura 3.19 apresentam-se os valores de DQO no mesmo piezômetro. Este parâmetro variou entre 6.694 e 16.100mg/l, com valor médio de 9.015mg/l. Observa-se que a DQO apresentou um comportamento associado à precipitação pluviométrica nos meses de agosto e maio de 2000 e maio de 2001. Analisando-se, de forma comparativa, as Figuras 3.18 e 3.19, observa-se que a variação da DBO₅ e da DQO ao longo do tempo foi bastante semelhante. Verifica-se que, nos dois gráficos, que a partir de janeiro/01 que esses parâmetros aumentaram, independente da precipitação pluviométrica. Já nos meses de maio/99, ago/99, mai/00, jan/01 e mar/01 os dados de DQO coincidiram com os sólidos voláteis totais.

Na Figura 3.20 estão indicados os valores determinados para a relação DBO₅/DQO, na Célula 3. Comparando os valores obtidos para a Célula 3 com os da literatura (TCHOBANOUGLOUS, THEISEN, VIGIL, 1993) percebe-se que variaram desde os esperados para aterros novos (0,5 a 0,7) até os esperados para aterros antigos (0,2 a 0,3); entretanto, os valores desta célula tenderam a aumentar, e o esperado era que esses valores diminuíssem com o tempo, já que o processo de biodegradação deveria avançar ao longo do tempo.

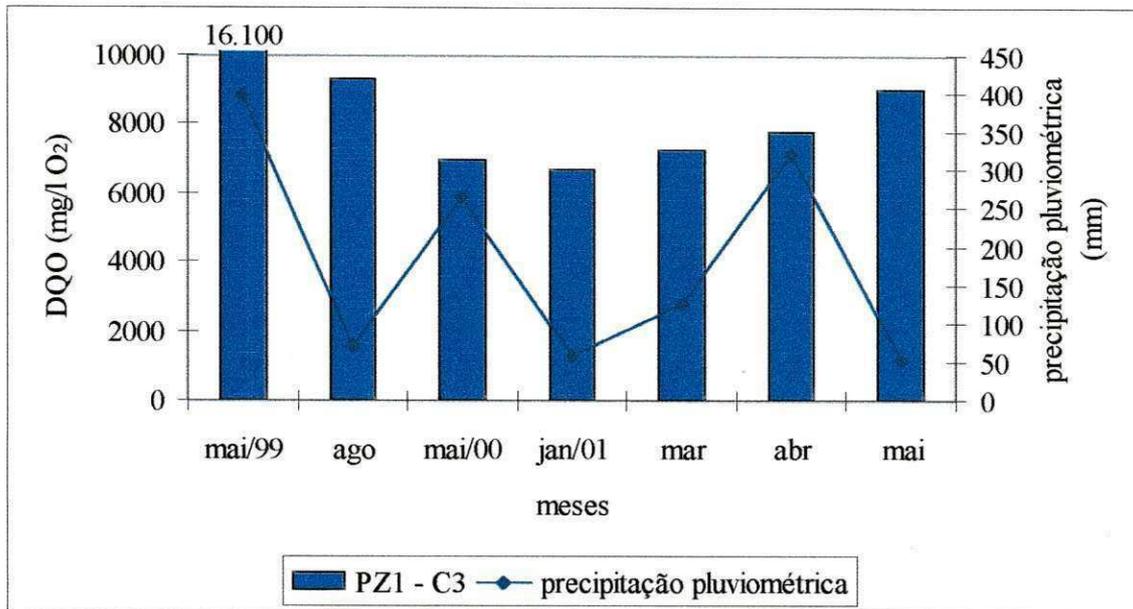


Figura 3.19 – Valores de DQO no período maio/1999 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 3 (C3) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

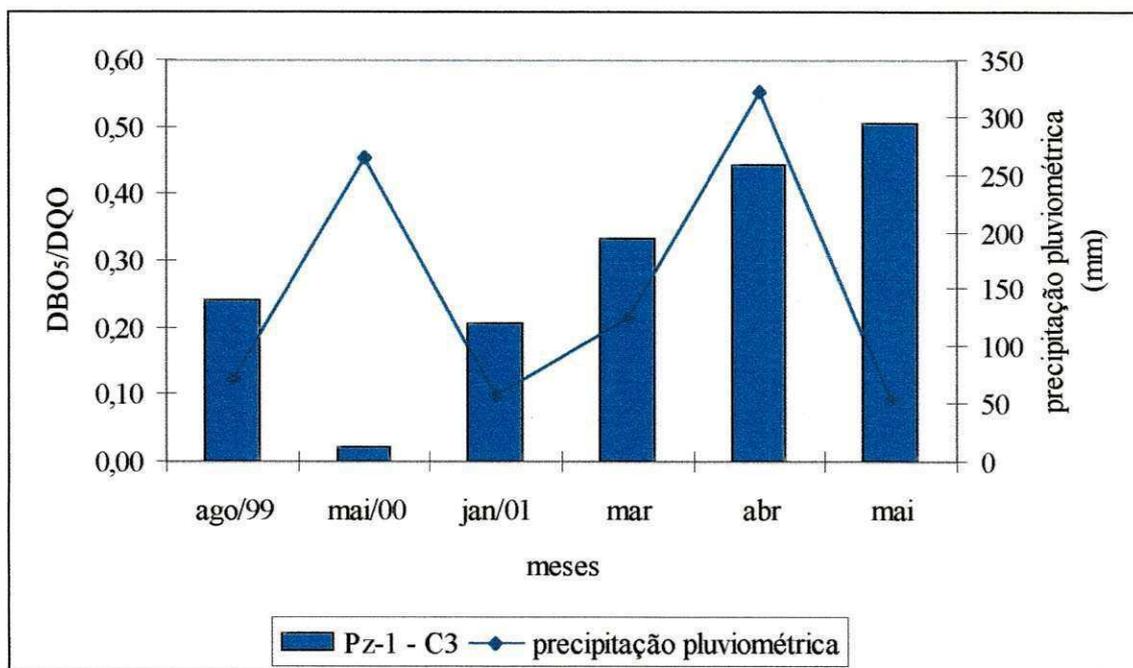


Figura 3.20 – Valores de DBO₅/DQO no período maio/1999 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 3 (C3) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

A Figura 3.21 mostra que os cloretos variaram entre 2.945 e 4.226mg/l, apresentando valor médio de 3552mg/l. O comportamento deste parâmetro ao longo do tempo não apresentou grandes variações e não se percebeu influência da precipitação pluviométrica.

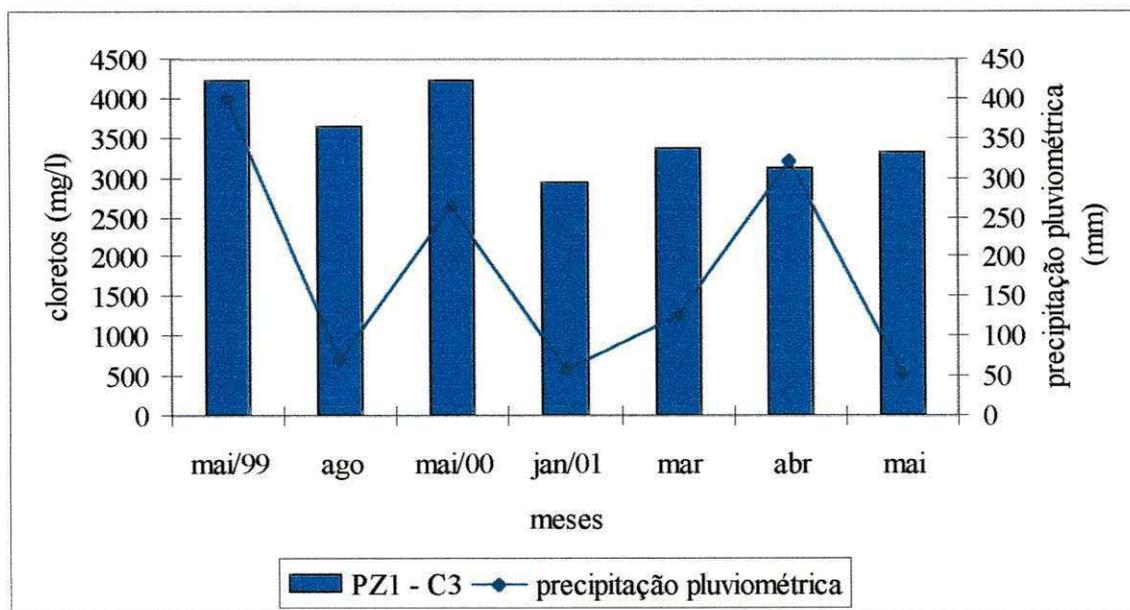


Figura 3.21 – Valores de cloretos no período maio/1999 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 3 (C3) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

3.2.1.4 – Célula 4

O pH das amostras do Pz-1, de acordo com a Figura 3.22, variou entre 8,05 e 8,62, com valor médio de 8,30. Estes valores indicam que os resíduos aterrados encontravam-se em fase avançada de degradação orgânica, o que foi confirmado pelo decréscimo de sólidos voláteis, DBO_5 e DQO (Figuras 3.24, 3.25 e 3.26).

As variações ao longo do tempo foram pequenas. Mesmo assim, não se verificaram comportamentos regulares, havendo flutuações que impedem visualizar tendências. Não se observou forte influência da precipitação pluviométrica sobre os valores deste parâmetro.

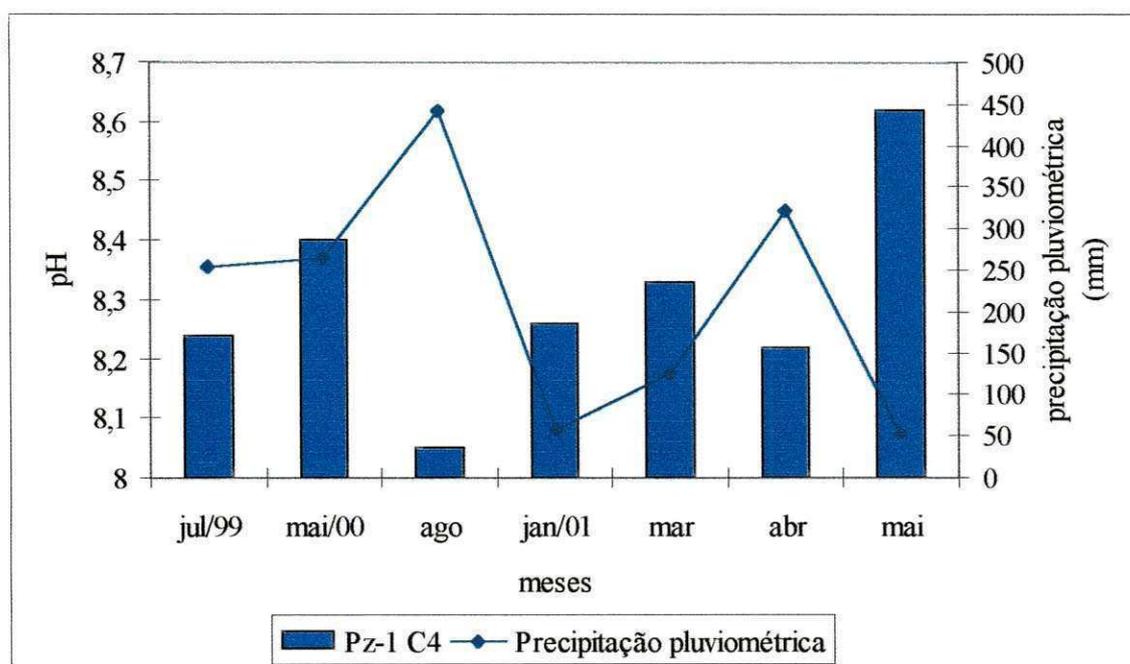


Figura 3.22 – Valores de pH no período julho/1999 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 4 (C4) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

Na Figura 3.23 estão indicados os valores da alcalinidade para a Célula 4.

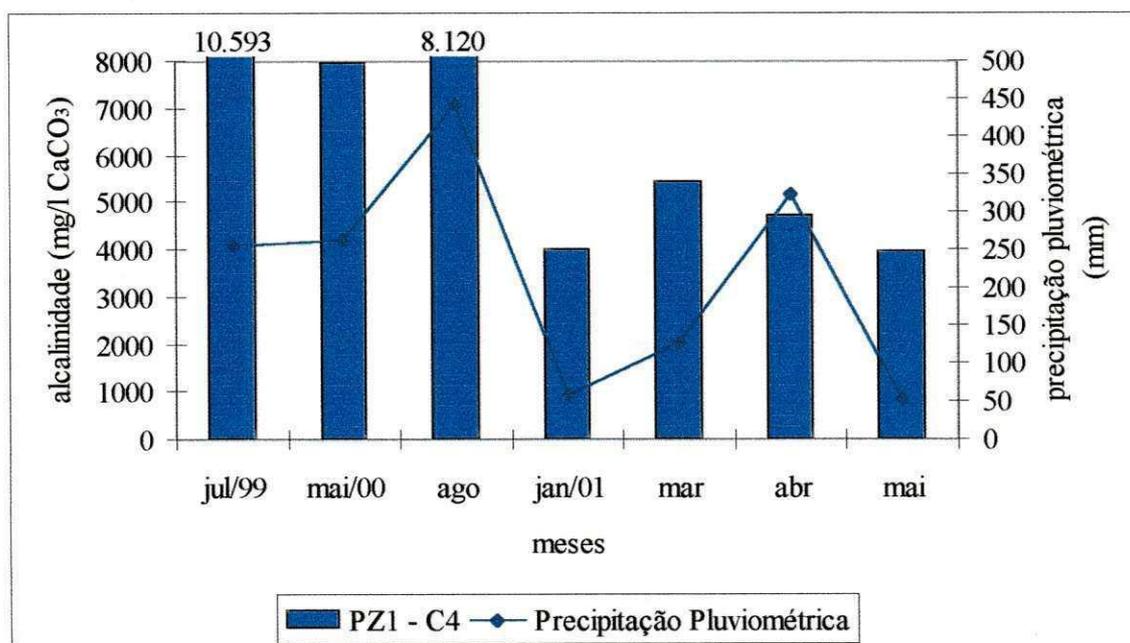


Figura 3.23 – Valores de alcalinidade no período julho/1999 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 4 (C4) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

Os valores de alcalinidade variaram entre 3.940 e 10.593 mg/l e tenderam a diminuir ao longo do tempo. Assim como nas outras células e como indicado pelos valores do pH, a alcalinidade foi devido a bicarbonatos. Não foi observada influência da precipitação sobre este parâmetro, igual que com o pH.

Os sólidos voláteis totais (Figura 3.24) variaram entre 8.144 e 31.351 mg/l, apresentando o valor mais elevado no início do estudo (maio de 2000), caindo em seguida (agosto de 2000) para 8.144mg/l, voltando a subir e terminando o período de estudo com valores relativamente constantes na faixa de 8.000mg/l. Observa-se que em agosto/2000 houve alta precipitação pluviométrica, que pode ser associada a um valor mais baixo deste parâmetro, quando comparado com o mês anterior.

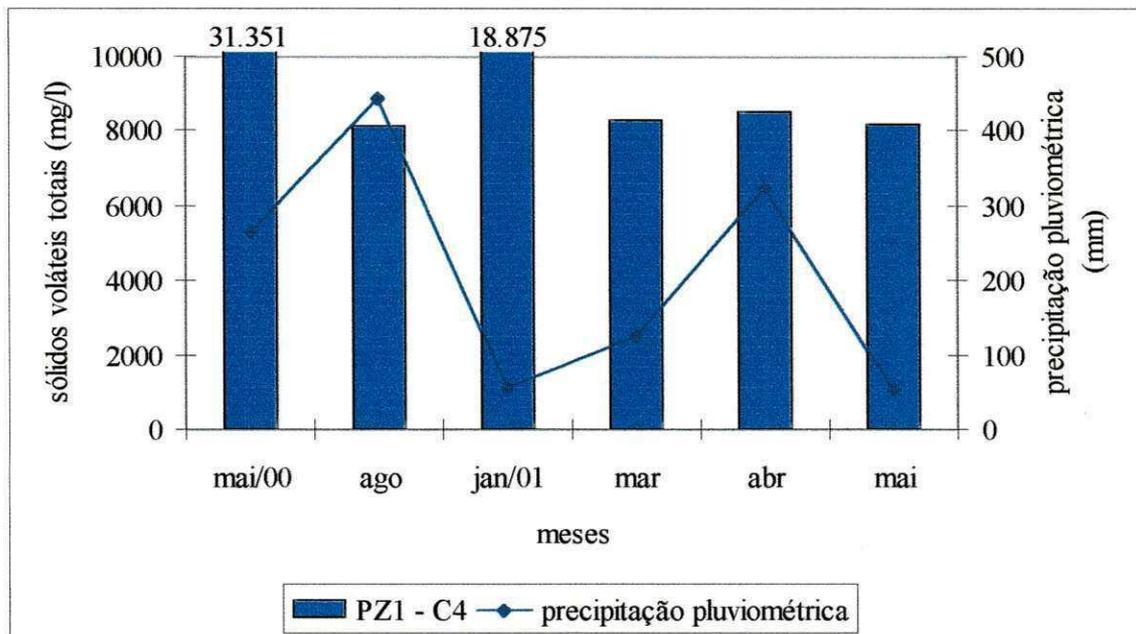


Figura 3.24 – Valores de sólidos voláteis totais no período maio/2000 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 4 (C4) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

A Figura 3.25 indica os valores da DBO_5 , para o piezômetro Pz-1, na Célula 4.

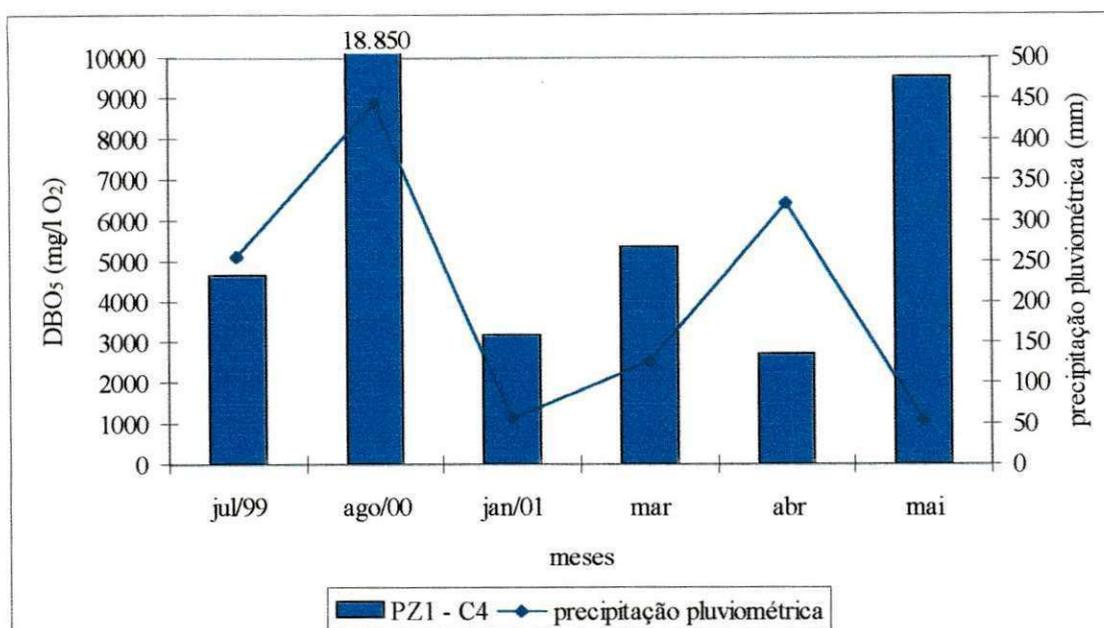


Figura 3.25 – Valores de DBO₅ no período julho/1999 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 4 (C4) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

Os valores da DBO₅ variaram entre 2.680 e 18.850mg/l, apresentando valor médio de 7.368mg/l. Percebe-se que a DBO₅ não apresentou um comportamento linear com o tempo e teve tendência a diminuir a partir de janeiro de 2001. Nos meses de julho de 1999 e abril de 2001, observaram-se os mais baixos valores de DBO₅ e mais elevados de precipitação pluviométrica, entretanto, no mês de agosto de 2000, quando ocorreu o maior índice pluviométrico, não se verificou diluição do chorume, pelo contrário, foi observado também o maior valor de DBO₅ no Pz-1, ficando pouco claro o efeito da chuva na qualidade do chorume nas células deste aterro.

A DQO (Figura 3.26) apresentou valor médio de 16.750mg/l, variando entre 6.250 e 37.900mg/l. Da mesma forma que os valores de DBO₅, a DQO teve o valor mais elevado no mês de agosto/2000, com tendência a diminuir a partir de 2001, porém com um aumento em maio desse mesmo ano, seguindo o comportamento observado para DBO₅ (Fig. 3.25).

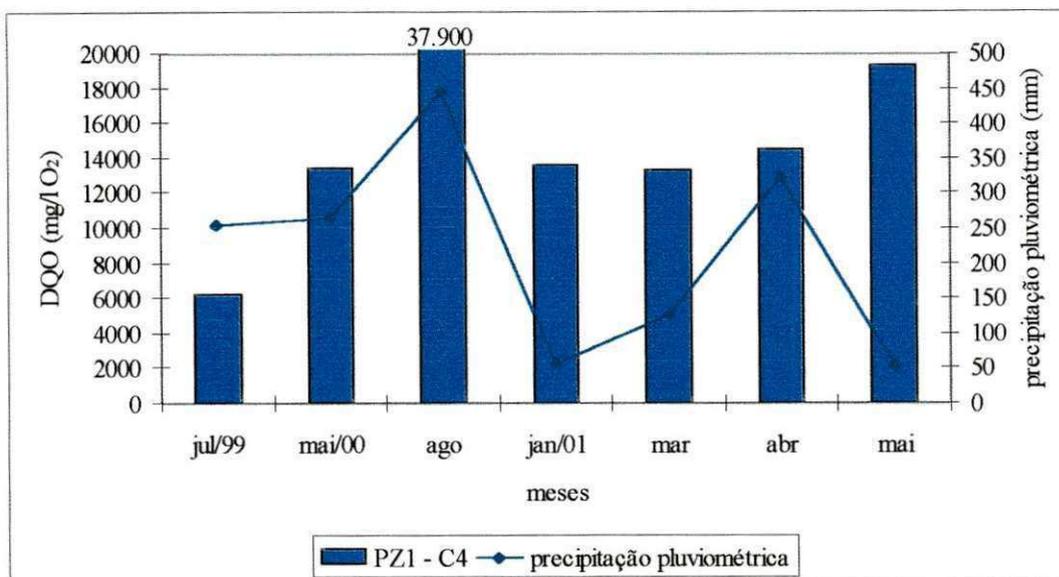


Figura 3.26 – Valores de DQO no período julho/1999 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 4 (C4) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

Quanto à precipitação pluviométrica, em alguns meses as amostras apresentaram baixos valores de DBO₅ e altos valores de precipitação pluviométrica; no mês de agosto de 2000 verificaram-se os maiores valores de DQO, de DBO₅ e de precipitação pluviométrica.

A Figura 3.27 contém os valores de relação DBO₅/DQO para a Célula 4.

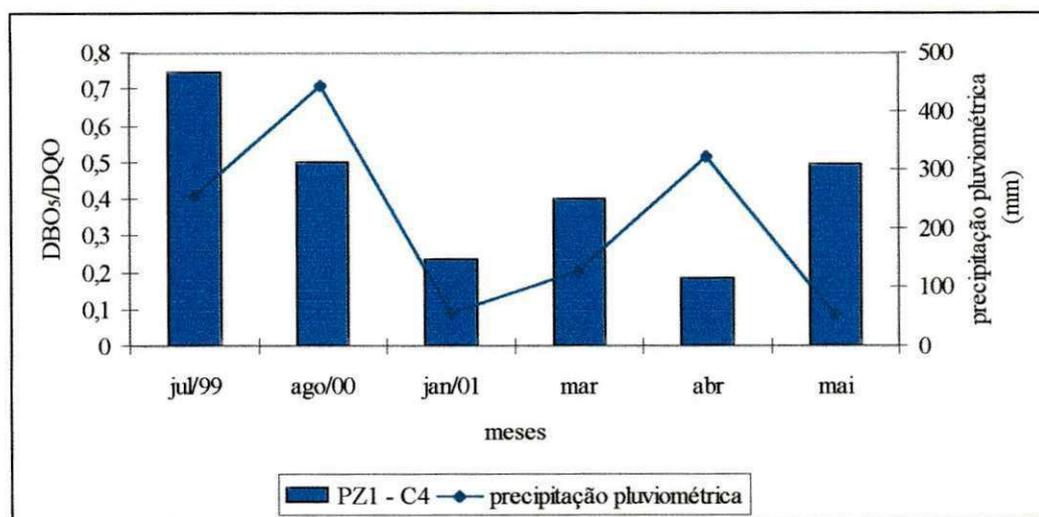


Figura 3.27 – Valores de DBO₅/DQO no período julho/1999 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 4 (C4) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

De acordo com a Figura 3.28, os cloretos apresentaram variações entre 2430 e 5792 mg/l, com valor médio de 3815mg/l. Desde o início do período estudado até agosto/2000 observou-se um aumento nos valores de cloretos, com tendência à sua estabilização a partir de janeiro de 2001. Quanto à precipitação pluviométrica, da mesma forma que na DQO e DBO₅, observaram-se meses com altos índices pluviométricos e baixos valores de cloretos, porém também se observou uma alta precipitação pluviométrica e altos valores de cloretos, mês de agosto de 2000.

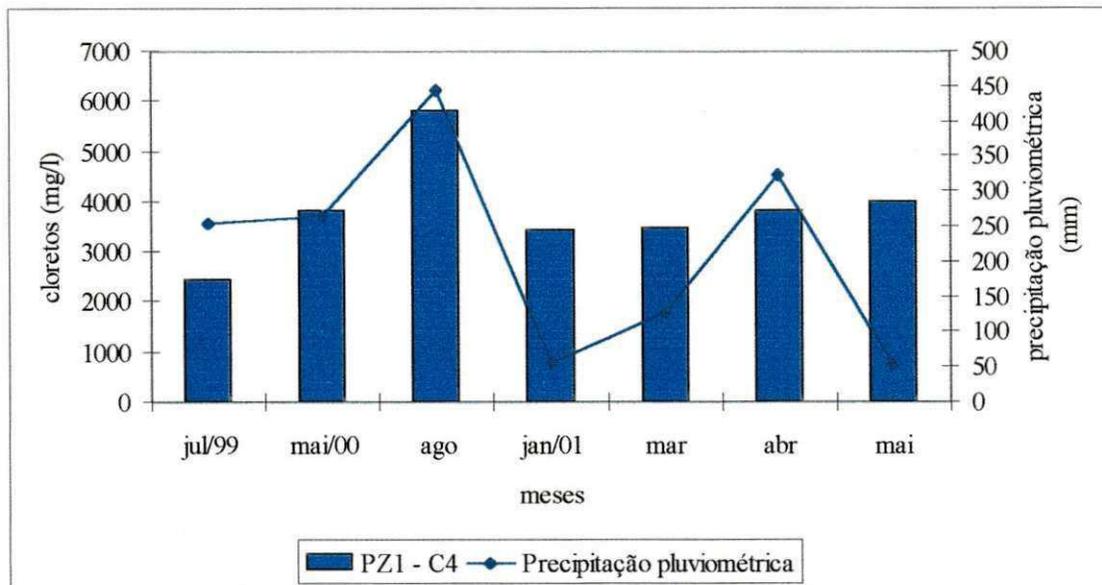


Figura 3.28 – Valores de cloretos no período julho/1999 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 4 (C4) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

3.2.1.5 – Canal de Chorume – P-2 e P-21

O Riacho de Chorume, amostrado nos pontos P-2, mais próximo às células, e o P-21, já às margens do Rio Muribequinha, apresentou valores mais baixos que os encontrados nas células para vários dos parâmetros analisados, muito provavelmente devido à diluição, já que estes locais são externos e em contato direto com as águas de chuva.

A Figura 3.29 mostra que o pH dos pontos P-2 e P-21 variaram pouco ao longo do tempo. O P-2 apresentou média de 7,92 (entre 7,00 e 8,51), já o P-21 variou entre 6,9

e 8,37, e apresentou média de 7,72. A precipitação pluviométrica não parecia ter influenciado nos valores de pH, ao longo do tempo.

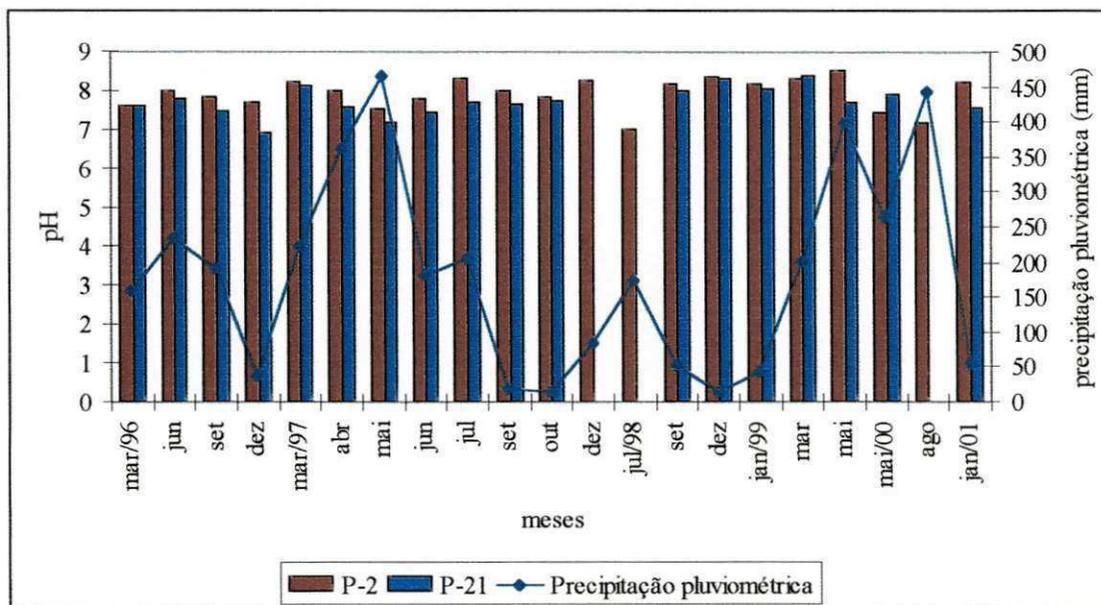


Figura 3.29 – Valores de pH no período março/1996 a janeiro/2001 para os pontos P-2 e P-21 no Riacho de Chorume do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

A alcalinidade variou entre 172,3 e 7.487 mg/l, com média de 3.303 mg/l no P-2 e no P-21 variou entre 46 e 4.387 mg/l com média de 1.463 mg/l (Figura 3.30). O P-21 apresentou valores menores que o P-2, uma vez que é mais diluído. Ao longo do tempo, o P-2 apresentou os maiores valores em 1998 e 1999, fato que também ocorreu com as amostras do P-21. Nesse período, a precipitação pluviométrica teve os menores valores, justificando assim os elevados valores da alcalinidade.

A Figura 3.31 ilustra as variações ocorridas nos teores de sólidos voláteis totais ao longo de todo o tempo estudado. Percebe-se que o P-2 apresentou valores mais elevados (entre 1.336 e 12.702 mg/l, média de 3.386 mg/l) que o P-21 (média de 965 mg/l e variou entre 59 e 2.332 mg/l), provavelmente devido ao processo de sedimentação que ocorreu com o chorume no trecho do Riacho entre os pontos estudados. Em julho de 1997 foi observado o mais elevado valor (12.702 mg/l) no P-2. Não se observou uma tendência decrescente no comportamento desse parâmetro, devido as fortes flutuações ocorridas nos 5 anos de monitoramento.

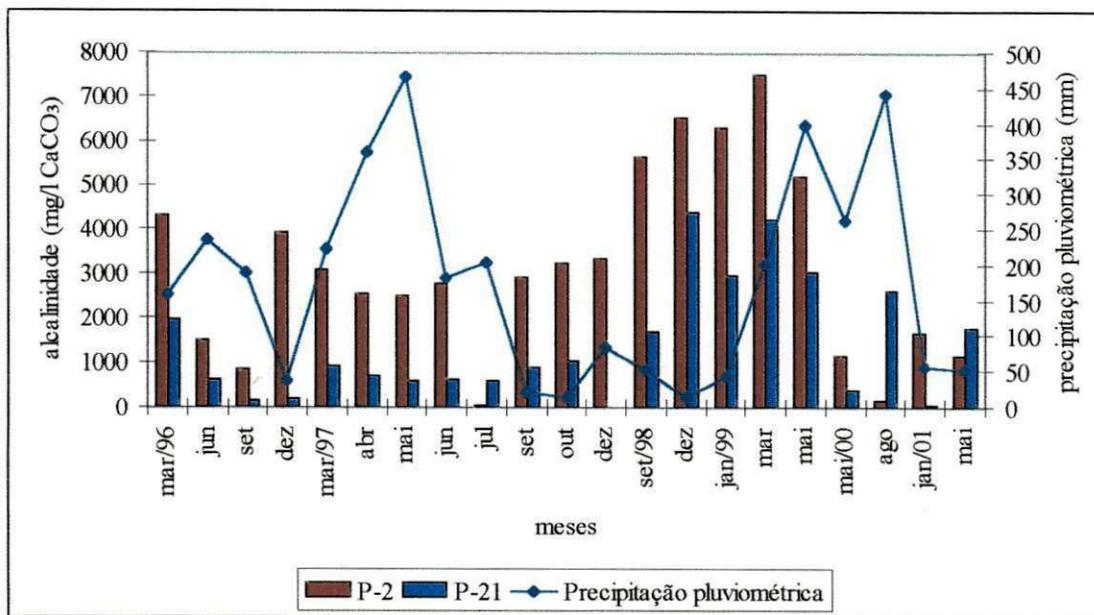


Figura 3.30 – Valores de alcalinidade no período março/1996 a maio/2001 para os pontos P-2 e P-1 no Riacho de Chorume do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

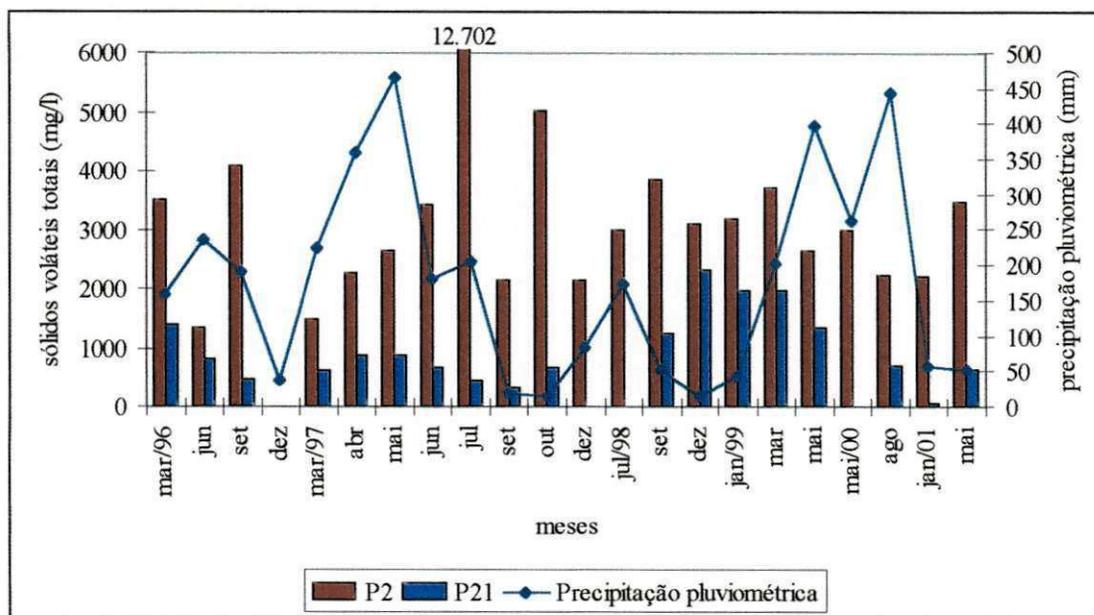


Figura 3.31 – Valores de sólidos voláteis totais no período março/1996 a maio/2001 para os pontos P-2 e P-21 no Riacho de Chorume do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

A DBO₅ apresentou valores bem mais elevados para P-2, (entre 134 e 3.316 mg/l O₂, média de 1.249 mg/l O₂). Para P-21 a variação foi entre 22 e 1.295 mg/l O₂, com média de 411 mg/l O₂. Conforme a Figura 3.32, em alguns meses de altos índices de precipitação pluviométrica, os valores de DBO₅ tenderam a cair, como é o caso de maio de 1999, maio e agosto de 2000, entretanto, o contrário é observado em outubro e dezembro de 1997, quando o parâmetro apresentou valores elevados, com baixa precipitação pluviométrica. Porém, não se pode afirmar que esse fato é uma regra, pois em maio de 1997 observaram-se altos valores de DBO₅ e de precipitação pluviométrica.

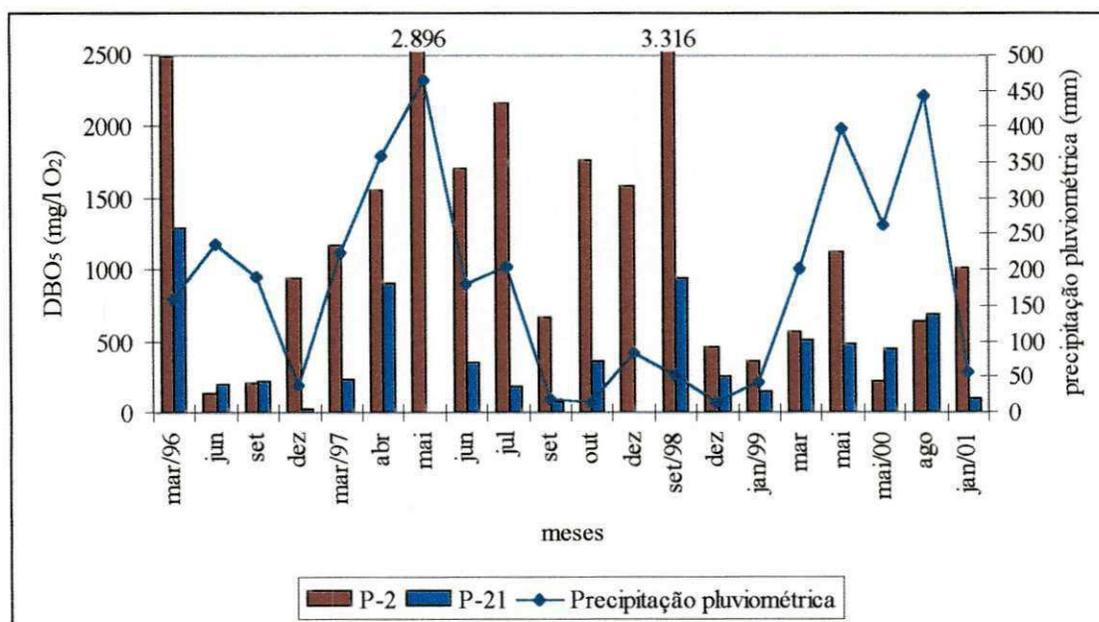


Figura 3.32 – Valores de DBO₅ no período março/1996 a janeiro/2001 para os pontos P-2 e P-21 no Riacho de Chorume do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

Assim como para a DBO₅, a DQO também apresentou valores mais elevados em P-2, já que este ponto encontra-se mais perto das células e recebia todo o chorume efluente. Conforme a Figura 3.33, os valores de DQO em P-2 variaram entre 1.236 e 5.959 mg/l O₂ e a média foi de 2.913 mgO₂/l. P-21 teve média de 1.341 mg/l O₂ e variou entre 170 e 5.985 mg O₂/l. Da mesma forma que a DBO₅, os valores de DQO e precipitação pluviométrica foram coerentes em alguns meses (maior ou menor diluição); já em outros meses, não se percebe uma relação entre esses parâmetros. Ao longo do tempo não se observou um comportamento decrescente da DQO, devido as fortes flutuações.

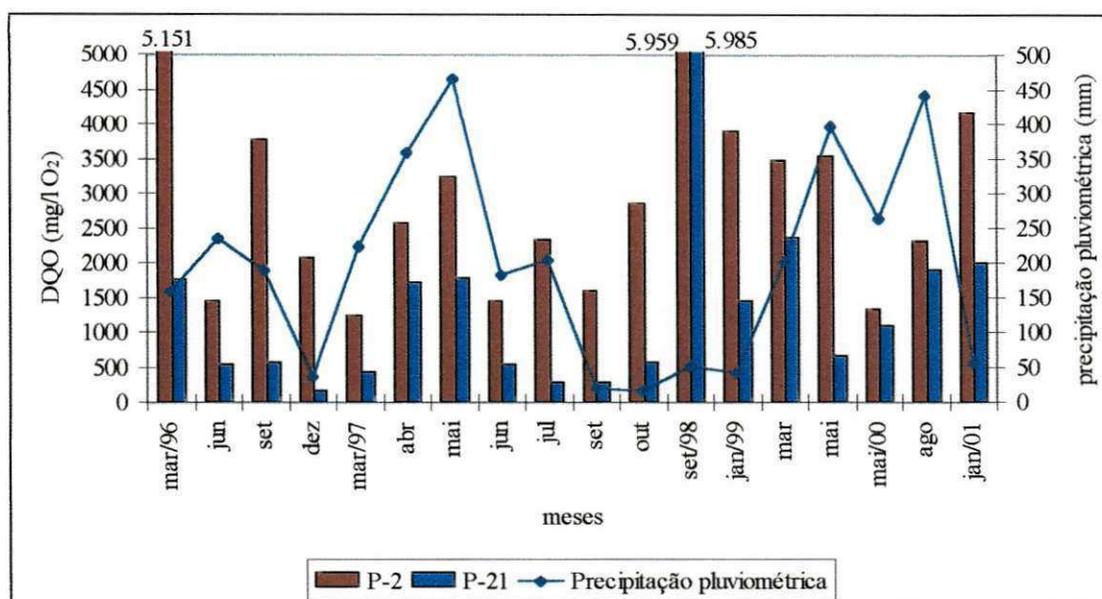


Figura 3.33 – Valores de DQO no período março/1996 a janeiro/2001 para os pontos P-2 e P-21 no Riacho de Chorume do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

A relação DBO_5/DQO para o Riacho de Chorume, diferente do que nas células, não informa se o chorume é de resíduos aterrados recentemente ou não, uma vez que estes pontos recebem contribuição do efluente de células de diferentes idades. Conforme Figura 3.34, a relação variou entre 0,05 e 0,95, no P-2, e entre 0,05 e 0,73, no P-21.

A Figura 3.35 ilustra as variações ocorridas nos teores de cloretos. No ponto P-2, assim como para os outros parâmetros, apresentou os maiores valores (média de 2.382 mg/l e variou entre 907 e 5.018 mg/l); Em P-21, teve média de 731 mg/l e variou entre 43 e 2.747 mg/l. Em alguns meses, ocorreu diluição do chorume devido às chuvas, assim como também houve concentração, em meses de baixos índices pluviométricos, mas este não foi um comportamento constante, visto que também ocorreu o contrário (abril e maio/97; setembro e outubro/97; setembro, dezembro e janeiro/99, entre outros).

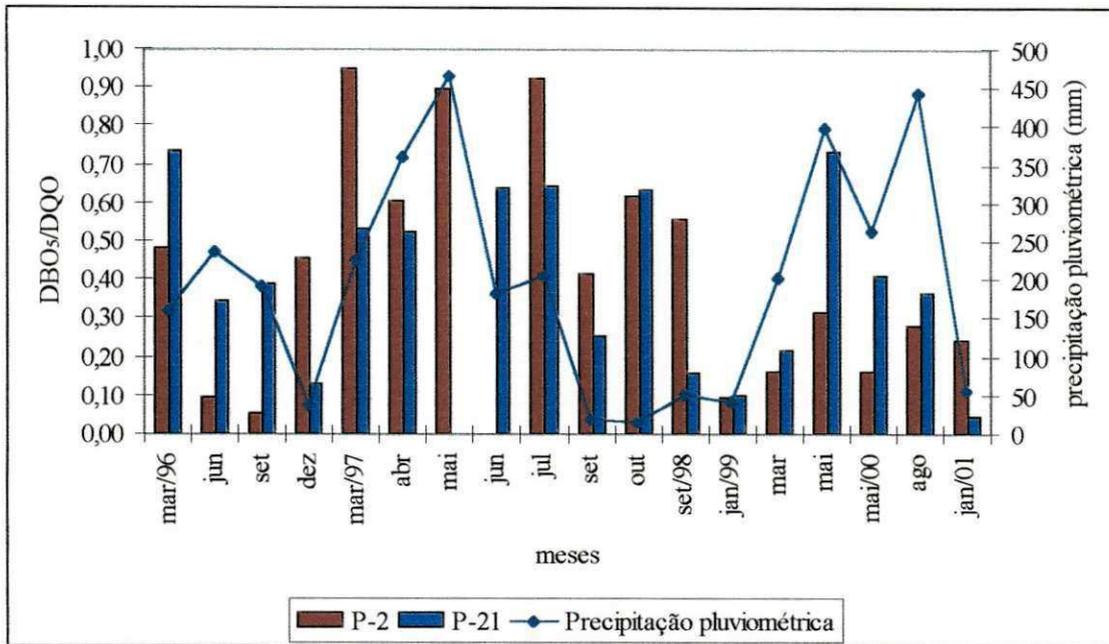


Figura 3.34 – Valores de DBO₅/DQO no período março/1996 a janeiro/2001 para os pontos P-2 e P-21 no Riacho de Chorume do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

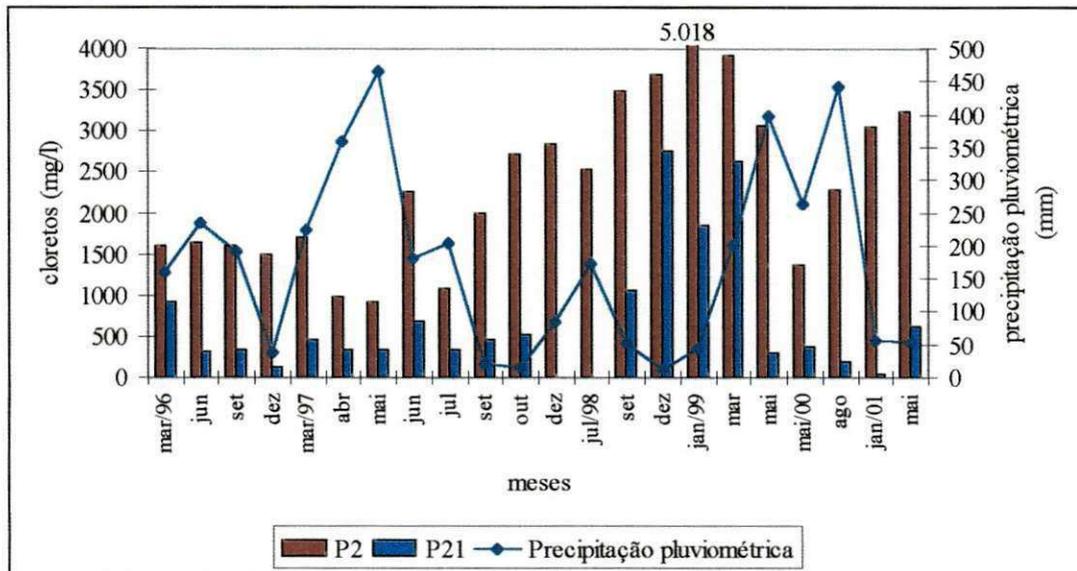


Figura 3.35 – Valores de cloretos no período março/1996 a maio/2001 para os pontos P-2 e P-21 no Riacho de Chorume do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE) e da precipitação pluviométrica para o mesmo período.

3.2.2 Metais Pesados

3.2.2.1 Células 1, 2, 3 e 4

Os metais pesados são encontrados em aterros onde houve disposição de resíduos industriais, lâmpadas, baterias, pilhas, plásticos, papel e borracha (ROUSSEAU et al., 1989; RAY & CHAN, 1986).

Os metais pesados que se encontraram em maiores concentrações no Pz-9 (C1) foram manganês e zinco. O primeiro apresentou variação entre 0,61 e 2,95mg/l, enquanto que o último variou entre 0,18 e 2,69mg/l. Valores bem mais elevados foram encontrados por MERBACH JÚNIOR (1989), no aterro sanitário de São Carlos (SP). Para o manganês, o autor encontrou concentrações de até 38,1mg/l e para o zinco até 29,7mg/l.

As Tabelas 3.3 a 3.6 contêm os valores de metais pesados determinados nas Células C1, C2, C3 e C4.

Tabela 3.3 – Valores de metais pesados no período agosto/1996 a maio/1999 para o piezômetro Pz-9 instalado na célula 1 (C1) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE).

| Pz-9 (C1) | metais pesados (mg/l) | | | | | | |
|-----------|-----------------------|-------|--------|--------|-------|-------|---------|
| | meses | Zinco | Chumbo | Cádmio | Cromo | Cobre | Cobalto |
| ago/96 | 2,30 | 0,60 | 0,05 | 0,27 | 0,34 | 0,08 | 0,61 |
| out | 2,69 | 0,66 | 0,05 | 0,28 | 0,27 | 0,12 | 2,64 |
| dez | 1,23 | 0,27 | 0,05 | 0,16 | 0,11 | 0,13 | 1,00 |
| jan/97 | 2,88 | 0,55 | 0,05 | 0,23 | 0,26 | 0,12 | 2,95 |
| mar | 1,65 | 0,49 | 0,05 | 0,26 | 0,24 | 0,09 | 1,95 |
| abr | 1,18 | 0,33 | 0,05 | 0,16 | 0,14 | 0,08 | 1,49 |
| jan/99 | 1,38 | 0,33 | 0,007 | 0,24 | 0,21 | 0,13 | - |
| mar | 0,18 | 0,09 | 0,007 | 0,07 | 0,03 | 0,01 | 0,19 |
| mai | 2,25 | - | - | 0,65 | 2,40 | - | 1,64 |

Tabela 3.4 – Valores de metais pesados no período janeiro/2001 a maio/2001 para o piezômetro Pz-8 instalado na célula 2 (C2) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE).

| Pz-8 (C2) | | metais pesados (mg/l) | | | | | |
|------------------|-------|------------------------------|--------|-------|-------|---------|----------|
| meses/ano | Zinco | Chumbo | Cádmio | Cromo | Cobre | Cobalto | Manganês |
| jan/01 | 0,34 | 0,91 | 0,06 | 0,15 | 0,43 | 0,16 | 0,64 |
| mar | 0,23 | 2,63 | 0,13 | 0,16 | 0,11 | 0,12 | 0,15 |
| abr | 0,52 | 0,64 | 0,08 | - | - | 0,13 | - |
| mai | 0,16 | 0,80 | - | 0,14 | 0,15 | 0,31 | 0,83 |

Tabela 3.5 – Valores de metais pesados no período janeiro/2001 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 3 (C3) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE).

| Pz-1 (C3) | | metais pesados (mg/l) | | | | | |
|------------------|-------|------------------------------|--------|-------|-------|---------|----------|
| meses/ano | Zinco | Chumbo | Cádmio | Cromo | Cobre | Cobalto | Manganês |
| jan/01 | 0,39 | 1,91 | 0,09 | 0,07 | 2,31 | 0,12 | 1,24 |
| mar | 0,26 | 1,87 | 0,07 | - | 0,10 | 1,01 | 0,21 |
| abr | 1,30 | 0,47 | 0,10 | - | 0,66 | 0,39 | 0,63 |
| mai | 0,17 | 1,03 | 0,35 | - | 0,13 | - | 0,50 |

Tabela 3.6 – Valores de metais pesados no período janeiro/2001 a maio/2001 para o piezômetro Pz-1 instalado na célula 4 (C4) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE).

| Pz-1 (C4) | | metais pesados (mg/l) | | | | | |
|------------------|-------|------------------------------|--------|-------|-------|---------|----------|
| meses/ano | Zinco | Chumbo | Cádmio | Cromo | Cobre | Cobalto | Manganês |
| jan/01 | 1,05 | 2,35 | 0,01 | 0,22 | 1,57 | 0,16 | 0,74 |
| abr | 0,61 | 0,32 | 0,11 | - | 0,15 | 0,43 | - |
| mai | 10,79 | 0,89 | 0,26 | 0,04 | 0,23 | - | 1,06 |

Os demais metais apresentaram as seguintes variações conforme a Tabela 3.1: chumbo: 0,09 – 0,66mg/l; cádmio: 0,007 – 0,05mg/l; cromo: 0,07 – 0,65mg/l; cobre: 0,03 – 2,4mg/l e cobalto: 0,01 – 0,13mg/l. As concentrações dos metais pesados não apresentaram tendência de queda ao longo do tempo.

A Tabela 3.4 mostra as concentrações de metais pesados para o Pz-8 (C2). As mais elevadas corresponderam ao chumbo, (0,64 - 2,63mg/l) e o manganês (0,15 - 0,83mg/l). Concentrações de zinco, cobre e manganês, entre outros, podem ser atribuídas à oxidação de pigmentos de impressos, ligas metálicas em geral e resíduos industriais que foram aterrados nas células (MELO, 2000).

Na célula 3 (Tabela 3.5) percebe-se que o cobre e o chumbo apresentaram os maiores valores. Os demais tiveram valores relativamente altos, indicando potencial poluidor do chorume.

Já a Célula 4 (Tabela 3.6) apresentou valores elevados para zinco e chumbo. O zinco está presente em materiais galvanizados, fios elétricos, pigmentos para pintura, cosméticos e inseticidas, entre outros produtos industriais. O chumbo encontra-se principalmente em tintas, corantes e resíduos de indústrias gráficas.

3.2.2.2 – Riacho de Chorume: P-2 e P-21

Os valores de metais pesados determinados em P-2 e P-21 estão indicados nas Tabelas 3.7 e 3.8.

Tabela 3.7 – Valores de metais pesados no período dezembro/1996 a maio/2001 para P-2 no Riacho de Chorume do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE).

| P-2 | | metais pesados (mg/l) | | | | | |
|--------|-------|-----------------------|--------|-------|-------|---------|----------|
| Meses | Zinco | Chumbo | Cádmio | Cromo | Cobre | Cobalto | Manganês |
| dez/96 | 0,94 | 0,15 | 0,05 | 0,10 | 0,10 | 0,05 | 1,69 |
| jan/99 | 0,23 | 0,09 | 0,07 | 0,16 | 0,03 | 0,07 | 0,31 |
| mar | 0,15 | 0,09 | 0,007 | 0,13 | 0,03 | 0,06 | 0,19 |
| mai | 0,40 | - | 0,02 | 0,10 | 0,57 | - | 0,23 |
| jan/01 | 0,22 | 0,75 | 0,06 | 0,07 | 0,17 | 0,29 | 0,17 |
| mai | 0,24 | 0,99 | - | 0,09 | 0,16 | 0,34 | 0,40 |

Tabela 3.8 - Valores de metais pesados no período dezembro/1996 a maio/2001 para o P-21 no Riacho de Chorume do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE).

| P-21 meses | metais pesados (mg/l) | | | | | | |
|---------------|-----------------------|--------|--------|-------|-------|---------|----------|
| | Zinco | Chumbo | Cádmio | Cromo | Cobre | Cobalto | Manganês |
| dez/96 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,13 |
| mar/97 | 0,19 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,50 |
| jan/99 | 0,14 | 0,09 | 0,007 | 0,06 | 0,03 | 0,01 | 0,56 |
| mar | 0,14 | 0,09 | 0,009 | 0,09 | 0,03 | 0,04 | 0,46 |
| mai | 1,13 | - | 0,08 | 0,38 | 1,08 | - | 0,60 |
| jan/01 | 1,00 | 0,20 | - | 0,08 | 0,75 | - | 0,14 |
| mai | 0,17 | 0,87 | 0,2 | 0,13 | 0,13 | 0,16 | 0,59 |

3.2.3 Parâmetros Microbiológicos

3.2.3.1 Células 1, 2, 3 e 4

A concentração dos coliformes fecais e totais foram em níveis elevados nas células do Aterro da Muribeca e com grandes variações. A Célula 1 (Tabela 3.9) apresentou grandes variações (CF: 2,00 – 5,00x10⁷ NMP/100ml; CT:7x10³ – 1x10⁷ NMP/100ml); na Célula 2 (Tabela 3.10), tiveram valores entre 1,10x10⁵ e 2,10x10⁷ NMP/100ml; na Célula 3 (Tabela 3.11), variaram entre 4,00x10² e 9,00x10⁵ NMP/100ml e na Célula 4 (Tabela 3.12), entre 3,00x10³ e 2,40x10⁸ NMP/100ml, onde ocorreram os maiores valores. Tanto as células antigas (C1 e C2) como as mais novas tiveram altos valores diferente da literatura (GERBA, 1996), que destaca que com o aumento da idade das células, aumenta a mortalidade bacteriana. Tais microrganismos são depositados com o lixo doméstico, papel higiênico usado, fraldas descartáveis entre outros.

Tabela 3.9 – Valores de coliformes fecais e totais no período janeiro/1997 a maio/1999 para o piezômetro Pz-9 (C1) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE).

| meses | Coliformes fecais (NMP/100ml) | | Coliformes totais (NMP/100ml) | |
|--------|-------------------------------|--|-------------------------------|--|
| | Pz-9 (C1) | | | |
| jan/97 | 2,10x10 ³ | | 2,10x10 ³ | |
| mar | 2,80x10 ³ | | 2,40x10 ³ | |
| abr | 1,50x10 ³ | | 2,40x10 ⁴ | |
| mai | 9,00x10 ² | | 2,00x10 ³ | |
| jun | 9,00x10 ³ | | 2,00x10 ⁵ | |
| set | 5,00x10 ⁷ | | 5,00x10 ⁷ | |
| out | 2,00x10 ⁴ | | 2,00x10 ⁴ | |
| mar/99 | 2,43x10 ³ | | 2,40x10 ⁵ | |
| mai | 2,30x10 ³ | | 2,30x10 ⁴ | |

Tabela 3.10 – Valores de coliformes fecais e totais no período jan/01 a abr/01 para os piezômetros Pz-8 (C2), Pz-1 (C3) e Pz-1 (C4) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE).

| Meses | Coliformes fecais (NMP/100ml) | | | Coliformes totais (NMP/100ml) | | |
|--------|-------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|
| | Pz-8 (C2) | Pz-1 (C3) | Pz-1 (C4) | Pz-8 (C2) | Pz-1 (C3) | Pz-1 (C4) |
| jan/01 | 2,10x10 ⁵ | - | 2,40x10 ⁸ | 2,40x10 ⁵ | - | 2,40x10 ⁸ |
| mar | 1,10x10 ⁵ | - | - | 2,40x10 ⁵ | 4,00x10 ² | 3,00x10 ³ |
| abr | 1,50x10 ⁶ | 4,00x10 ⁵ | 2,40x10 ⁵ | 2,10x10 ⁷ | 9,00x10 ⁵ | 2,40x10 ⁵ |

3.2.3.2 – Riacho de Chorume: P-2 e P-21

O comportamento dos coliformes totais no Riacho de Chorume (Tabela 3.11) foi bem semelhante nos pontos P2 e P21. Nos meses de abril de 1996 até março de 1997, os valores apresentaram pouca flutuação, variando entre $7,50 \times 10^3$ e $4,9 \times 10^6$ NMP/100ml. Já nos meses de abril, maio, junho, setembro e outubro de 1997, observou-se um forte aumento, variando entre $1,00 \times 10^7$ e $2,40 \times 10^8$ NMP/100ml. Os valores voltaram a cair em setembro de 1998 e março de 1999, voltando a aumentar em maio de 1999 e janeiro de 2001. Provavelmente, este fato ocorreu devido à precipitação pluviométrica, que foi elevada nos meses iniciais da pesquisa, de até 462,7mm em abril de 1996.

Paes, R. F. C. 2003. Caracterização do Chorume Produzido no Aterro da Muribeca-PE.

Dissertação de Mestrado

Os coliformes fecais apresentaram comportamento semelhante aos coliformes fecais acima descritos. Percebe-se que nos meses de abril, junho e julho de 1996 e janeiro e março de 1997 as concentrações tiveram valores entre $2,30 \times 10^3$ e $4,9 \times 10^6$ NMP/100ml, com pouca flutuação nesses meses. Nos meses de abril, maio, junho, setembro e outubro de 1997, os valores aumentaram, caindo em setembro de 1998 e março de 1999 e voltando a crescer nos meses de maio de 1999 e janeiro de 2001. Além da precipitação pluviométrica outro motivo provável são as fezes dos animais que circulam ao redor deste riacho, que, de acordo com GERBA (1996), possuem concentrações de coliformes fecais entre $2,3 \times 10^7$ UFC/g e $7,9 \times 10^6$ UFC/g.

Tabela 3.11 – Valores de coliformes fecais e totais no período abril/1996 a janeiro/2001 para os P-2 e P-21 no Riacho de Chorume do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE).

| meses | Coliformes fecais (NMP/100ml) | | Coliformes totais (NMP/100ml) | |
|--------|----------------------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|
| | P-2 | P-21 | P-2 | P-21 |
| abr/96 | $4,90 \times 10^6$ | $9,20 \times 10^4$ | $4,90 \times 10^6$ | $1,60 \times 10^5$ |
| jun | $1,61 \times 10^5$ | $1,61 \times 10^4$ | $1,61 \times 10^5$ | $1,61 \times 10^4$ |
| jul | $9,40 \times 10^5$ | $2,40 \times 10^5$ | $4,26 \times 10^6$ | $9,18 \times 10^5$ |
| jan/97 | $2,30 \times 10^3$ | $4,30 \times 10^3$ | $7,50 \times 10^3$ | $1,10 \times 10^5$ |
| mar | $2,80 \times 10^4$ | $2,80 \times 10^3$ | $2,40 \times 10^6$ | $2,10 \times 10^4$ |
| abr | $2,40 \times 10^8$ | $2,40 \times 10^5$ | $2,40 \times 10^8$ | $2,40 \times 10^8$ |
| mai | $5,00 \times 10^7$ | $2,00 \times 10^8$ | $1,00 \times 10^8$ | $2,00 \times 10^8$ |
| jun | $2,00 \times 10^7$ | $2,00 \times 10^6$ | $2,00 \times 10^7$ | $2,00 \times 10^7$ |
| set | $2,00 \times 10^8$ | $3,00 \times 10^4$ | $2,00 \times 10^8$ | $1,00 \times 10^7$ |
| out | $1,00 \times 10^8$ | $2,00 \times 10^8$ | $2,00 \times 10^8$ | $2,00 \times 10^8$ |
| set/98 | $7,00 \times 10^4$ | $2,00 \times 10^4$ | $1,20 \times 10^5$ | $8,00 \times 10^4$ |
| mar/99 | $9,00 \times 10^2$ | $3,00 \times 10^4$ | $2,40 \times 10^4$ | $2,40 \times 10^5$ |
| mai | $1,00 \times 10^8$ | $1,00 \times 10^8$ | $1,00 \times 10^8$ | $1,00 \times 10^8$ |
| jan/01 | $2,40 \times 10^8$ | $2,40 \times 10^8$ | $2,40 \times 10^8$ | $2,40 \times 10^8$ |

3.3 – Análises Estatísticas

3.3.1 - Método não-paramétrico – Teste de Kruskal-Wallis

O teste de Kruskal-Wallis (SOKAL & ROHLF, 1981) foi aplicado aos dados de pH, alcalinidade, SVT, DBO₅, DQO e cloretos do chorume coletado nas Células 1, 2, 3 e 4 do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE). A Tabela 3.12 ilustra os resultados obtidos.

Inicialmente, foi aplicado o método aos conjuntos de todos os piezômetros (Pz-9, Pz-6 e Pz-5 – Célula 1; Pz-8 – Célula 2; Pz-1 – Célula 3; e Pz-1 – Célula 4), e apenas a alcalinidade apresentou hipótese nula verdadeira, ou seja, o parâmetro apresentou comportamento semelhante. Planejou-se então reaplicar o teste para um conjunto de células semelhantes, sendo adotados os critérios da idade das células e profundidade de coleta do chorume. Um conjunto foi formado pelas Células 1 e 2 e outro pelas Células 3 e 4. Para as células 1 e 2 foi aplicado o teste 2 vezes, a primeira para o conjunto dos 4 piezômetros (Pz-9, Pz-5, Pz-6 e Pz-8) e a segunda apenas aos dois piezômetros de mesma profundidade (Pz-5 e Pz-8). Também foi aplicado o teste apenas a Célula 1, a qual possuía 3 piezômetros em diferentes profundidades (Pz-9, Pz-5 e Pz-6), com o objetivo de verificar a influência da profundidade de coleta sobre os parâmetros analisados.

Ao aplicar o teste para todos os piezômetros das células 1 e 2, as quais possuem a mesma idade, apenas a alcalinidade e o pH apresentaram hipótese nula aceita, sendo a alcalinidade para os níveis de significância de 1 e 5%, e o pH para o nível de significância de 1%, conforme Tabela 3.12.

Já para os piezômetros Pz-5 (C1) e Pz-8 (C2), que possuem mesma idade e profundidade de coleta, o pH, a alcalinidade e os sólidos voláteis totais apresentaram hipótese nula aceita para os níveis de significância de 1 e 5%, ou seja, esses parâmetros variam de forma semelhante, não havendo influência da profundidade. A DBO₅ e os cloretos variaram de forma semelhante para $\alpha = 0,01$. A DQO não apresentou hipótese nula aceita para nenhum nível de significância. De acordo com as Figuras 3.5 e 3.11, a C2 possui valores bem mais elevados de DQO e também uma variação diferente ao longo do tempo, se comparado ao Pz-5 (C1), provavelmente devido a composição dos

resíduos ali aterrados.

Para os três piezômetros da Célula 1 (Pz-9, Pz-6 e Pz-5), a hipótese nula não foi aceita apenas para a alcalinidade ao nível de significância de 5% e para os cloretos aos níveis de significância de 1 e 5%. De acordo com este resultado, os outros parâmetros (pH, sólidos voláteis totais, DBO₅ e DQO) variaram de forma semelhante na Célula 1, independente da profundidade de coleta.

Os piezômetros das Células 3 e 4, os quais possuem mesma idade e profundidade de coleta de chorume, apresentaram hipótese nula aceita para todos os parâmetros, menos para a DBO₅, ao nível de significância de 5%, ou seja apresentaram comportamento semelhante, exceto para a DBO₅ para o nível de significância de 1%.

3.3.2 – Matrizes de Correlação

Nas Tabelas 3.13 a 3.22 são apresentadas as matrizes de correlação referentes à pH, alcalinidade, sólidos voláteis, DBO₅, DQO e cloretos, além da precipitação pluviométrica. São destacados os coeficientes de correlação para os níveis de significância $\alpha = 0,01$ e $\alpha = 0,05$. As Tabelas 3.13, 3.14 e 3.15 referem-se aos piezômetros Pz-9, Pz-6 e Pz-5, respectivamente. A matriz de correlação para o conjunto dos piezômetros da Célula 1 está representada na Tabela 3.16. As análises de correlação aplicadas aos piezômetros Pz-8 – Célula 2, Pz-1 – Célula 3 e Pz-1 – Célula 4 são apresentadas, respectivamente, nas Tabelas 3.17, 3.18 e 3.19. Também foram aplicadas matrizes de correlação aos conjuntos de células semelhantes. A Tabela 3.18 refere-se à análise das Células 1 e 2 e a Tabela 3.21 às Células 3 e 4. Para finalizar, a Tabela 3.22 apresenta a matriz de correlação para todos os piezômetros instalados nas 4 células do Aterro da Muribeca.

Na análise dessas matrizes, foi observado que a DQO e os cloretos apresentaram correlações significativas positivas para quase todos os piezômetros, exceto para Pz-8 (C2), Pz-6 (C1) e Pz-1 (C3).

A matriz-correlação para o Pz-1 (C3) (Tabela 3.19) apresentou apenas uma correlação significativa e negativa, entre pH e sólidos voláteis, indicando que, ao passo que diminuem os sólidos voláteis (biodegradação) o valor do pH se eleva.

A DQO apresentou correlações significativas positivas, em quase todas as situações, com a DBO₅. Esta correlação é esperada, uma vez que a matéria orgânica depositada no aterro possui uma fração facilmente biodegradável (DBO₅) e outra menos biodegradável ou mais recalcitrante, de difícil degradação, expressa pela DQO. Embora mais lentamente, esse material também se biodegrada e, portanto, ao longo do tempo, percebe-se o decaimento de ambos parâmetros. A DQO também apresentou correlação significativa positiva com os sólidos voláteis, ambos representando a matéria orgânica presente no aterro e submetidos à degradação.

Apenas as matrizes de correlação para os piezômetros Pz-5 – Célula 1 (Tabela 3.15) e Pz-1 – Célula 4 (Tabela 3.20) apresentaram correlações significativas entre precipitação pluviométrica e uma outra variável: sólidos voláteis – em Pz-5 e cloretos – em Pz-1. Esse comportamento poderia ser explicado pela infiltração da água da chuva nas células, causando a solubilização da matéria orgânica e, em consequência, aumentando os teores de sólidos voláteis. Na matriz de correlação para o conjunto de todos os piezômetros, observa-se que a precipitação pluviométrica é a única variável que não apresentou correlação significativa com as outras variáveis, coincidindo com os comportamentos observados nas análises de distribuição temporal das concentrações de todos os parâmetros e precipitação.

Os valores dos coeficientes significantes aumentaram à medida que os parâmetros foram analisados em conjuntos (Tabelas 3.16, 3.18, 3.21 e 3.22). Pode-se concluir que, à medida que aumentam os dados analisados, o teste se torna mais representativo.

Tabela 3.12 – Resultados obtidos na análise não-paramétrica (Teste de Kruskal-Wallis) para o chorume do Aterro da Muribeca-PE

| | pH | Alcalinidade C1, C2, C3 e C4 (Pz-9, Pz-5, Pz-6, Pz-8, Pz-1 e Pz-1) | Sólidos Voláteis | DBO ₅ | DQO | Cloretos |
|--|--------------------------|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| $\alpha = 0,01$ | hipótese nula não aceita | hipótese nula aceita | hipótese nula não aceita | hipótese nula não aceita | hipótese nula não aceita | hipótese nula não aceita |
| $\alpha = 0,05$ | hipótese nula não aceita | hipótese nula não aceita | hipótese nula não aceita | hipótese nula não aceita | hipótese nula não aceita | hipótese nula não aceita |
| C1 e C2 (Pz-9, Pz-5, Pz-6 e Pz-8) | | | | | | |
| $\alpha = 0,01$ | hipótese nula aceita | hipótese nula aceita | hipótese nula não aceita | hipótese nula não aceita | hipótese nula não aceita | hipótese nula não aceita |
| $\alpha = 0,05$ | hipótese nula não aceita | hipótese nula aceita | hipótese nula não aceita | hipótese nula não aceita | hipótese nula não aceita | hipótese nula não aceita |
| C1 e C2 (Pz-5 e Pz-8) | | | | | | |
| $\alpha = 0,01$ | hipótese nula aceita | hipótese nula aceita | hipótese nula aceita | hipótese nula aceita | hipótese nula não aceita | hipótese nula aceita |
| $\alpha = 0,05$ | hipótese nula aceita | hipótese nula aceita | hipótese nula aceita | hipótese nula não aceita | hipótese nula não aceita | hipótese nula não aceita |
| C1 (Pz-9, Pz-5 e Pz-6) | | | | | | |
| $\alpha = 0,01$ | hipótese nula aceita | hipótese nula aceita | hipótese nula aceita | hipótese nula aceita | hipótese nula aceita | hipótese nula não aceita |
| $\alpha = 0,05$ | hipótese nula aceita | hipótese nula não aceita | hipótese nula aceita | hipótese nula aceita | hipótese nula aceita | hipótese nula não aceita |
| C3 e C4 (Pz-1 e Pz-1) | | | | | | |
| $\alpha = 0,01$ | hipótese nula aceita | hipótese nula aceita | hipótese nula aceita | hipótese nula aceita | hipótese nula aceita | hipótese nula aceita |
| $\alpha = 0,05$ | hipótese nula aceita | hipótese nula aceita | hipótese nula aceita | hipótese nula não aceita | hipótese nula aceita | hipótese nula aceita |

Tabela 3.13 – Matriz de correlação dos resultados dos parâmetros de caracterização do chorume coletado no Pz-9 na Célula 1 do Aterro da Muribeca-PE.

| C1 (Pz-9) | pH | Alcalinidade | Sólidos Voláteis | DBO ₅ | DQO | Cloretos | Precipitação Pluviométrica |
|----------------------------|--------|--------------|------------------|------------------|--------|----------|----------------------------|
| pH | 1 | | | | | | |
| Alcalinidade | 0,147 | 1 | | | | | |
| Sólidos Voláteis | -0,190 | -0,206 | 1 | | | | |
| DBO ₅ | 0,081 | 0,515** | -0,03 | 1 | | | |
| DQO | -0,326 | -0,186 | 0,540** | 0,014 | 1 | | |
| Cloretos | 0,124 | 0,699** | -0,139 | 0,880** | -0,088 | 1 | |
| Precipitação Pluviométrica | 0,030 | -0,182 | 0,062 | 0,055 | -0,053 | -0,03 | 1 |

(**) $\alpha = 0,01$ **Tabela 3.14** - Matriz de correlação dos resultados dos parâmetros de caracterização do chorume coletado no Pz-6 na Célula 1 do Aterro da Muribeca-PE.

| C1 (Pz-6) | pH | Alcalinidade | Sólidos Voláteis | DBO ₅ | DQO | Cloretos | Precipitação Pluviométrica |
|----------------------------|----------|--------------|------------------|------------------|--------|----------|----------------------------|
| pH | 1 | | | | | | |
| Alcalinidade | -0,158 | 1 | | | | | |
| Sólidos Voláteis | -0,453 | 0,451 | 1 | | | | |
| DBO ₅ | 0,512 | 0,482 | 0,039 | 1 | | | |
| DQO | -0,405 | 0,515 | 0,788 | 0,403 | 1 | | |
| Cloretos | -0,846** | -0,238 | 0,311 | -0,713 | 0,055 | 1 | |
| Precipitação Pluviométrica | 0,715 | -0,332 | -0,487 | 0,632 | -0,198 | -0,527 | 1 |

(**) $\alpha = 0,01$

Tabela 3.15 – Matriz de correlação dos resultados dos parâmetros de caracterização do chorume coletado Pz-5 na Célula 1 do Aterro da Muribeca-PE

| C1 (Pz-5) | pH | Alcalinidade | Sólidos Voláteis | DBO ₅ | DQO | Cloretos | Precipitação Pluviométrica |
|----------------------------|-------|--------------|------------------|------------------|---------|----------|----------------------------|
| pH | 1 | | | | | | |
| Alcalinidade | 0,398 | 1 | | | | | |
| Sólidos Voláteis | 0,338 | 0,296 | 1 | | | | |
| DBO ₅ | 0,710 | 0,603 | 0,169 | 1 | | | |
| DQO | 0,486 | 0,807 | 0,269 | 0,320 | 1 | | |
| Cloretos | 0,222 | 0,689 | 0,045 | 0,082 | 0,945** | 1 | |
| Precipitação Pluviométrica | 0,340 | -0,049 | 0,895* | -0,266 | 0,087 | -0,027 | 1 |

(**) $\alpha = 0,01$ (*) $\alpha = 0,05$ **Tabela 3.16** – Matriz de correlação dos resultados dos parâmetros de caracterização do chorume obtido nos Pz-9, Pz-6 e Pz-5 na Célula 1 no Aterro da Muribeca-PE

| C1 (Pz-9 + Pz-6 + Pz-5) | pH | Alcalinidade | Sólidos Voláteis | DBO ₅ | DQO | Cloretos | Precipitação Pluviométrica |
|----------------------------|-------|--------------|------------------|------------------|---------|----------|----------------------------|
| pH | 1 | | | | | | |
| Alcalinidade | 0,179 | 1 | | | | | |
| Sólidos Voláteis | 0,058 | 0,264 | 1 | | | | |
| DBO ₅ | 0,191 | 0,186 | 0,209 | 1 | | | |
| DQO | 0,039 | 0,365* | 0,773** | 0,480** | 1 | | |
| Cloretos | 0,113 | 0,407** | 0,363* | 0,126 | 0,532** | 1 | |
| Precipitação Pluviométrica | 0,182 | -0,191 | 0,049 | 0,120 | -0,019 | 0,005 | 1 |

(**) $\alpha = 0,01$ (*) $\alpha = 0,05$

Tabela 3.17 – Matriz de correlação dos resultados dos parâmetros de caracterização do chorume coletado no Pz-8 na Célula 2 do Aterro da Muribeca-PE.

| C2 (Pz-8) | pH | Alcalinidade | Sólidos Voláteis | DBO ₅ | DQO | Cloretos | Precipitação Pluviométrica |
|----------------------------|--------|--------------|------------------|------------------|--------|----------|----------------------------|
| pH | 1 | | | | | | |
| Alcalinidade | 0,33 | 1 | | | | | |
| Sólidos Voláteis | 0,254 | 0,385 | 1 | | | | |
| DBO ₅ | -0,005 | 0,322 | 0,711* | 1 | | | |
| DQO | 0,137 | 0,530 | 0,924** | 0,722* | 1 | | |
| Cloretos | -0,463 | 0,048 | -0,178 | 0,112 | -0,044 | 1 | |
| Precipitação Pluviométrica | 0,448 | -0,014 | 0,440 | 0,051 | 0,385 | 0,115 | 1 |

(**) $\alpha = 0,01$ (*) $\alpha = 0,05$ **Tabela 3.18** – Matriz de correlação dos resultados dos parâmetros de caracterização do chorume coletado nas Célula 1 e 2 (Pz-9, Pz-6, Pz-5 e Pz-8) do Aterro da Muribeca-PE

| C1 + C2 | pH | Alcalinidade | Sólidos Voláteis | DBO ₅ | DQO | Cloretos | Precipitação Pluviométrica |
|----------------------------|--------|--------------|------------------|------------------|---------|----------|----------------------------|
| pH | 1 | | | | | | |
| Alcalinidade | 0,347* | 1 | | | | | |
| Sólidos Voláteis | 0,252 | 0,436** | 1 | | | | |
| DBO ₅ | 0,299* | 0,440** | 0,606** | 1 | | | |
| DQO | 0,300* | 0,586** | 0,848** | 0,752** | 1 | | |
| Cloretos | 0,199 | 0,449** | 0,319* | 0,422** | 0,562** | 1 | |
| Precipitação Pluviométrica | 0,222 | -0,100 | 0,181 | 0,095 | 0,097 | 0,053 | 1 |

(**) $\alpha = 0,01$ (*) $\alpha = 0,05$

Tabela 3.19 – Matriz de correlação dos resultados dos parâmetros de caracterização do chorume coletado no Pz-1 na Célula 3 do Aterro da Muribeca-PE

| C3 (Pz-1) | pH | Alcalinidade | Sólidos Voláteis | DBO ₅ | DQO | Cloretos | Precipitação Pluviométrica |
|----------------------------|----------------|--------------|------------------|------------------|-------|----------|----------------------------|
| pH | 1 | | | | | | |
| Alcalinidade | -0,74 | 1 | | | | | |
| Sólidos Voláteis | -0,801* | 0,350 | 1 | | | | |
| DBO ₅ | 0,207 | -0,333 | -0,396 | 1 | | | |
| DQO | -0,532 | 0,727 | 0,520 | 0,640 | 1 | | |
| Cloretos | -0,124 | 0,749 | 0,110 | -0,536 | 0,566 | 1 | |
| Precipitação Pluviométrica | -0,486 | 0,437 | 0,156 | -0,199 | 0,555 | 0,568 | 1 |

(*) $\alpha = 0,05$

Tabela 3.20 – Matriz de correlação dos resultados dos parâmetros de caracterização do chorume coletado no Pz-1 na Célula 4 do Aterro da Muribeca-PE

| C4 (Pz-1) | pH | Alcalinidade | Sólidos Voláteis | DBO ₅ | DQO | Cloretos | Precipitação Pluviométrica |
|----------------------------|--------|--------------|------------------|------------------|----------------|---------------|----------------------------|
| pH | 1 | | | | | | |
| Alcalinidade | -0,412 | 1 | | | | | |
| Sólidos Voláteis | 0,155 | 0,373 | 1 | | | | |
| DBO ₅ | -0,267 | 0,281 | -0,419 | 1 | | | |
| DQO | -0,375 | -0,029 | -0,385 | 0,927** | 1 | | |
| Cloretos | -0,326 | -0,101 | -0,297 | 0,863* | 0,976** | 1 | |
| Precipitação Pluviométrica | -0,569 | 0,148 | -0,052 | 0,595 | 0,707 | 0,797* | 1 |

(**) $\alpha = 0,01$ (*) $\alpha = 0,05$

Tabela 3.21 – Matriz de correlação dos resultados dos parâmetros de caracterização do chorume coletado no Pz-1 na Célula 3 e no Pz-1 na Célula 4 do Aterro da Muribeca-PE

| C3 + C4 | pH | Alcalinidade | Sólidos Voláteis | DBO ₅ | DQO | Cloretos | Precipitação Pluviométrica |
|----------------------------|---------|--------------|------------------|------------------|---------|----------|----------------------------|
| pH | 1 | | | | | | |
| Alcalinidade | -0,247 | 1 | | | | | |
| Sólidos Voláteis | -0,017 | 0,164 | 1 | | | | |
| DBO ₅ | -0,284 | 0,135 | -0,062 | 1 | | | |
| DQO | -0,354 | 0,108 | 0,057 | 0,935** | 1 | | |
| Cloretos | -0,282 | 0,196 | -0,030 | 0,725** | 0,863** | 1 | |
| Precipitação Pluviométrica | -0,615* | 0,491 | 0,046 | 0,433 | 0,458 | 0,519 | 1 |

(**) $\alpha = 0,01$

Tabela 3.22 – Matriz de correlação dos resultados dos parâmetros de caracterização do chorume coletado nos Pz-9, Pz-6 e Pz-5 na Célula 1, Pz-8 na Célula 2, Pz-1 na Célula 3 e no Pz-1 na Célula 4 no Aterro da Muribeca-PE

| C1 + C2 + C3 + C4 | pH | Alcalinidade | Sólidos Voláteis | DBO ₅ | DQO | Cloretos | Precipitação Pluviométrica |
|----------------------------|---------|--------------|------------------|------------------|---------|----------|----------------------------|
| pH | 1 | | | | | | |
| Alcalinidade | 0,314** | 1 | | | | | |
| Sólidos Voláteis | 0,426** | 0,336** | 1 | | | | |
| DBO ₅ | 0,357** | 0,261* | 0,425** | 1 | | | |
| DQO | 0,446** | 0,374** | 0,603** | 0,905** | 1 | | |
| Cloretos | 0,283* | 0,437** | 0,326** | 0,432** | 0,547** | 1 | |
| Precipitação Pluviométrica | 0,154 | 0,032 | 0,150 | 0,193 | 0,219 | 0,132 | 1 |

(**) $\alpha = 0,01$ (*) $\alpha = 0,05$

CAPÍTULO IV

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 - Efeito da profundidade na qualidade do chorume do Aterro da Muribeca

4.1.1 - Parâmetros Físicos e Químicos

Foram analisados os parâmetros de qualidade do chorume no período março/1999 – maio/2000, com dados para os três piezômetros.

4.1.1.1 - Célula 1

A Figura 4.1 mostra as flutuações dos valores de pH ao longo dos meses, nas amostras de chorume dos três piezômetros da Célula 1 (entre 7,2 e 8,4), verificando-se que nestas não houve variações extremas.

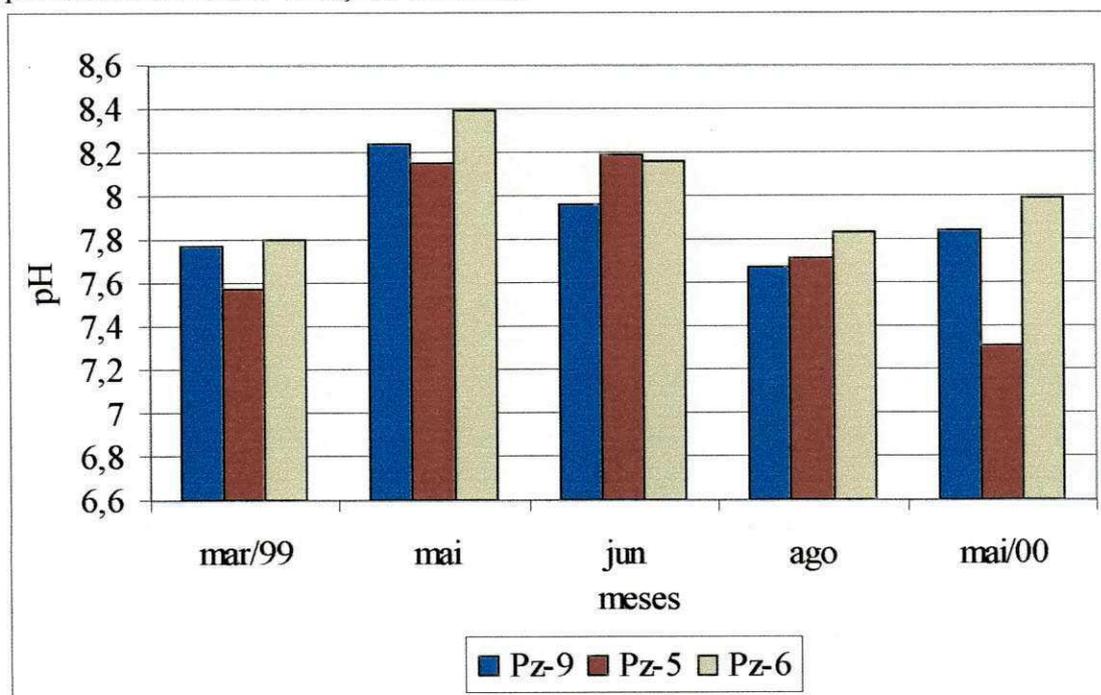


Figura 4.1 – Valores de pH no período Março/1999 a Maio/2000 para três piezômetros (Pz-9 (5m); Pz-5 (15m); Pz-6 (18m)) com diferentes profundidades instalados na célula 1 (C1) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE).

Uma outra observação interessante é que as amostras dos três piezômetros apresentaram comportamentos semelhantes mês a mês. Pz-6, instalado a 18m de profundidade foi o que apresentou os maiores valores, ou seja, os valores mais básicos. O chorume coletado neste piezômetro representa os resíduos aterrados há mais tempo nesta célula, porém, devido ao processo de lixiviação, recebe contribuição do chorume formado a partir de resíduos aterrados mais recentemente, com pH menor, e a esse fato se atribuem as flutuações observadas. SEGATO (2000), ao estudar o chorume do aterro sanitário de Bauru, encontrou variação de 6,9 a 8,2. Este aterro opera na cidade desde 1994, atendendo uma população de aproximadamente 330.000 habitantes; possui uma área de 8 hectares, sendo seu solo natural do tipo arenoso (típico de Bauru) e tem declive médio de 8%. A uma distância aproximada de 100 metros do aterro, existe um pequeno córrego, constituindo uma preocupação constante dos ambientalistas. No geral, nos três piezômetros, e assim como em outros estudos de caracterização de chorume, não foram observadas grandes variações do pH, embora como o pH é uma função logarítmica ($\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$), o aumento de 1 unidade de pH (de 7 para 8, por exemplo) indica um aumento de 10 vezes a concentração de OH^- . Valores extremos de pH afetam a microbiota, entretanto, na faixa observada no aterro da Muribeca (entre 6,9 e 8,62) não parece ter influenciado as populações bacterianas aqui estudadas. Vários trabalhos evidenciam que os coliformes crescem bem na faixa de pH de 6,5 a 8,5 (PELCZAR, 1996; GERBA, 1996).

De acordo com o teste de Kruskal-Wallis (Tabela 3.12), o pH para esses três piezômetros apresentou hipótese nula aceita para os níveis de significância de 1 e 5%, ou seja, houve comportamento semelhante na variação das médias. Apenas na matriz de correlação para Pz-6 (Tabela 3.14), o pH apresentou correlação significativa negativa com cloretos. Já na análise da matriz de correlação para os três piezômetros da C1 (Tabela 3.16), o pH não apresentou correlações significativas com nenhum outro parâmetro. Observou-se que o pH não apresentou correlação significativa com a precipitação pluviométrica em nenhum caso, provavelmente devido ao aumento de vazão e conseqüente carreamento de maior quantidade de matéria orgânica para o sistema; a decomposição da matéria orgânica pelas bactérias libera mais CO_2 , causando queda do pH (TEIXEIRA, 1993 *apud* MENEZES, 1995). A falta de correlação também pode ser devida às flutuações dos valores dos outros parâmetros.

De acordo com a Figura 4.2, o Pz-9 (5m) apresentou os menores valores de alcalinidade, enquanto que o Pz-6 (18m) teve os maiores.

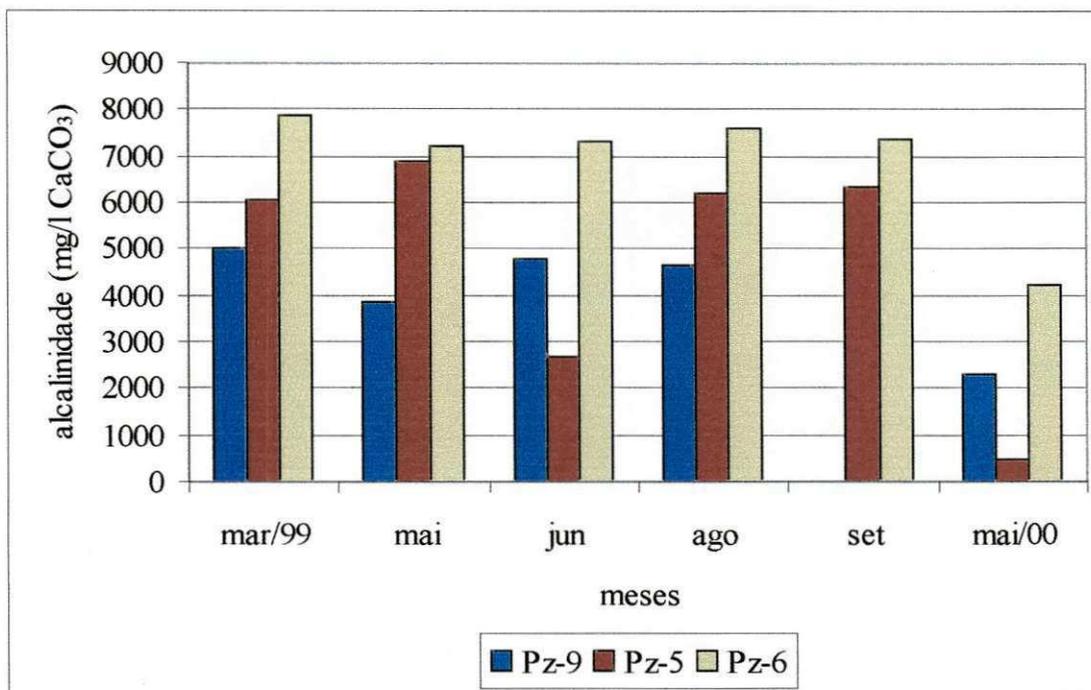


Figura 4.2 – Valores da alcalinidade no período Março/1999 a Maio/2000 para três piezômetros (Pz-9 (5m); Pz-5 (15m); Pz-6 (18m)) com diferentes profundidades, instalados na célula 1 (C1) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE).

Valor médio inferior (413 mg/l CaCO₃) foi encontrado por MENEZES (1995) ao caracterizar amostra de poço nas proximidades do Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos da cidade de São Carlos-SP, indicando influência dos contaminantes do “lixão” que foram carregados para o poço. Já SCHALCH (1992) encontrou valores entre 7.780 mg/l e 15.680 mg/l em dois aterros experimentais na mesma cidade. A alcalinidade tem se mostrado em aumento com a profundidade, indicando possível lixiviação de materiais ao fundo do aterro e também alta capacidade de tamponamento. Devido ao grande aporte de matéria orgânica no sistema, sua capacidade de neutralizar ácidos deve estar relacionada não só com o complexo sistema químico carbonato-bicarbonato. Bicarbonatos representam a principal forma de alcalinidade, outros tipos de ácidos fracos, tais como boratos, silicatos e fosfatos podem estar presentes em pequenas quantidades. Em ambientes anaeróbios, alguns tipos de ácidos fracos como acetato,

propiónico e hidrosulfúricos podem ser produzidos e contribuir com o aumento da alcalinidade. Em outros casos, amônia ou hidróxidos podem contribuir para a alcalinidade total (TEIXEIRA, 1993 *apud* MENEZES, 1995; SAWYER, McCARTY, PARKIN, 1994).

Ao aplicar o teste de Kruskal-Wallis para C1, observou-se que a alcalinidade apresentou hipótese nula aceita para o nível de significância de 1%. Analisando as matrizes de correlação (Tabelas 3.13, 3.14, 3.15 e 3.16), percebe-se que o Pz-9 apresentou correlações significativas e positivas com os cloretos ($r = 0,699$; $\alpha = 0,01$) e a DBO₅ ($r = 0,515$; $\alpha = 0,01$), ou seja, a medida que a quantidade de matéria orgânica e cloretos aumentam na massa de resíduos, o valor da alcalinidade também se eleva. Observando as Figuras 3.2, 3.4 e 3.6, já se percebe uma semelhança na tendência de variação desses parâmetros, fato confirmado pelo teste estatístico. Já o conjunto dos três piezômetros apresentou correlações significativas também com os cloretos ($r = 0,407$; $\alpha = 0,01$) e com a DQO ($r = 0,365$; $\alpha = 0,05$).

A Figura 4.3 mostra que o Pz-6 (18m) teve os maiores valores de SVT. Explica-se isso pela lixiviação que ocorre dentro da célula que carrega para as maiores profundidades a matéria orgânica dos líquidos que percolam das partes mais superficiais. Verificou-se que o Pz-9 e o Pz-5 apresentaram valores bem próximos, exceto no mês de maio/1999, onde ocorreu um elevado valor de SVT em Pz-5, provavelmente devido ao tipo de resíduo aterrado próximo ao piezômetro e que pode ter causado infiltração, aumentando assim a concentração de sólidos voláteis totais.

O teste de Kruskal-Wallis apresentou hipótese nula aceita para os níveis de significância de 1 e 5% para a C1, ou seja, os sólidos voláteis totais tiveram uma semelhante variação de suas médias nos três piezômetros desta célula. Analisando as matrizes de correlação para a célula 1, observou-se para o Pz-9 uma correlação positiva com a DQO ($r = 0,540$; $\alpha = 0,01$); para o Pz-5 uma correlação positiva com a precipitação pluviométrica ($r = 0,895$; $\alpha = 0,05$) e para o conjunto dos três piezômetros houve correlações com a DQO ($r = 0,773$; $\alpha = 0,01$) e com os cloretos ($r = 0,363$; $\alpha = 0,05$).

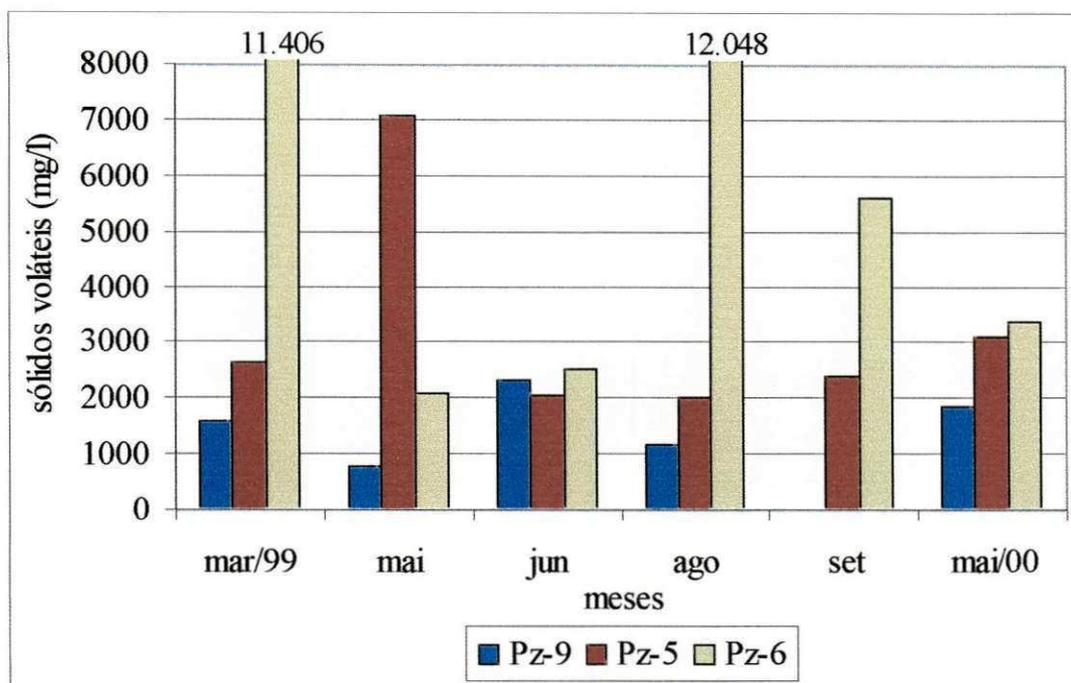


Figura 4.3 – Valores dos sólidos voláteis totais no período Março/1999 a Maio/2000 para três piezômetros (Pz-9 (5m); Pz-5 (15m); Pz-6 (18m)) com diferentes profundidades instalados na célula 1 (C1) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE).

A Figura 4.4 contém os valores de DBO_5 determinados na Célula 4. Nos Pz-9, Pz-5 e Pz-6 foram determinados, respectivamente, valores médios de DBO_5 de 838, 969 e 1.023mg/l. Observa-se que quanto mais profundo, maior a quantidade de matéria orgânica, assim como para os sólidos voláteis totais. Isto se explica pela lixiviação da matéria orgânica para a parte inferior da célula através do fluxo de umidade, do mesmo modo que foi observado para SVT. Valor médio inferior (494 mg/l) foi obtido por PIRES (2002) ao caracterizar chorume produzido no Aterro Metropolitano de Gramacho-RJ, operando desde setembro de 1978 e que até janeiro de 1996 havia recebido cerca de 20 milhões de metros cúbicos de lixo, ocupando uma área de aproximadamente 130 ha. Provavelmente, este valor baixo é decorrente do tempo de aterramento dos resíduos.

De acordo com a Figura 4.4, apenas nos primeiros meses o Pz-6 apresentou valores mais elevados para a DBO_5 , embora teve os maiores valores médios ao longo do tempo estudado. O Pz-5 apresentou os maiores valores nos meses de junho, agosto e setembro de 1999 e maio de 2000. Já o Pz-9 apresentou os menores valores em

todos os meses. PIRES (2000) apresentou valores próximos aos da célula 1, obtendo média de 494 mg/l, valores atribuídos ao tempo de aterramento e elevada atividade de decomposição da matéria orgânica.

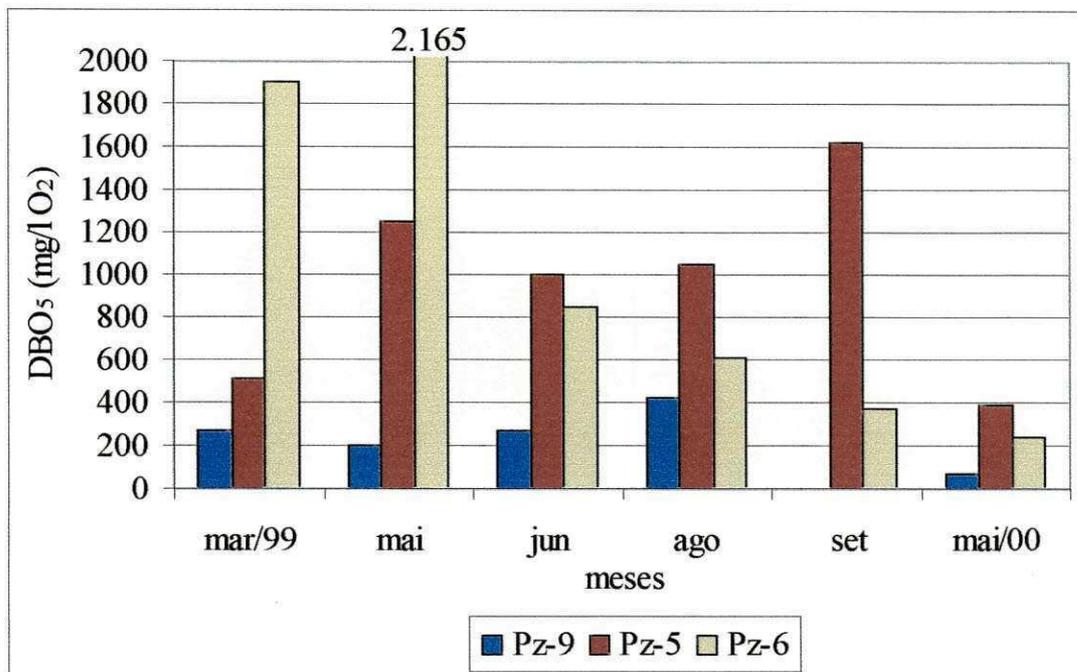


Figura 4.4 – Valores da DBO₅ no período Março/1999 a Maio/2000 para três piezômetros (Pz-9 (5m); Pz-5 (15m); Pz-6 (18m)) com diferentes profundidades instalados na célula 1 (C1) do Aterro da Muribeca/PE

O teste de Kruskal-Wallis mostrou que a DBO₅ apresentou hipótese nula aceita para os níveis de significância de 1 e 5%, ou seja, a DBO₅ apresentou variação semelhante nas suas médias para os três piezômetros.

As matrizes de correlação para a célula 1 (Tabelas 3.13, 3.14, 3.15 e 3.16) mostram que, no Pz-9, a DBO₅ teve correlações positivas e significativas com alcalinidade ($r = 0,515$; $\alpha = 1\%$) e com cloretos ($r = 0,880$; $\alpha = 1\%$). No Pz-6 e Pz-5, não se observaram correlações significativas. Já para o conjunto dos três piezômetros, a DBO₅ apresentou correlação significativa positiva com a DQO ($r = 0,480$; $\alpha = 0,01$).

De acordo com a Figura 4.5, o Pz-6 teve valores mais elevados para a DQO que os Pz-9 e Pz-5.

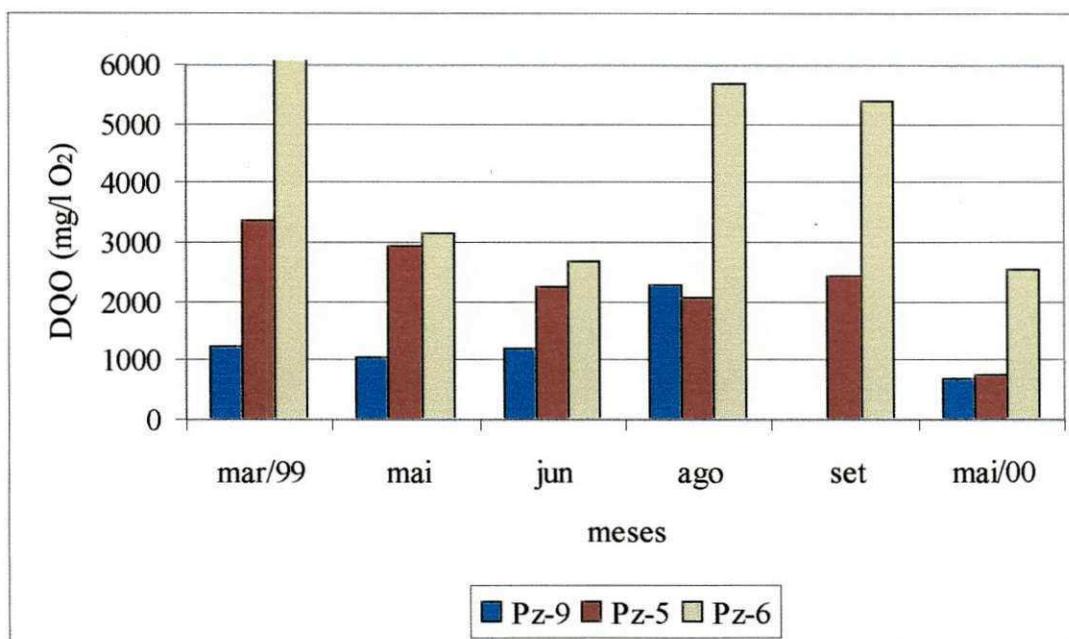


Figura 4.5 – Valores da DQO no período Março/1999 a Maio/2000 para três piezômetros (Pz-9 (5m); Pz-5 (15m); Pz-6 (18m)) com diferentes profundidades instalados na célula 1 (C1) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE).

Devido ao maior tempo de aterramento que tem os resíduos a 18m, verificou-se que o chorume coletado no Pz-6 tinha maior quantidade de matéria orgânica dificilmente degradável. Por isso, em alguns meses estudados observaram-se os maiores valores de DQO neste piezômetro, juntos com DBO₅. Entretanto, em março e maio de 1999, houve altos valores de DBO₅ e DQO; já em agosto e setembro de 1999, os valores de DBO₅ foram menores que os de DQO para o mesmo período estudado. OLIVEIRA (1997) *apud* CARVALHO (2001), ao caracterizar o chorume formado no lixão do Jangurussu, localizado no perímetro urbano da cidade de Fortaleza-CE, na margem esquerda do rio Cocó, sobre sedimentos argilo-arenosos da Formação Barreiras, encontrou valor médio de DQO de 6.027 mg/l, superior aos encontrados para a C1, a qual teve valores variando de 657 até 12.267 mg/l. Estes valores indicam que a matéria orgânica presente neste percolado está tendendo à estabilização.

De acordo com a Tabela 3.12 (Teste de Kruskal-Wallis), a DQO apresentou hipótese nula aceita para os níveis de significância de 1 e 5%. As matrizes de correlação

(Tabelas 3.13, 3.14, 3.15 e 3.16) evidenciaram que, no Pz-9, a DQO apresentou correlação significativa positiva com os sólidos voláteis totais ($r = 0,540$; $\alpha = 0,01$). O Pz-6 não apresentou nenhuma correlação significativa entre os parâmetros analisados. No Pz-5, a DQO teve apenas uma correlação positiva, com cloretos ($r = 0,945$; $\alpha = 0,01$). Já na matriz para os três piezômetros, observaram-se correlações positivas significativas para DQO com alcalinidade ($r = 0,365$; $\alpha = 0,05$), sólidos voláteis totais ($r = 0,773$; $\alpha = 0,01$), DBO_5 ($r = 0,480$; $\alpha = 0,01$) e cloretos ($r = 0,532$; $\alpha = 0,01$).

A Figura 4.6 mostra que o Pz-6 também apresentou os maiores valores de cloretos e o Pz-9 os menores. Provavelmente, a lixiviação que deve ter ocorrido para a parte inferior do aterro, influenciou neste e nos outros parâmetros já analisados. Valor semelhante foi obtido para o chorume do Aterro de Dumont (2.643mg/l)

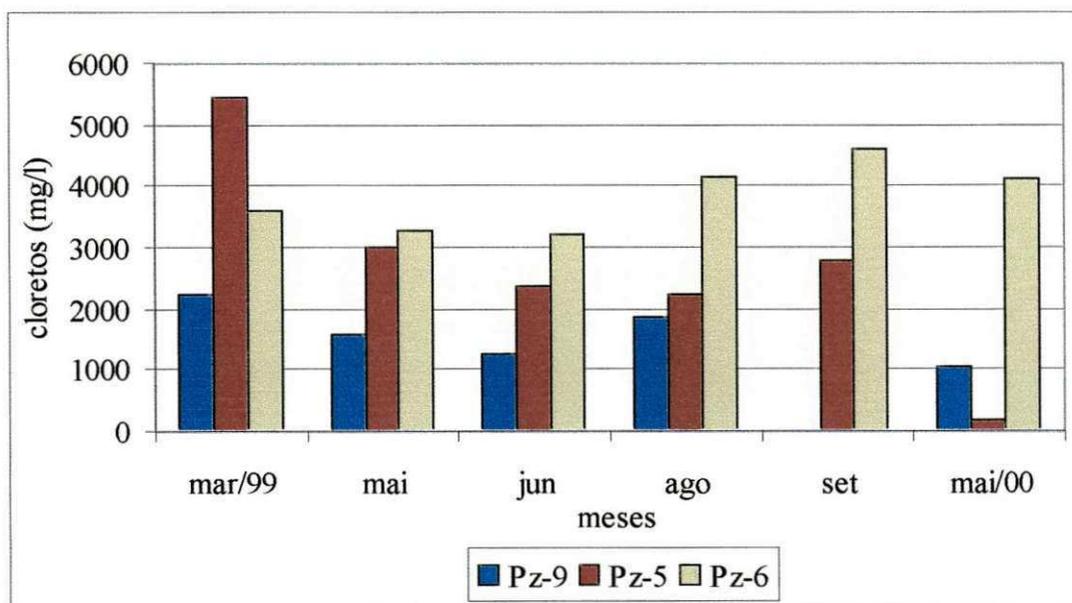


Figura 4.6 – Valores de cloretos no período Março/1999 a Maio/2000 para três piezômetros (Pz-9 (5m); Pz-5 (15m); Pz-6 (18m)) com diferentes profundidades, instalados na célula 1 (C1) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE).

Os cloretos, no conjunto dos três piezômetros da C1, não apresentaram hipótese nula aceita para o teste de Kruskal-Wallis (Tabela 3.12). De acordo com as Tabelas 3.13, 3.14, 3.15 e 3.16, o Pz-9 teve correlações significativas entre cloretos e alcalinidade ($r = 0,699$; $\alpha = 0,01$) e DBO_5 ($r = 0,880$; $\alpha = 0,01$); o Pz-6 apresentou

apenas uma correlação significativa e negativa com pH ($r = -0,846$; $\alpha = 0,01$); o Pz-5 apresentou uma correlação positiva com DQO ($r = 0,945$; $\alpha = 0,01$). Para o conjunto dos três piezômetros, os cloretos apresentaram correlações significativas e positivas para alcalinidade ($r = 0,407$; $\alpha = 0,01$), sólidos voláteis totais ($r = 0,363$; $\alpha = 0,05$) e DQO ($r = 0,532$; $\alpha = 0,01$).

4.2 – Efeito da idade na qualidade dos parâmetros analisados para o chorume do Aterro da Muribeca

4.2.1 – Parâmetros Físicos e Químicos

De acordo com a Figura 4.7, os maiores valores de pH foram encontrados nos Pz-1 (C3) e Pz-1 (C4). Ambas células possuem resíduos aterrados há aproximadamente 4 anos e são as amostras com maior atividade biológica. O chorume das células mais antigas foi o que apresentou os menores valores, embora o Pz-8 (C2) apresentou valores altos.

O teste de Kruskal-Wallis (Tabela 3.12) mostrou que o conjunto dos 6 piezômetros não apresentou hipótese nula aceita para o pH em nenhum dos níveis de significância. Porém, ao re replicar o teste para as células de mesma idade, constatou-se que as mesmas apresentaram variação semelhante para a média do parâmetro em questão, ou seja, C1 e C2 tiveram comportamento semelhante, como também C3 e C4.

Já a matriz de correlação para todos os piezômetros apresentou correlações significativas e positivas do pH com a alcalinidade ($r = 0,314$; $\alpha = 0,05$), SVT ($r = 0,426$; $\alpha = 0,05$), DBO₅ ($r = 0,357$; $\alpha = 0,05$) e DQO ($r = 0,446$; $\alpha = 0,05$). Não houve correlação com a precipitação pluviométrica. TEIXEIRA (1993) apud MENEZES (1995) observou correlação negativa do pH com a precipitação pluviométrica, estando ligada ao aumento da vazão e, conseqüentemente, ao transporte de maior quantidade de matéria orgânica para o sistema; a decomposição da matéria orgânica, liberando maiores quantidades de CO₂, poderia ter sido a causa da queda do pH.

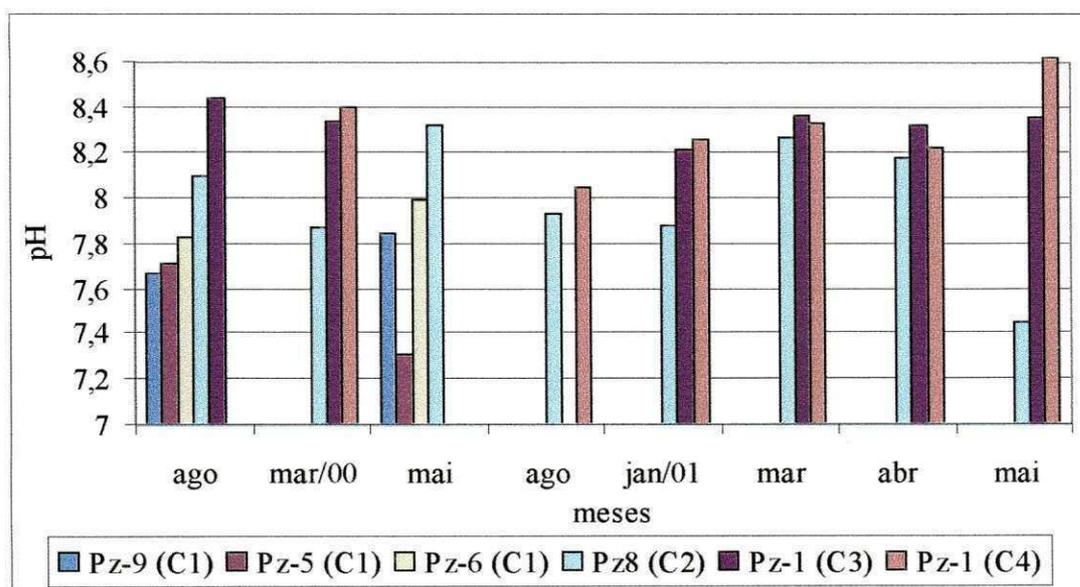


Figura 4.7 – Valores do pH no período agosto/2000 a maio/2001 para os seis piezômetros (Pz-9 (C1); Pz-5 (C1); Pz-6 (C1); Pz-8 (C2); Pz-1 (C3); Pz-1 (C4)) em diferentes profundidades, instalados nas células 1, 2, 3 e 4 (C1, C2, C3 e C4) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE).

Observando a Figura 4.8, percebe-se que os maiores valores de alcalinidade aconteceram no Pz-8 (C2), até o mês de 1999; também apresentaram valores elevados os Pz-6 (C1), até setembro de 1999 e Pz-1 (C4). Percebe-se que as células mais antigas apresentaram os maiores valores de alcalinidade, embora a partir de maio/00 e junho/01 as concentrações foram decrescentes em todos os piezômetros. PASCHOALATO (2000) encontrou valores para o chorume do lixão de Serrana, com variação de alcalinidade entre 870 e 2.500 mg/l na maioria dos pontos estudados. Para dois poços, encontrou valores de 8.043 e 9.367 mg/l, valores mais elevados que no Aterro da Muribeca. De acordo com a autora, esse fato pode ser justificado pela localização desses dois poços sobre solo pouco permeável, onde os líquidos percolados não sofrem diluição pelas águas pluviais.

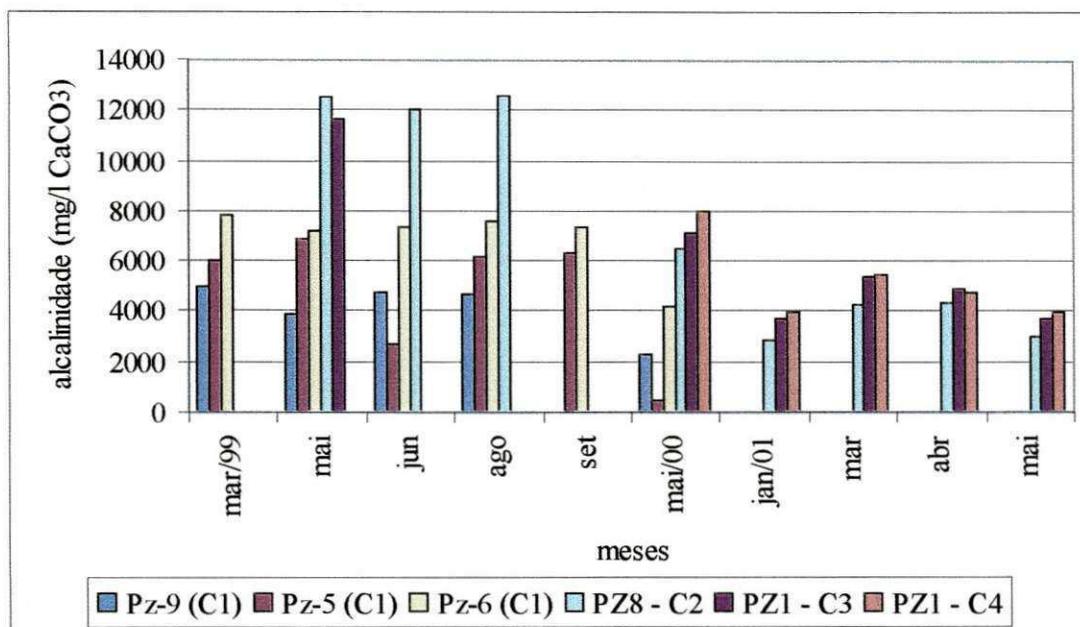


Figura 4.8 – Valores de alcalinidade no período março/1999 a maio/2001 para os seis piezômetros (Pz-9 (C1); Pz-5 (C1); Pz-6 (C1); Pz-8 (C2); Pz-1 (C3); Pz-1 (C4)) em diferentes profundidades, instalados nas células 1, 2, 3 e 4 (C1, C2, C3 e C4) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE).

Ao aplicar o teste de Kruskal-Wallis para o conjunto dos 6 piezômetros (Tabela 3.12), observou-se que a alcalinidade teve hipótese nula aceita ao nível de 1%, ou seja, que as variações observadas nos 6 piezômetros foram semelhantes. Para os conjuntos de células semelhantes (C1 e C2) e (C3 e C4), a hipótese nula foi aceita aos níveis de significância de 1 e 5%.

A Tabela 3.22 mostra que a alcalinidade apresentou correlações significativas com os SVT ($r = 0,336$; $\alpha = 0,01$), pH ($r = 0,426$; $\alpha = 0,01$), DQO ($r = 0,374$; $\alpha = 0,01$) e cloretos ($r = 0,437$; $\alpha = 0,01$). A DBO₅ teve correlação significativa com alcalinidade ($r = 0,261$; $\alpha = 0,05$) e a precipitação pluviométrica não apresentou correlação significativa com alcalinidade.

A Figura 4.9 evidencia que as maiores concentrações de sólidos voláteis totais ocorreram no Pz-1 (C4), seguidos dos Pz-1 (C3) e Pz-8 (C2). As células mais recentes apresentaram valores mais altos, provavelmente devido às concentrações, ainda existentes, de matéria orgânica.

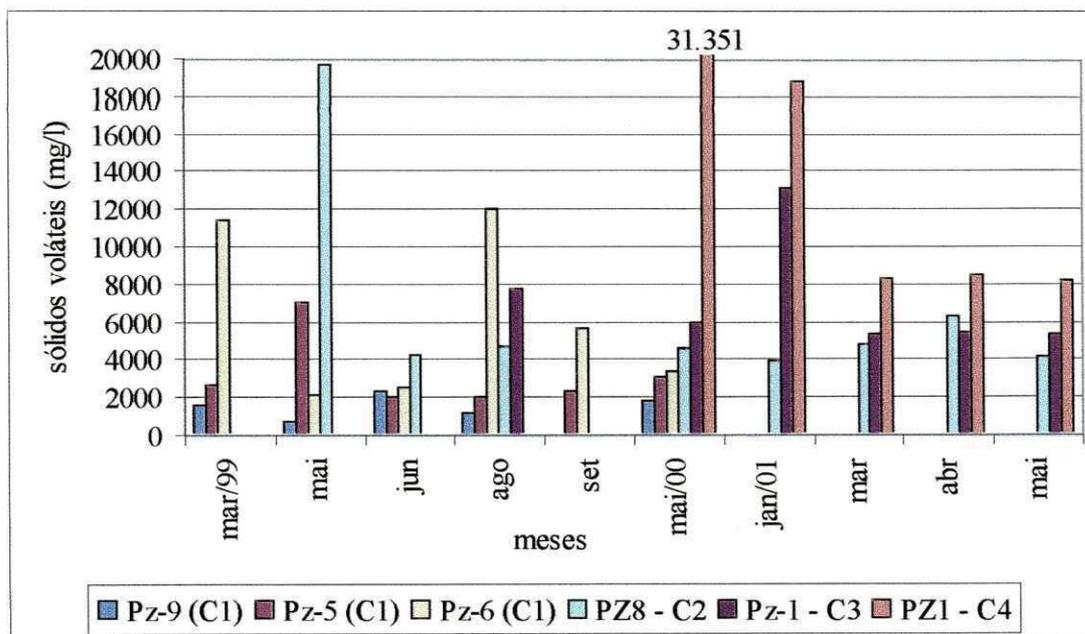


Figura 4.9 – Valores de sólidos voláteis totais no período março/1999 a maio/2001 para os seis piezômetros (Pz-9 (C1); Pz-5 (C1); Pz-6 (C1); Pz-8 (C2); Pz-1 (C3); Pz-1 (C4)) em diferentes profundidades, instalados nas células 1, 2, 3 e 4 (C1, C2, C3 e C4) do Aterro da Muribeca/PE.

Como o piezômetro da célula 2 está instalado a 15m de profundidade, e como o líquido percolado é lixiviado para as camadas inferiores, explica-se então altos valores de SVT em uma célula antiga. Ao comparar os valores de SVT entre C1 e C2, percebe-se que Pz-6 (C1) e Pz-8 (C2) apresentaram valores bem próximos, de acordo com a Tabela 3.1: de 6.178 e 6.319mg/l, respectivamente.

O teste de Kruskal-Wallis (Tabela 3.12) não apresentou hipótese nula aceita para SVT nos 6 piezômetros. Confirmando o comportamento semelhante dos piezômetros Pz-6 (C1) e Pz-8 (C2), o referido teste apresentou hipótese nula aceita para os mesmos e não apresentou hipótese nula aceita para o conjunto dos 4 piezômetros das células 1 e 2. O teste também apresentou hipótese nula aceita aos níveis de significância de 1 e 5% para os piezômetros das células 3 e 4, ratificando o comportamento similar entre chorume coletado em células de mesma idade e profundidade.

A matriz da Tabela 3.22 mostra correlações significativas e positivas dos SVT com pH ($r = 0,426$; $\alpha = 0,01$), alcalinidade ($r = 0,336$; $\alpha = 0,01$), DBO_5 ($r = 0,425$; $\alpha = 0,01$), DQO ($r = 0,603$; $\alpha = 0,01$) e cloretos ($r = 0,326$; $\alpha = 0,01$). A precipitação pluviométrica não apresentou correlações significativas com SVT.

De acordo com a Figura 4.10, Pz-1 (C4) apresentou as maiores concentrações de matéria orgânica. Conforme Tabela 3.1, teve média de 7.367 mg/l, seguido por Pz-8 (C2) e Pz-1 (C3), com médias de 2.787 e 2.362 mg/l, respectivamente. O chorume da C2 possui altos valores de DBO₅ devido à profundidade de coleta, já que o líquido percolado é lixiviado para a parte inferior da célula. As células 3 e 4 são células mais recentes e ainda apresentam grandes concentrações de matéria orgânica. Os piezômetros instalados em C1 foram os que apresentaram os menores valores; Pz-9, Pz-5 e Pz-6 apresentaram médias de 838, 969 e 1.023 mg/l, respectivamente.

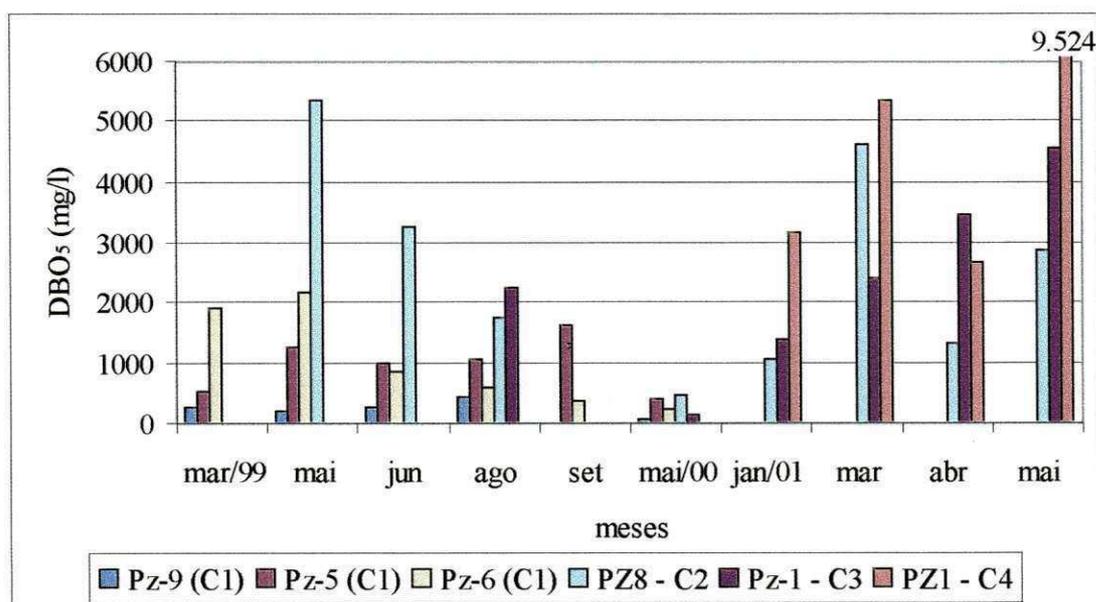


Figura 4.10 – Valores de DBO₅ no período março/1999 a maio/2001 para os seis piezômetros (Pz-9 (C1); Pz-5 (C1); Pz-6 (C1); Pz-8 (C2); Pz-1 (C3); Pz-1 (C4)) em diferentes profundidades, instalados nas células 1, 2, 3 e 4 (C1, C2, C3 e C4) do Aterro da Muribeca/PE.

O teste de Kruskal-Wallis não apresentou hipótese nula aceita para a DBO₅ para o conjunto de piezômetros das 4 células. Já para Pz-5 e Pz-8 a hipótese nula foi aceita para o nível de significância de 1%; mesmo resultado foi obtido para os Pz-1 (C3) e Pz-1 (C4) conforme Tabela 3.12.

A Tabela 3.22 mostra que houve correlações positivas da DBO₅ com o pH ($r = 0,357$; $\alpha = 0,01$), SVT ($r = 0,425$; $\alpha = 0,01$), DQO ($r = 0,905$; $\alpha = 0,01$) e cloretos ($r =$

0,432; $\alpha = 0,01$) e com a alcalinidade ($r = 0,261$; $\alpha = 0,05$). A precipitação pluviométrica não apresentou correlação significativa com a DBO_5 .

A Figura 4.11 mostra que a DQO apresentou as maiores concentrações no Pz-1 (C4), seguido dos Pz-1 (C3) e Pz-8 (C2), com médias de 16.879, 9.015 e 7.427 mg/l, respectivamente. Da mesma forma que a DBO_5 , a DQO também teve valores altos para a Célula 2, devido à profundidade de coleta. PASCHOALATO (2000) obteve valores de DQO variando entre 91 e 5.200mg/l, faixa que indica uma elevada atividade de decomposição, semelhante ao encontrado para as células mais antigas do aterro da Muribeca.

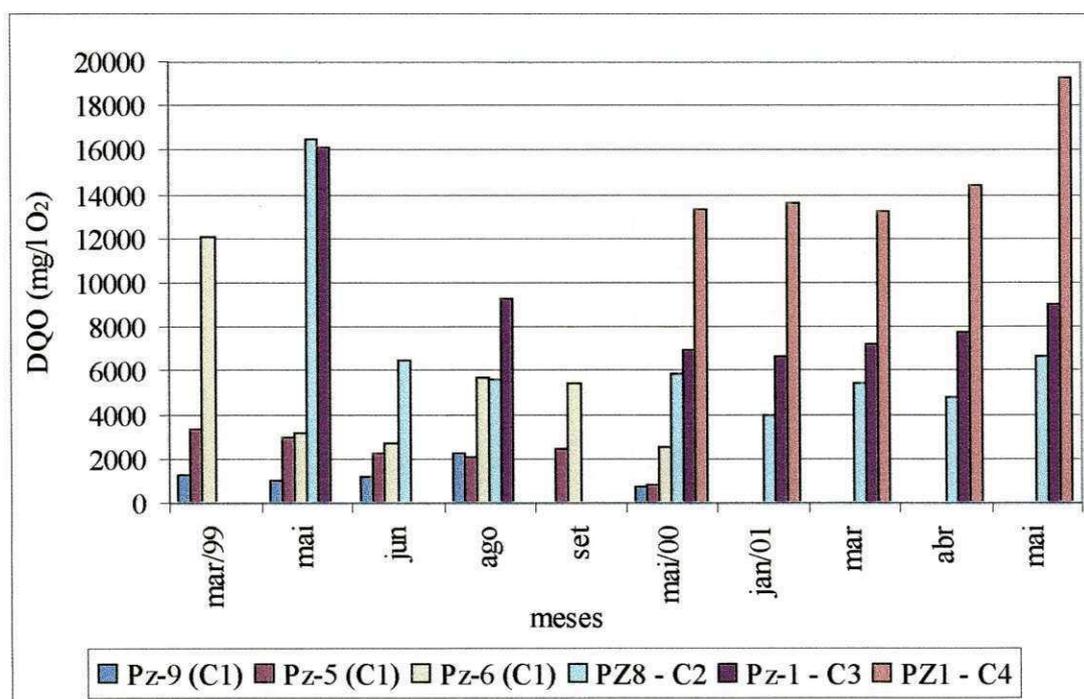


Figura 4.11 – Valores de DQO no período março/1999 a maio/2001 para os seis piezômetros (Pz-9 (C1); Pz-5 (C1); Pz-6 (C1); Pz-8 (C2); Pz-1 (C3); Pz-1 (C4)) em diferentes profundidades, instalados nas células 1, 2, 3 e 4 (C1, C2, C3 e C4) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE).

O teste de Kruskal-Wallis não apresentou hipótese nula aceita para a DQO no conjunto dos piezômetros instalados nas 4 células. A DQO teve hipótese nula aceita apenas para o conjunto de piezômetros instalados na C1 e o conjunto dos piezômetros das células 3 e 4, conforme Tabela 3.12.

A matriz de correlação (Tabela 3.22) apresentou correlações positivas e significativas para a DQO com o pH ($r = 0,446$; $\alpha = 0,01$), alcalinidade ($r = 0,374$; $\alpha = 0,01$), SVT ($r = 0,603$; $\alpha = 0,01$), DBO₅ ($r = 0,905$; $\alpha = 0,01$) e cloretos ($r = 0,547$; $\alpha = 0,01$). A precipitação pluviométrica não apresentou correlação significativa com a DQO.

De acordo com a Figura 4.12, o Pz-8 (C2) apresentou as maiores concentrações de cloretos, com média de 4.441mg/l, conforme Tabela 3.1. Em seguida, os piezômetros Pz-6 (C1), Pz-1 (C4) e Pz-1 (C3) apresentaram médias de 3.823, 3.815 e 3.552, respectivamente. Nota-se que não há uma diferença significativa entre as células mais recentes e as mais antigas, ao longo do tempo, provavelmente, por ser o cloreto um sal não-biodegradável. Percebe-se que, na C1, o Pz-6 apresentou valores maiores que nos Pz-9 e Pz-5, devido à lixiviação que ocorre no interior da célula.

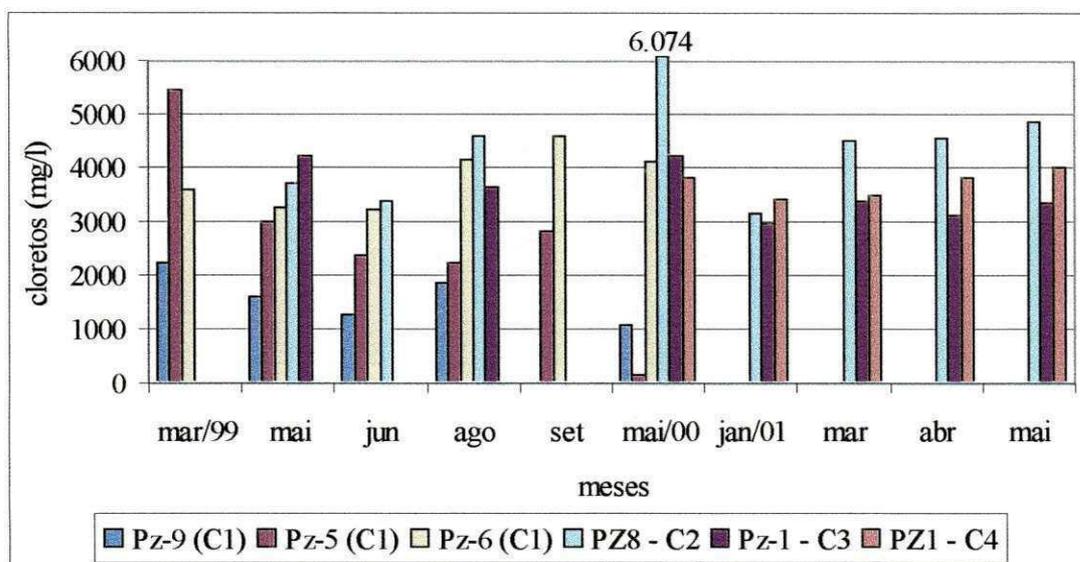


Figura 4.12 – Valores de cloretos no período março/1999 a maio/2001 para os seis piezômetros (Pz-9 (C1); Pz-5 (C1); Pz-6 (C1); Pz-8 (C2); Pz-1 (C3); Pz-1 (C4)) em diferentes profundidades, instalados nas células 1, 2, 3 e 4 (C1, C2, C3 e C4) do Aterro da Muribeca – Jaboatão dos Guararapes (PE).

O teste de Kruskal-Wallis (Tabela 3.12) não apresentou hipótese nula aceita para os cloretos no conjunto dos 6 piezômetros instalados nas 4 células. A hipótese nula foi aceita para o conjunto dos piezômetros Pz-5 (C1) e Pz-8 (C2), ao nível de significância de 1%. O conjunto dos piezômetros Pz-1 (C3) e Pz-1 (C4) teve hipótese nula aceita para os níveis de significância de 1 e 5%.

De acordo com a Tabela 3.22, a matriz de correlação apresentou, para os cloretos, correlações significativas com o pH ($r = 0,283$; $\alpha = 0,05$), alcalinidade ($r = 0,437$; $\alpha = 0,01$), SVT ($r = 0,326$; $\alpha = 0,01$), DBO₅ ($r = 0,432$; $\alpha = 0,01$) e DQO ($r = 0,547$; $\alpha = 0,01$). A precipitação pluviométrica não apresentou correlações significativas com os cloretos.

CAPÍTULO V

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos ao longo da pesquisa permitiram concluir que:

- Este trabalho mostrou a existência de diferenças significativas nas características do chorume obtido de células de um mesmo aterro. O grande valor deste conhecimento se reflete na escolha da melhor forma de tratamento para esses líquidos, assim como a obtenção de novas informações sobre o comportamento dos processos de biodegradação que ocorrem nas células.
- Os valores dos parâmetros analisados nas amostras coletadas nas células com diferentes idades e a diferentes profundidades, e nos demais pontos, variaram de forma considerável, sendo maiores as concentrações do chorume das células e menores nos pontos próximos ao Riacho de Chorume (P-2 e P-21), embora todas essas amostras apresentaram poder poluidor elevado, como é destacado pelos valores de DBO₅, DQO.
- A Célula 1 apresentou valores para os diferentes parâmetros, que indicaram que os resíduos estariam em fase avançada de degradação da matéria orgânica. Entre os três piezômetros de diferentes profundidades pertencentes a C1, pode-se perceber que o chorume coletado no Pz-6, com 18 metros de profundidade, foi o que apresentou os valores mais elevados devido ao processo de lixiviação que ocorreu dentro da massa de resíduos, carreando para o interior ou regiões mais profundas da massa, os líquidos percolados. As análises estatísticas mostraram que o chorume coletado nos três piezômetros desta célula apresentaram comportamentos semelhantes para os parâmetros pH, alcalinidade, sólidos voláteis totais, DBO₅ e DQO.
- O chorume coletado na Célula 2, assim como na C1, também indicou resíduos em fase avançada de degradação, com valores próximos aos encontrados nos Pz-5 e Pz-6, localizados na C1. Tal aproximação deve-se à semelhança na profundidade de

(Kruskal-Wallis), os piezômetros Pz-5 (C1) e Pz-8 (C2) apresentaram comportamento semelhante para os seguintes parâmetros: pH, alcalinidade, sólidos voláteis totais, DBO₅ e cloretos.

- As Célula 3 e Célula 4, com a mesma idade, e com chorume coletado na mesma profundidade (10 metros), apresentaram um comportamento bem semelhante. De acordo com os resultados obtidos para os parâmetros analisados, pode-se perceber que a matéria orgânica encontra-se em processo de degradação. As análises estatísticas mostraram que o comportamento entre essas células foi semelhante para todos os parâmetros.
- Os Pontos P-2 e P-21 apresentaram valores inferiores aos encontrados nas células, já que a coleta aconteceu a céu aberto e em contato direto com águas das chuvas, causando diluição do chorume. O P-2 teve valores maiores que o P-21, já que o primeiro recebia o chorume logo na saída das células e o P-21, já bem próximo ao Rio Muribequinha.
- As análises estatísticas (Teste de Kruskal-Wallis) mostraram que, chorume coletado em piezômetros de mesma idade e profundidade apresentou variação semelhante nas flutuações dos parâmetros analisados. Observou-se nas matrizes de correlação que quanto maior o número de dados analisados, maiores os números de correlações.

CAPÍTULO VI

RECOMENDAÇÕES

Após a análise dos resultados, algumas recomendações são sugeridas, com a finalidade de contribuir para a continuidade de trabalhos na mesma linha de pesquisa:

- Coletar amostras de chorume para análises físicas, químicas e bacteriológicas em seqüência contínua, seja mensal ou trimestral, de forma que a análise dos dados mostre a realidade dos processos de degradação que ocorrem dentro da massa de lixo e também para uma melhor representatividade nos estudos estatísticos;
- Aumentar o número de piezômetros em cada célula, de forma a obter amostras nas mais diversas profundidades;
- Continuar o estudo do chorume do Aterro da Muribeca durante o tratamento na ETC.

CAPÍTULO VII**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

APHA – AWWA – WPCF (1995). **Standard Methods for the Examinations of Water and Wastewater**. American Public Health Association. 19th edition. Washington D.C.. 953p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1979). “**Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento nos Solos**”. NBR 6484. São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1980). “**Identificação e Descrição de Amostras de Solos Obtidos em Sondagens de Simples Reconhecimento**”. NBR 7250. São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1983). **Normas Gerais de Sondagem de Reconhecimento para Fundações de Edifícios**. NBR 8036. São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1995). **Terminologia de Rochas e Solos**. NBR-6502. São Paulo.

BARLAZ, M.A.A.; HAM, R.K.; SCHAEFER, D.M. (1990) – **Methane Production form Municipal Refuse: A Review of Enhancement Techniques and Microbiol Dynamics**. Vol. 19, p. 557-585.

BATSTONE R.; SMITH J. and WILSON D. **The Safe Disposal of Hazardous Wastes – The Special Needs and Problems of Developing Countries**. **World Bank Technical N.º 93**, Vol. 1 e 2, Washington D. C. 1989.

BIDONE, F.R.A. & POVINELLI, J. (1999). **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos**. Projeto REENGE. Editora EESC-USP. 1ª edição. São Carlos. 120p.

CAMPOS, J. C et al. (2002). **Tratamento do Chorume do Aterro Sanitário de Pirai (RJ) Utilizando Wetlands**. VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES. Vitória-ES.

CARVALHO, A. L. (2001) **Contaminação de Águas Subsuperficiais em Área de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos – O Caso do Antigo Lixão de Viçosa (MG)**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa.

CASTRO, M. C. A. (2001). **Avaliação de um Sistema Australiano de Lagoas no Tratamento Conjunto de Esgoto Sanitário e Líquidos Percolados Gerados em Aterro Sanitário**. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos – USP.

- CEBALLOS, B. S. O. (2000). **Eliminación de Microorganismos por Medio del Tratamiento de las Aguas Residuales**. In: MENDONÇA, S. R.; **Sistemas de Lagunas de Estabilización**. Ed. McGraw-Hill. Santa Fé de Bogotá, Colômbia. p.107-137.
- CETESB (1986). **“Guia de coleta e conservação de amostras de água”**.
- CHEN, K.Y.; BOWERMAN, F.R. (1974). **Mechanisms of Leachate Formation in Sanitary Landfills**. Ann Arbor Scientific Publishing Co.
- CHEN, P. H. (1996) Assessment of Leachate From Sanitary Landfills: Impact of Age, Rainfall and Treatment. **Environment Internacional**, Vol. 22, Nº 2, pp. 225-237. Elsevier Science Ltd.
- CHERNICHARO, C. A. de L. (1997). **Reatores Anaeróbios**. Belo Horizonte, UFMG. 245p.
- CINTRA, F. H et al. (2002). **Fatores que Afetam a Qualidade do Chorume Gerado em Aterro Controlado de Resíduos Sólidos Urbanos**. VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Vitória, ES.
- DEWALLE, F.B.; CHIAN, E.S.K.; HAMMENBERG, E. (1978) – Gas Production form Solid Waste in Landfills. **Journal Environmental Eng. Division**. ASCE, v.104, n.3, pg.415-433.
- FARQUHAR, G. J. (1988). **Leachate: Production and Characterization**. University of Waterloo. Canada.
- FLORES NETO, J. P. et al. (2001). **Microbiologia dos Resíduos Sólidos (RSU) de João Pessoa (PB)**. XXI Congresso Brasileiro de Microbiologia. Foz do Iguaçu-PR.
- FORESTI, E. (1987). **Efeitos da Concentração Inicial do Substrato no Desempenho de Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente de Manta de Lodo**. Tese (Livre Docência) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 147p.
- GERBA, C. P. (1996). **Microbial Pathogens in Municipal Solid Waste**. In: **Microbiology of Solid Waste**. A. C. Palmisano and M. A. Barlaz (org). CRC Press. p.155-173.
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas/CEMPRE (2000) – Compromisso Empresarial Para Reciclagem. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. 2ª ed. São Paulo-SP. 370p.
- JUCÁ, J. F. T et al. (1996). **Ground and Surface Water Contamination Due to Municipal Solid Waste in Recife, Brazil**. Second Internacional Congress on Environmental Geotechnics. Japan.

- JUNQUEIRA, F. F. (2000). **Análise do Comportamento de Resíduos Sólidos Urbanos e Sistemas Dreno – Filtrantes em Diferentes Escalas, com Referência ao Aterro do Jôquei Clube – DF.** Tese de Doutorado. Universidade de Brasília.
- LIMA, J. D. et al. (2000). **Caracterização Sanitária do Perfil Vertical do Lixão do Roger: João Pessoa/PB.** VII Encontro Nacional de Microbiologia Ambiental. Recife.
- LO, I. M. C. (1996). Characteristics and Treatment of Leachates From Domestic Landfills. **Environment Internacional**, Vol. 22, N°4, pp. 433-442. Elsevier Science Ltd.
- LU, J.C.S.; EICHENBERGER, B; STEARNS, R.J. (1985). **Leachate From Municipal Landfills, Production and Management.** *Pollution Review*. No. 119, Noyes Publications, Park Ridge, NJ.
- LUZ, F.X.R. (1981). **Aterro Sanitário: características, limitações, tecnologia para a implantação e operação.** Seminário sobre aterros sanitários. CETESB. 30p.
- MARA, D.D. (1976). **Bacteriology for Sanitary Engineering**, Churchill Livingstone. 209p.
- McBEAN, E. A; ROVERS, F. A.; FARQUAR, G. J. (1995). **Solid Waste Landfill Engineering and Design.** Prentice Hall. Inc. p. 521, ISBN 0-13-079187-3.
- MELO, V. L. A. (2000). **Estudos de Referência para Diagnóstico Ambiental em Aterros de Resíduos Sólidos.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Recife-PE.
- MELO, M.C; MONTEIRO, V.E.D.; NEVES, M.L., ARAÚJO, J.M. e JUCÁ, J.F.T. (2002). Estudos de Toxicidade em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos. **Revista Biotecnologia**. ANO V, N° 28, Setembro/Outubro 2002, pp. 48-52.
- MENEZES, D. B. (1995). **Diagnóstico dos Impactos do Depósito de Resíduos Sólidos de São Carlos-SP, no Meio Físico.** Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos-USP. 102p.
- MERBACH JR., P. S. (1989). **Estudos de Avaliação de Metais Pesados em Percolado de Aterro Sanitário em Função do Tempo de Disposição.** Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos-USP. 83p.
- MODESTO, H. S. (2002). **Estudo de Escala de Reatores Anaeróbios de Batelada Tratando Resíduos Sólidos Orgânicos.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba – UFPB. Campina Grande-PB. 77p.

- PALMISANO, A.C.; BARLAZ, M.A. (1996) – **Introducion to Solid Waste Decomposition. In: Micróbiology of Solid Waste.** Ed. Palmisano et Barlaz; CRC PRESS, Boca Raton, Florida, NY, Cap. 1, p. 1-30.
- PASCHOALATO, C. F. P. R. (2000). **Caracterização dos Líquidos Percolados Gerados por Disposição de Lixo Urbano em Diferentes Sistemas de Aterramento.** Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos-USP. 97p.
- PELCZAR JR., Michael J. (1996). **Microbiologia : conceitos e aplicações.** 2.ed. 2v. 2ex.
- PINTO, D. M. C. L. (2000). **Avaliação da Partida da Digestão Anaeróbia da Fração Orgânica de Resíduos Sólidos Domésticos Inoculados com Percolado.** Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos-USP. 175p.
- PIRES, J. C. A. (2002). **Projeto de Tratamento do Chorume Produzido no Aterro Metropolitanod de Gramacho Através de “Wetland”.** Trabalho Final de Mestrado em Engenharia Ambiental – Modalidade: Projeto. Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- POHLAND, F.G; GOULD, J.P. (1984). **Fate of Heavy Metal During Landfill Stabilization of Solid Wastes Material with Leachate Recycle.** Draft Final report – USA EPA Project R-806468. Georgia Tech. Proj. N. E-20-666.
- POHLAND, F.G.; HARPER, S.R. (1985). **Critical Review and Sumary of Leachate and Gas Production from Landfills.** Tech. Project n.E20 G01.
- POHLAND, F. G. & GOULD, J. P. (1986). Co-Disposal of Municipal Refuse and Industrial Waste Sludge in Landfills. **Water Science and Technology.** Vol. 18, Nº 12, pp. 177-192.
- QASIM, S.R.; CHIANG, W. (1994). **Sanitary Landfill Leachate – Generation, Control and Treatment.** Technimic Publishing Co., Inc. p. 323, ISBN 1-56676-129-8.
- RAY, C & CHAN, P.C. (1986). Heavy Metals in Landfill Leachate. **International Journal of Environmental Studies,** 27:225-237.
- REINHART, D. R.; GROSH, C. J. (1998). **Analysis of Florida MSW Landfill Leachate Quality.** University of Central Florida.
- SANTOS, P.C.V. (1996). **Estudo da Contaminação de Água Subterrânea por Percolado de Aterros de Resíduos Sólidos – Caso Jockey Club-DF.** Dissertação de Mestrado em Geotecnia. Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Brasília.

- SAWYER, C.N.; McCarty, P.L.; PARKIN, G.F. (1994). **Chemistry for Environmental Engineering**. McGraw-Hill Book Company. 4th ed. 658p.
- SCHALCH, V. (1984). **Produção e Características do Chorume em Processo de Decomposição de Lixo Urbano**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. 103p.
- SCHALCH, V. (1992). **Análise Comparativa do Comportamento de Dois Aterros Sanitários Semelhantes e Correlações dos Parâmetros do Processo de Digestão Anaeróbia**. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. 219p.
- SEGATO, L. M.; SILVA, C. L. (2000). **Caracterização do Chorume do Aterro Sanitário de Bauru**. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. AIDIS/ABES. Porto Alegre-RS.
- SILVA, S. R. C. M. (2001). **Chorume como Poluente em uma Área Experimental no Aterro Sanitário de Cuiabá-MT**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Mato Grosso. 130p.
- SILVA, S.A.; Oliveira, R. (2001). **Manual de Análises Físico-Químicas de Águas de Abastecimento e Residuárias**. Campina Grande. 266p.
- SISINNO, C.L.S.; OLIVEIRA, R.M. (2000). **Resíduos Sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar**. Editora FIOCRUZ. 1^a edição. 142p.
- SOKAL, R. R. & ROHLF, F. J. (1981). **The Principles and Practice of Statistics in Biology Research. Second Edition**. New York: W. H. Freeman and Company.
- TCHOBANOGLIOUS, G; THEINSEN, H; VIGIL, S.A. (1993) – **Integrated Solid Waste Management**. Ed. McGraw-Hill International. 978p.
- VAN HAANDEL A.C.; LETTINGA, G. (1994). **Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente**. Editora epgraf. Campina Grande, PB. 238p.