

ANDRÉ LUCIANO DE CARVALHO

**EFEITOS DA RECIRCULAÇÃO DO PERCOLADO SOBRE A QUALIDADE DO
EFLUENTE DE LIXO DOMÉSTICO DE DIFERENTES IDADES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Doctor Scientiae”.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2005**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

C331e
2005

Carvalho, André Luciano de, 1967-
Efeitos da recirculação do percolado sobre a qualidade
do efluente de lixo doméstico de diferentes idades / André
Luciano de Carvalho. – Viçosa : UFV, 2005.
xxii, 115f. : il. ; 29cm.

Inclui anexos.

Orientador: Antonio Teixeira de Matos
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 109-115

1. Resíduos orgânicos. 2. Reaproveitamento (sobras,
refugos, etc.). I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 631.869

ANDRÉ LUCIANO DE CARVALHO

EFEITOS DA RECIRCULAÇÃO DO PERCOLADO SOBRE A QUALIDADE
DO EFLUENTE DE LIXO DOMÉSTICO DE DIFERENTES IDADES

Tese apresentada à
Universidade Federal de
Viçosa, como parte das
exigências do Programa de
Pós-Graduação em Engenharia
Agrícola, para obtenção do
título de "Doctor Scientiae".

APROVADA – 17 de março de 2005.



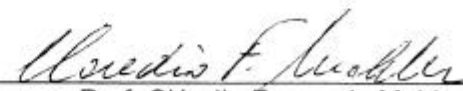
Prof. Roberto Fco. de Azevedo
Conselheiro



Profª Cecília de Fátima Souza



Prof. Gustavo Ferreira Simões



Prof. Cláudio Fernando Mahler



Prof. Antonio Teixeira de Matos
Orientador

“Em qualquer parte da terra um homem estará sempre plantando.

Recriando a vida. Recomeçando o mundo.”

Cora Coralina

Trabalhar e entender o “lixo” será sempre uma busca, jamais um descobrimento real.

É uma viagem fantástica, e nunca uma chegada.

A Deus, por mais esta etapa da minha vida,

A Gorete, pelo nosso amor, paciência e por estar sempre ao meu lado,

Aos meus pais José e Judith (*in memoriam*), exemplos de vida, dedicação,
sabedoria e sacrifício,

Aos meus irmãos, sobrinhos e cunhados queridos sempre presentes na minha vida,

E especialmente a todas as pessoas, que se realizam e encontram a paz na
verdade; e acreditam que o melhor está por ser conquistado. É só mais um passo. O

próximo.

Dedico.

AGRADECIMENTO

A Deus, pela minha vida, pelo sentido existencial que Ele me dá, sempre me fortalecendo diante das dificuldades passageiras da vida.

A minha querida esposa Gorete, pelo carinho, incentivo, paciência e que é fonte de inspiração, força e luta e por estar ao meu lado nesta conquista tão importante das nossas vidas, e aos seus familiares (D. Judite e Sr. José, Cirley e Meire) pelo apoio e acolhida.

Aos meus pais, José e Judith, aos meus irmãos Maria e Ailton, que não deixaram de estar ao meu lado em um só instante, mesmo estando perto de Deus e aos meus queridos irmãos (Tuca, Nenézio, Nezinha, Toninho, Areci, Alcina, Chuchu, Nicinha e Cidinho), sobrinhos e cunhados pelo apoio, companheirismo, amizade, carinho e alegria, que fazem parte da minha vida.

Ao meu orientador, o professor Antônio Teixeira de Matos, pela grande acolhida e confiança em mim depositada, ajuda, ensinamentos, atenção dispensada e que sempre acreditou no sucesso do nosso trabalho, o meu carinho especial.

Aos meus padrinhos Roberto Francisco de Azevedo e Izabel Christina d'Almeida Duarte Azevedo, pessoas inigualáveis, pelo incentivo, confiança, ensinamentos, dedicação constante, e, sobretudo, o respeito e amizade, minha eterna gratidão.

Aos professores Paulo Afonso Ferreira e Cecília de Fátima Souza do Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental pelas dicas fundamentais neste trabalho e pelo convívio alegre e saudável.

Aos laboratoristas Simão, do Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Agrícola e ao Carlinhos, do Laboratório de

Espectrofotometria de Absorção Atômica do Departamento de Solos pela importante ajuda na execução das análises do percolado.

A Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental (DEA), por me proporcionar a oportunidade de realizar o curso de doutorado.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao Júnior, Maurinho, Denis, Handley, Denise, Ronaldo e Gil pela ajuda, responsabilidade, profissionalismo e por todo apoio dispensado para a realização deste trabalho, e, sobretudo pela grande amizade que se construiu.

A Prefeitura Municipal de Visconde do Rio Branco (MG), na pessoa do vereador Jackson Carneiro pela disponibilidade de equipamentos para a retirada dos resíduos no lixão do município.

A Prefeitura Municipal de Viçosa (MG), na pessoa do Sr. Júlio pela disponibilidade de caminhões de coleta com lixo.

Aos funcionários da fábrica de pré-moldados da UFV, e em especial ao Sr. Hélio, que foi um grande colaborador na montagem dos lisímetros.

Aos colegas da pós-graduação, em especial ao Marcos Magalhães, Mozart, Paola, Felizardo, Édio, Giovany, Rafael, pela amizade e convivência agradável.

Ao Júnior e Leandro, companheiros de república, pela amizade, paciência e convivência agradável do dia-a-dia e à D. Cida (nossa “mãezona”), o meu carinho especial e que este até breve nunca se transforme num adeus.

Aos meus amigos e companheiros de longa caminhada Sandra Regina e Amaury, pela força e carinho, mesmo distante, mas pertos em pensamentos.

Ao Colégio Potência, aos professores e funcionários e em especial ao Prof. Wilson, pelo apoio, incentivo e acolhida.

Ao Depósito de Pães São Luís, que serviu de refúgio dos estudos, aos domingos, distraíndo-me para reiniciar as atividades na segunda-feira.

Enfim, agradeço a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização do fruto deste trabalho. Talvez não tão maravilhoso quanto o sonho de alguns, mas, com certeza, o melhor que o maior de meu esforço foi capaz de colher. Espero que todos se realizem e encontrem nele o conhecimento, justificando-lhe, assim, o seu propósito. A natureza agradece.

BIOGRAFIA

ANDRÉ LUCIANO DE CARVALHO, filho de José Dutra de Carvalho e Judith Rodrigues de Carvalho, nasceu em 22 de abril de 1967, na cidade de São Geraldo - MG.

Em julho de 1989, graduou-se em Tecnologia da Construção Civil – Modalidade: Edifícios, pela Faculdade de Tecnologia (FATEC) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), em São Paulo– SP.

Em julho de 1990, obteve o título de Licenciatura Plena, Professor da Parte de Formação Especial do Currículo do Ensino de 2º Grau pela Faculdade de Tecnologia (FATEC) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), em São Paulo– SP.

Em janeiro de 1992, foi aprovado em 1º lugar no Concurso Público para Docentes, tendo lecionado no curso técnico em Edificações na ETE “Júlio de Mesquita” do Centro Estadual de Educação Tecnológica “Paula Souza” (CEETEPS) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), em Santo André – SP, até 24 de setembro de 2001.

Em dezembro de 1995, graduou-se em Engenharia Civil pela Universidade de Guarulhos (UnG), em Guarulhos – SP.

Em julho de 2001, concluiu o Curso de Mestrado em Engenharia Civil, área de concentração em Geotecnia Ambiental, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa – MG.

Em agosto de 2001, iniciou o Curso de Doutorado em Engenharia Agrícola e Ambiental, área de concentração em Recursos Hídricos e Ambientais, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa – MG.

ÍNDICE

LISTA DE QUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E NOMENCLATURAS.....	xv
RESUMO.....	xix
ABSTRACT.....	xxi
1. Introdução.....	1
1.1. Objetivos.....	4
2. Revisão de Literatura.....	5
2.1. Considerações sobre resíduos sólidos.....	5
2.2. Aterros sanitários.....	7
2.3. Decomposição de resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário.....	7
2.3.1. Fases do processo.....	9
2.3.2. Fases do processo de degradação.....	11
2.3.3. Fatores intervenientes no processo.....	18
2.3.3.1. Oxigênio.....	18
2.3.3.2. Potencial hidrogeniônico, alcalinidade e ácidos voláteis.....	18
2.3.3.3. Temperatura.....	19
2.3.3.4. Umidade.....	20
2.3.3.5. Substâncias tóxicas.....	21
2.3.3.5.1. Metais alcalinos e alcalinos terrosos.....	22
2.3.3.5.2. Metais pesados em compostos de lixo urbano.....	23
2.4. Caracterização e produção do percolado.....	29
2.5. Tratamento do percolado.....	30
2.6. Recirculação do líquido percolado.....	33
2.6.1. Métodos de recirculação do líquido percolado.....	33
2.6.2. Comparação de métodos.....	36
2.6.3. Vantagens e desvantagens da recirculação.....	36
2.6.4. Alguns casos de estudos de recirculação.....	41
2.6.5.1. Casos internacionais.....	41
2.6.5.2. Casos nacionais.....	44
3. Materiais e Métodos.....	49
3.1. Localização.....	49
3.2. Clima.....	50
3.3. Trabalho de campo e laboratório.....	51
3.3.1. Caracterização dos lisímetros.....	51
3.3.1.1. Camada de drenagem.....	53

3.3.1.2.	Camada de resíduos de construção civil.....	54
3.3.1.3.	Camada de resíduo sólido urbano.....	54
3.3.1.4.	Camada de cobertura.....	55
3.3.2.	Composição gravimétrica.....	56
3.3.3.	Preenchimento dos lisímetros.....	58
3.3.4.	Operação e monitoramento do experimento.....	60
3.3.4.1.	Medição de temperatura da massa dos resíduos.....	61
3.3.4.2.	Medição da precipitação.....	61
3.3.4.3.	Caracterização física e química do percolado.....	62
3.3.4.3.1.	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).....	63
3.3.4.3.2.	Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	63
3.3.4.3.3.	Carbono Orgânico Total (COT).....	63
3.3.4.3.4.	Nitrogênio Total (NT).....	64
3.3.4.3.5.	Potencial Hidrogeniônico (pH).....	64
3.3.4.3.6.	Condutividade Elétrica (CE).....	64
3.3.4.3.7.	Sólidos Totais (ST), Sólidos Fixos (SF) e Sólidos Voláteis (SV).....	64
3.3.4.3.8.	Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Suspensos Fixos (SSF), Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) e Sólidos Dissolvidos Totais (SDT).....	65
3.3.4.3.9.	Metais.....	65
3.3.4.4.	Recirculação do líquido percolado.....	65
3.3.4.5.	Caracterização física e química dos resíduos sólidos após recirculação.....	67
3.3.4.5.1.	Ensaio de Solubilização.....	68
3.3.4.5.2.	Ensaio de Lixiviação (NBR 10.005/87 – ABNT).....	68
3.3.4.5.3.	Determinação de Sólidos Totais, Fixos e Voláteis.....	69
3.3.4.5.4.	Potencial Hidrogeniônico (pH).....	69
3.3.4.5.4.	Condutividade Elétrica (CE).....	70
4.	Resultados e Discussões.....	71
4.1.	Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos.....	71
4.2.	Monitoramento do sistema.....	72
4.2.1.	Temperatura da massa dos resíduos.....	72
4.2.2.	Dados meteorológicos e produção de percolado nos lisímetros.....	73
4.2.2.1.	Produção de percolado.....	76
4.2.3.	Caracterização física e química do líquido percolado dos lisímetros...	79
4.2.3.1.	Sistema ácido/base.....	79
4.2.3.2.	Condutividade Elétrica (CE).....	81
4.2.3.3.	Matéria orgânica.....	82
4.2.3.3.1.	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).....	83
4.2.3.3.2.	Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	84
4.2.3.3.3.	Carbono Orgânico Total (COT).....	85
4.2.3.4.	Sólidos.....	87
4.2.3.5.	Nutrientes.....	94
4.2.3.6.	Metais.....	95
4.2.4.	Caracterização física e química dos resíduos sólidos retirados dos lisímetros.....	99
4.2.4.1.	pH.....	100
4.2.4.2.	Condutividade elétrica.....	101
4.2.4.3.	Sólidos.....	101

4.2.4.4.	Metais.....	103
4.3.	Eficiência do sistema de tratamento.....	104
5.	Conclusões.....	107
6.	Referências Bibliográficas.....	109
ANEXOS.....		116

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Aspectos qualitativos do chorume de aterros de diferentes idades.....	10
Quadro 2	Valores dos parâmetros do chorume de aterros novos e antigos.....	11
Quadro 3	Duração típica, nos E.U.A., das fases para a decomposição em aterro.....	15
Quadro 4	Faixas de concentrações dos constituintes do chorume e do biogás durante as fases de estabilização biológica.....	17
Quadro 5	Temperaturas obtidas na massa em digestão com matérias orgânicas diversas.....	20
Quadro 6	Íons encontrados no chorume e suas possíveis fontes.....	22
Quadro 7	Efeitos dos metais alcalinos na digestão anaeróbia.....	23
Quadro 8	Efeitos dos metais pesados na digestão anaeróbia.....	24
Quadro 9	Variação da composição química de percolados em aterros sanitários de diferentes partes do mundo.....	25
Quadro 10	Processos e tipos de tratamento de percolado de aterros sanitários.....	31
Quadro 11	Tipo de tratamento de efluentes líquidos de aterros sanitários.	32
Quadro 12	Métodos de recirculação de percolado.....	36
Quadro 13	Dados relativos às condições climáticas.....	58

Quadro 14	Resumo da composição física dos lisímetros.....	60
Quadro 15	Resumo do tratamento experimental.....	60
Quadro 16	Composição gravimétrica do lixo urbano da cidade de Viçosa por bairro.....	71
Quadro 17	Composição gravimétrica do lixo de Viçosa, calculada com base na massa úmida.....	72
Quadro 18	Dados meteorológicos e de produção mensal de líquido percolado nos lisímetros.....	74
Quadro 19	Dados de recirculação do líquido percolado nos lisímetros.....	75
Quadro 20	Valores das características físicas e químicas das camadas dos resíduos sólidos.....	99
Quadro 21	Eficiência do processo de recirculação na remoção de atributos químicos, físicos e bioquímicos do percolado nos lisímetros LVSE e LVCE.....	105
Quadro 22	Eficiência do processo de recirculação na remoção de atributos químicos, físicos e bioquímicos do percolado nos lisímetros LMSE e LMCE.....	106

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Destinação final dos resíduos por número de municípios.....	2
Figura 2	Rotas para digestão anaeróbia de resíduos complexos.....	12
Figura 3	Variação da composição do biogás durante as fases de estabilização de resíduos sólidos dispostos em aterros.....	13
Figura 4	Variação da composição do biogás e do chorume durante as fases de estabilização de resíduos sólidos dispostos em aterros.....	16
Figura 5	Esquema do fluxo de água em um aterro sanitário.....	30
Figura 6	Métodos de injeção para tratamento de recirculação de percolado de resíduo sólido.....	35
Figura 7	Localização da Cidade de Viçosa.....	49
Figura 8	Temperaturas médias mensais do Município de Viçosa nos últimos 20 anos.....	50
Figura 9	Precipitações médias mensais (mm) do Município de Viçosa, nos últimos 20 anos.....	51
Figura 10	Montagem dos lisímetros.....	52
Figura 11	Vista geral dos lisímetros.....	53
Figura 12	Camada de drenagem na base dos lisímetros.....	53
Figura 13	Camada de resíduos de construção civil sobre a camada de drenagem na base dos lisímetros.....	54
Figura 14a	Lixo novo (recém-coletado).....	54
Figura 14b	Lixo maduro (três anos de idade).....	55
Figura 14c	Lixo velho (treze anos de idade) transportado até a Área Experimental.....	55
Figura 15	Camada de cobertura do lixo nos lisímetros.....	56
Figura 16	Descarga do caminhão de lixo coletado no Bairro Clélia Bernardes (Viçosa-MG).....	57

Figura 17	Início do quarteamento do lixo recém coletado.....	57
Figura 18	Compactação dos resíduos com o soquete de madeira.....	59
Figura 19	Vista dos lixos novo e velho já compactados.....	59
Figura 20	Equipamento utilizado no monitoramento da temperatura na massa de resíduos.....	61
Figura 21	Coleta do líquido percolado dos lisímetros.....	62
Figura 22	Armazenamento do percolado drenado dos lisímetros.....	66
Figura 23	Sistema de recirculação e lâmina do líquido percolado aplicada sobre os lisímetros.....	67
Figura 24	Detalhe das amostras coletadas, nos diferentes lisímetros, nas diversas camadas de resíduos.....	67
Figura 25	Temperatura mensal ambiente e da massa de resíduos sólidos nos lisímetros.....	73
Figura 26	Produção de percolado nos lisímetros.....	76
Figura 27	Evolução temporal do pH no percolado dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.....	79
Figura 28	Evolução temporal da condutividade elétrica no percolado dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.....	81
Figura 29	Evolução temporal da DBO no percolado dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.....	84
Figura 30	Evolução temporal da DQO no percolado dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.....	85
Figura 31	Evolução temporal de COT no percolado dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.....	86
Figura 32	Evolução temporal de ST no percolado dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.....	87
Figura 33	Evolução temporal de SF no percolado dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.....	88
Figura 34	Evolução temporal de SV no percolado dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.....	89
Figura 35	Evolução temporal de SST no percolado dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.....	90
Figura 36	Evolução temporal de SSV no percolado dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.....	91
Figura 37	Evolução temporal de SSF no percolado dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.....	92
Figura 38	Evolução temporal de SDT no percolado dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.....	93
Figura 39	Evolução temporal de NT no percolado dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.....	94
Figura 40	Evolução temporal de Ca no percolado dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.....	96

Figura 41	Evolução temporal de Mg no percolado dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.....	97
Figura 42	Evolução temporal de Mn no percolado dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.....	98
Figura 43	Evolução temporal de Fe no percolado dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.....	99
Figura 44	Concentração de pH nas camadas de resíduos dos lisímetros LVSE e LVCE.....	100
Figura 45	Concentração de CE nas camadas de resíduos dos lisímetros LVSE e LVCE.....	101
Figura 46	Concentração de ST, SF e SV nas camadas de resíduos dos lisímetros LVSE e LVCE.....	102
Figura 47	Concentração de Ca e Mg solubilizável nas camadas de resíduos dos lisímetros LVSE e LVCE.....	103
Figura 48	Concentração de Ca e Mg por lixiviação nas camadas de resíduos dos lisímetros LVSE e LVCE.....	104

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E NOMENCLATURAS

ABLP	Associação Brasileira de Limpeza Pública
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Al	Alumínio
AVT	Ácidos voláteis totais
Ca	Cálcio
CaCO ₃	Carbonato de cálcio
Cd	Cádmio
CE	Condutividade elétrica
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (SP)
CH ₄	Gás metano
Co	Cobalto
CO ₂	Gás carbônico
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
COT	Carbono Orgânico Total
Cr	Crômio
Cu	Cobre
dag.kg ⁻¹	Decagrama por quilo

DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DESA	Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG
Eh (mV)	Potencial redox (milivolt)
ETE	Estação de tratamento de esgoto
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
Fe	Fe
g.cm ⁻¹	Grama por centímetro
g.L ⁻¹	Grama por litro
H ₂	Gás hidrogênio
HAc	Ácido acético
Hg	Mercúrio
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
K	Potássio
kN.m ⁻³	Unidade de peso específico
LNCE	Lixo novo com entulho de construção civil
LNSE	Lixo novo sem entulho de construção civil
LMCE	Lixo maduro com entulho de construção civil
LMSE	Lixo maduro sem entulho de construção civil
LVCE	Lixo velho com entulho de construção civil
LVSE	Lixo velho sem entulho de construção civil
m	Metro
Mg	Magnésio
mg.kg ⁻¹	Miligrama por quilo
mg.L ⁻¹	Miligrama por litro

mL	Mililitro
mm	Milímetro
Mn	Manganês
mS.cm ⁻¹	Unidade de condutividade elétrica
N ₂	Gás nitrogênio
Na	Sódio
Ni	Níquel
NH ₃	Amônia
NH ₄ ⁺	Íon amônio
N-NH ₃ ⁻	Nitrogênio amoniacal
NO ₃ ⁻	Íon nitrato
NT	Nitrogênio Total
NTK	Nitrogênio kjeldahl total
O ₂	Gás oxigênio
P	Fósforo
Pb	Chumbo
PET	Polietileno tereftalato
pH	Potencial hidrogeniônico
PO ₄ ³⁻	Fosfato
RAFA	Reator anaeróbio de fluxo ascendente
RSU	Resíduos sólidos urbanos
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SF	Sólidos Fixos
SO ₄ ²⁻	Sulfato

SSF	Sólidos Suspensos Fixos
SST	Sólidos Suspensos Totais
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
ST	Sólidos Totais
STV	Sólidos Totais Voláteis
SV	Sólidos Voláteis
UFC	Unidade formadora de colônias, unidade de contagem de bactérias
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFV	Universidade Federal de Viçosa
°C	Grau Celsius

RESUMO

CARVALHO, André Luciano de, D.S., Universidade Federal de Viçosa, Março de 2005. **Efeitos da recirculação do percolado sobre a qualidade do efluente de lixo doméstico de diferentes idades.** Orientador: Antonio Teixeira de Matos. Conselheiros: Roberto Francisco de Azevedo e Izabel Christina Duarte d'Almeida Azevedo.

No passado, os resíduos sólidos urbanos (RSU) eram diretamente dispostos sobre o solo sem nenhuma preocupação especial. Acreditava-se que a poluição gerada por este procedimento era completamente atenuada pelo solo e que uma eventual contaminação dos solos e águas subterrâneas não era preocupante. Atualmente, entretanto, é bastante reconhecido que os solos tem uma capacidade de atenuação limitada, o percolado gerado nos RSU é altamente poluente e, na maioria das vezes, tem que ser coletado e tratado para não contaminar os solos e águas subterrâneas. A recirculação do percolado, ou seja, a sua injeção na própria massa de RSU, é uma técnica boa e viável embora pouco usada no Brasil. Entre as vantagens da utilização dessa técnica, destaca-se a aceleração da estabilização da matéria orgânica aterrada, causando uma redução dos compostos orgânicos presentes no percolado; a possível diminuição de volume de percolado, devido à evaporação, e a redução dos custos envolvidos no tratamento do percolado. A colocação de uma camada de entulho de construção civil na base das células de lixo também pode ser interessante em função da provável capacidade desta camada atenuar alguns poluentes existentes nos RSU. O objetivo deste trabalho é avaliar, em lisímetros de grandes dimensões, os efeitos da recirculação e da camada de entulho da construção civil nas qualidades físicas e químicas de percolados de RSU de diferentes idades. A pesquisa foi desenvolvida na Área Experimental de

Tratamento de RSU do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Os experimentos foram executados durante um período de 12 meses. Seis lisímetros foram construídos; cada um feito superpondo 3 manilhas de concreto armado de diâmetro interno e altura iguais a 1,00m, formando um cilindro rígido de 3,00 m de altura, com um volume de aproximadamente 2.300 L. As paredes laterais dos lisímetros foram equipadas com dispositivos que permitiam a medição de temperatura e, nas suas bases, os lisímetros tinham torneiras para coleta de percolado. Os lisímetros foram preenchidos com RSU de três idades diferentes: um RSU novo recentemente coletado na cidade de Viçosa; um RSU maduro disposto há aproximadamente 3 anos no lixão da cidade de Visconde do Rio Branco; e, um RSU antigo disposto no mesmo lixão há aproximadamente 13 anos. O percolado de quatro lisímetros foi tratado por recirculação: os lisímetros LNSE e LNCE (lixo novo sem e com camada de entulho de construção civil) foram os geradores de percolado para recirculação nos lisímetros preenchidos com lixo velho, sem e com camada de entulho de construção (LVSE e LVCE). Por sua vez, os lisímetros LMSE e LMCE (lixo maduro, sem e com entulho de construção civil) receberam recirculação do seu próprio efluente. O percolado era coletado diariamente, sendo as amostras analisadas (DBO, DQO, pH, condutividade elétrica, seqüência de sólidos, N_{total} , COT e metais pesados) quinzenalmente. Nas amostras de RSU de lixo velho (LVSE e LVCE) foram feitos ensaios de lixiviação e solubilização. Os resultados analíticos da qualidade dos efluentes dos lisímetros indicaram influência positiva da idade do material na remoção de material inorgânico e orgânico do percolado. A presença da camada de entulho da construção civil também favoreceu a remoção de alguns poluentes do percolado.

ABSTRACT

CARVALHO, André Luciano de, D.S., Universidade Federal de Viçosa, March, 2005. **Effects of leachate recirculation on the effluent quality of municipal solid waste cells of different ages.** Adviser: Antonio Teixeira de Matos. Committee Members: Roberto Francisco de Azevedo and Izabel Christina Duarte d'Almeida Azevedo.

In the past, municipal solid wastes (MSW) were directly disposed in the soil without any special concern. It was believed that the pollution generated by this procedure was completely attenuated by the soil and that the aquifer contamination would not be a worry. Nowadays, however, it is well known that the soil has a limited attenuation capacity; the leachate generated by the wastes is highly pollutant and, in most of the cases, has to be collected and treated in order to not contaminate the soil and groundwater. Leachate recirculation, in other words, its re-injection in the MSW mass, is a good and feasible technique, although rarely used in Brazil. Among the advantages of using this technique, one points out the acceleration of the organic matter stabilization, causing a reduction of organic contents in the leachate; possible decrease of leachate volume due to the evaporation; and, reduction of costs involved in the leachate treatment. A layer of civil construction debris placed at the base of MSW cells may also be interesting, because of the probable capacity of this layer of attenuating some pollutant components existing in the wastes. The objective of this work is to evaluate, using large lysimeters, the effects of recirculation and a layer of civil construction debris, in the physical and chemical quality of the leachate of municipal solid waste of different ages. The research was developed at the

experimental area of MSW treatment of the Department of Agricultural Engineering of Federal University of Viçosa (UFV). The experiments were performed during a period of 12 months. Six lisimeters were constructed; each one was made superposing 3 large reinforced concrete tubes of internal diameter and height equals to 1,00 m, forming a rigid cylinder 3,00 m height, with a volume of approximately 2.300 L. The lateral walls of the lisimeters were equipped with devices for temperature measurements and, at their bases; the lisimeters have faucets for leachate collection. The lisimeters were filled with MSW of three different ages: a young MSW recently collected in the city of Viçosa, a mature MSW disposed by around 3 years in the dump of Visconde do Rio Branco city and an old MSW disposed in the same dump it has been around 13 years. The leachate of four lisimeters was treated by recirculation: lisimeters LNSE and LNCE (young MSW without and with a layer of civil construction debris) generate leachate for recirculation in the lisimeters filled with old MSW, without and with a layer of civil construction debris (LVSE and LVCE). On the other hands, lisimeters LMSE and LMCE (mature MSW, without and with a layer of civil construction debris) received recirculation of their own leachate. Leachate was collected daily, and, twice a month, samples were analyzed to measure: BOD, QOD, pH, electric conductivity, solids, Ntotal, TOC and heavy metals. Samples of old MSW (LVSE and LVCE) were analyzed with lixiviation and solubilization tests. The lisimeters effluent leachate quality test results indicated a positive influence of the MSW age in the removal of inorganic and organic components. The presence of the layer of civil construction debris also favored removal of some pollutant components of the leachate.

1. INTRODUÇÃO

A disposição de resíduos sólidos urbanos e industriais no solo tem sido feita há séculos. Povos da Mesopotâmia (2500 a.C.), os Nabatus, enterravam seus resíduos domésticos e agrícolas em trincheiras escavadas no solo que, depois de algum tempo eram abertas e o produto resultante da decomposição da matéria orgânica era removido e utilizado como fertilizante orgânico, para a produção de cereais (AZEVEDO et al., 2003). Este hábito também permitia ao homem primitivo apagar vestígios de sua presença em um local para, assim, se proteger de ataques de inimigos e animais. Ao longo dos tempos, os resíduos de aglomerações urbanas foram sendo amontoados em áreas afastadas. Porém, somente a partir do final do século passado, começou a existir maior preocupação com o aspecto sanitário e com a possibilidade de transmissão de doenças. No passado, acreditava-se que o potencial poluente do percolado gerado em aterros era completamente atenuado pelo solo, por isso, a contaminação do aquífero não representava uma preocupação. Por essa razão, considerava-se que a disposição de resíduos diretamente no solo fosse uma prática considerada aceitável.

Segundo BOSCOV et al. (2000), cerca de 60% a 70% dos resíduos sólidos urbanos gerados no mundo são dispostos sobre o terreno em condições não adequadas. Segundo dados da Organização Mundial de Saúde (OMS), mais de dois terços da população mundial não possui meios adequados para a disposição de resíduos, situação que contribui para a formação de um círculo vicioso de doenças e pobreza (MERBACH JR., 1989).

A problemática do lixo no meio urbano abrange aspectos relacionados a sua origem e forma de produção, destacando-se os riscos do comprometimento ambiental, principalmente a poluição do solo, do ar e dos recursos hídricos, quando de sua disposição inadequada. O não tratamento dessa massa pode contribuir, significativamente, para a degradação da biosfera, em detrimento da qualidade de vida em nosso planeta (LIMA, 1995).

A disposição sobre o terreno natural tem sido o destino mais usual dos resíduos sólidos urbanos em todo o mundo. Nos países menos desenvolvidos, a disposição no solo representa entre 95% a 100% desses resíduos.

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, realizada no ano de 2000 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2002), revelou que, dos 5.507 municípios brasileiros, 63,6% utilizam lixões como destino final do lixo, enquanto 18,4% utilizam aterros controlados e 13,8% aterros sanitários (Figura 1) e no restante era dado algum tipo de tratamento tais como reciclagem, compostagem ou incineração. Porém, deve-se considerar que 4.026 municípios (73,1% do total) têm população de até 20.000 habitantes e coletam, em conjunto, apenas 12,8% do total, enquanto que as 13 maiores cidades brasileiras, com população acima de um milhão de habitantes, coletam 31,9% de todo o lixo urbano brasileiro.

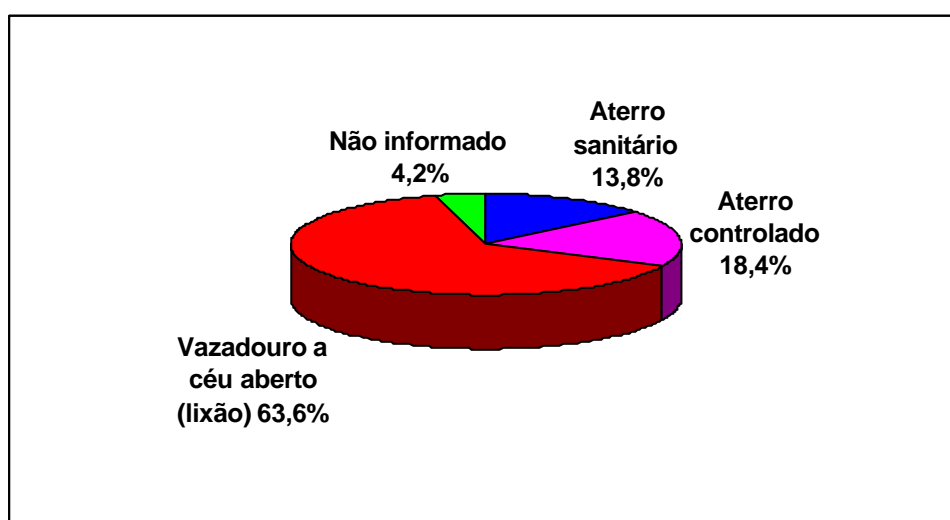


Figura 1 - Destinação final dos resíduos por número de municípios.

Em Minas Gerais, por exemplo, apenas oito municípios possuem aterro sanitário licenciado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM, 2002): Belo Horizonte, Betim, Contagem, Extrema, Ipatinga, Paracatu, Uberlândia e Visconde do

Rio Branco. O último município, foi o primeiro da Zona da Mata Mineira a implantar um Aterro Sanitário. Porém, tomando-se por base a massa produzida, das 125.281 toneladas de lixo diariamente coletadas no Brasil, 47,1% eram destinados a aterros sanitários, 22,3% a aterros controlados e 30,5% a lixões. A destinação final de lixo em aterros sanitários e o emprego de usinas de compostagem/reciclagem são consideradas, técnica e ambientalmente, mais adequadas, com isso, muitos esforços têm sido empreendidos e muitos recursos alocados para que se possa dar tratamento adequado ao lixo gerado nas cidades.

O aterramento, por si só, não resolve o problema do lixo, uma vez que partes dos resíduos aterrados dão origem a um líquido de coloração escura, altamente poluidor, formado a partir de enzimas expelidas por bactérias de decomposição e de água de constituição, denominado chorume (ORTH, 1981). O chorume é um dos maiores limitantes para a disposição de resíduos orgânicos sobre o solo, uma vez que sua migração, desde a superfície do terreno até o lençol freático, pode transportar uma série de compostos químicos e agentes biológicos e, conseqüentemente, poluir os mananciais de águas superficiais ou subterrâneas.

A quantidade de percolado (chorume mais água de infiltração) gerada em aterros é dependente do índice pluviométrico local, do escoamento superficial, da possível intrusão de águas subterrâneas nas células e do volume de resíduos orgânicos presente no aterro.

Em vista do exposto, no projeto de um aterro sanitário, deve estar, necessariamente, contemplada a instalação de rede de drenagem para o percolado e para os gases gerados nas células. O percolado coletado deve ser tratado para que possa ser lançado em corpo hídrico receptor e os gases queimados ou aproveitados como fonte de energia para minimizar a contaminação atmosférica.

O tratamento do percolado representa, ainda, um grande desafio na elaboração dos projetos de aterros sanitários, uma vez que suas características são alteradas em função da quantidade de água incorporada ao chorume, das características dos resíduos dispostos no aterro e, principalmente, da idade do aterro (FERREIRA et al., 2001). Além disso, a grande exigência de área, muitas vezes pouco disponível nas vizinhanças de grandes centros urbanos, e a relativa baixa eficiência do sistema convencional de tratamento (lagoas anaeróbias seguidas de facultativas), têm levado técnicos e pesquisadores a procurarem alternativas

técnicas que possibilitem o tratamento/disposição final com menor custo econômico e ambiental.

De acordo com a CETESB (1995), um método tecnicamente viável para o condicionamento de percolado é a adoção de um sistema que permita a sua recirculação no próprio aterro sanitário. Segundo o IPT/CEMPRE (2000), a recirculação do percolado para o interior do aterro sanitário, de maneira que ele possa percolar através da massa de sólidos disposta em camadas, é uma técnica atual e bastante inovadora no tratamento desse líquido poluidor.

1.1. Objetivos

A realização desta pesquisa teve-se por objetivo geral avaliar, em lisímetros, a eficiência de sistemas de recirculação no tratamento do líquido percolado de resíduos sólidos urbanos. Os objetivos específicos foram:

- Avaliar a qualidade do efluente dos lisímetros contendo resíduos urbanos de diferentes idades, submetidas à recirculação de líquido percolado;
- Avaliar a influência da idade do lixo na qualidade física e química do efluente do sistema de recirculação de líquido percolado;
- Avaliar a influência de camada de entulho na qualidade do percolado.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Considerações sobre resíduos sólidos

Embora os termos lixo e resíduos sólidos urbanos (RSU) sejam considerados equivalentes, o primeiro tem sido preferencialmente adotado, podendo ser o lixo classificado em diversas categorias, dentre as quais, o urbano, o industrial, o de serviços de saúde, o radioativo e o agrícola.

No Brasil, segundo a NBR 10.004/87 (ABNT, 1987), lixo é um resíduo sólido. *Residuum*, do latim, significa o que sobra de determinadas substâncias e *sólido* é incorporado aos termos para diferenciar o resíduo de líquidos e gases. A referida Norma define resíduo sólido como resíduos em estado sólido ou semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem. Ficam incluídos, nesta definição, os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos, cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso, soluções técnicas e economicamente inviáveis.

De acordo com seu grau de degradabilidade, os resíduos sólidos podem ser classificados em:

- Ⓜ Facilmente degradáveis: constituído pela matéria orgânica presente nos resíduos sólidos de origem urbana;
- Ⓜ Moderadamente degradáveis: constituídos por papéis, papelão e material celulósico;

Ⓜ Dificilmente degradáveis: constituídos por pedaços de pano, retalhos, aparas e serragens de couro, borracha e madeira;

Ⓜ Não-degradáveis, constituídos por vidros, metais, plásticos, pedras, terra, entre outros.

Os resíduos sólidos são classificados, segundo a ABNT (1987), em três classes, a saber:

Ⓜ **Resíduos classe I (perigosos)** - aqueles que apresentam periculosidade ou que possuem uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade;

Ⓜ **Resíduos classe II (não-inertes)** - aqueles que não se enquadram nas classificações do Resíduo Classe I ou de Classe III. Podem ter propriedades como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água;

Ⓜ **Resíduos classe III (inertes)** - quaisquer resíduos que, quando amostrados de forma representativa (segundo a NBR 10.007/87, referente à amostragem de resíduos) e submetido a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, sob temperatura ambiente (segundo NBR 10.006/87, referente ao teste de solubilização), não apresentarem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, conforme listagem apresentada pela própria NBR 10.004/87.

Quanto à definição de resíduos sólidos urbanos ou municipais, também existem diferenças conceituais entre diversos autores. GENDEBIEN et al. (1991) definem resíduos sólidos municipais ou urbanos como sendo compostos pelos resíduos domésticos gerados pela população e, geralmente, coletados em casas individuais, acrescidas dos resíduos de composição similar gerado por unidades comerciais ou industriais. TCHOBANOGLIOUS et al. (1993) afirmam que os resíduos sólidos municipais incluem todos os resíduos gerados pela comunidade, à exceção daqueles de origem industrial ou agrícola. BARROS (1998) definem resíduos públicos como sendo aqueles que, independentemente de sua origem (domésticos, industriais, comerciais, etc.), são deixados em logradouros públicos, cabendo ao governo municipal a função de recolhê-los e dar-lhes destino adequado.

2.2. Aterros sanitários

Aterro sanitário é uma obra de engenharia que tem como objetivo acomodar no solo, no menor espaço possível, resíduos domiciliares e urbanos sem causar maiores danos ao meio ambiente ou à saúde pública. Segundo a NBR 8419/84 (ABNT, 1984), o aterramento sanitário de resíduos sólidos urbanos é uma “técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos na menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores se for necessário”. Para a CETESB (1992), aterro sanitário é definido como um processo utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo, particularmente o lixo domiciliar que, fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, possibilita uma confinamento segura, em termos de controle da poluição ambiental e proteção ao meio ambiente.

Apesar de ser o método mais simples de destinação final de resíduos sólidos, o aterro sanitário exige cuidados especiais e técnicas específicas a serem seguidas, desde a seleção e preparo da área até a sua operação e monitoramento.

Chorume, sumeiro ou purina é um líquido produzido pela decomposição de substâncias contidas nos resíduos sólidos, que tem como características a cor escura, o mau cheiro e a elevada DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio).

Percolado é todo líquido que passa através de um meio poroso. No caso de aterros de lixo, as águas de infiltração, ao percolarem no meio, carregam consigo os produtos da decomposição orgânicas ou disponíveis, podendo vir a contaminar as águas subterrâneas de menor profundidade, que são, geralmente, explotadas com uso de poços rasos por populações pobres que vivem na periferia dos grandes centros urbanos.

2.3. Decomposição de resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário

Conforme LIMA (1988), aterro sanitário é, também, um método de tratamento de resíduos sólidos, pois neles ocorre a redução de carga orgânica e conversão de biomassa em materiais ou substâncias mais estáveis, por ação de

espécies microbianas decompositoras, capazes de bio-estabilizarem matéria orgânica e complexar metais pesados.

Quando projetado e executado segundo os critérios de engenharia e normas operacionais específicas, o aterro sanitário apresenta algumas vantagens sobre os outros métodos de tratamento de lixo, a saber, (LIMA, 1988):

- ®Custo de operação relativamente baixo;
- ®Disposição do lixo de forma mais controlada;
- ®Capacidade de absorção diária de grande quantidade de resíduos;
- ®Condições especiais para a decomposição biológica da matéria orgânica presente no lixo;
- ®Limitação da procriação de vetores prejudiciais ao homem;
- ®Possibilidade de recuperação de áreas degradadas e de baixo valor comercial para fins de lazer e recreação;
- ®Não requerimento de pessoal operacional altamente qualificado;
- ®Aceitação de todo tipo de lixo, exceto os resíduos classificados como perigosos;
- ®Possibilidade de coleta e aproveitamento do gás combustível produzido.

Segundo LIMA (1988), os problemas associados a este método incluem a possibilidade de poluição das águas superficiais e subterrâneas pelo chorume, além da migração de gases, que dependendo das circunstâncias, pode acarretar sérios problemas.

Para LIMA (1995), do ponto de vista técnico, os fatores limitantes deste método são basicamente três: disponibilidade de áreas apropriadas para uso como aterro próximo aos centros urbanos, disponibilidade de material de cobertura diária do lixo e condições climáticas favoráveis para sua operação durante todos os dias do ano.

CAMPBELL (1991) afirma que o ideal no gerenciamento de resíduos sólidos é minimizar a quantidade produzida e maximizar as oportunidades para reciclagem dos mesmos, com recuperação de matérias-primas, embora se saiba que nem todos resíduos podem ser economicamente reutilizados. O aterro sanitário é, entretanto, componente essencial em toda e qualquer estratégia de gerenciamento de resíduos sólidos.

2.3.1. Fases do processo

O gerenciamento ambiental seguro de um aterro sanitário depende de um estudo minucioso dos processos químicos, físicos e biológicos que ocorrem a partir do momento em que o lixo é ali depositado. A fração orgânica dos resíduos depositados em um aterro é degradada por processos predominantemente anaeróbios, sendo que os compostos inorgânicos podem ficar retidos na massa de lixo por adsorção iônica, precipitação e quelação/complexação pela matéria orgânica. As principais conseqüências dos processos anaeróbios em aterros sanitários e lixões são a produção de gases (principalmente o CO₂ e CH₄) e chorume. Estas emissões podem ser potencialmente poluentes ou danosas, se não forem adequadamente gerenciadas (OLIVEIRA, 1997).

Desta forma, um aterro sanitário pode ser entendido como um grande biodigestor de meio sólido, no qual a digestão da matéria orgânica presente no lixo ocorre em diferentes fases. A produção e a composição do biogás e do chorume de um aterro dependem, dentre outros fatores, da fase em que o processo de decomposição biológica do lixo se encontra, ou seja, da idade do aterro, conforme informações apresentadas nos Quadros 1 (QASIM & CHIANG, 1994) e 2 (TCHOBANOGLOUS et al., 1993).

Quadro 1 - Aspectos qualitativos do chorume de aterros de diferentes idades

Parâmetros ^a	Idade do aterro (anos)		
	1	5	16
pH	5,2 a 6,4	6,3	-
Condutividade elétrica	0,6 a 9,0	-	-
Alcalinidade (CaCO ₃)	800 a 4000	5810	2250
Dureza (CaCO ₃)	3500 a 5000	2200	540
DBO	7500 a 28000	4000	80
DQO	10000 a 40000	8000	400
SDT	10000 a 14000	6794	1200
SST	100 a 700	-	-
Nitrogênio amoniacal	56 a 482	-	-
Nitrato	0,2 a 0,8	0,5	1,6
Fósforo total	25 a 35	12	8
Ortofosfato	23 a 33	-	-
Sulfato	400 a 650	2	2
Cálcio	900 a 1700	308	109
Magnésio	160 a 250	450	90
Ferro	210 a 325	6,3	0,6
Potássio	295 a 310	610	39
Sódio	450 a 500	810	34
Cloro	600 a 800	1330	70
Manganês	75 a 125	0,06	0,06
Zinco	10 a 30	0,4	0,1
Cobre	-	< 0,5	< 0,5
Cádmio	-	< 0,05	< 0,05
Chumbo	-	0,5	1,0

(a) Todos os valores em mg.L⁻¹, exceto pH (adimensional) e condutividade elétrica (mS.cm⁻¹).
 Fonte: QASIM & CHIANG (1994).

Quadro 2 - Valores dos parâmetros do chorume de aterros novos e antigos

Parâmetros ^a	Aterro novo (menos de 2 anos)		Aterro antigo (mais de 10 anos)
	Típico	Faixa de variação	Faixa de variação
pH	6,0	4,5 a 7,5	6,6 a 7,5
Alcalinidade (CaCO ₃)	3000	1000 a 10000	200 a 1000
Dureza (CaCO ₃)	3500	300 a 10000	200 a 500
DBO	10000	2000 a 30000	100 a 200
DQO	18000	3000 a 60000	100 a 500
COT	6000	1500 a 20000	80 a 160
SST	500	200 a 2000	100 a 400
Nitrogênio orgânico	200	10 a 800	80 a 120
Nitrogênio amoniacal	200	10 a 800	20 a 40
Nitrato	25	5 a 40	5 a 10
Fósforo total	30	5 a 100	5 a 10
Ortofosfato	20	4 a 80	4 a 8
Sulfato	300	50 a 1000	20 a 50
Cálcio	1000	200 a 3000	100 a 400
Magnésio	250	50 a 1500	50 a 200
Ferro total	60	50 a 1200	20 a 200
Potássio	300	200 a 1000	50 a 400
Sódio	500	200 a 2500	100 a 200
Cloro	500	200 a 3000	100 a 400

(a) Todos os valores em mg.L⁻¹, exceto pH (adimensional).

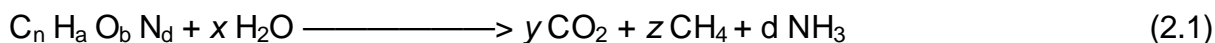
Valores variam com o estágio metabólico do aterro.

Fonte: Adaptado de TCHOBANOGLIOUS et al. (1993).

À medida que as distintas fases se sucedem no interior da massa de lixo em decomposição, as reações bioquímicas, que ali ocorrem, tornam as substâncias presentes mais ou menos suscetíveis à lixiviação pelo percolado em movimento através do resíduo. Dessa maneira, o chorume tem a sua composição alterada, conforme apresentado nos Quadros 1 e 2. É importante observar, analisando as informações contidas nesses quadros, a grande variação nos valores dos atributos qualitativos de chorume de aterros com a mesma idade. Essa variação é decorrente da composição do lixo aterrado, que varia com muitos fatores, e da complexidade do processo de degradação que, por sua vez, é influenciado por inúmeras condições operacionais e ambientais.

2.3.2. Fases do processo de degradação

BUSWELL & MUELLER (1952) apresentam uma reação química simples que representaria o processo microbiano durante a digestão anaeróbia, conforme está expresso na Equação 2.1:



em que:

$$x = n - a/4 - b/2 + 3d/4$$

$$y = n/2 - a/8 + b/4 + 3d/8$$

$$z = n/2 + a/8 - b/4 - 3d/8$$

O processo é muito complexo, envolvendo diversas fases. McCARTY (1964) apresenta um diagrama onde subdivide o processo em duas fases: a de formação de ácidos e a de formação de metano (Figura 2). KULGELMAN & McCARTY (1965) ressaltam que a remoção de DQO no processo só ocorre com a produção de metano.

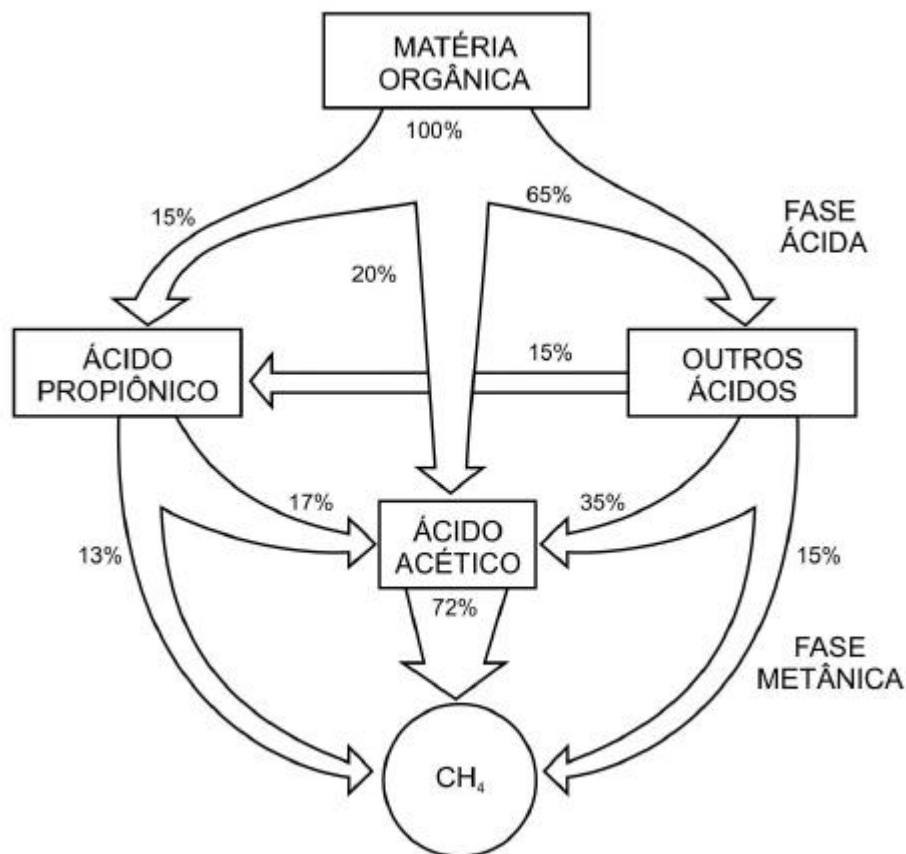


Figura 2 - Rotas para digestão anaeróbica de resíduos complexos (McCARTY, 1964).

Rees (1980), citado por LIMA (1988), descreveu, minuciosamente, o fenômeno de degradação dos resíduos em aterro sanitário, dividindo-o em cinco fases, descritas na seqüência, e apresentou a variação da composição do biogás produzido no aterro ao longo destas fases (Figura 3).

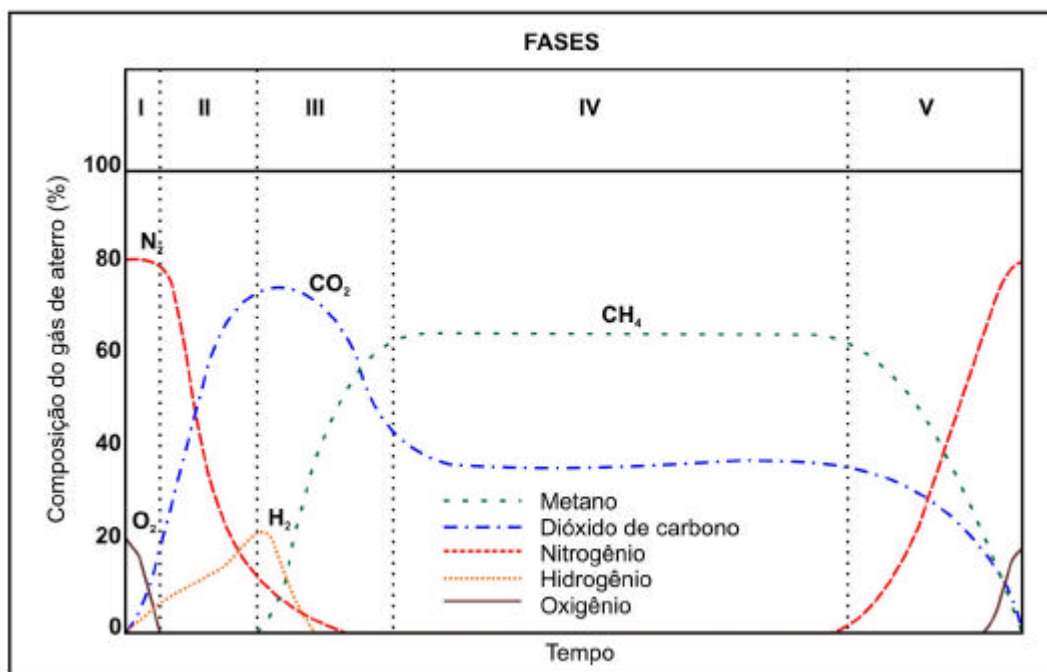


Figura 3 - Variação da composição do biogás durante as fases de estabilização de resíduos sólidos dispostos em aterros.

- **Fase 1:** denominada de aeróbia, sendo caracterizada pela presença de microrganismos aeróbios e facultativos, destacando-se, entre eles, os fungos, as bactérias e os actinomicetos.

Segundo Pohland & Harper (1986), citados por LIMA (1988), esta fase é caracterizada pelo acúmulo de água (aumento do conteúdo), aclimação dos microrganismos às condições de elevadas temperaturas, resultantes da liberação de energia no decorrer do processo. O chorume produzido apresenta elevadas concentrações de sais dissolvidos, como o cloreto de sódio (QASIM & CHIANG, 1994). A elevação da temperatura pode ocasionar, também, a formação de sais contendo metais, pois muitos íons são solúveis em água sob temperaturas elevadas. O chumbo (Pb^{2+}), por exemplo, é solúvel em água quente, formando cloretos, ao contrário da prata (Ag^+) e do mercúrio (Hg^+).

- **Fase 2:** denominada de anaeróbia-ácida ou anaeróbia não-metanogênica, se inicia após a depleção do oxigênio, sendo caracterizada pela brusca queda no pH, decorrente da pressão parcial do dióxido do carbono e da presença acentuada de ácidos orgânicos.

Nesta fase, a atividade microbiana anaeróbia passa a ser a dominante, pela ação de microrganismos anaeróbios e facultativos (bactérias fermentativas e

bactérias acetogênicas). As bactérias fermentativas convertem, primeiramente, o material orgânico particulado, como a celulose e outros materiais putrescíveis, em compostos dissolvidos, num processo denominado hidrólise ou liquefação. Segue-se, então, a fermentação, que se caracteriza por ser um processo bioquímico pelo qual as bactérias obtêm energia pela transformação da matéria orgânica hidrolisada, contudo sem mineralizá-la (FORESTI et al., 1999).

Durante esta fase, são produzidas quantidades consideráveis de compostos orgânicos simples e de alta solubilidade, principalmente ácidos graxos voláteis, como o ácido acético, e também grandes quantidades de nitrogênio amoniacal (IPT/CEMPRE, 2000). Estes ácidos se misturam com o líquido e percolam pela massa de resíduos, fazendo com que seu pH caia para valores entre 4 e 6.

O caráter ácido desta mistura ajuda na solubilização de materiais inorgânicos, podendo apresentar altas concentrações de ferro, manganês, zinco, cálcio e magnésio. As altas concentrações destes elementos e de ácidos voláteis contribuem para a obtenção de altos valores de condutividade elétrica. O pH ácido favorece, também, o aparecimento de maus odores, com a liberação de gás sulfídrico (H_2S) (LIMA, 1995).

O chorume produzido nesta fase tem grande quantidade de matéria orgânica, apresentando valores de DBO superiores a 10 g.L^{-1} e da relação DBO/DQO relativamente altos, denotando que o chorume é relativamente biodegradável (IPT/CEMPRE, 2000).

- **Fase 3:** denominada de metânica-instável ou anaeróbia metanogênica-instável, esta fase é caracterizada pelo início da produção de metano, porém de forma intermitente, e pela variação crescente da sua concentração, até serem atingidos valores relativamente constantes. Nesta fase, o H_2 desaparece logo no início, assim como o N_2 , enquanto o CO_2 decresce até uma concentração relativamente constante.

As bactérias metanogênicas desenvolvem-se, preferencialmente, sob condições próximas da neutralidade (pH entre 6,6 e 7,3). Com o consumo dos ácidos voláteis simples, produzidos na fase anterior, o valor do pH começa a subir, favorecendo o aparecimento de microrganismos estritamente anaeróbios. No entanto, por serem muito sensíveis à variação do pH, qualquer acúmulo de ácidos pode provocar decréscimo nessa população, prejudicando o processo de

decomposição. Estando o pH próximo ao neutro, reduz-se a solubilização de compostos inorgânicos, diminuindo a condutividade elétrica no chorume.

Enquanto o consumo dos ácidos voláteis simples faz o pH subir, a DBO e a DQO do chorume começam a baixar. Como a DBO diminui mais rapidamente do que a DQO, a relação DBO/DQO apresenta valores mais baixos, significando menor capacidade de biodegradação do chorume. Isso é explicado pelo acúmulo de substâncias de difícil degradação biológica, como os ácidos fúlvicos e húmicos, originários da decomposição de material vegetal. Estes compostos também contribuem sobremaneira, para a coloração escura do chorume (IPT/CEMPRE, 2000).

- **Fase 4:** denominada de metânica-estável ou anaeróbia metanogênica-estável, esta fase é caracterizada pela intensa geração de metano e dióxido de carbono, permanecendo constante a produção e a composição do biogás (aproximadamente 50% de CH₄ e 50% de CO₂). Nesta fase, ocorre um equilíbrio entre os microrganismos formadores de ácidos voláteis e aqueles formadores de metano.
- **Fase 5:** denominada fase de maturação final ou regressiva, sendo caracterizada pela completa bioestabilização da matéria orgânica, pelo decréscimo gradativo da produção de gás metano e dióxido de carbono, além da gradual intrusão de ar (nitrogênio e oxigênio) no aterro.

AUGENSTEIN & PACEY (1991), apresentaram os tempos de duração típicos de Rees (1980) para cada fase de degradação do lixo urbano nos E.U.A., conforme mostrado no Quadro 3.

Quadro 3 - Duração típica, nos E.U.A., das fases para a decomposição em aterro

FASES	DURAÇÃO
Fase 1	horas a 1 semana
Fase 2	1 a 6 meses
Fase 3	3 meses a 3 anos
Fase 4	8 a 40 anos
Fase 5	1 a 40 anos ou mais
Total	10 a 80 anos ou mais

Fonte: AUGENSTEIN & PACEY (1991)

A duração destas fases é muito variável, pois depende de fatores tais como a quantidade e a composição dos resíduos sólidos urbanos aterrados, as condições operacionais do aterro e as condições climáticas da região. Segundo HAMADA (1997), sob condições normais de operação, os resíduos considerados rapidamente biodegradáveis (restos de alimentos, papel e papelão) necessitam de 6 anos, em média, para se estabilizarem. Por sua vez, os resíduos lentamente biodegradáveis (têxteis e madeira) demandam um período médio de aproximadamente 16 anos.

POHLAND & HARPER (1985), apresentaram um modelo diferente do de Rees (1980), basicamente, em relação aos nomes das fases e as suas durações, mostrando a variação da composição do biogás e do chorume ao longo destas (Figura 4).

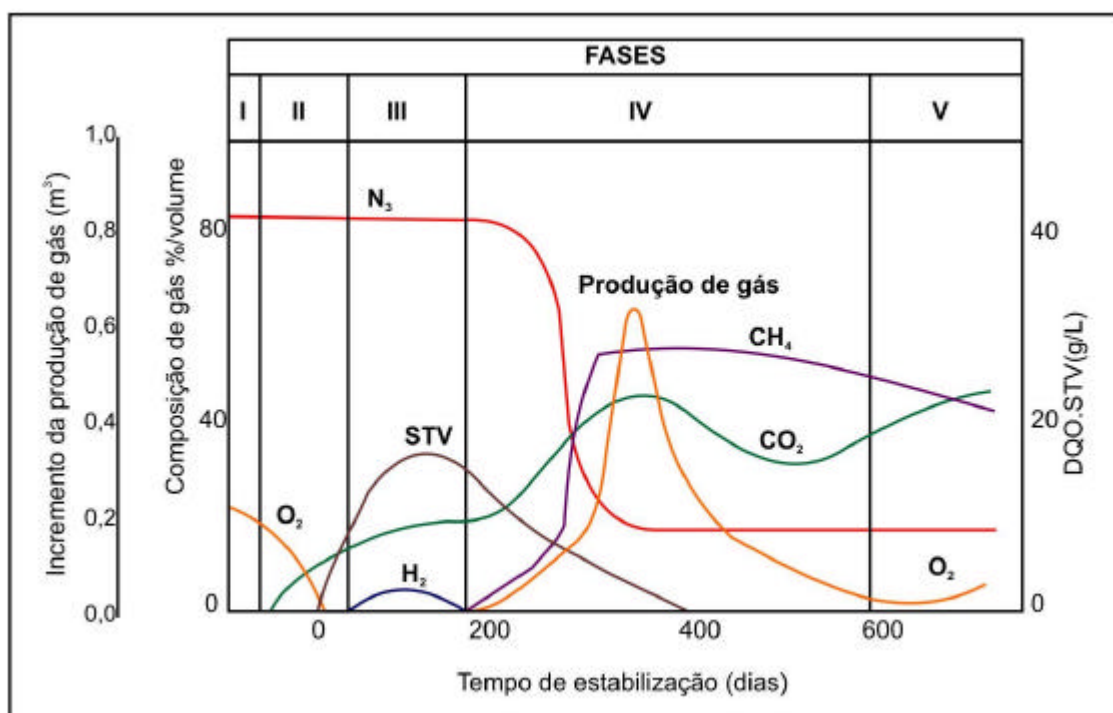


Figura 4 - Variação da composição do biogás e do chorume durante as fases de estabilização de resíduos sólidos dispostos em aterros.

A **fase 1** passa a ser denominada de fase de ajustamento inicial, terminando com o início da produção de CO₂. A **fase 2** é renomeada como fase de transição e se inicia com a formação de chorume e a produção de ácidos voláteis. A **fase 3** é, no entanto, o grande diferencial entre os dois modelos. Para Rees, esta fase se inicia com a produção de gases, enquanto para Pohland e Harper ocorre a predominância

de ácidos voláteis no chorume, tornando-se a fase de formação de ácidos. As **fases 4 e 5** coincidem no que se refere à nomenclatura e duração.

No Quadro 4 estão apresentados os atributos que caracterizam cada fase (POHLAND & HARPER, 1985).

Quadro 4 - Faixas de concentrações dos constituintes do chorume e do biogás durante as fases de estabilização biológica

Constituintes do chorume	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5
pH (adimensional)	6,7	4,7 a 7,7	6,3 a 8,8	7,1 a 8,8
Condutividade (mS.cm ⁻¹)	2,45 a 3,31	1,6 a 17,1	2,9 a 7,7	1,4 a 4,5
Eh (mV)	40 a 80	80 a -240	-70 a -240	97 a 163
Alcalinidade total	200 a 2.500	140 a 9.650	760 a 5.050	200 a 3.520
AVT (mg.L ⁻¹ de HAc)	100 a 3.000	3.000 a 18.800	250 a 4.000	Ausente
DBO	100 a 10.900	1.000 a 57.700	600 a 3.400	4 a 120
DQO	480 a 18.000	1.500 a 71.100	580 a 9.760	31 a 900
DBO/DQO (adimensional)	0,23 a 0,87	0,40 a 0,80	0,17 a 0,64	0,02 a 0,13
COT	100 a 3.000	500 a 27.700	300 a 2.230	7 a 260
DQO/COT (adimensional)	4,3 a 4,8	2,1 a 3,4	2,0 a 3,0	0,4 a 2,0
ST	2.050 a 2.450	4.120 a 55.300	2.090 a 6.410	1.460 a 4.640
N-NO ₃ ⁻	0,1 a 5,1	0,05 a 19	ausente	0,5 a 0,6
N-NH ₃ ⁻	120 a 125	2 a 1.030	6 a 430	6 a 430
NTK	180 a 860	14 a 1.970	25 a 82	7 a 490
NH ₃ /NTK (adimensional)	0,1 a 0,9	0 a 0,98	0,1 a 0,84	0,5 a 0,97
PO ₄ ³⁻ -P	0,6 a 1,7	0,2 a 120	0,7 a 14	0,2 a 14
Cloreto	30 a 5.000	30 a 5.000	30 a 5.000	30 a 5.000
Sulfeto	ausente	0 a 818	0,9	Ausente
SO ₄ ²⁻	10 a 458	10 a 3.240	ausente	5 a 40
Cobre	0,085 a 0,39	0,005 a 2,2	0,03 a 0,18	0,02 a 0,56
Ferro	68 a 312	90 a 2.200	115 a 336	4 a 20
Chumbo	0,001 a 0,004	0,01 a 1,44	0,01 a 0,1	0,01 a 0,1
Magnésio	66 a 96	3 a 1.140	81 a 505	81 a 190
Manganês	0,6	0,6 a 41	0,6	0,6
Níquel	0,02 a 1,55	0,03 a 79	0,01 a 1,0	0,07
Potássio	35 a 2.300	35 a 2.300	35 a 2.500	35 a 2.500
Sódio	20 a 7.600	-	-	-
Zinco	0,06 a 21	0,65 a 220	0,4 a 6,0	0,4
Cádmio	190 a 490	70 a 3.900	76 a 490	76 a 254
Cromo	0,023 a 0,28	0,06 a 18	0,05	0,05
Coliformes totais (UFC 100 mL ⁻¹)	10 ⁰ a 10 ⁵	10 ⁰ a 10 ⁵	ausente	ausente
Coliformes fecais (UFC 100 mL ⁻¹)	10 ⁰ a 10 ⁵	10 ⁰ a 10 ⁵	ausente	ausente
Estreptococos fecais (UFC 100 mL ⁻¹)	10 ⁰ a 10 ⁶	10 ⁰ a 10 ⁶	ausente	ausente
Constituintes do biogás (%)				
CH ₄	ausente	< 1	30 a 60	0 a < 10
CO ₂	0 a 10	10 a 30	30 a 60	< 40
N ₂	70 a 80	60 a 80	< 20	> 20
O ₂	20	0 a 5	0 a 5	> 5
H ₂	ausente	0 a 2	< 0,1	0 a 2

(a) Todos os valores em mg.L⁻¹, exceto quando indicado ao lado do atributo.

Fonte: POHLAND & HARPER (1985).

Quanto à duração das fases, as divergências existentes devem-se às condições ambientais, particulares em cada caso, e às condições de observação, ou seja, experiência em campo ou em laboratório (LIMA, 1988).

2.3.3. Fatores intervenientes no processo

STANFORTH et al. (1979) comentam que muitas são as variáveis interferentes num processo de estabilização de resíduos em aterros, como: a quantidade de água introduzida, que afeta na taxa de degradação; a composição dos resíduos; as variações sazonais da temperatura; as práticas de operação do aterro, etc. Além disso, ocorrem interferências de micro-ambientes atuando em diferentes fases ao mesmo tempo, por exemplo: ocorrência simultânea de alto teor de ácidos voláteis, baixo pH e metanogênese.

Na seqüência, apresenta-se uma breve discussão sobre alguns fatores principais que afetam a digestão anaeróbia em aterros sanitários.

2.3.3.1. Oxigênio

O oxigênio pode entrar no interior das células de lixo por trocas com a atmosfera. Contudo, as bactérias aeróbias, presentes na superfície do aterro, o consomem rapidamente, limitando a zona aeróbia e diminuindo a formação de metano nessa camada. Segundo OLIVEIRA (1997), as bactérias metanogênicas não são totalmente eliminadas com a introdução de oxigênio, podendo ocorrer micro-ambiente anaeróbio dentro do ambiente aeróbio.

2.3.3.2. Potencial hidrogeniônico, alcalinidade e ácidos voláteis

Existe uma grande relação entre o pH, a alcalinidade e o teor de ácidos voláteis, que determina o sistema ácido/base. Esta relação deve ser mantida dentro de certos limites para que um equilíbrio químico satisfatório entre os microrganismos atuantes na decomposição dos resíduos sólidos seja alcançado e preservado.

CHRISTENSEN & KJELDTSEN (1991) afirmam que as bactérias metanogênicas operam somente dentro de uma estreita faixa de pH de 6 a 8. Fazem a ressalva de que as bactérias fermentativas e as acetogênicas sobrevivem em faixa

de pH mais ampla que as metanogênicas. Já as bactérias redutoras de sulfatos se desenvolvem em faixa de pH que varia de 5 a 9. O ecossistema metanogênico no aterro é muito sensível e o balanço entre os diferentes grupos bacterianos é essencial para se ter alta taxa de produção de metano. A presença de resíduos de demolições e solo junto ao lixo doméstico atua de forma a aumentar a capacidade tampão do meio, no aterro, mantendo o pH em faixa mais estreita.

Conforme KOTZÉ et al. (1969), a concentração do íon hidrogênio em um sistema biológico pode variar significativamente se o meio não for bem tamponado. No caso da digestão anaeróbia, uma medida da capacidade de tamponamento do meio é a alcalinidade. Desta forma, um valor de alcalinidade elevado (acima de 1000 mg.L⁻¹ de CaCO₃) representa a salvaguarda do meio contra flutuações do pH. Cátions tais como Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e NH₄⁺ e ânions tais como bicarbonato e fosfato proporcionam eficiente tamponamento do meio. Há necessidade, também, da ocorrência de um equilíbrio entre alcalinidade e concentrações de ácidos voláteis para que haja tamponamento. Assim, o pH é alterado apenas quando o balanço entre a alcalinidade e os ácidos voláteis são rompidos ou seriamente comprometidos.

MONTEGGIA et al. (1996) afirmam ser necessários valores de alcalinidade de bicarbonato entre 1.000 e 5.000 mg.L⁻¹ de CaCO₃ para a manutenção do pH na faixa ótima de síntese celular dos microrganismos metanogênicos, ou seja, entre 6,5 e 7,5.

2.3.3.3. Temperatura

A temperatura é fator importante nos processos anaeróbios. A elevação da temperatura provocará aumento na produção de gás no aterro, ocorrendo também a aceleração da decomposição dos resíduos. As bactérias metanogênicas são consideradas mesofílicas, quando a temperatura do meio varia entre 29 e 40 °C, e termofílicas, quando a temperatura varia entre 45 e 70 °C (OLIVEIRA, 1997). Segundo GOMES (1989), a produção de metano na faixa termofílica é duas vezes maior que na mesofílica.

CHRISTENSEN & KJELDSEN (1991) comentam que a temperatura interfere na digestão anaeróbia, da mesma forma que em qualquer processo microbiológico, afetando a taxa de degradação. Também citam que, apesar de parte das bactérias

metanogênicas serem mesofílicas – com taxa máxima de desenvolvimento ao redor de 40 °C – e outra na faixa termofílica – com taxa máxima de desenvolvimento ao redor de 70 °C, apenas o primeiro grupo tem interesse para estudos sobre aterros sanitários.

A temperatura interfere na degradação anaeróbia, afetando a composição química, a atividade enzimática e a nutrição das células. TEIXEIRA (1993) relata a discrepância existente entre os valores de temperatura durante o processo de digestão anaeróbia, apresentando dados de diversos autores no Quadro 5.

Quadro 5 - Temperaturas obtidas na massa em digestão com matérias orgânicas diversas

Autores	Limites	Faixa mesófila	Faixa termófila	Faixa usual
KOTZÉ et al.	-	20 a 45	-	37 ^b
LAPP et al.	-	-	-	33 a 38 ^a
DOUGLAS	0 a 55	-	-	55 a 58 ^a
MEYNELL	-	5 a 40	40 a 55	30 a 35
TAIGANDES	20 a 60	-	-	35
NAT. RESERCH. INST.	-	-	-	33 a 38
BIOMASS ENERGY INST.	0 a 60	20 a 40	> 40	25 a 35
HESS	15 a 60	-	-	-
VAN VELSEN & LETTINGA	20 a 65	20 a 40	40 a 65	31 a 35
HAWES	-	5 a 45	45 a 60	30 a 35
CRAVEIRO	15 a 65	30 a 40	50 a 60	-
McINERNEY et al.	-	20 a 40	45 a 70	-
ELLSWORTH & ABELES	-	18 a 41	41 a 71	-
SANTIAGO & CRESTANA	5 a 65	-	-	-
SEIXAS et al.	-	-	-	35
SILVA	-	10 a 45	> 45	36 ^b
BATISTA	-	20 a 45	> 45	35 e 54 ^b
VIEIRA & SOUZA	-	10 a 42	> 42	35 e 60 ^b
IPT	-	25 a 40	50 a 65	37 e 60 ^b
SGANZERLA	-	-	-	28 a 35 ^a
CARVALHO	0 a 65	-	-	35 ^b
SOUZA	-	15 a 45	50 a 63	30 a 40

(a) Faixa considerada ideal.

(b) Temperatura considerada ótima.

Fonte: TEIXEIRA (1993), modificado.

2.3.3.4. Umidade

A água presente no lixo fresco propicia o ambiente inicial para os microrganismos decompositores. Além disto, a água possibilita a dispersão dos microrganismos no meio sólido, fornecendo os substratos e nutrientes necessários ao crescimento dos mesmos, além de proporcionar o transporte de suas enzimas.

As possíveis fontes de água em um aterro sanitário são a umidade inicial do material, a água formada com a decomposição dos resíduos, a água subterrânea que pode atingir os mesmos e a que é infiltrada superficialmente.

O principal efeito de um elevado conteúdo de água, afora limitar o transporte de oxigênio da atmosfera, é, provavelmente, facilitar a troca de substrato, nutrientes, soluções tampão, diluição de inibidores e dispersão de microrganismos entre microambientes presentes no aterro sanitário. A faixa ideal de umidade visando a produção de gás é de 25 a 60% (CHRISTENSEN & KJELDSEN, 1991).

No entanto, ao mesmo tempo em que auxilia o desenvolvimento da metanogênese, a água dificulta as atividades operacionais no aterro. Conforme LIMA (1988), o excesso d'água limita a compactação das rampas e provoca um aumento no volume de chorume produzido, podendo até ocasionar o seu afloramento, atraindo vetores indesejáveis e causando fortes odores.

2.3.3.5. Substâncias tóxicas

Para FERREIRA (1999), toxicidade é o caráter do que é tóxico e tóxico é sinônimo de veneno, sendo uma substância que altera ou destrói as funções vitais.

Segundo COSTA (2002), a toxicidade é um termo relativo, pois além de depender da concentração do agente, a qual pode inibir ou estimular o processo de decomposição, está intimamente relacionada com diversos fatores, como a temperatura, o pH e a presença de outras substâncias (antagonismo e sinergismo). Sinergismo é o aumento do efeito tóxico de uma substância em função da presença de outra ou outras, enquanto antagonismo é a atenuação deste efeito.

Ademais, sabe-se que os microrganismos podem se adaptar, dentro de certos limites, às concentrações inibitórias de muitos compostos tidos como tóxicos para processos anaeróbios, diminuindo ou anulando seus efeitos. Isto é possível, principalmente quando a concentração do agente tóxico aumenta gradualmente.

Os principais agentes tóxicos para sistemas anaeróbios de tratamento são: cátions alcalinos e alcalino-terrosos como sódio, potássio, cálcio e magnésio; amônia; sulfetos; metais pesados; compostos orgânicos, como os ácidos acético, butírico, propiônico e pirúvico; compostos específicos, como detergentes, antibióticos, cianetos e produtos químicos industriais dispostos no lixo e o gás oxigênio (LIMA, 1988).

2.3.3.5.1. Metais alcalinos e alcalinos terrosos

No Quadro 6 estão apresentados os diversos íons que podem ser arrastados pelo percolado através da massa de resíduos, dentre eles os de diversos metais, presentes com frequência no lixo.

Quadro 6 - Íons encontrados no chorume e suas possíveis fontes

ÍON	FONTE
Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}	Material orgânico, entulhos de construção, cascas de ovos e solos argilosos usados como cobertura nos aterros
PO_4^{3-} , NO_3^- , CO_3^{2-}	Material orgânico
Cu^{2+} , Fe^{2+} , Sn^{2+}	Material eletrônico, latas e tampas de garrafas
Hg^{2+} , Mn^{2+}	Pilhas comuns e alcalinas e lâmpadas fluorescentes
Ni^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+}	Baterias recarregáveis (celular, telefone sem fio e automóveis)
Al^{3+}	Latas descartáveis, utensílios domésticos, cosméticos e embalagens laminadas em geral
Cl^- , Br^- , Ag^+	Tubos de PVC, negativos de filmes e raio X
As^{3+} , Sb^{3+} , Cr^{3+} , Cr^{6+}	Embalagens de tintas, vernizes e solventes orgânicos

Fonte: IPT/CEMPRE (2000).

LIMA (1988) relatou que a presença de substâncias metálicas no lixo é freqüente, sendo que os elementos Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} podem ser facilmente encontrados, pois estão presentes em concentrações razoáveis em quase todas as espécies vegetais consumidas pelo homem. Outra possível fonte destes íons metálicos em um aterro sanitário é o solo argiloso, usado como material de recobrimento do resíduo.

EGREJA FILHO (1993) encontrou valores, em $\mu\text{g.g}^{-1}$, de até 1,4 de Cd, 110,5 de Cu, 280 de Pb e 350 de Zn em lixo domiciliar coletado na cidade de Belo Horizonte. Vale ressaltar que a informação quantitativa da concentração total é de pouco significado em termos de impacto ambiental, visto que a disponibilidade dos poluentes no meio, possibilitando sua entrada na “cadeia biológica” ou a contaminação de águas subterrâneas, é dependente de diversas características físicas, químicas e mineralógicas do meio poroso. Cada elemento-traço possui interações específicas com a fase sólida, requerendo, por isso, melhor entendimento dos fatores que determinam sua mobilidade e o potencial para contaminação de águas subterrâneas e da biomassa.

Os cátions alcalinos e alcalinos terrosos, isoladamente ou combinados, conforme apresentado no Quadro 7, apresentam efeitos diferentes no processo (McCARTY, 1964).

Quadro 7 – Efeitos dos metais alcalinos na digestão anaeróbia

Cátion	Concentração (mg.L ⁻¹)		
	Estimulante	Inibição Moderada	Inibição significativa
Potássio	200 a 400	2.500 a 4.500	12.000
Cálcio	100 a 200	2.500 a 4.500	8.000
Magnésio	75 a 150	1.000 a 1.500	3.000
Sódio	100 a 200	3.500 a 5.500	8.000

Fonte: McCARTY (1964).

2.3.3.5.2. Metais pesados em compostos de lixo urbano

Pela definição baseada na densidade, é considerado “metal pesado” o grupo de elementos químicos e suas formas iônicas que possuem densidade relativa alta ($\geq 6,0 \text{ g.cm}^{-3}$) e que são pertencentes aos grupos de Transição e Não-Transição da Tabela Periódica de Elementos Químicos (MATOS et al., 1999).

Os metais pesados derivam de inúmeras fontes, que podem ser classificadas em aerossóis urbano-industriais, rejeitos líquidos e sólidos humanos e animais, minerações e indústrias e pesticidas agrícolas.

A expressão metal pesado é também usada para designar os metais classificados como poluentes do ar, água, solo, plantas e alimentos, isto é, do meio ambiente (MALAVOLTA, 1994).

Os metais podem formar precipitados de solubilidade variável sob determinadas condições de Eh (potencial de oxidação) e pH de uma solução aquosa. Baixos valores de pH mantêm o metal solúvel e favorecem a mobilidade do mesmo (FETTER, 1993).

Segundo McCARTY (1964), os sais solúveis de cobre, zinco e níquel estão associados com a maioria dos problemas de toxicidade por metais pesados em processos anaeróbios, sendo tóxicos mesmo em baixas concentrações. O crômio hexavalente também é muito tóxico, mas nos níveis de pH do processo de digestão anaeróbia, apresenta-se na forma trivalente, insolúvel. Os sais de ferro e alumínio não são muito tóxicos devido às suas baixas solubilidades.

Conforme já foi dito, os metais pesados podem ser tóxicos à digestão anaeróbia, mesmo em baixas concentrações, como demonstram os estudos de LESLIE GRADY & LIM (1980) e apresentados no Quadro 8.

Quadro 8 – Efeitos dos metais pesados na digestão anaeróbia

Cátion	Concentração inibitória ^a (mg.L ⁻¹)
Fe ²⁺	1 a 10
Zn ²⁺	10 ⁻⁴
Cd ²⁺	10 ⁻⁷
Cu ⁺	10 ⁻¹²
Cu ²⁺	10 ⁻¹⁶

(a) Inibição de 50% dos digestores anaeróbios pesquisados pelos autores.

Fonte: LESLIE GRADY & LIM (1980).

A importância dos metais está relacionada com a função potencialmente inibidora que podem transmitir para o processo de digestão anaeróbia. Outro aspecto relevante é que seu monitoramento, juntamente com outros atributos, contribui decisivamente para se verificar a influência que os líquidos percolados de um aterro sanitário podem estar exercendo sobre a qualidade das águas subterrâneas e do solo (GADOTTI, 1997).

Segundo CASTILHO JR. (1988), a fração matéria orgânica aparece como fonte principal dos metais pesados nos resíduos sólidos: Cu (80 a 70%), Ni (54 a 56%), Zn (26 a 42%), Cr (21 a 26%), Hg (17 a 70%), Cd (6 a 15%) e Pb (19 a 48%); os plásticos aparecem com principal fonte de Cd (67 a 77%); o chumbo e o cobre se manifestam em quantidades importantes nos metais ferrosos: Pb (29 a 50%) e Cu (1 a 50%); o papel é uma fonte de Pb (10 a 14%).

De acordo com KRAUSS et al. (1986), a concentração de metais pesados no lixo urbano varia muito em razão de fatores regionais, sociais e sazonais. Para o autor, a concentração de metais pesados no lixo urbano está diretamente ligada a sua origem e formação que, por sua vez, estão relacionados com o número de habitantes, área relativa de produção, condições climáticas, variações sazonais, grau de industrialização, hábitos da população, poder aquisitivo, nível educacional, tempo da coleta, eficiência da coleta, tipo de equipamento da coleta, leis e legislações específicas, entre outros fatores. Além disso, o processo de separação e da própria compostagem têm grande influência na concentração de metais pesados no produto final.

A intoxicação por cada metal provoca um conjunto específico de sintomas e um quadro clínico próprio (BASTOS & NEFUSSI, 1986). Dentre os vários metais pesados prejudiciais ao meio ambiente, os aspectos toxicológicos do Ni, Cd, Pb, Mn, Cu, e Zn serão abordados neste trabalho, em virtude de serem os mais encontrados no lixo urbano, constituindo um maior risco de contaminação.

No Quadro 9 estão apresentadas variações da composição química de percolados em alguns aterros (NASCENTES, 2003).

Quadro 9 - Variação da composição química de percolados em aterros sanitários de diferentes partes do mundo

Elemento	Aterro de Muribeca (PE)	EPA	Aterro de Junk Bay (China)	Aterro de Gramacho (RJ)	Aterro do Jockey Club (DF)
Al	50 – 1800	-	-	-	0,265 – 0,799
Ca	30 – 1700	-	-	-	41,1- 80,4
Cd	<0,01	0 – 0,375	<0,01	9	0,027 – 0,039
Pb	<0,01 –1,8	-	-	-	-
Cu	0,2 – 4,4	0,1 - 9	<0,05	25	0,014 - 0,036
Cr	<0,01 – 6,9	0,02 - 18	0,03 – 0,15	16	0,04 – 0,05
Fe	30 – 770	200-5500	1,14 - 3,25	153	4,9 – 9,89
P	10 – 20	0,1 - 150	2,72 – 14,1	-	1,304 – 3,336
Mg	10 – 220	3 - 15600	35 - 63	1507	17,5 – 36,2
Mn	<0,01 – 19	0,6 - 41	0,05 – 0,24	25	0,058 – 0,130
Ni	<0,01 – 2,7	0,2 - 79	0,07 – 0,18	74	0,153 – 0,248
Zn	1-90	0,6 - 220	0,24 – 2,55	50	0,064 – 0,168

Todos os valores em mg.L⁻¹.
Fonte: (NASCENTES, 2003).

Os metais pesados podem ser, ainda, retidos no solo por adsorção, complexação e quelação pela matéria orgânica e por adsorção ou por oclusão em carbonatos e óxidos de Fe, Al, e Mn. Entretanto, face às mudanças nos equilíbrios e formas químicas dos metais no composto (CHANG et al., 1984) e no solo e à possibilidade de superação da capacidade de retenção dos poluentes pelo mesmo, os metais poderão ficar disponíveis para lixiviação, especialmente, em condições ácidas (pH<5), podendo vir a atingir as águas subterrâneas. Dentre as propriedades do solo que influenciam as reações dos metais e sua mobilidade no solo, incluem-se a superfície específica, a textura, a densidade, a temperatura, o pH, o potencial redox, a capacidade de troca catiônica (CTC), a quantidade de matéria orgânica, a quantidade e o tipo de minerais de argila, o tipo e a quantidade de metais e a competição iônica (MATOS et al., 1999).

A mobilidade dos metais está inversamente relacionada à sua adsorção no solo. O pH tem grande influência na adsorção de metais pesados, já que, em

conjunto com o potencial redox, determina o equilíbrio entre as forma iônicas e hidrolisadas dos metais (MATOS et al., 1999).

SOUZA (1998) encontrou menores concentrações de metais pesados em amostras de solo coletadas abaixo das células-base do Aterro Sanitário de Belo Horizonte onde o lixo foi depositado sobre uma camada de entulho de construção civil do que nas amostras de solo coletadas em áreas que não receberam este entulho. O autor atribuiu a menor presença de metais pesados na amostra retirada abaixo da camada de entulho, ao fato desta camada de entulho ser rica em material carbonático e, portanto, de pH elevado (alcalino) tendo, por isso, se transformado numa “barreira” química. Nessas condições, há maior precipitação dos metais pesados contidos no percolado nessa camada.

Estudos de mobilidade têm demonstrado que, em geral, os metais pesados Pb, Cr e Cu, quando dispostos sobre a superfície do solo, apresentam baixa mobilidade, acumulando-se nas camadas superficiais dos solos contaminados, enquanto que Zn, Mn, Ni e Cd são relativamente mais móveis, proporcionando, deste modo, maior risco de contaminação da água subterrânea.

Estão apresentadas, a seguir, algumas considerações sobre alguns metais que serão estudados neste trabalho, efeitos que podem provocar no homem, se absorvidos acima de determinadas quantidades, além de possíveis fontes em disposição de resíduos sólidos urbanos.

a) Cádmio (Cd)

Com densidade $8,6 \text{ g.cm}^{-3}$, o cádmio é utilizado em indústrias de galvanoplastia, na fabricação de baterias, em tubos de televisão, lâmpadas fluorescentes, sendo utilizado, também, como pigmento e estabilizador de plásticos polivinílicos. Em solução aquosa ácida apresenta, predominantemente, valência +2. As águas não poluídas contêm menos do que $1 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$ de Cd, e no caso de contaminação das águas superficiais, esta se dá por descarga de resíduos industriais e lixiviação de aterro sanitário, ou de solos que recebem lodo de esgoto. As principais vias de exposição ao Cd são os alimentos, a água para o consumo humano, o ar e os cigarros. Os efeitos de intoxicação aguda por Cd são muitos sérios, entre eles: hipertensão, problemas nos rins, destruição dos tecidos dos testículos e destruição dos glóbulos vermelhos do sangue. Acredita-se que grande

parte da ação fisiológica do Cd é devida a sua similaridade ao Zn; o Cd pode substituir o Zn em algumas enzimas, causando alterações e impedindo a sua atividade catalítica (DAMASCENO, 1996).

b) Chumbo (Pb)

Com densidade de $11,34 \text{ g.cm}^{-3}$, o chumbo é utilizado na fabricação de baterias, sendo usado, também, na gasolina, em pigmentos, munição e soldas. Ocorre em solução aquosa, predominantemente, como Pb^{2+} . O teor de Pb em rios e lagos encontra-se na faixa de 1 a $10 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$, porém valores maiores têm sido registrados onde a contaminação tem ocorrido como resultado de atividades industriais. As principais vias de exposição ao Pb são água para consumo humano, alimentos, ar, cigarros. A toxicidade aguda causada pelo Pb provoca várias disfunções nos rins, no sistema reprodutivo, fígado, no cérebro e sistema nervoso central; a vítima pode ter dores de cabeça e dores musculares, sentindo-se facilmente cansada e irritada; a toxicidade moderada pode causar anemia (DAMASCENO, 1996).

c) Crômio (Cr)

Com densidade de $7,19 \text{ g.cm}^{-3}$, o crômio é usado na fabricação de ligas metálicas empregadas nas indústrias de transporte, construções e fabricação de maquinários, na fabricação de tijolos refratários; utilizado, também, na indústria têxtil, fotográfica e de vidros. Os níveis de Cr na água, geralmente, são baixos ($9,7 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$), embora níveis maiores já tenham sido relatados como consequência do lançamento nos rios de resíduos contendo este metal. Os estados de oxidação mais estáveis desse elemento são +3 e +6. 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 necessário, também, para a prevenção de diabete e arteriosclerose. As principais vias de exposição ao Cr são água para consumo humano, alimentos, ar, cigarros. A forma hexavalente do Cr é reconhecida como carcinogênica, causando câncer no trato digestivo e nos pulmões, podendo causar, também, dermatites e úlceras na pele e nas narinas. Em níveis de 10 mg.kg^{-1} de peso corporal, o Cr^{6+} podem causar necroses no fígado, nefrites e morte e, em

níveis inferiores, podem ocorrer irritações na mucosa gastrointestinal (DAMASCENO, 1996).

d) Níquel (Ni)

Com densidade de $8,90 \text{ g.cm}^{-3}$, o níquel é utilizado na produção de ligas, na indústria de galvanoplastia, na fabricação de baterias juntamente com o Cd (baterias Ni-Cd), em componentes eletrônicos, produtos de petróleo, pigmentos e como catalisador para hidrogenação de gorduras. Problemas significativos de contaminação de águas com Ni estão associados com a descarga de efluentes industriais contendo altos níveis desse metal. Normalmente os níveis de Ni nas águas superficiais variam entre 5 e $20 \mu\text{g.L}^{-1}$. As principais vias de exposição ao Ni são água para consumo humano, alimentos, ar, exposição industrial, cigarros. O Ni não é muito tóxico e as concentrações a que, normalmente, o homem encontra-se exposto não lhe trazem problemas. As concentrações tóxicas de Ni podem causar muitos efeitos, dentre eles, o aumento da interação competitiva com cinco elementos essenciais (Ca, Co, Cu, Fe, e Zn), provocando efeitos mutagênicos pela ligação do Ni aos ácidos nucléicos, indução de câncer nasal, pulmonar e na laringe, indução ao aparecimento de tumores malignos nos rins e também apresentar efeitos teratogênicos (DAMASCENO, 1996).

e) Zinco (Zn)

Com densidade de $7,14 \text{ g.cm}^{-3}$, o zinco é empregado na galvanização de produtos de ferro; utilizado em baterias, fertilizantes, lâmpadas, televisores e aros de rodas. Componentes de Zn têm sido usados em pinturas, plásticos, borrachas, em alguns cosméticos e produtos farmacêuticos. O zinco forma precipitados solúveis com os íons CO_3^{-2} , SO_3^- e PO_4^{-3} . O Zn é um elemento essencial, com uma média diária necessária de 10 a 20 mg; tem uma função na síntese e metabolismo de proteínas e ácidos nucléicos e na divisão mitótica das células. Este metal 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 falta de coordenação dos músculos. O Zn mostra uma relação fortemente positiva sobre o

Cd, a hipertensão induzida pelo Cd pode ser reduzida na presença do Zn (DAMASCENO, 1996).

f) Cobre (Cu)

O cobre pode estar presente em material eletrônico, latas ou em tampas de garrafas. Este metal é um micronutriente indispensável às plantas e aos seres humanos, quando em baixas concentrações, mas adquire propriedades tóxicas quando em concentrações elevadas (TAVARES & CARVALHO, 1992). Pode ocorrer tanto com valência +1 ou +2. O cobre forma complexos com a matéria orgânica podendo, com isso, tornar-se mais móvel. A formação de hidróxidos de Fe e Mn pode também provocar a imobilização do Cu. A ingestão de doses excessivamente altas de Cu pode acarretar irritação e corrosão da mucosa, danos capilares, problemas hepáticos e renais e irritação do sistema nervoso central, seguido de depressão. A intoxicação por cobre é muito rara, apesar do metal ser bioacumulativo, podendo acarretar problemas em invertebrados e em algumas espécies de peixes. Altas concentrações de cobre podem ser encontradas nas águas de drenagem de mineração (FETTER, 1993).

2.4. Caracterização e produção do percolado

A vazão e as características físicas, químicas e biológicas do percolado estão intrinsecamente relacionadas e dependem, basicamente, das condições climatológicas e hidrogeológicas existentes na região de um aterro sanitário, bem como das características dos resíduos sólidos urbanos e das condições de operação do aterro.

O projeto de um aterro sanitário deve, necessariamente, contemplar a instalação de uma rede de drenagem para o percolado e para os gases gerados nas células. O percolado coletado deve ser tratado para que possa ser lançado em corpo receptor e os gases queimados ou aproveitados como fonte de energia para minimizar a contaminação atmosférica.

Na Figura 5 está representado o fluxo de água em um aterro sanitário.

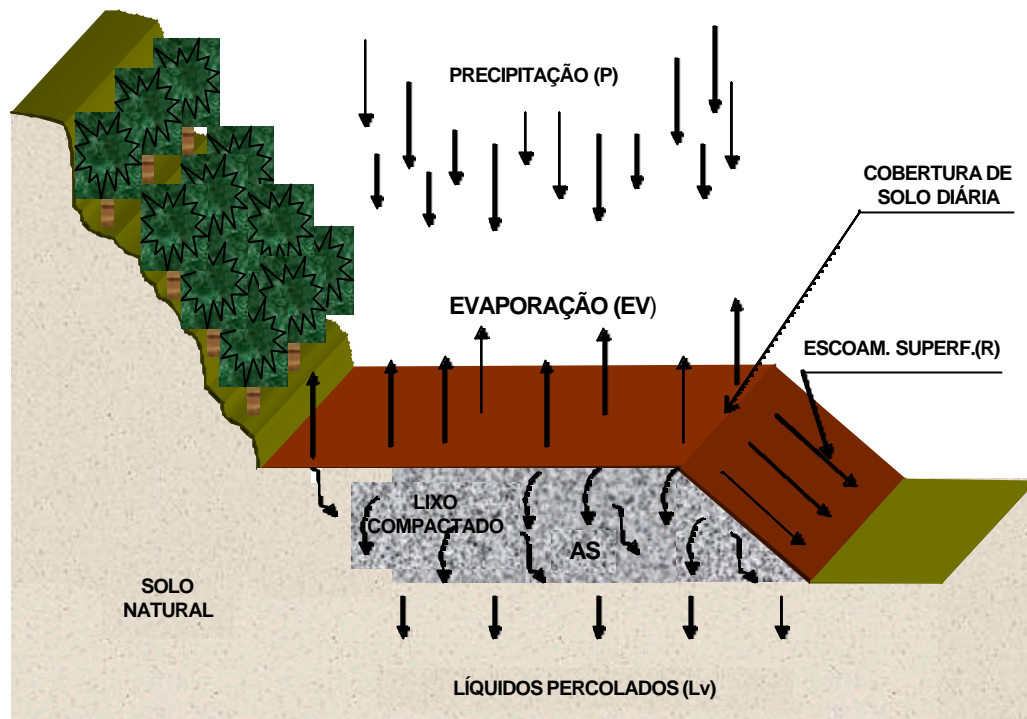


Figura 5 - Esquema do fluxo de água em um aterro sanitário (CARVALHO, 2001).

A previsão da quantidade de percolato produzida é fator crítico no projeto de um aterro sanitário. De maneira geral, a lâmina de percolato que alcança a base do aterro (L_v) é função de um balanço hídrico (KOERNER & DANIEL, 1998), calculado a partir da Equação 2.2:

$$L_v = P - R - AS - EV + RC \quad (2.2)$$

em que:

P - lâmina de precipitação mensal;

R - lâmina de água de chuva que escoam superficialmente;

AS - lâmina de água de chuva que é absorvida pelos resíduos;

EV - lâmina de água de chuva que é perdida por evaporação;

RC - lâmina de recirculação.

2.5. Tratamento do percolato

O tratamento do percolato representa, ainda, um grande desafio na elaboração dos projetos de aterros sanitários, uma vez que suas características são alteradas em função da quantidade de água incorporada ao chorume, das

características dos resíduos dispostos no aterro e, principalmente, da idade do aterro (FERREIRA et al., 2001).

Se o líquido é coletado durante a fase ácida, o pH será baixo, porém atributos como DBO₅, COT, DQO, nutrientes e metais pesados deverão ser altos. Contudo, durante a fase metanogênica, o pH varia entre 6,5 e 7,5 e os valores de DBO₅, COT, DQO e nutrientes serão significativamente menores.

Devido à grande quantidade de constituintes do chorume e às variações quantitativas sazonais e cronológicas (pelo aumento da área exposta), não se deve considerar uma solução única para seu tratamento (HAMADA & MATSUNAGA, 2000).

No Brasil, quando se define por tratamento do chorume “in situ”, utilizam-se com muita frequência as lagoas de estabilização que apresentam a desvantagem de exigirem áreas muito grandes para a sua construção, muitas vezes pouco disponíveis em áreas próximas a grandes centros urbanos. Além disso, a relativamente baixa eficiência do sistema convencional de tratamento (lagoas anaeróbias seguidas de facultativa), têm levado técnicos e pesquisadores a procurarem alternativas técnicas que possibilitem o tratamento/disposição final com menor custo econômico e ambiental.

Neste sentido, alguns estudos estão sendo desenvolvidos, com objetivo de se definir novas tecnologias para o tratamento eficiente e eficaz, e com custos compatíveis para o tratamento de chorume.

Nos Quadros 10 e 11 estão apresentados alguns processos e tipos de tratamento de percolado de RSU utilizados no Brasil (JUCÁ, 2003).

Quadro 10 – Processos e tipos de tratamento de percolado de aterros sanitários

PROCESSO	TIPO DE TRATAMENTO
Canalização do lixiviado	- Recirculação de lixiviado
Processos biológicos	- Tratamento conjunto com águas residuárias; - Tratamento aeróbio; - Tratamento anaeróbio.
Processos físicos e químicos	- Precipitação química; - Oxidação química; - Adsorção com carbono ativo; - Filtração; - Osmose inversa; - Charcos artificiais.
Tratamento natural	- Aplicação no terreno; - Jardinagem com aplicação no terreno.
Tratamentos Mistos	- Diferentes combinações de vários.

Fonte: JUCÁ (2003).

Quadro 11 - Tipo de tratamento de efluentes líquidos de aterros sanitários

Cidade	Tipo de destinação final	Quant. (t.dia ⁻¹)	Tratamento de chorume
Recife-PE	Aterro Controlado da Muribeca	2.800	Recirculação de chorume, lagoa anaeróbia, lagoas facultativas, sistema bioquímico
Caruaru - PE	Aterro Sanitário de Caruaru	200	Digestor anaeróbio, seguido por um charco artificial
Manaus - AM	Aterro Sanitário de Manaus	1.125	Recirculação de chorume e biorremediação
Belém - PA	Aterro Sanitário de Belém	1.024	Recirculação de chorume e biorremediação
Rio de Janeiro - RJ	Aterro Controlado de Gramacho	7.026	Tanques de polimento e sistemas de nano-filtração
Fortaleza-CE	Aterro Sanitário de Caucaia	3.500	Lagoas anaeróbias e facultativas
Fortaleza-CE	Aterro Sanitário de Aguiraz	21	Lagoas anaeróbias e facultativas
Extrema - MG	Aterro Sanitário de Extrema	8	Lagoas anaeróbias em série, seguidas por uma facultativa e uma de maturação
Paracatu - MG	Aterro Sanitário de Paracatu	26	Uma lagoa anaeróbia seguida por uma facultativa
Contagem - MG	Aterro Sanitário de Perobas	214	Tanque Inhoff seguido de filtro biológico
Ipatinga - MG	Aterro Sanitário de Ipatinga	150	Reator anaeróbio, lagoa de estabilização, aerador de cascata e lagoa de maturação
Uberlândia - MG	Aterro Sanitário de Uberlândia	120	Tratamento primário (grades, retentor de óleo e desarenador), seguido por RAFA e filtro biológico.
Três Corações - MG	Aterro Sanitário de Três Corações	30	Uma lagoa anaeróbia seguida por um filtro anaeróbio e uma lagoa facultativa
Belo Horizonte - MG	Aterro Sanitário de BH	4.139	Recirculação de chorume. Excedente tratado na ETE do município.
Porto Alegre - RS	Aterro Sanitário da Extrema	200	Filtro anaeróbio em leito de brita construído sob o aterro; lagoa de aeração forçada; transporte para tratamento final em ETE
Porto Alegre - RS	Aterro Sanitário Metropolitano Santa Tecla	1.300	Filtro anaeróbio construído sob o aterro; lagoa anaeróbia, lagoa aerada; 2 lagoas facultativas, leito de filtro de areia
Mauá - SP	Aterro Sanitário de Mauá	1.500 a 2.000	3 reatores e 2 lagoas com agitador (aerador)
São Paulo - SP	Aterro Sanitário São João		Tratamento na SABESP (esgotos)
Santo André - SP	Aterro Sanitário de Santo André	700 a 750	Uma lagoa anaeróbia e uma facultativa com aerador
Salvador - BA	Aterro Sanitário Metropolitano	2.500	Tratamento no CETREL (resíduos industriais)
Palmas - TO	Aterro Sanitário	120	Sistema de lagoas de estabilização: lagoa anaeróbia, facultativa e maturação.
Araguaina - TO	Aterro Sanitário	160	Fossas sépticas e valas de infiltração
Guarai - TO	Aterro Sanitário	40	2 lagoas anaeróbias
João Pessoa - PB	Aterro Controlado do Roger	870	Digestor anaeróbio seguido de fitorremediação

Fonte: JUCÁ (2003).

Alguns aterros sanitários como o Aterro Sanitário de Bandeirantes (São Paulo) e o Aterro Sanitário Metropolitano Centro (Salvador) não fazem o tratamento

do chorume “in situ”, e sim, destinam-no a estações de tratamento de esgoto ou de resíduos industriais situadas nas proximidades. Como consequência disso, os custos se elevam devido ao transporte destes líquidos, bem como, transferem a responsabilidade para outros, pois, em geral, as estações de tratamento de esgoto (ETE) não estão preparadas para receber um líquido com uma diversidade e altas concentrações de componentes orgânicos e inorgânicos (inclusive metais pesados), tal como os apresentados pelo percolato de RSU.

2.6. Recirculação do líquido percolato

Segundo a CETESB (1995) um método tecnicamente viável para o condicionamento de percolato é a adoção de um sistema que permita a sua recirculação no próprio aterro sanitário. A recirculação do percolato para o interior do aterro sanitário, de maneira que ele possa percolar através da massa de sólidos disposta em camadas, é uma técnica atual e bastante inovadora no tratamento desse líquido poluidor (IPT/CEMPRE, 2000).

Reciclagem ou recirculação de percolato é atualmente um sistema que é permitido em aterro sanitário de resíduo sólido urbano. O objetivo é o de remover o percolato da base do aterro sanitário para, então, reintroduzi-lo sobre ou dentro da massa de resíduo. Esse líquido pode ser tratado, mas, geralmente, o mais usual é a recirculação “in natura”, coletado diretamente da base do aterro.

2.6.1. Métodos de recirculação do líquido percolato

Em seguida, estão apresentados e comparados cinco métodos diferentes de recirculação de líquido percolato. Estes métodos podem ser instalados como única forma de tratamento ou em combinação (QIAN et al., 2002).

a) Distribuição superficial na massa do resíduo sólido urbano

A distribuição superficial do percolato na massa do resíduo sólido é feita utilizando-se caminhões-tanque, equipados com uma barra de “spray” fixa, com a qual se aplica o percolato (Figura 6 (a)). Segundo o IPT/CEMPRE (2000), o líquido recirculado aplicado na forma de *spray* evapora parcialmente e, em regiões onde as

condições climáticas sejam favoráveis, esta evaporação pode propiciar uma considerável redução no volume de líquido a ser tratado. O método é de baixo custo, tanto do ponto de vista de operação, como de instalação. Odores, vetores e lixo podem ser motivos de preocupação, dependendo de considerações locais específicas.

b) Distribuição sobre a camada de cobertura

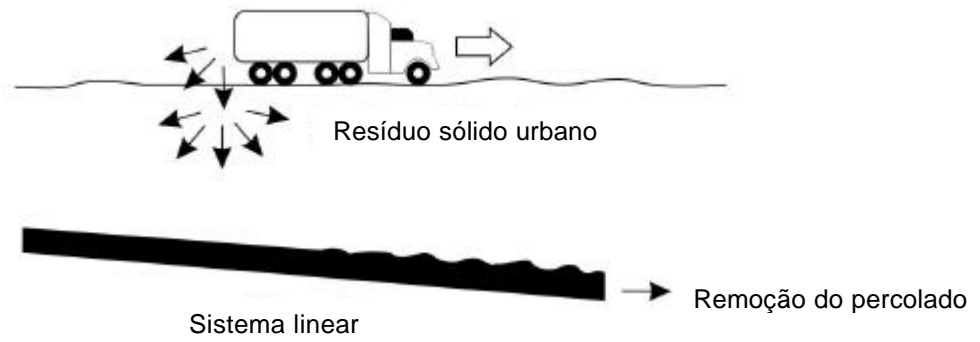
Em aterros sanitários, nas camadas horizontais de cobertura de resíduos, podem ser criadas poças temporárias de percolado para sua infiltração e tratamento. Este método deve ser adotado quando se tem a produção de grandes vazões de percolado. Depois de atingida a capacidade de campo, o excesso do líquido é drenado para partes mais baixas da área. Odores e o desenvolvimento de vetores podem ser preocupações com a utilização deste método de recirculação.

c) Rede de distribuição interna

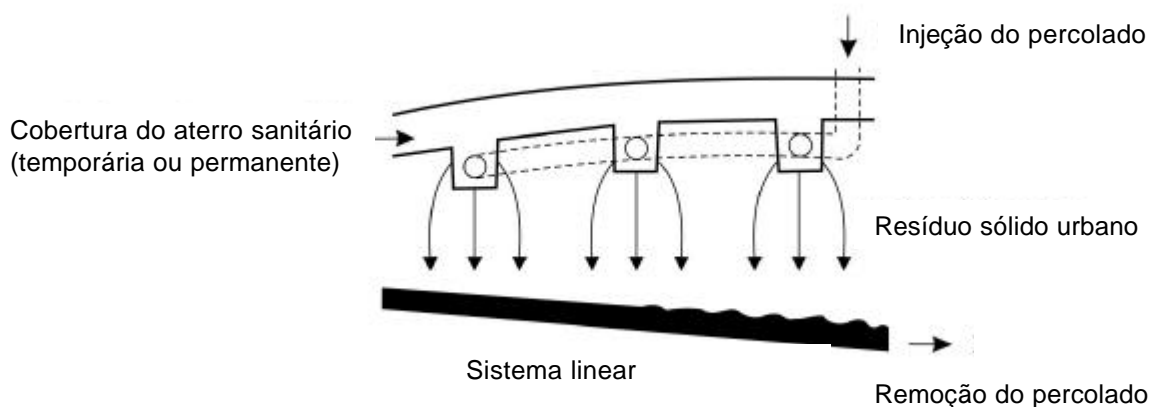
O percolado é distribuído em grandes áreas para infiltração/percolação por meio de drenos distribuídos sobre a camada final na massa de resíduos em formas retangulares ou quadradas (Figura 6(b)). A exalação de maus odores e o desenvolvimento de vetores podem ser amenizados com controle na taxa de aplicação. O custo de implantação inicial deste método é, no entanto, alto.

d) Poços rasos

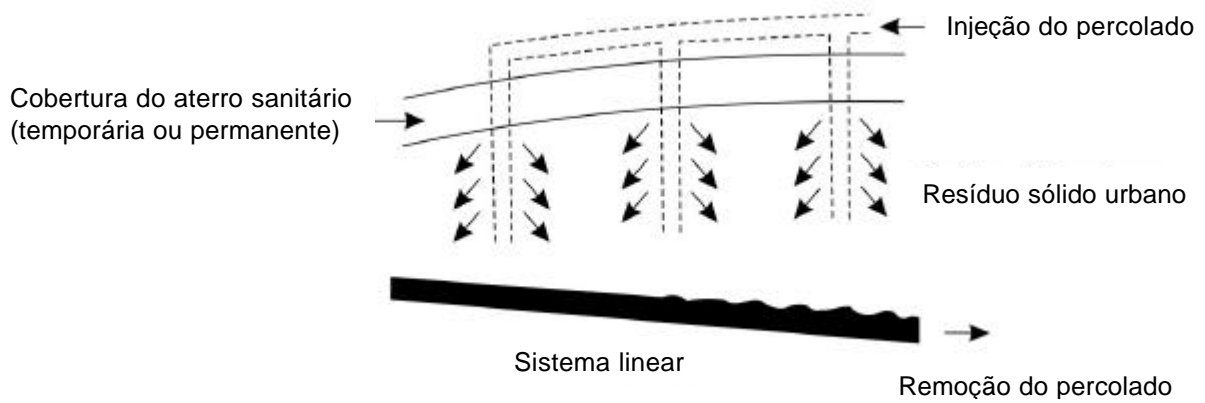
Como o próprio nome diz, poços rasos são construídos no resíduo, para onde o chorume é bombeado. Uma cobertura temporária ou permanente dos resíduos pode ser feita e, neste caso, os poços atravessam essa cobertura. Os tubos perfurados são colocados em espaçamentos variando de 10 a 30 metros. A taxa de aplicação deve ser limitada, sendo os custos de aplicação relativamente altos. Por este método, maus odores e o desenvolvimento de vetores podem ser completamente controlados.



(a) Distribuição superficial na massa do resíduo sólido urbano



(b) Rede de distribuição interna



(c) Poços profundos

Figura - 6 - Métodos de injeção para tratamento de recirculação de percolado de resíduo sólido urbano (QIAN et al., 2002).

e) Poços profundos

Como no método de aplicação em poços rasos, podem ser instalados tubos verticais perfurados ao longo da massa de resíduo. Uma cobertura temporária ou permanente pode ser usada sobre os resíduos, conforme mostrado na Figura 6(c). Os tubos verticais permitem a injeção do percolado em níveis específicos do aterro. O espaçamento entre tubos de injeção está, normalmente, na faixa de 20 a 50 metros.

2.6.2. Comparação de métodos

Não existe nenhum método de recirculação de percolado que seja universalmente aceito. Normalmente, a estratégia preferida pode ser uma combinação de métodos. No Quadro 12 estão apresentadas comparações dos principais métodos de injeção de percolado (QIAN et al., 2002).

Quadro 12 - Métodos de recirculação de percolado

Método	Controle de Odor/Vetor	Taxa de injeção	Eficiência	Custo Injeção	Impacto em Operações
Distribuição superficial	Pobre	Rápido	Boa	Baixo	Moderado
Distribuição sobre a camada de cobertura	Pobre	Rápido	Boa	Baixo	Baixo a alto
Rede de distribuição interna	Bom	Moderado	Moderada	Moderado	Baixo
Poços rasos	Bom	Lento	Pobre	Alto	Baixo
Poços profundos	Bom	Moderado	Moderada	Alto	Baixo

Fonte: (QIAN et al., 2002).

2.6.3. Vantagens e desvantagens da recirculação

Para QASIM & CHIANG (1994), a técnica de recirculação de percolado combina o pré-tratamento anaeróbio no interior do aterro, que atua como um reator de leito fixo, com a evaporação que ocorre a cada recirculação. Estes autores destacam as seguintes vantagens da sua utilização:

- aceleração da estabilização do aterro sanitário;
- redução assegurada dos compostos orgânicos presentes no percolado;
- possível diminuição de volume de percolado devido à evaporação;
- redução nos custos envolvidos no tratamento do percolado.

Entretanto, para os mesmos autores, também apresentam as possíveis desvantagens:

- risco de poluição do solo e de águas subterrâneas pela infiltração do excesso de percolato recirculado, no caso de inexistência ou dano da camada impermeabilizante da parte inferior do aterro;
- altas concentrações de sais e metais pesados no percolato, resultado dos múltiplos arrastes de substâncias ocorridos no líquido recirculado;
- custos elevados referentes à implantação e manutenção de sistemas de recirculação;
- problemas relacionados com maus odores.

Segundo COSTA (2002), a recirculação do percolato pode possibilitar o prolongamento da vida útil dos aterros sanitários, tornar desnecessária a construção de unidade de tratamento para o percolato e viabilizar exploração do gás metano, uma vez que mais rápida poderá ser a conversão de ácidos orgânicos do chorume em CH_4 e CO_2 .

POHLAND e et al. (1984) afirmaram que o tratamento de percolados mediante a utilização da técnica de recirculação no aterro sanitário pode ser adotado para se obter rápido declínio do potencial poluidor do percolato produzido, bem como acelerar a estabilização do lixo aterrado e reduzir o volume de percolato gerado por meio de evaporação durante o processo de recirculação na área do aterro sanitário.

FERREIRA et al. (2001) comentaram que em países localizados em regiões de clima tropical, como é o caso do Brasil, a recirculação pode diminuir, significativamente, o volume de percolato, já que a evaporação pode ser favorecida pelas condições ambientais (temperatura ambiente, ventos, radiação solar, etc.). Além disso, a recirculação permite maior flexibilidade no gerenciamento das variações da quantidade de percolato produzido.

A recirculação do líquido percolato na área já aterrada deve ser considerada como método de tratamento, uma vez que propicia a atenuação de constituintes pela atividade biológica e por reações físicas e químicas que ocorrem no interior do aterro. Por exemplo, os ácidos orgânicos presentes no chorume serão convertidos em CH_4 e CO_2 . É importante ressaltar que um aterro sanitário é um grande reator

anaeróbico (não controlado) e a recirculação do percolado aumenta o seu tempo dentro do reator (TCHOBANOGLIOUS et al., 1993; McBEAN et al., 1995).

Segundo PALMA et al. (2000), a técnica de recirculação dos líquidos drenados em aterros sanitários vem sendo aplicada em diferentes países da Europa, na Austrália, Estados Unidos e outros.

Conforme GONZALEZ et al. (1996), a recirculação do chorume permite a manutenção de uma umidade adequada aos processos de degradação dos resíduos sólidos confinados, consistindo-se numa das técnicas de tratamento mais promissoras para o aprimoramento das operações em aterros sanitários.

Adicionalmente, a recirculação facilita o tratamento do chorume, ao permitir uma maior flexibilidade operacional das unidades de tratamento por meio do controle das vazões afluentes (FERREIRA et al., 2001).

A redução dos componentes orgânicos e inorgânicos presentes no percolado se dá em razão da ocorrência de processos de adsorção, precipitação e quelação/complexação quando em contato do líquido com o material aterrado. A atenuação da carga poluente do chorume pode ser comprovada pela diminuição das concentrações de DBO, DQO e COT, ácidos voláteis, fosfatos, nitrogênio amoniacal e sólidos totais dissolvidos, embora apresente baixa eficiência na remoção de nitrogênio e fósforo, geralmente encontrados em altas concentrações remanescentes no líquido recirculado (IPT/CEMPRE, 2000).

Em trabalho realizado por ALLEM (1987), foi mencionada uma redução de cerca de 40% no conteúdo de matéria orgânica no percolado, após a recirculação ter sido iniciada e, além disso, as concentrações de amônio, de metais e de sólidos suspensos apresentaram alguma redução.

O processo de recirculação do percolado na massa de lixo acarretou, também, redução drástica na DBO da ordem de 5.000 mg.L^{-1} para 500 mg.L^{-1} , o que facilitou o tratamento do líquido resultante (ABLP, 2000).

No Chile, conforme PALMA et al. (2000), a recirculação de percolado tratado em filtro anaeróbico é o método de tratamento mais aplicado para este líquido. No entanto, as taxas de recirculação devem ser cuidadosamente controladas, pois o excesso de percolado pode ocasionar problemas de estabilidade dos taludes. Os autores afirmam, ainda, que os recalques observados em aterros sanitários operados com recirculação estão associados, principalmente, ao colapso estrutural

provocado pela manta líquida e não pela atividade microbiana de degradação dos resíduos.

O percolado a ser recirculado pode ou não sofrer um tratamento prévio. A maioria dos autores referenciados no presente trabalho recircularam percolado pré-tratado ou, pelo menos, tamponado, como forma de acelerar o processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos. Outros, além destes procedimentos, inocularam o líquido com lodo de esgoto, lodo do próprio percolado, esterco ou rúmen bovino. Pohland & Mayer (1973), citados por LIMA (1988), verificaram que os procedimentos de recirculação de percolado, com adição de lodo de esgoto digerido e solução tampão, favoreceram a digestão anaeróbia dos resíduos sólidos. PFEFFER (1974) verificou que a adição de lodo de esgoto aos seus reatores experimentais (24 L de capacidade), feita com o intuito de acrescentar nutrientes, provocou uma aceleração no processo de degradação. O autor utilizou apenas a fração orgânica triturada do lixo e manteve o pH próximo à neutralidade.

LIMA (1988) verificou que, em condições naturais, o tamanho das partículas tem influência e que, para células preenchidas com lixo triturado, a produção de metano foi maior e obteve a mesma tendência para células sem a cobertura diária.

STEGMANN (1991) recomendou que a recirculação só deve ser praticada com percolado pré-tratado, ocorrendo durante todo o ano, de acordo com a taxa de evaporação potencial. Para as condições dominantes na Alemanha, aproximadamente 10 mm de percolado podem ser recirculados semanalmente.

BALDOCHI et al. (1996) verificaram que a inoculação em reatores de resíduos sólidos urbanos promoveu maior diversidade de espécies fluorescentes e morfologias bacterianas, favorecendo o desenvolvimento de algumas espécies de bactérias, notadamente aquelas de morfologia semelhante às das sarcinas metanogênicas. Além disso, os autores constataram, com base no potencial metanogênico (produto da atividade metanogênica pela concentração de biomassa), elevado metabolismo celular nos reatores inoculados, concluindo pela potencialidade da utilização do percolado como inóculo na digestão anaeróbia do lixo novo “fresco”.

De acordo com PIMENTEL JÚNIOR (1996), a técnica de recirculação de chorume, além de ser benéfica para a degradação dos resíduos aterrados, mostrou-se eficiente no tratamento do chorume do Aterro Sanitário de Limeira (SP), no qual

se praticava a co-disposição de resíduos sólidos industriais classes II e III com resíduos domiciliares.

PESSIN et al. (1997), após 400 dias de operação do sistema de tratamento do percolado do Aterro Sanitário de São Giácomo, em Caxias do Sul (RS), constituído por um filtro biológico anaeróbio cujo efluente era recirculado para o interior das células, observaram redução do potencial poluidor do percolado. Estes autores consideraram a técnica de recirculação como de fundamental importância para manutenção das condições ótimas (pH, umidade e nutrientes) para desenvolvimento dos microrganismos anaeróbios, redução da carga orgânica e viabilização da etapa posterior de tratamento físico e químico do percolado. Posteriormente, PESSIN et al. (2000) afirmaram que as células deste aterro, que receberam percolado tratado, apresentaram comportamento análogo ao de um filtro biológico operado em regime contínuo.

Conforme RUSSO et al. (2000), a recirculação de percolado inoculado com lodo, proveniente do tratamento físico, físico-químico ou térmico do próprio percolado e cuja concentração de sólidos supera 90%, é um procedimento bastante comum em vários países, como os Estados Unidos, Alemanha, Reino Unido, Itália, Holanda e Áustria.

Resultados obtidos por LECKIE et al. (1979) sugerem que a recirculação do percolado proporciona o rápido desenvolvimento de uma população de microrganismos anaeróbios, produtores de metano.

Pohland (1979), citado por LIMA (1988), simulando células de aterro, preenchidas com resíduos sólidos domésticos triturados e monitoradas durante 3 anos, concluiu que a recirculação de chorume cru é um forte mecanismo na aceleração do processo de degradação de resíduos, em particular da metanogênese. Por sua vez, LIMA (1984) observou que a recirculação direta de chorume cru causa inibição no processo de degradação, em particular a metanogênese, já que o excesso de ácidos provoca o desbalanceamento entre as suas taxas de produção e consumo pelos grupos bacterianos.

POHLAND & HARPER (1985) constataram que a recirculação melhora a homogeneidade do meio químico necessário à degradação anaeróbia dos resíduos e, efetivamente, reduz o tempo normalmente requerido para a estabilização dos mesmos, além de custar menos em relação ao tratamento do chorume em separado.

POHLAND (1990) recomenda, como forma de aceleração da estabilização, a recirculação direta do percolado, ou seja, sem sofrer qualquer tipo de tratamento prévio.

STEGMANN & SPENDLIN (1991) constataram que a recirculação controlada de percolado deve ser praticada para elevar a umidade dos resíduos sólidos urbanos, somente em casos em que a precipitação anual for inferior a 750-800 mm.ano⁻¹.

Finalmente, LIMA (2000) cita diversas experiências em municípios brasileiros de médio e grande porte, nas quais buscou-se a remediação de áreas contaminadas ou a aceleração dos processos de degradação dos resíduos, por meio da recirculação de percolado. No entanto, este autor afirma que a simples recirculação de percolado, sem inoculação prévia, não é benéfica ao processo de biodigestão dos resíduos aterrados, baseando-se na tentativa de remediação do lixão de Santa Bárbara, em Campinas (SP), por meio da recirculação de percolado tratado em lagoas de estabilização, que resultou na inibição do processo e na liberação de fortes odores.

Apesar das evidências, pouca informação encontra-se disponível na literatura a respeito da influência da idade do lixo na qualidade do efluente recirculado nas células, o que pode ser uma informação fundamental na escolha do local para a aplicação do percolado, possivelmente um fator decisivo para o sucesso ou fracasso no emprego desta técnica de recirculação.

2.6.4. Alguns casos de estudos de recirculação

2.6.5.1. Casos internacionais

LIMA (1995) apresenta alguns estudos do uso da recirculação em aterros sanitários.

a) Estudos de Gandolla (1983)

Os estudos de Gandolla foram conduzidos em Bioggio, Suíça, tratando-se de experimentos em escala real, em que o lixo, antes de ser aterrado, sofreu um processo de segregação mecânica (trituração, separação de metais e vidros) e, foi, em seguida, inoculado com lodo de esgoto digerido. A partir desses estudos,

estabeleceu que a intervenção do homem na decomposição de resíduos em aterro pode ser realizada por dois caminhos principais:

a) Por favorecimento do processo de decomposição no início do tratamento com a execução de pré-tratamento do lixo, como por exemplo, trituração ou aumento da superfície específica; aumento da densidade por compactação e inoculação ou mistura com lodo de esgoto;

b) Por uso da atividade biológica existente nas células mais antigas para tratar os resíduos nas células mais recentes; atividades classificadas como de pós-tratamento, figurando entre elas a adição de soluções tampões e nutrientes, a inoculação de lodo de esgoto e a reciclagem de chorume.

Os estudos de Gandolla constituem, na verdade, os primeiros esforços no sentido de tratar os resíduos pela metodologia de aterro sanitário celular, partindo da intervenção do homem no processo. Embora, na época, Gandolla não tenha feito referências à metodologia, tal como hoje é postulada por Lima, é necessário reconhecer que Lima partiu dos estudos de Gandolla e que, obviamente, houve uma evolução do pensamento técnico-científico nesses últimos dez anos.

b) Estudos de Beard e McCarty (1983)

Os estudos de Beard e McCarty foram conduzidos em escala de laboratório, na Universidade de Stanford, EUA, onde os efeitos de adição de água, inóculo bacteriano e solução tampão foram testados no tratamento de resíduos em aterro sanitário.

Os resultados dessas pesquisas são de grande importância, quer pelos avanços obtidos, quer pelas técnicas empregadas, como, por exemplo, o ensaio de toxicidade de anaerobiose (ETA) e o ensaio de potencial bioquímico de metano (PBM). Os resultados podem ser assim resumidos:

- Ⓜ foi possível realizar um tratamento acelerado de chorume oriundo de aterro sanitário, utilizando-se reator biológico operado a 35°C;
- Ⓜ o chorume proveniente do Aterro Sanitário de Mountain View não é tóxico ou inibitório ao tratamento anaeróbio;
- Ⓜ pequeno ou nenhum período de aclimatação foi requerido, nem a adição de produtos químicos foi necessária para o tratamento do chorume no reator biológico;
- Ⓜ o teor de metano no gás produzido foi de 70%;

- ® neutralização ou tamponamento do chorume não foram necessários quando a técnica de reciclagem ou lixiviação foi utilizada;
- ® uma carga orgânica de 15 kg de DQO por metro cúbico de volume do reator por dia foi considerada ótima;
- ® tempo de detenção hidráulica tão curto, como um dia, mostrou-se hábil para promover um eficiente tratamento do chorume;
- ® a produção de metano e a eficiência de remoção da DQO dependem da carga orgânica presente no chorume.

Uma análise mais aprofundada dos estudos de Beard e McCarty mostra que o chorume proveniente de aterro sanitário, tratado em reatores biológicos anaeróbios, adquire propriedades de grande interesse técnico-científico. A conversão de chorume em inóculo metanogênico com propriedades enzimáticas é um desses fatores de interesse.

c) Estudos de Leuschner (1991)

Leuschner (1991), recirculando chorume em seis lisímetros de aproximadamente 190 litros, observou que, no lisímetro no qual não se adicionou solução-tampão ou lodo ao chorume, não houve produção de metano. Segundo o autor, isto ocorreu devido ao pH do chorume recirculado ter permanecido sempre abaixo de 6. Também concluiu que, em geral, houve um aumento na produção de metano, quando foi realizada a recirculação do chorume com adição de tampão, nutriente e inóculo microbiano. Por fim, ressaltou que a prática de recirculação de chorume cru produz um digestor acidificado ("azedo"), que não se recupera.

2.6.5.2. Casos nacionais

a) Estudos de Teixeira (1993)

Os estudos de TEIXEIRA (1993) foram conduzidos na Escola de Engenharia de São Carlos, USP em escala de laboratório. O experimento consistiu de seis lisímetros de 200 litros cada, com matéria orgânica de resíduos sólidos urbanos, não triturados e triturados. Os lisímetros foram isolados termicamente.

A partida do experimento foi realizada com três inoculações. Após seis meses de operação, foram realizadas duas recirculações diretas de chorume, com intervalos de uma semana para verificar a ocorrência de inibição da ação bacteriana. O experimento teve uma duração de, aproximadamente, 4,5 anos, período considerado suficiente para verificar a ocorrência de inibição do desenvolvimento dos microrganismos. Foram coletados diariamente, dados de temperatura ambiente e da massa sólida no interior dos lisímetros, volume de gases produzido e pressão parcial dos gases. O acompanhamento do processo de degradação foi realizado por meio de análises físicas e químicas do chorume e cromatográficas dos gases. A periodicidade foi semanal, passando a quinzenal e finalmente mensal, à medida que a inibição passou a ocorrer. As análises físicas e químicas de acompanhamento foram: pH, DQO, DBO, potencial redox, ácidos voláteis, alcalinidade, condutividade, dureza, cloretos, sulfetos e sólidos totais, fixos e voláteis. As cromatográficas foram: teor de metano, CO₂ e ar.

O autor concluiu que a recirculação de chorume cru efetivamente inibiu o processo de degradação, provavelmente por efeitos de sinergismo. Também recomendou que, quando da intenção de acelerar o processo de degradação pela recirculação de chorume, este passe primeiro por um pré-tratamento anaeróbio em reator próprio.

b) Estudos de Lima (1995)

Segundo LIMA (1995), foram conduzidos no Brasil, na cidade de Campinas, SP, em 1983, experimentos em escala de laboratório e em escala real realizados no sentido de desenvolver e testar mecanismos de aceleração da metanogênese em aterro sanitário. Os estudos de laboratório consistiam de seis lisímetros de plástico, preenchidos com lixo, isolados com lã de vidro e providos de sistema de alimentação e coleta de sólidos, líquidos e gases.

Dentre os seis lisímetros, um serviu de testemunho e os outros cinco foram inoculados com diferentes substratos: lodo de esgoto digerido; chorume tratado em reator anaeróbio; chorume cru com alta DQO (80.000 mg.L⁻¹); chorume cru com baixa DQO (1.000 mg.L⁻¹); esterco de gado cru e esterco de gado digerido em reator anaeróbio. Os resultados desses estudos levaram o autor a concluir que a

reciclagem de chorume tratado em reator anaeróbio apresentou resultados mais favoráveis em termos de aceleração do processo antropogênico de decomposição.

Os estudos em escala real foram conduzidos no Aterro Sanitário de Campinas, em duas células contendo 100.000 toneladas de resíduos cada uma. As células foram preenchidas utilizando-se as técnicas usuais de aterramento. Uma delas foi provida de um reator biológico e de um sistema de reciclagem de chorume, lixiviação bacteriana. A outra célula, o testemunho, foi operado pelo método tradicional, sem adição de inóculo e sem reciclagem de chorume.

Os resultados do experimento demonstraram que a reciclagem de chorume tratado em reatores biológicos anaeróbios, lixiviação bacteriana, permitiu a aceleração do processo antropogênico de decomposição, na razão de 10 vezes, se comparado ao processo sem lixiviação bacteriana. Além disso, o autor observou que existia uma forte interação entre a célula de aterramento e o reator biológico e que era possível tratar sólidos e líquidos pela integração dos dois dispositivos, surgindo assim o que mais tarde foi denominado de "sistema integrado", ou seja, o conjunto célula de aterro + reatores.

c) Estudos de Libânio (2002)

Os estudos de LIBÂNIO (2002) foram conduzidos no Laboratório Piloto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (DESA/ UFMG), em escala de laboratório. O experimento consistiu em se investigar os aspectos mais relevantes da digestão anaeróbia dos resíduos sólidos urbanos, necessários à elaboração de futuros estudos de viabilidade e análises de custo-benefício. Tal experimento consistiu na análise comparativa entre duas diferentes linhas de operação, com 3 reatores anaeróbios de resíduos sólidos urbanos cada: linha de tratamento convencional (Reatores R1, R2 e R3) e linha de tratamento integrado, com recirculação do chorume enriquecido com inóculo (Reatores R7, R8 e R9). Adicionalmente, foi instalado um reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA) na linha de tratamento integrado, objetivando-se a remoção da carga orgânica dos líquidos lixiviados dos reatores de resíduos sólidos urbanos e a utilização do lodo biológico produzido para inoculação da digestão dos resíduos.

Os reatores experimentais, apresentando um volume útil de 700 litros cada, foram completamente preenchidos com uma massa total de aproximadamente 3.000

kg de lixo urbano, durante um período de nove dias. Diariamente, obtinha-se uma amostra representativa a partir da carga de um caminhão resultante de um dia típico de coleta em área residencial. Assim, ao final desta etapa, observando-se critérios e metodologias pré-estabelecidas para a amostragem, preparação de amostras e análises laboratoriais, procedeu-se à caracterização física e química do lixo urbano amostrado: composição gravimétrica, conteúdo de água, sólidos voláteis, metais e outros.

Finalmente, um conjunto de atributos concernentes às condições de bioestabilização foi obtido por meio da análise do lixiviado drenado dos reatores de resíduos sólidos urbanos e do efluente do reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA): pH, alcalinidade, ácidos graxos voláteis, DBO, DQO, nitrogênio Kjeldahl, fósforo, cloreto, sulfeto, metais pesados. Ademais, foram determinadas a produção de biogás e as proporções de seus principais constituintes: metano e dióxido de carbono.

A inoculação endógena promovida na linha de tratamento integrado, por meio da recirculação do chorume e retorno do lodo biológico produzido no reator RAFA, parece ter favorecido a etapa inicial de fermentação e acidogênese: maiores concentrações dos principais ácidos graxos voláteis precursores da formação de metano tais como ácido acético, propiônico e butírico; teores iniciais de metano mais elevados. A inoculação endógena promoveu também a aceleração da atividade metanogênica nesta linha de tratamento, uma vez que se pode observar, simultaneamente, uma significativa redução do substrato orgânico solúvel (DQO filtrada, DBO, sólidos dissolvidos) e um rápido incremento na produção de biogás.

Desta forma, com relação aos procedimentos operacionais envolvidos neste estudo, verificou-se ser adequada e benéfica a implementação de um sistema de tratamento, com a recirculação dos líquidos lixiviados de aterros sanitários e inoculação da digestão anaeróbia dos resíduos aterrados com lodo biológico produzido no tratamento do chorume, considerando-se que:

® a simples recirculação do chorume e a inoculação com lodo biológico produzido no próprio tratamento dos líquidos lixiviados, sem nenhuma adição de alcalinidade bicarbonato, ainda que não tenham se mostrado suficientes para promover o desenvolvimento da metanogênese, parecem ter favorecido significativamente a etapa anterior de fermentação. Todavia, é importante ressaltar que tais observações advêm de um curto período de monitoramento, correspondente a apenas 160 dias

de operação dos reatores. É possível que, após um maior período de observações, se constate que a recirculação do chorume também abrevie o início da metanogênese, favorecendo a digestão dos resíduos sólidos urbanos, conforme já demonstrado em outros estudos;

® a suplementação da alcalinidade bicarbonato, requerida para o desenvolvimento da atividade metanogênica, mostrou ser imprescindível para a obtenção de um equilíbrio entre as diversas comunidades de microrganismos envolvidos na digestão anaeróbia dos resíduos aterrados. Somente por meio da recirculação do chorume com pH neutro foi possível observar a redução da carga orgânica do lixiviado, com a conversão final do substrato orgânico acidificado em gás metano e dióxido de carbono.

Por fim, ao se constatar uma sucessão mais breve das fases de hidrólise e acetogênese para a fase final de metanogênese na linha correspondente ao sistema de tratamento integrado proposto neste estudo (linha 3), correspondente ao sistema integrado de tratamento dos resíduos sólidos urbanos e do chorume, admite-se um melhor desempenho desta linha de operação.

d) Estudos de Costa (2002)

COSTA (2002), em seu trabalho de pesquisa, procurou avaliar a influência da recirculação de chorume na digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos, comparando os resultados desta aplicação em relação ao sistema convencional de degradação dos resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários.

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Instalações Piloto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (DESA/ UFMG) durante 9 meses, tendo sido utilizados, como unidades de simulação de células de aterro, 6 reatores anaeróbios concebidos especificamente para tal finalidade. Os reatores R1, R2 e R3 compuseram a linha de tratamento 1 (linha vermelha), operada como um aterro sanitário convencional, ou seja, sem recirculação de chorume. Por sua vez, os reatores R4, R5 e R6 formaram a linha de tratamento 2 (linha verde), simulando um aterro sanitário operado com recirculação direta de chorume cru. Os reatores experimentais foram constituídos por uma coluna de fibra de vidro de 2,50 m de altura útil e diâmetro interno de 60 cm,

perfazendo um volume de aproximadamente 700 litros. Também foram equipados com dispositivos de coleta de chorume e de biogás, analisados semanalmente.

Para preenchimento dos reatores, foram utilizados resíduos sólidos urbanos basicamente domiciliares do Município de Belo Horizonte. O chorume inicialmente inoculado nos reatores também foi proveniente do Aterro Sanitário de Belo Horizonte, mais especificamente, da célula mais nova, na ocasião. Realizou-se, também, uma caracterização física e química inicial destes resíduos (composição gravimétrica, concentração de C, H, N, teor de sólidos voláteis e de metais). Pôde-se concluir que os resíduos sólidos urbanos confinados nos reatores apresentaram características coerentes com estudos anteriores, a não ser pelo menor percentual de matéria orgânica encontrada no lixo urbano (44%).

Com relação ao monitoramento dos atributos físicos e químicos do chorume e do biogás das duas linhas distintas de tratamento, os resultados analíticos indicaram uma influência positiva da recirculação de chorume no processo de digestão anaeróbia. A análise estatística (análise de variância - ANOVA) das concentrações médias dos principais parâmetros, realizadas entre as duas linhas, confirmou a intensificação da atividade metanogênica nos reatores operados com recirculação (linha 2) a partir do 180º dia de operação, baseada na diminuição acentuada das concentrações de ácidos graxos voláteis, sólidos dissolvidos voláteis e matéria orgânica (DBO e DQO) e na elevação do pH e das concentrações de metano.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Localização

O Município de Viçosa (Figura 7) e Visconde do Rio Branco estão localizados no sudeste brasileiro, na região habitualmente conhecida como Zona da Mata do Estado de Minas Gerais. A Cidade de Viçosa, sede do município, situa-se em altitude média de 650 m, na latitude 20°45' sul e longitude 42°51' oeste. O Município de Visconde de Rio Branco está situado a 21°00' de latitude sul e 42°00' de longitude oeste.

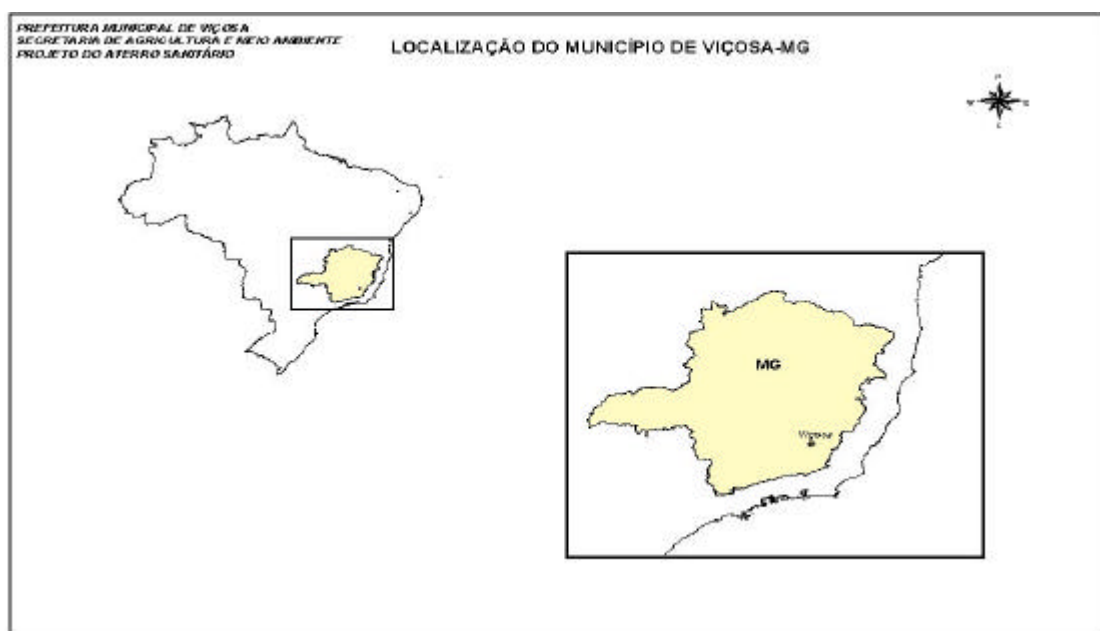


Figura 7 – Localização da Cidade de Viçosa.

3.2. Clima

Em função da sua localização e altitude, a Cidade de Viçosa insere-se numa região cujo clima é caracterizado por apresentar verões frescos e chuvosos.

Nos últimos 20 anos, as médias mensais de temperaturas no Município variaram de acordo com os valores apresentados na Figura 8. Neste período, a média anual de temperatura foi de 19,8 °C, com uma média das mínimas, no mês de julho, de 15,9 °C, e das máximas, no mês de fevereiro, de 22,7 °C. De acordo como os dados obtidos na Estação Climatológica de Viçosa, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia, do Ministério da Agricultura, no período de 1931 a 1960 foram registradas, na cidade, temperaturas mínimas de 0 °C, no dia 10/06/1933 e máxima de 35,2 °C no dia 17/01/1956. Em 10/09/1997, registrou-se a temperatura de 37,6 °C, máxima ocorrida até hoje.

O clima predominante de Visconde do Rio Branco é o subtropical úmido caracterizado por duas estações marcantes, inverno seco e verão chuvoso. A temperatura média anual é de 21,8 °C, enquanto que precipitação média anual é de 1.250mm.

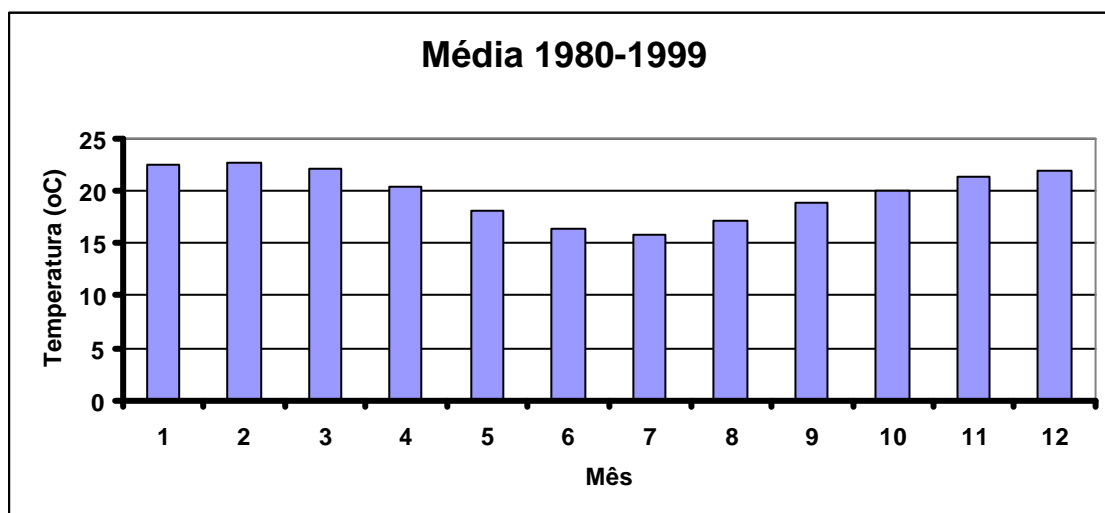


Figura 8 - Temperaturas médias mensais do Município de Viçosa nos últimos 20 anos.

Também nos últimos 20 anos, as médias mensais de precipitação pluviométrica variaram de acordo com os dados apresentados na Figura 9. Neste período, a média anual de precipitação foi de 1.227,10 mm, com a maior incidência

de chuvas ocorrendo no período de outubro a março, tendo o pico ocorrido em dezembro, de acordo com os dados da Estação Climatológica de Viçosa.

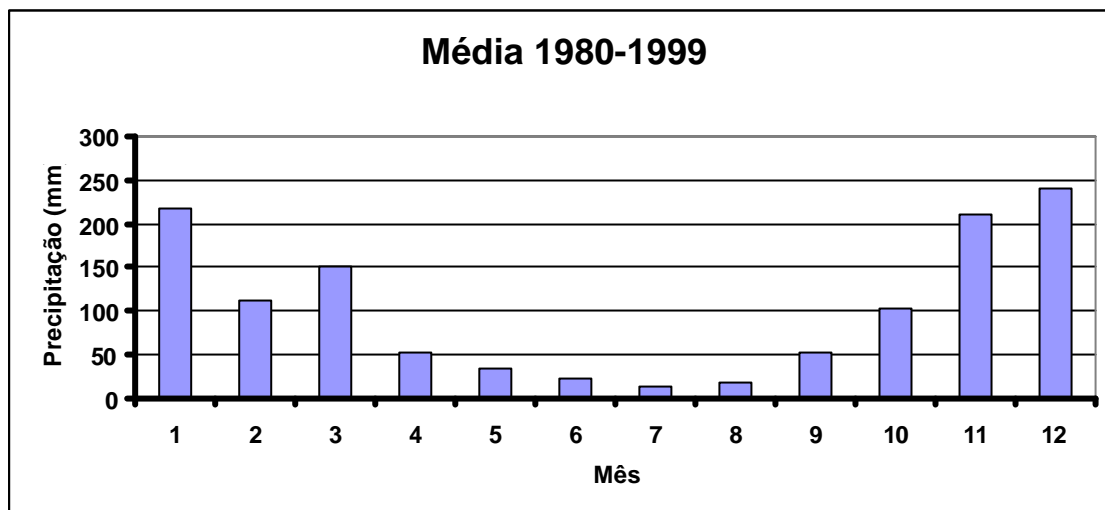


Figura 9 - Precipitações médias mensais (mm) do Município de Viçosa, nos últimos 20 anos.

3.3. Trabalho de campo e laboratório

3.3.1. Caracterização dos lisímetros

O experimento foi conduzido na Área Experimental de Tratamento de Resíduos Urbanos do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, MG. Para o desenvolvimento das atividades de pesquisa, foram construídos seis lisímetros para representar células de um aterro sanitário. Os lisímetros foram assim denominados: LNSE (lixo novo sem entulho de construção civil); LMSE (lixo maduro sem entulho de construção civil); LVSE (lixo velho sem entulho de construção civil); LNCE (lixo novo com entulho de construção civil); LMCE (lixo maduro com entulho de construção civil) e LVCE (lixo velho com entulho de construção civil). Cada lisímetro foi construído com três manilhas de concreto armado com 1,00 m de diâmetro interno e 1,00 m de altura, sobrepostas e seladas na junção com uma argamassa de cimento. A base foi fechada com concreto armado, formando um cilindro rígido de 3,00 m de altura. Os lisímetros foram encostados num talude e apoiados, após compactação do solo, sobre uma laje de concreto armado de 10,70 m de comprimento, 1,70 m de largura e 0,10 m de

espessura, garantindo assim, uma estabilidade completa do solo e dos lisímetros (Figura 10).

A base de cada lisímetro foi construída com uma declividade pequena para que o líquido percolado fosse conduzido para uma tubulação de PVC de 25 mm de diâmetro. Essa tubulação atravessava toda a parede do lisímetro e tinha em sua extremidade uma torneira, também de PVC, com a finalidade de facilitar a coleta desse líquido.



Figura 10 - Montagem dos lisímetros.

A parte superior de cada manilha possuía um diâmetro externo de 1,15 m, 15 cm maior que o resto da manilha. Essa parte, com área de 1,00 m², serviu para que as manilhas fossem encaixadas umas sobre as outras e que fosse também responsável pela captação de toda a precipitação que incidia sobre os lisímetros, uma vez que não havia escoamento superficial. Assim, toda a precipitação era convertida em infiltração e evaporação.

Na Figura 11 está mostrada uma vista geral dos lisímetros montados.



Figura 11 - Vista geral dos lisímetros.

Os lisímetros foram preenchidos com diversas camadas simulando as de um aterro sanitário, de forma que, da base para o topo, apresentaram as camadas detalhadas a seguir.

3.3.1.1. Camada de drenagem

A camada de drenagem na base de cada lisímetro tinha espessura de 0,10 m, sendo composta por 0,07 m de brita nº 1 e 0,03 m de areia grossa preenchendo os vazios deixados pela brita nº 1 (Figura 12).



Figura 12 – Camada de drenagem na base dos lisímetros.

3.3.1.2. Camada de resíduos de construção civil

Sobre a camada de drenagem, alguns lisímetros receberam uma camada de 0,30 m de espessura de resíduos de construção civil triturado (Figura 13).



Figura 13 – Camada de resíduos de construção civil sobre a camada de drenagem na base dos lisímetros.

3.3.1.3. Camada de resíduo sólido urbano

Acima da camada de drenagem e da camada de entulho de construção civil, foi compactada a camada de resíduo sólido urbano de 0,15 m de espessura, nos seis lisímetros, a fim de avaliar a influência das características geométricas dos lisímetros sobre a geração de percolados.

Na Figura 14 estão mostrados os resíduos de três diferentes idades que serviram para o preenchimento dos lisímetros.



Figura 14(a) - Lixo novo (recém coletado).



Figura 14(b) - Lixo maduro (três anos de idade).



Figura 14(c) - Lixo velho (treze anos de idade) transportado até a Área Experimental.

3.3.1.4. Camada de cobertura

Acima da camada de resíduo sólido urbano foi colocada uma camada de 0,35 m de espessura, composta de 0,10 m de brita nº 1 sobreposta por uma camada de 0,25 m de areia grossa, em todos os lisímetros, para possibilitar uma maior taxa de infiltração no processo de recirculação do efluente drenado (Figura 15).



Figura 15 – Camada de cobertura do lixo nos lisímetros.

3.3.2. Composição gravimétrica

Em geral, o lixo tem uma composição bastante variada, o que é resultante, principalmente, das características ambientais e socioeconômicas da população que o gera. Assim, fatores como clima, variações sazonais, grau de educação, poder aquisitivo, hábitos e costumes, etc., influenciam na composição do lixo. Um parâmetro que bem expressa a característica do lixo é sua composição gravimétrica, que expressa o peso e o valor percentual (com relação ao peso total) de cada componente da massa de lixo.

Inicialmente, foi feita a determinação da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos gerados na Cidade de Viçosa-MG, provenientes dos Bairros João Braz e Clélia Bernardes, os quais foram o material de preenchimento de dois lisímetros. Foram recebidos dois caminhões, sendo um de cada bairro. A composição gravimétrica foi feita por quarteamento que começava despejando-se os resíduos sobre uma lona plástica, formando um único monte. Com a ajuda de enxadas, esse material foi espalhado e misturado, de modo a homogeneizar a amostra (Figura 16).



Figura 16 - Descarga do caminhão de lixo coletado no Bairro Clélia Bernardes (Viçosa-MG).

Em seguida, o material misturado era quarteado. Uma parte deste quarteamento era usada para determinação da composição gravimétrica, na qual todo o material separado foi empilhado em montes, conforme a sua classificação: matéria orgânica, garrafa pet, plástico filme, vidro, trapos, metais, madeira e outros e, em seguida, descartada (Figura 17). O restante dos resíduos foi, novamente, misturado e usado para o preenchimento dos lisímetros.



Figura 17 – Início do quarteamento do lixo recém coletado.

Não foi possível fazer a caracterização física e a composição gravimétrica do lixo maduro (aterrado por três anos) e do lixo velho (aterrado por treze anos), ambos desterrados do lixão de Visconde do Rio Branco-MG a uma profundidade de 3,00 m, devido os mesmos estarem em estado de decomposição, dificultando, assim, a sua identificação.

3.3.3. Preenchimento dos lisímetros

Inicialmente, para o preenchimento dos lisímetros com os resíduos sólidos urbanos de três diferentes idades, foram feitas marcações nas paredes ao longo da altura dos lisímetros, a partir da camada de drenagem e entulho de construção civil. As camadas tinham 0,15 m de espessura, de forma que conhecido o volume dessas camadas e o peso específico estabelecido de 7 kN.m^{-3} , chegava-se ao peso de cada camada.

O preenchimento dos lisímetros foi executado por três pessoas e a operação durou sete dias: no período de 14 a 15 (5ª e 6ª feira) e de 18 a 22 (2ª a 6ª feira) de agosto de 2003. O lixo utilizado no preenchimento originou-se dos seguintes locais: Bairros Clélia Bernardes e João Braz, da cidade de Viçosa e da cidade de Visconde do Rio Branco. Os dados referentes às condições climáticas nos dias citados estão apresentados no Quadro 13.

Quadro 13 – Dados relativos às condições climáticas

Dia da semana	Data	Tempo	Temperatura Média (°C)	Umidade do ar (%)
Quinta-feira	14/08/2003	Ensolarado	14,6	72,4
Sexta-feira	15/08/2003	Ensolarado	15,0	75,5
Segunda-feira	18/08/2003	Ensolarado	14,8	66,7
Terça-feira	19/08/2003	Ensolarado	15,2	74,1
Quarta-feira	20/08/2003	Ensolarado	15,5	73,0
Quinta-feira	21/08/2003	Ensolarado	15,2	71,0
Sexta-feira	22/08/2003	Ensolarado	16,2	66,2

Os enchimentos dos lisímetros foram feitos com os resíduos retirados das sacolas plásticas, comuns para acondicionamento de lixo urbano, e colocados em

tambores de 200 L. Após a pesagem, os resíduos foram despejados no interior dos lisímetros para, em seguida, serem compactados.

A compactação dos resíduos foi realizada manualmente com a ajuda de soquetes de madeira com uma massa de 12,5 kg (Figura 18).



Figura 18 – Compactação dos resíduos com o soquete de madeira.

Na Figura 19 está apresentada uma vista do lixo novo e lixo velho já compactado.



Figura 19 – Vista dos lixos novo e velho já compactados.

Logo após o término da colocação dos resíduos sólidos urbanos, foi sobreposta a camada de cobertura.

No Quadro 14, está apresentado um resumo das principais características dos seis lisímetros.

Quadro 14 – Resumo da composição física dos lisímetros

DADOS	LNSE	LMSE	LVSE	LNCE	LMCE	LVCE
Diâmetro (m)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Área base (m ²)	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
Volume (m ³)	2,36	2,36	2,36	2,36	2,36	2,36
Volume do resíduo (m ³)	1,94	1,94	1,94	1,70	1,70	1,70
Altura do resíduo (m)	2,47	2,47	2,47	2,17	2,17	2,17
Massa do resíduo (kg)	1.324,60	2.729,60	2.895,90	1.120,50	2.338,56	2.614,00
Peso específico do resíduo (kN.m ⁻³)	6,85	11,05	12,89	6,85	10,78	12,05
Número de camadas (unid)	16	16	16	14	14	14
Espessura da camada (cm)	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Massa da camada de resíduo (kg)	82,79	170,60	180,99	80,04	167,04	186,71

LNSE: lixo novo sem entulho de construção civil; LMSE: lixo maduro sem entulho de construção civil; LVSE: lixo velho sem entulho de construção civil; LNCE: lixo novo com entulho de construção civil; LMCE: lixo maduro com entulho de construção civil e LVCE: lixo velho com entulho de construção civil.

No Quadro 15 está apresentado um resumo dos tratamentos do experimento.

Quadro 15 – Resumo do tratamento experimental

LISÍMETRO	IDADE	RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL	ORIGEM
L1	Novo	Sem	Coletado em Viçosa
L2	Maduro	Sem	Desterrado do lixão de Visc. do Rio Branco
L3	Velho	Sem	Desterrado do lixão de Visc. do Rio Branco
L4	Novo	Com	Coletado em Viçosa
L5	Maduro	Com	Desterrado do lixão de Visc. do Rio Branco
L6	Velho	Com	Desterrado do lixão de Visc. do Rio Branco

3.3.4. Operação e monitoramento do experimento

O monitoramento do sistema de digestão de resíduos sólidos urbanos nos lisímetros iniciou-se em 28 de agosto de 2003 e terminou em 31 de agosto de 2004, possibilitando a observação da dinâmica de biodegradação da fração orgânica do lixo urbano pelo período de um ano.

Para o processamento dos dados obtidos durante o monitoramento do sistema, elaboração dos gráficos e desenvolvimento das análises, empregou-se o programa Microsoft Excel 2001.

3.3.4.1. Medição de temperatura da massa dos resíduos

Para a medição da temperatura, foram introduzidos termopares tipo “T” no topo, meio e base da massa de resíduos de cada lisímetro. Os termopares foram devidamente instalados, simultaneamente com a confecção dos lisímetros, para que ficassem centrados radialmente na massa e na altura desejada.

A partir de 28 de agosto de 2003, após o preenchimento de todos os lisímetros, deu-se início ao monitoramento diário (às 9:30 h e às 15:30 h) da temperatura da massa de resíduos e da temperatura ambiente. As leituras foram realizadas com um termômetro digital, previamente calibrado, da marca “Single Input AZ 8851 CE” (Figura 20), enquanto os dados de temperatura ambiente foram obtidos por uma estação automatizada instalada no local do experimento.



Figura 20 - Equipamento utilizado no monitoramento da temperatura na massa de resíduos.

3.3.4.2. Medição da precipitação

Os dados diários de precipitação, fator de fundamental importância na geração do líquido percolado, foram obtidos por uma estação automatizada instalada no local do experimento.

3.3.4.3. Caracterização física e química do percolado

O efluente drenado nos lisímetros foi coletado, diariamente, às 9:30 horas, durante toda a duração do experimento. Após a medição volumétrica do líquido percolado por meio de uma proveta graduada, uma amostra do líquido era encaminhada ao laboratório para análise física e química antes de seu armazenamento em tambores plásticos, para posterior recirculação (Figura 21).



Figura 21 - Coleta do líquido percolado dos lisímetros.

O início da coleta do percolado se deu em dias diferentes, de acordo com a sua produção. As coletas do LNSE, LVSE e LVCE iniciaram-se no dia 20 de outubro de 2003, do LMCE no dia 03 de novembro de 2003 e dos LMSE e LNCE apenas no dia 06 de novembro de 2003.

Juntamente com a coleta de percolado, foi realizada as análises físicas, químicas e bioquímicas do material, em intervalos de quinze dias, para avaliar o comportamento de algumas variáveis monitoradas (pH, CE, DBO, DQO, COT, ST, SF, SV, SST, SSV, SSF, SDT, N_{total} , Zn, Cd, Cu, Pb, Ni, Mn, Cr, Fe, Ca e Mg) ao

longo do período de experimentação. As análises seguiram a metodologia apresentada no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (AWWA/APHA/WEF, 1998).

As amostras foram acondicionadas em garrafas do tipo “PET”, previamente esterilizadas. As mesmas foram transportadas imediatamente para o Laboratório de Qualidade da Água, do Departamento de Engenharia Agrícola, da UFV para análises dos seguintes atributos físicos e químicos, apresentados a seguir.

3.3.4.3.1. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

O teste foi realizado pelo método iodométrico, o qual consistiu em colocar uma amostra em um frasco de 300 mL vedado e completamente cheio e incubar o mesmo em condições específicas (temperatura 20°C) e durante um tempo específico (5 dias). O oxigênio dissolvido (OD) é medido inicialmente e após a incubação. A DBO é dada pela diferença de OD inicial e final.

3.3.4.3.2. Demanda Química de Oxigênio (DQO)

O método utilizado foi o do refluxo aberto que consistiu fazer a digestão da amostra em solução fortemente ácida e com excesso de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$). Após a digestão, o remanescente de $K_2Cr_2O_7$ que não foi reduzido, foi titulado com sulfato ferroso, para determinação da quantidade de dicromato consumida ou, de outra forma, a quantidade de oxigênio do dicromato que foi utilizada para oxidação do material orgânico presente na amostra.

3.3.4.3.3. Carbono Orgânico Total (COT)

Estima-se a quantidade de carbono orgânico ($mg.L^{-1}$) existente na amostra do líquido percolado, sem separar a matéria biodegradável da não-biodegradável.

No método químico, ocorre a oxidação do material orgânico com dicromato de potássio, em meio sulfúrico. Após a mistura, o remanescente de $K_2Cr_2O_7$, que não foi reduzido, foi titulado com sulfato ferroso para determinação da quantidade de $K_2Cr_2O_7$ consumido.

3.3.4.3.4. Nitrogênio Total (NT)

Pipetou-se 5,0 mL da amostra para um tubo e adicionou-se reagentes de digestão. Colocaram-se os tubos para aquecer no bloco digestor em temperatura de até 360 °C para a completa digestão das amostras.

Após a digestão, recolheu-se o destilado em um erlenmeyer de 250 mL contendo solução indicadora de ácido bórico até que se completassem aproximadamente 75 mL e titulou-se o produto final com H_2SO_4 0,02 mol \cdot L $^{-1}$ padronizado. Um “branco” foi preparado com água destilada e procedeu-se exatamente da mesma forma que com as amostras.

3.3.4.3.5. Potencial Hidrogeniônico (pH)

O método utilizado foi o potenciométrico ou eletrométrico, em que a medida da concentração efetiva dos íons H^+ na amostra foi feita utilizando um eletrodo de vidro de calomelano, saturado, inserido na solução. Esse eletrodo desenvolve um potencial elétrico que é proporcional à diferença de pH existente entre os dois lados da mesma. Antes de fazer as medidas, no peagâmetro modelo DM21-DIGIMED, o mesmo foi calibrado com solução tampão.

3.3.4.3.6. Condutividade Elétrica (CE)

A medida da condutividade elétrica foi feita utilizando-se um condutivímetro DIGIMED DM3, em que o medidor foi ajustado para a leitura de 1,412 mS.cm $^{-1}$.

3.3.4.3.7. Sólidos Totais (ST), Sólidos Fixos (SF) e Sólidos Voláteis (SV)

A concentração de sólidos totais foi obtida como toda a matéria que permaneceu como resíduo após secagem, em estufa, sob uma temperatura de 103-105 °C.

Após a pesagem, a amostra foi submetida à queima em mufla, sob uma temperatura de 550 °C, em que a fração orgânica do material se oxidou e foi eliminada como gás, restando, como resíduos (cinza), a fração inorgânica. A matéria perdida na queima constituiu os sólidos voláteis (SV) e a matéria remanescente

constituiu os sólidos fixos (SF). A diferença de sólidos fixos em relação aos totais dá os sólidos voláteis.

3.3.4.3.8. Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Suspensos Fixos (SSF), Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) e Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)

Uma parte da amostra foi filtrada a vácuo, utilizando-se um filtro de fibra de vidro padrão, pré-pesado e identificado. Parte da amostra do líquido que foi colocada para ser filtrada, sob vácuo, em funil ficou retida no filtro e a que passou (colóides e solutos) foi denominada de sólidos dissolvidos. Antes da pesagem, o filtro foi deixado em estufa para perder a água absorvida do ambiente.

Para a determinação dos sólidos suspensos totais, o filtro e a fração retida foram deixados em estufa a 105 °C por uma hora e, em seguida, novamente pesados. A diferença de peso referiu-se aos sólidos suspensos totais. Para os sólidos suspensos fixos, o filtro foi, então, levado em mufla a 550 °C, durante uma hora. Foi pesado novamente para a obtenção dos sólidos suspensos fixos. A diferença entre os sólidos suspensos totais e os fixos é o peso dos sólidos suspensos voláteis.

3.3.4.3.9. Metais

As amostras para análises dos metais (Zn, Cd, Cu, Pb, Ni, Mg, Mn, Fe, Cr e Ca) foram encaminhadas ao Departamento de Solos da UFV para determinação por Espectrofotometria de Absorção Atômica.

A preparação das amostras consistiu na adição de 5,0 mL de solução nítrico-perclórico para cada 2,0 mL de amostra. As amostras foram colocadas em tubos e levadas para o bloco digestor. Após digestão, as amostras foram colocadas em balões volumétricos de 50,0 mL e completadas com água destilada para posterior determinação das concentrações dos metais por espectrofotometria de absorção atômica.

3.3.4.4. Recirculação do líquido percolado

O percolado recirculado não foi submetido a qualquer pré-tratamento, caracterizando-se o sistema, desta forma, como sendo de recirculação direta. O

líquido drenado foi armazenado em recipientes individualizados e específicos para cada lisímetro (Figura 22).

O início da recirculação, feita semanalmente, se deu no dia 17 de dezembro de 2003. O tratamento foi dado da seguinte maneira: os lisímetros LNSE e LNCE (lixo novo sem e com camada de entulho de construção civil) não receberam percolado, serviram somente de produtores de percolado para recirculação nos lisímetros LVSE e LVCE (lixo velho sem e com camada de entulho de construção civil). Por sua vez, os lisímetros LMSE (lixo maduro, sem entulho de construção civil) e LMCE (lixo maduro, com entulho de construção civil), receberam, por recirculação, o próprio efluente.



Figura 22 – Armazenamento do percolado drenado dos lisímetros.

O líquido armazenado foi diretamente retornado ao lisímetro manualmente por meio de regador plástico de 8 L, pela superfície, na camada de areia grossa e brita disposta sobre a massa dos resíduos, garantindo assim, uma melhor uniformização do líquido na massa dos mesmos (Figura 23).



Figura 23 – Sistema de recirculação e lâmina do líquido percolado aplicada sobre os lisímetros.

3.3.4.5. Caracterização física e química dos resíduos sólidos após recirculação

Após o encerramento do experimento, foram amostrados os resíduos dos lisímetros de lixo velho LVSE e LVCE. Foi retirada uma amostra em cinco camadas do LVSE, uma amostra em sete camadas do LVCE e uma amostra da camada de entulho de construção civil, conforme está mostrado na Figura 24. As amostras retiradas dos lisímetros LVSE foram a cada 0,50 m e do LVCE a cada 0,30 m, perfazendo um total de cinco e sete camadas, respectivamente. A oitava camada do LVCE referiu-se à camada de entulho de construção civil.



Figura 24 – Detalhe das amostras coletadas, nos diferentes lisímetros, nas diversas camadas de resíduos.

As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Química dos Resíduos do Departamento de Engenharia Agrícola, para a realização das seguintes determinações:

3.3.4.5.1. Ensaio de Solubilização

A norma NBR 10.006/87 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) fixa condições para realização do ensaio de solubilização dos resíduos por meio do qual pode-se diferenciar resíduos classe II de resíduos classe III.

Para a realização do ensaio, pegou-se 250 g de uma amostra seca do resíduo colocando-a num becker de 1.500 mL. Adicionou-se 1.000 mL de água destilada e levou-se para o agitador tipo “jar-test” e deixou-se a amostra agitando em velocidade baixa por 5 minutos. Após a agitação da mistura, tampou-se o frasco e deixou-se descansando por um período de sete dias. Após o repouso, filtrou-se a amostra num papel filtro de 0,45 µm de diâmetro de poros, sob vácuo.

Em seguida, os filtrados foram encaminhados ao Departamento de Solos da UFV para determinação das concentrações dos metais por Espectrofotometria de Absorção Atômica.

3.3.4.5.2. Ensaio de Lixiviação (NBR 10.005/87 – ABNT)

A norma NBR 10.005/87 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) fixa condições para realização do ensaio de lixiviação dos resíduos por meio do qual pode-se diferenciar resíduos classe I dos resíduos de classes II e III.

Para a realização do ensaio, passou-se uma certa quantidade do resíduo por uma peneira com abertura de 9,5 mm. Do resíduo peneirado, pesou-se 100 g e colocou-se num becker de 1.500 mL. Em seguida, adicionou-se 1.600 mL de água destilada e levou-se para o agitador tipo “jar-test”, onde deu-se o início da agitação. Após 15 minutos de mistura, realizou-se a leitura do pH. Se o pH fosse maior que 5,0 era necessário fazer a correção com ácido acético 0,5 mol_c.L⁻¹. Essa leitura inicial foi repetida aos 45 minutos e após 1 hora e 45 minutos de agitação, sempre corrigindo-se o pH, se necessário e anotando-se o volume adicionado.

Após a correção inicial do pH, a mistura foi agitada por um período de 24 horas, e que foi estendido por 28 horas, devido ao fato de ser o pH da mistura superior a 5,0.

Terminada a agitação, adicionou-se à mistura uma massa (m_w) de água destilada, calculada utilizando-se a Equação 3.1.

$$m_w = 4.m - m_2 \quad (3.1)$$

em que,

m = massa de amostra submetida ao ensaio (g);

m_2 = massa de ácido acético $0,5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ adicionada à mistura (g).

A solução foi submetida à filtração (papel filtro $0,45 \mu\text{m}$ de diâmetro de poro), sob vácuo. O filtrado obtido foi, então encaminhado ao Departamento de Solos da UFV, para determinação das concentrações dos metais por Espectrofotometria de Absorção Atômica.

3.3.4.5.3. Determinação de Sólidos Totais, Fixos e Voláteis

O conteúdo de sólidos totais (ST) de um resíduo é definido como toda a matéria que permanece após secagem à temperatura de $103-105 \text{ }^\circ\text{C}$.

O resíduo dessa secagem foi queimado em mufla a $550 \text{ }^\circ\text{C}$ resultando os sólidos fixos (SF) e enquanto a diferença de peso desse material representou os sólidos voláteis (SV).

3.3.4.5.4. Potencial Hidrogeniônico (pH)

Para a determinação do pH dos resíduos passou-se certa quantidade de amostra seca em peneira de $2,0 \text{ mm}$, retirando-se 10 cm^3 do peneirado que foi colocada em copinho de plástico. Adicionou-se $25,0 \text{ mL}$ de água destilada, misturou-se com um bastão de vidro e deixou a amostra em repouso por um período de uma hora. Após o repouso, agitou-se novamente a amostra com o bastão de vidro e mergulhou-se o eletrodo na suspensão homogeneizada para a realização da leitura dentro da suspensão do resíduo.

3.3.4.5.4. Condutividade Elétrica (CE)

A determinação da condutividade elétrica dos resíduos seguiu a mesma metodologia utilizada para determinação em solo, tal como descrita por MATOS (2004).

Depois de passar a amostra seca em peneira de 2,0 mm, retirou-se 60 cm³ do material peneirado, colocando-o num becker. Foi adicionado 60,0 mL de água destilada, misturou-se com um bastão de vidro e deixou a amostra em repouso por um período de quatro horas.

A amostra foi transferida para um funil com papel filtro de filtração lenta e aplicou-se vácuo e em seguida, foi feita a leitura no condutímetro mergulhando o eletrodo na solução.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados dos trabalhos executados no campo e no laboratório, bem como a caracterização dos resíduos sólidos provenientes da cidade de Viçosa (MG).

4.1. Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos

No Quadro 16 estão apresentados os resultados da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos dos Bairros João Braz (lisímetro 4 – LNCE) e Clélia Bernardes (lisímetro 1 - LNSE) da cidade de Viçosa (MG) feita nos dias 18 e 20 de agosto de 2003.

Quadro 16 – Composição gravimétrica do lixo urbano da cidade de Viçosa por bairro

Componentes	Clélia Bernardes		João Braz		Média (%)
	LNSE		LNCE		
	Peso (kg)	Quantidade (%)	Peso (kg)	Quantidade (%)	
Papel / papelão	21,50	14,54	21,60	15,00	14,77
Plástico fino	21,26	14,38	27,10	18,82	16,60
Plástico duro	4,50	3,04	4,00	2,78	2,91
PET	0,80	0,54	1,70	1,18	0,86
Vidro	2,70	1,83	6,20	4,31	3,07
Alumínio	0,20	0,14	1,20	0,83	0,48
Metais	2,60	1,76	2,10	1,46	1,61
Matéria orgânica	92,80	62,76	75,50	52,43	57,60
Outros	1,50	1,01	4,60	3,19	2,10
TOTAL	147,86	100,00	144,00	100,00	100,00

Os componentes que apresentaram maior massa úmida por ocasião da caracterização dos resíduos sólidos urbanos foram a matéria orgânica (média de 57,60%), seguida dos plásticos finos (média de 16,60%) e papéis (média de 14,77%). Estes constituintes, juntos, representaram aproximadamente 89% da massa total.

Estes resultados, no que diz respeito às três categorias mais representativas em termos de massa de lixo urbano, foram semelhantes ao obtidos por BARROS (2004), cuja caracterização está apresentada no Quadro 17.

Quadro 17 - Composição gravimétrica do lixo de Viçosa, calculada com base na massa úmida

COMPONENTES	QUANTIDADE (%)
Papel/papelão	11,31
Plásticos	15,32
Vidro	2,51
Metais diversos	1,99
Matéria orgânica	65,80
Outros	3,07

Fonte: BARROS (2004).

Pode-se observar, no entanto, que o percentual de matéria orgânica obtida neste trabalho (57,60%) foi inferior àquele observado por BARROS (2004), que foi de aproximadamente 66%, valor usualmente encontrado na literatura.

4.2. Monitoramento do sistema

Quanto ao monitoramento do sistema de tratamento deve-se ressaltar que as discussões abordadas a seguir refletem apenas o período inicial do processo de digestão anaeróbia dos resíduos sólidos urbanos, cuja lenta degradação pode durar anos.

4.2.1. Temperatura da massa dos resíduos

Os resultados das medições diárias de temperatura ambiente e da massa de resíduos sólidos estão apresentados nas Tabelas A.1 a A.4, em anexo, e na Figura 25, discutidos na seqüência do trabalho.

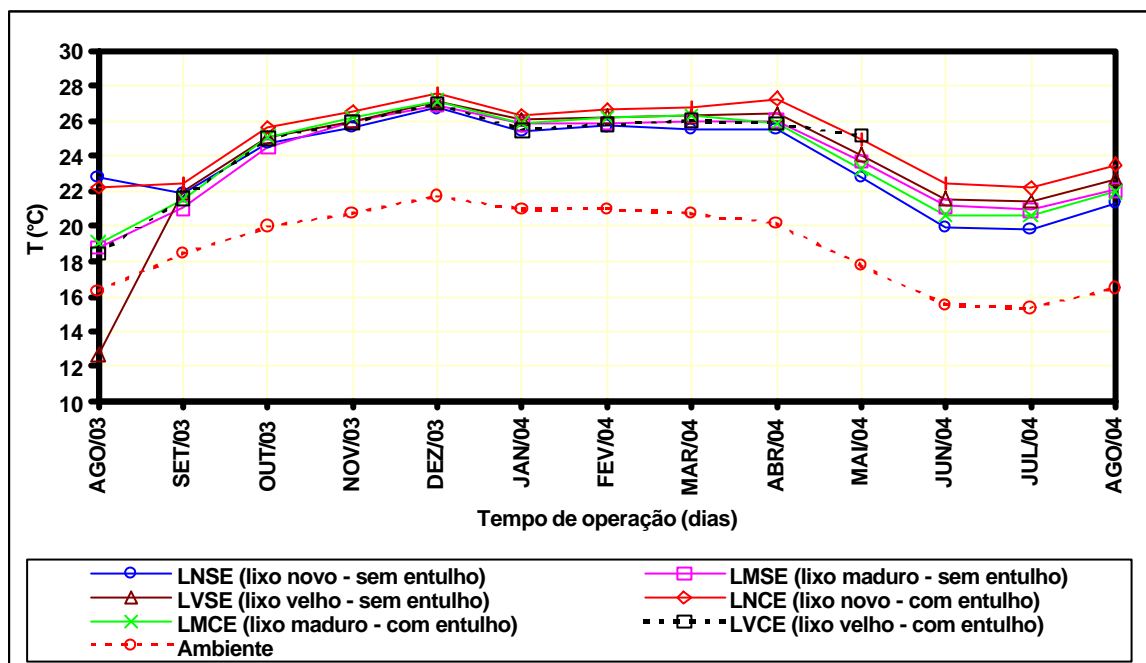


Figura 25 – Temperatura mensal ambiente e da massa de resíduos sólidos nos lisímetros.

Na Figura 25, pode-se observar que a temperatura da massa do resíduo no interior dos lisímetros acompanhou o comportamento da curva da temperatura ambiente, tendo ficado, no entanto, sempre, aproximadamente, 6 °C acima da temperatura ambiente nos valores médios gerais.

A faixa de variação da temperatura no interior dos lisímetros (12,7 °C – LVSE a 27,5° - LNCE) está na faixa normalmente apresentada, faixa mesófila, segundo alguns autores (Quadro 5).

Os valores médios da temperatura da massa de resíduos variaram, nos seis lisímetros, ficando em torno de 24,05 °C, enquanto o lisímetro 1 (LNSE) apresentou média em torno de 23,7 °C. Esses valores são muito próximos dos valores obtidos por LIMA (1988), ao redor de 23,4 °C, em lisímetros sem recirculação de chorume.

Pode-se observar, na Figura 25, que a temperatura na massa em degradação não sofreu variações em razão das recirculações.

4.2.2. Dados meteorológicos e produção de percolado nos lisímetros

Os dados meteorológicos e de produção de percolado nos lisímetros estão listados nas Tabelas A.5 e A.6, em anexo, e discutidos na seqüência do trabalho.

No Quadro 18 está apresentado um resumo mensal dos resultados de produção de líquido percolado nos lisímetros e os dados meteorológicos coletados ao longo do experimento.

Quadro 18 – Dados meteorológicos e de produção mensal de líquido percolado nos lisímetros

Meses	Tméd (°C)	Prec. (mm)	LNSE (mm)	LMSE (mm)	LVSE (mm)	LNCE (mm)	LMCE (mm)	LVCE (mm)	Produção média (mm)
AGO/03	16,28	41,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SET/03	18,44	36,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
OUT/03	19,96	29,80	16,03	0,00	14,04	0,00	0,00	24,87	9,16
NOV/03	20,72	109,80	223,02	137,42	136,93	63,57	79,08	131,43	128,58
DEZ/03	21,72	219,40	320,09	348,41	261,31	277,04	190,85	107,96	250,94
JAN/04	20,95	271,80	319,37	506,46	242,19	318,50	331,50	72,45	298,41
FEV/04	20,99	298,80	341,01	672,75	99,43	306,09	358,05	99,91	312,87
MAR/04	20,73	129,40	233,01	402,22	76,61	201,90	290,55	86,38	215,11
ABRIL/04	20,13	111,20	163,73	347,01	83,02	150,46	218,94	173,96	189,52
MAIO/04	17,76	33,80	58,85	240,71	71,93	46,97	123,99	54,46	99,49
JUN/04	15,50	45,40	80,61	215,96	85,41	57,89	136,73	78,76	109,23
JUL/04	15,31	35,20	52,73	217,54	80,81	8,83	135,54	109,23	100,78
AGO/04	16,47	2,00	32,83	135,61	38,45	0,28	76,15	80,14	60,58
TOTAL ANUAL (mm)		1.364	1.841	3.224	1.190	1.432	1.941	1.020	1.775

A previsão da quantidade de percolado gerado em aterros sanitários é um parâmetro crítico de projeto. O volume deste líquido é resultado do processo de infiltração da água e de outros líquidos pela cobertura da massa de resíduos.

No Quadro 19 está apresentada a quantidade de líquido percolado recirculado quinzenalmente nos lisímetros, conforme procedimentos descritos no item 3.3.4.4, devendo-se lembrar que os percolados gerados nos lisímetros LNSE e LNCE serviram somente de produtores, não receberam percolado, porém, os lisímetros LMSE, LVSE, LMCE e LVCE serviram de produtores e receptores de percolado.

Quadro 19 - Dados de recirculação do líquido percolado nos lisímetros

Data da recirculação	Líquido percolado recirculado (mm)					
	LNSE	LMSE	LVSE	LNCE	LMCE	LVCE
	SEM REC	Recebe LMSE	Recebe LNSE	SEM REC	Recebe LMCE	Recebe LNCE
17/12/2003	xxxxxx	152,87	86,62	xxxxxx	96,82	107,01
24/12/2003	xxxxxx	71,34	10,19	xxxxxx	35,03	8,92
31/12/2003	xxxxxx	152,87	112,10	xxxxxx	72,61	108,28
07/01/2004	xxxxxx	89,17	43,31	xxxxxx	49,68	24,20
14/01/2004	xxxxxx	191,08	129,94	xxxxxx	100,64	117,20
21/01/2004	xxxxxx	143,95	48,41	xxxxxx	80,25	NÃO
28/01/2004	xxxxxx	98,09	101,91	xxxxxx	89,17	NÃO
04/02/2004	xxxxxx	68,79	20,38	xxxxxx	52,23	43,31
11/02/2004	xxxxxx	95,54	62,42	xxxxxx	94,27	NÃO
18/02/2004	xxxxxx	128,66	101,27	xxxxxx	101,91	NÃO
25/02/2004	xxxxxx	105,73	73,89	xxxxxx	84,08	NÃO
03/03/2004	xxxxxx	152,87	138,22	xxxxxx	138,85	141,40
09/03/2004	xxxxxx	114,65	76,43	xxxxxx	58,60	NÃO
16/03/2004	xxxxxx	99,36	48,41	xxxxxx	64,97	40,76
23/03/2004	xxxxxx	117,20	56,05	xxxxxx	76,43	NÃO
30/03/2004	xxxxxx	73,89	25,48	xxxxxx	48,41	NÃO
06/04/2004	xxxxxx	66,24	14,65	xxxxxx	38,22	NÃO
13/04/2004	xxxxxx	128,66	83,44	xxxxxx	72,61	NÃO
20/04/2004	xxxxxx	22,93	66,24	xxxxxx	48,41	NÃO
27/04/2004	xxxxxx	101,91	44,59	xxxxxx	60,51	76,43
04/05/2004	xxxxxx	76,43	23,57	xxxxxx	48,41	50,96
11/05/2004	xxxxxx	64,97	12,74	xxxxxx	73,89	50,96
18/05/2004	xxxxxx	70,06	17,83	xxxxxx	36,94	24,20
25/05/2004	xxxxxx	67,52	14,01	xxxxxx	30,57	50,96
01/06/2004	xxxxxx	45,86	7,64	xxxxxx	25,48	10,19
08/06/2004	xxxxxx	96,82	59,87	xxxxxx	76,43	NÃO
15/06/2004	xxxxxx	56,05	13,38	xxxxxx	36,94	20,38
22/06/2004	xxxxxx	40,76	7,64	xxxxxx	28,03	40,76
29/06/2004	xxxxxx	36,94	6,37	xxxxxx	20,38	40,76
06/07/2004	xxxxxx	31,85	6,37	xxxxxx	15,29	66,24
13/07/2004	xxxxxx	36,94	11,46	xxxxxx	26,75	50,96
20/07/2004	xxxxxx	48,41	10,19	xxxxxx	33,12	50,96
27/07/2004	xxxxxx	53,50	18,09	xxxxxx	40,76	49,68
03/08/2004	xxxxxx	48,41	12,10	xxxxxx	33,12	35,67
10/08/2004	xxxxxx	43,31	6,37	xxxxxx	28,03	78,98
17/08/2004	xxxxxx	33,12	6,37	xxxxxx	17,83	128,66
24/08/2004	xxxxxx	28,03	6,37	xxxxxx	14,01	NÃO
31/08/2004	xxxxxx	22,93	6,37	xxxxxx	10,19	NÃO
TOTAL	xxxxxx	3.078	1.591	xxxxxx	2.060	1.418
MÍNIMO	xxxxxx	22,93	6,37	xxxxxx	10,19	8,92
MÁXIMO	xxxxxx	191,08	138,22	xxxxxx	138,85	141,40

Pode-se observar uma coloração mais escura e odor atenuado nos efluentes dos lisímetros que continham lixo novo. Nos lisímetros que continham lixos mais

velhos, submetidos ao processo de recirculação, a coloração se apresentava mais clara (amarelada) e sem odor atenuado.

4.2.2.1. Produção de percolado

Na Figura 26, estão mostradas as curvas com os resultados comparativos da coleta mensal de percolado dos lisímetros, obtidos durante o período de 317 dias do experimento, bem como a precipitação pluviométrica no mesmo período. A altura total de percolado e a precipitação referente ao período de coleta (1.364 mm) também estão apresentadas no gráfico.

Torna-se importante ressaltar que as maiores lâminas de percolado se deram no período onde ocorreu a maior precipitação, ou seja, de novembro de 2003 a abril de 2004, conforme pode ser verificado no Quadro 18.

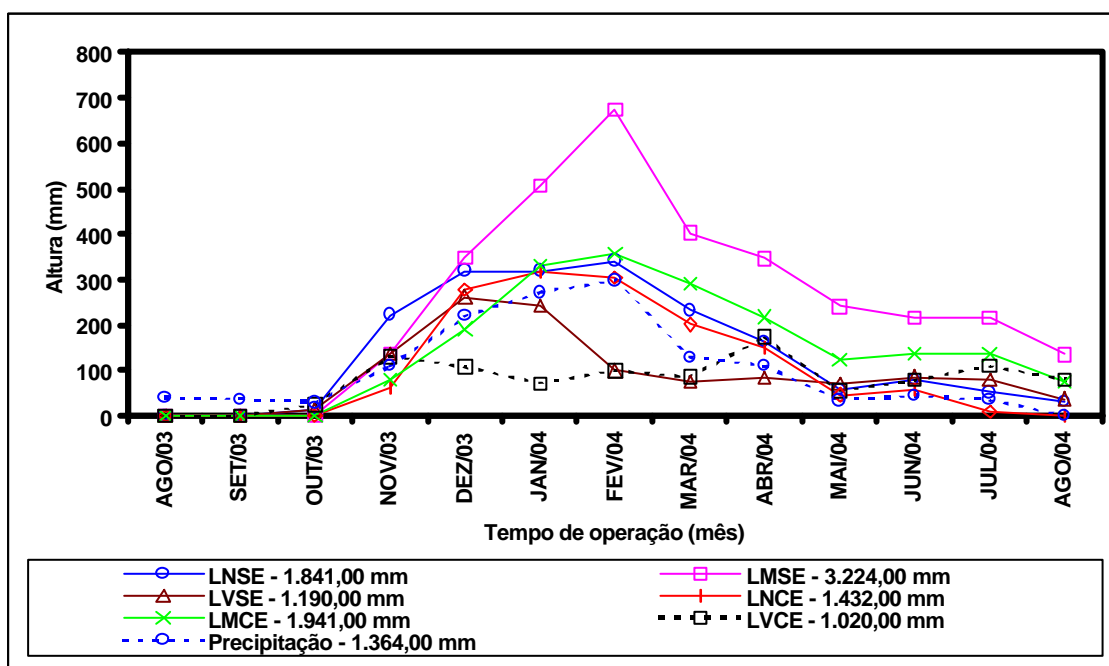


Figura 26 – Produção de percolado nos lisímetros.

Comparando-se a produção de percolado nos lisímetros contendo camada de entulho com os que não a contiveram, verifica-se que os primeiros apresentaram menor lâmina percolada que os outros. Acredita-se que a menor permeabilidade proporcionada pela presença da camada de entulho possa ter restringido a mobilidade da água de chuva e percolados nessas colunas, mantendo o material, permanentemente, com maiores conteúdos de água. A maior umidade do material

concorreu para que houvesse maior evaporação de água, reduzindo, com isso, a lâmina de percolado produzida.

No lisímetro LNSE, no qual não houve recirculação de percolados, a produção de líquido percolado foi de 1.841 mm, superando o valor da lâmina precipitada, estando, porém, abaixo dos valores encontrados nos LMSE e LMCE, contendo lixo maduro e que receberam a recirculação do próprio percolado gerado.

Considerando-se que não houve escoamento superficial (R), que o material permaneceu com a umidade próxima ou acima da capacidade de campo, nesse caso, $AS = 0$, e que a lâmina evaporada (ET), em razão da pequena superfície de exposição e a presença da camada superficial de areia, possa ser negligenciável, a diferença entre a lâmina precipitada (P) e a lâmina percolada (L_v) pode ser considerada como sendo a produção de chorume no LNSE. Feitas essas considerações, a lâmina produzida de chorume foi de 477 mm, valor que representa 25,9% da lâmina total de percolado.

Fazendo-se as mesmas considerações para cálculo da lâmina de chorume produzida no lisímetro LNCE, obtém-se um valor de 68 mm, o que representa 4,7% do total do percolado produzido neste lisímetro. A maior evaporação de água do material, conforme já discutido acima, pode ser a principal razão para as diferenças encontradas nos valores de lâmina produzida de chorume nos lisímetros LNSE e LNCE.

No lisímetro LMSE, a produção de líquido percolado foi de 3.224 mm. Se for considerado o valor da lâmina precipitada, 1.364 mm, verifica-se que a lâmina obtida no LMSE superou o dobro da lâmina precipitada, o que deveria ser obtido, caso a evaporação e a retenção de água pelo material pudessem ser negligenciados e não houvesse a produção de chorume. Assumindo-se a ET e AS iguais a zero, a diferença entre a lâmina de percolado produzida no LMSE e o dobro da lâmina precipitada tem-se o valor de 496 mm, que seria o da lâmina de chorume produzida no LMSE, obtendo-se o valor de 496 mm, o que corresponde a 15,4% da lâmina percolada.

No lisímetro LMCE, a produção de líquido percolado foi de 1.941 mm e o valor da lâmina precipitada foi de 1.364 mm. Fazendo-se as mesmas considerações efetuadas para cálculo da lâmina de chorume produzida no lisímetro LMSE, verifica-se que houve um déficit de 787 mm na lâmina de percolado produzida neste lisímetro. Acredita-se que a presença da camada de entulho tenha, em virtude da

menor velocidade de escoamento do percolado, proporcionando maior evaporação do líquido no LMCE.

No lisímetro LVSE, a produção de líquido percolado foi de 1.190 mm. Como esse lisímetro recebeu lâmina de percolado do LNSE (1.841 mm) e considerando a lâmina precipitada (1.364 mm), obtém-se uma lâmina produzida de 3.205 mm introduzida no LVSE. Contudo, a lâmina de percolado do LVSE representou apenas 37,1% da lâmina introduzida no lisímetro. No lixo velho, a produção de chorume foi menor devido ao material acondicionado se apresentar em maior estágio de degradação e, com isso, maior capacidade de retenção de água, o que deve ter favorecido a evaporação.

No lisímetro LVCE, a produção de líquido percolado foi de 1.020 mm. Da mesma forma como foi discutido em relação aos resultados obtidos no lisímetro LVSE, deve-se considerar que o LVCE recebeu a lâmina de percolado do LNCE (1.432 mm) mais a lâmina precipitada (1.364 mm), totalizando uma lâmina produzida de 2.796 mm. Sendo assim, a lâmina de percolado do LVCE representou 36,5% da lâmina introduzida no lisímetro, apresentando a menor lâmina de percolado em relação aos demais lisímetros. Em determinados períodos, conforme estão relacionados no Quadro 19, não houve infiltração da lâmina precipitada e nem da lâmina percolada do lisímetro LNCE devido à saturação na massa de resíduos do LVCE, naturalmente mais compactado e com baixa macroporosidade, fazendo com que fechasse os poros existentes na mesma, favorecendo a evaporação e, dificultando assim, a infiltração do líquido nas camadas. Devido a isso, pode-se observar que, neste período, o lisímetro LVCE apesar de não receber a lâmina precipitada e nem a lâmina do percolado, continuou a produzir percolado.

A maior infiltração e, conseqüentemente, maior geração de percolado nos lisímetros do que o normalmente observado em aterros sanitários é devido ao tipo de cobertura usado, que no caso desse experimento foi um material arenoso, de maior permeabilidade do que o solo argiloso, que normalmente é utilizado como cobertura em aterros sanitários.

4.2.3. Caracterização física, química e bioquímica do percolado dos lisímetros

Nas Figuras de 27 a 43, serão apresentadas as curvas referentes aos atributos físicos, químicos e bioquímicos nos percolados produzidos, ao longo de todo o período de operação do sistema.

4.2.3.1. Sistema ácido/base

O sistema ácido/base é descrito basicamente por três parâmetros intrinsecamente relacionados: o pH, a alcalinidade e a concentração de ácidos graxos voláteis, que são os reguladores dos processos bioquímicos que ocorrem na digestão anaeróbia dos resíduos.

Na Figura 27 estão mostrados os valores de pH nos percolados dos lisímetros submetidos aos tratamentos sem recirculação e com recirculação. Verifica-se nesta figura apresentada e nas demais que se seguem que as coletas de percolado para caracterização física e química em todos os lisímetros foram iniciadas apenas no 106º dia após o preenchimento dos lisímetros.

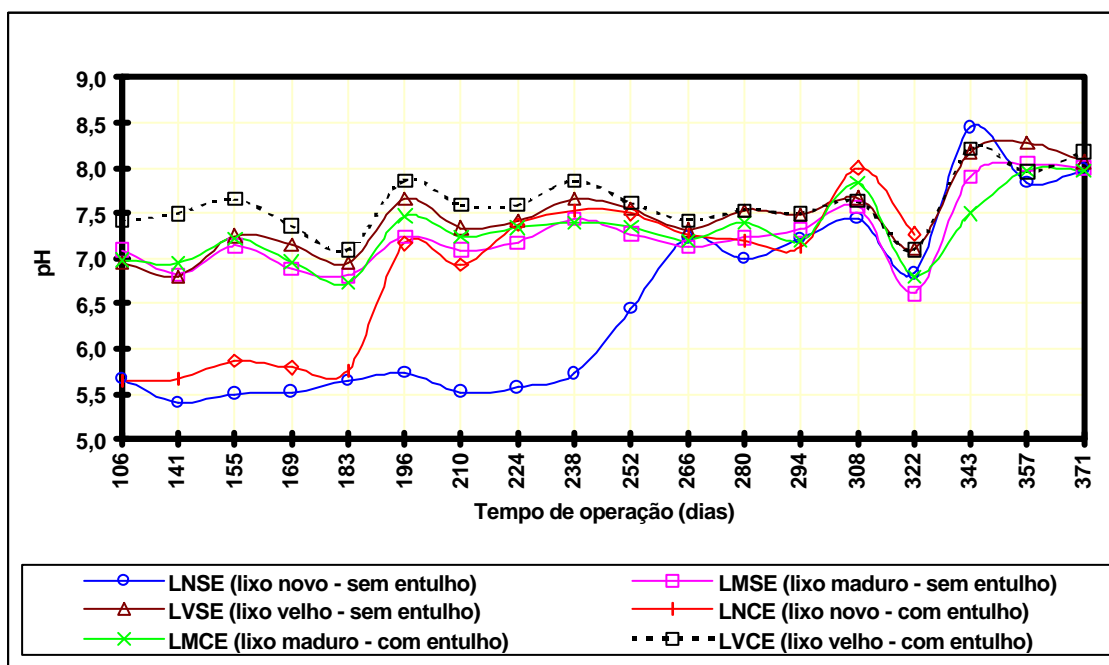


Figura 27 - Evolução temporal do pH no percolado dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.

O pH do lisímetro LNSE manteve-se ácido no período inicial do monitoramento, ou seja, nos primeiros 130 dias de produção de percolado, tendo sido obtidos valores entre 5,40 e 5,72. Os mais baixos valores de pH obtido no percolado dos lisímetros contendo lixo novo devem-se ao caráter ácido desses efluentes, formado na decorrência do estágio inicial do material orgânico, que proporcionou a solubilização de materiais inorgânicos (ferro, manganês, zinco, cálcio e magnésio). Esses valores baixos de pH favorecem, também, o aparecimento de maus odores, com a liberação de gás sulfídrico (H_2S), amônia (NH_3) e outros gases causadores de maus odores.

Com a degradação do material orgânico, a fase de degradação ácida foi se encerrando e as bases solubilizadas do material orgânico passaram, após cerca de 160 dias de produção de chorume, a gerar um efluente de caráter neutro a alcalino.

Os valores de pH do percolado do lisímetro LNCE, inicialmente, se mantiveram semelhantes aos obtidos no percolado do lisímetro LNSE, elevando-se, posteriormente, até atingir o patamar 7,16, no 196º dia de operação. Após o 266º dia de operação, o material orgânico contido nos dois lisímetros se manteve na mesma faixa de pH, isto é, entre 7 e 8.

A mais rápida neutralização da acidez do percolado no lisímetro LNCE deve-se à presença da camada de entulho de construção civil posicionada na base da massa de resíduos. A presença de carbonatos e hidróxidos (presentes em cimento e cal) foi capaz de neutralizar a acidez gerada no chorume.

Os valores de pH do percolado dos lisímetros que receberam recirculação, ou seja, LMSE, LVSE, LMCE e LVCE apresentaram valor mínimo de 6,61 (LMSE) e máximo de 8,28 (LVSE), mostrando que as recirculações do percolado, praticamente, não interferiram no comportamento das curvas de pH. Os compostos orgânicos simples formados na fase acetogênica são consumidos por bactérias estritamente anaeróbias, denominadas bactérias metanogênicas, que dão origem ao metano (CH_4) e ao gás carbônico (CO_2). Essas bactérias desenvolvem-se preferencialmente em valores de pH próximos do neutro (pH = 7,0), entre 6,6 e 7,3, fazendo reduzir a solubilidade de compostos inorgânicos e diminuindo a condutividade elétrica no chorume. Com o consumo de ácidos voláteis simples produzidos na fase anterior, o valor do pH, que era ácido, começou a aumentar, favorecendo o aparecimento desse tipo de bactéria.

Segundo CHRISTENSEN et al. (1991), 8,0 é o valor típico do pH do chorume em aterro sanitário durante a fase metanogênica.

4.2.3.2. Condutividade Elétrica (CE)

Na Figura 28 estão mostradas as medidas de condutividade elétrica do percolato dos lisímetros submetidos aos tratamentos sem recirculação e com recirculação. Esses valores foram elevados em razão das grandes quantidades de sais presentes, liberados com a degradação do material orgânico, nas amostras. Os valores de CE no percolato dos lisímetros preenchidos com o lixo novo (LNSE e LNCE) foram, permanentemente, mais elevados que os obtidos nos percolados dos demais lisímetros, o que se deu à maior solubilização de íons do material novo do que dos mais estabilizados.

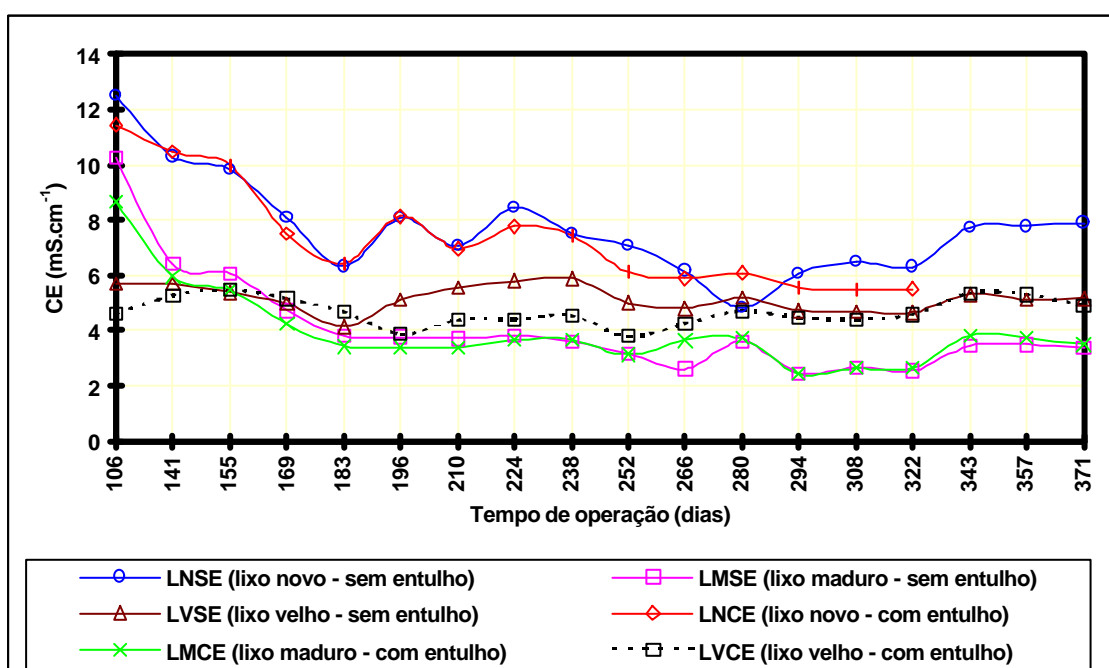


Figura 28 – Evolução temporal da condutividade elétrica no percolato dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.

Em relação aos valores médios, tanto o LNSE (7,70 mS.cm⁻¹) como o LNCE (7,39 mS.cm⁻¹) mantiveram a mesma tendência, não tendo a camada de entulho de construção, colocada na base do lisímetro LNCE, influência na condutividade elétrica do percolato, se comparado ao LNSE, já que os valores médios se mostraram bem próximos.

Para Chian & Dewalle (1977), citados por QASIM & CHIANG (1994), estes valores estão dentro dos limites que definem a idade do aterro, apresentados no Quadro 1, que ficou caracterizado como tendo idade inferior a 1 ano.

Os resultados da análise de condutividade não sofreram variações significativas com as recirculações, apesar de diminuir levemente, conforme está apresentado na Figura 28. Os valores médios foram $4,09 \text{ mS.cm}^{-1}$ (LMSE), $5,16 \text{ mS.cm}^{-1}$ (LVSE), $3,96 \text{ mS.cm}^{-1}$ (LMCE) e $4,68 \text{ mS.cm}^{-1}$ (LVCE).

Comparando-se as curvas de CE no percolado produzido nos lisímetros preenchidos com lixo maduro (LMSE e LMCE) com as obtidas nos lisímetros preenchidos com lixo velho (LVSE e LVCE), notadamente a partir do 266º dia de operação do sistema, verificou-se que ocorreram maiores valores nos últimos. O constante recebimento de percolados recirculados contendo maior quantidade de sólidos dissolvidos do LNSE e LNCE, comparativamente aos de lixo maduro (LMSE e LMCE) proporcionou a obtenção desses resultados.

O percolado dos lisímetros preenchidos com lixo novo e maduro apresentou tendência de redução da CE com o tempo de operação do sistema. No lixo velho foi encontrada certa estabilidade nos valores de CE com o tempo, mesmo sendo os lisímetros, com eles preenchidos, receptores do percolado com altos valores de CE (provenientes dos lisímetros preenchidos com lixo novo). Nesse caso, acredita-se que a retenção de grande quantidade de íons do percolado recirculado ocorreu por adsorção ou quelação/complexação pelo material orgânico.

De maneira geral, a presença da camada de entulho não proporcionou efeitos significativos na CE do percolado. Entende-se que, ou a retenção iônica pela formação de precipitados teria sido desprezível ou a substituição de bases, deslocadas da camada de entulho para a solução em percolação, teria contrabalançado a retenção de íons nessa camada.

4.2.3.3. Matéria orgânica

A presença da matéria orgânica no percolado dos lisímetros se deu pela determinação da DBO, DQO e COT. Portanto, suas taxas de decaimento ao longo do período de operação do sistema refletem a estabilização da matéria orgânica.

4.2.3.3.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Na Figura 29 estão mostradas as concentrações de DBO do percolado dos lisímetros submetidos aos tratamentos sem recirculação e com recirculação.

A DBO dos lisímetros LNSE e LNCE do tratamento convencional, sem recirculação, decaiu ao longo do período de operação do sistema. Observam-se valores muito altos de DBO no percolado produzido nos lisímetros preenchidos com lixo novo, intermediários no percolado dos lisímetros preenchidos com lixo velho, sem camada de entulho, e mais baixos nos lisímetros preenchidos com lixo maduro e naquele preenchido com lixo velho e que continha camada de entulho de construção. Os elevados valores de DBO e baixos de pH encontrados no percolado de lixo novo são características da fase acidogênica de degradação do material orgânico.

A partir do dia 24 de março de 2003 (210º dia de operação do sistema), os valores de DBO começaram a diminuir no percolado do lixo novo, onde a camada de entulho de construção esteve presente, indicando possível influência desse material no processo. Suspeita-se que a camada de entulho possa ter atuado como biofiltro, com remoção de DBO pela ação de microorganismos presentes no biofilme formado na superfície do material constituinte do entulho de construção.

A DBO do percolado produzido no LVSE, que recebia o percolado do LNSE, se manteve alta no período inicial de coleta, se forem comparados com os valores encontrados no percolado produzido nos demais lisímetros que sofreram o processo de recirculação, conforme está apresentado na Figura 29. Após 6 meses de operação do sistema, os valores de DBO praticamente se igualaram, provando a eficiência do processo de recirculação na depuração do percolado. A camada de entulho contida na base do lixo velho fez baixar a DBO na fase inicial analisada e após o 252º dia de operação, ambas as curvas (LVSE e LVCE) apresentaram a mesma tendência.

O acentuado decréscimo nos valores de DBO no percolado foi melhor nos lisímetros preenchidos com lixo maduro e velho do que os obtidos no percolado dos lisímetros preenchidos com lixo novo.

O efeito da presença da camada de entulho de construção nos lisímetros LNCE e LVCE reduziu os valores de DBO no percolado.

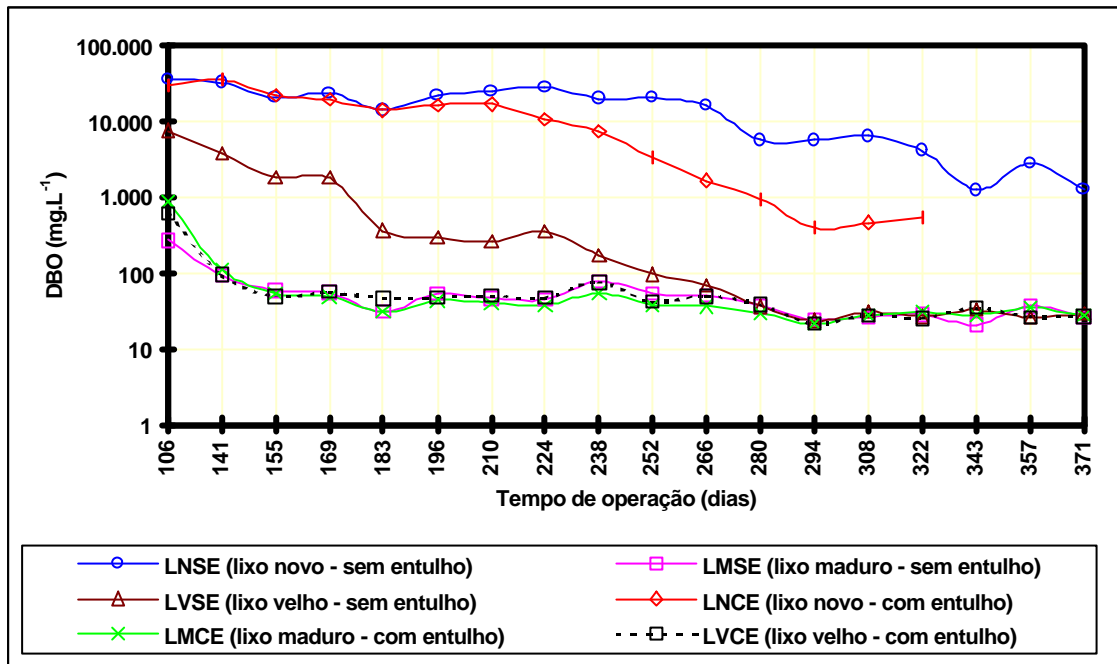


Figura 29 – Evolução temporal da DBO no percolato dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.

A alta capacidade de remoção de DBO do lixo velho, notadamente nos lisímetros que continham a camada de entulho em sua base, são indicativos da grande capacidade de sistemas de recirculação, adequadamente operadas, em remover carga orgânica do percolato.

4.2.3.3.2 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Os valores de DQO, tal como a DBO dão indicativos da contaminação orgânica e, por conseqüência da estabilização da matéria orgânica.

Na Figura 30 estão mostradas as concentrações de DQO no percolato dos lisímetros submetidos aos tratamentos sem recirculação e com recirculação, sendo observado comportamento muito semelhante ao obtido para a DBO, podendo as mesmas discussões ser estendidas a este item. Os elevados valores de DQO e baixos de pH encontrados no percolato de lixo novos também são características da fase acidogênica de degradação do material orgânico.

Verificou-se decréscimo constante nos valores de DQO no percolato gerado nos lisímetros que continham lixo novo. Pode-se verificar, também, acentuado decréscimo nos valores de DQO do percolato submetido à recirculação,

notadamente a partir do 169º dia de operação do sistema. A partir daí, há certa estabilização nos valores que passaram a se manter entre 200 e 400 mg.L⁻¹.

Dividindo o valor médio da DBO (16.034,00 mg.L⁻¹) do percolato pelo valor médio da DQO (34.346,00 mg.L⁻¹) do mesmo, obtém-se valor igual a 0,5 no LNSE. Esse valor denota que o percolato é relativamente biodegradável.

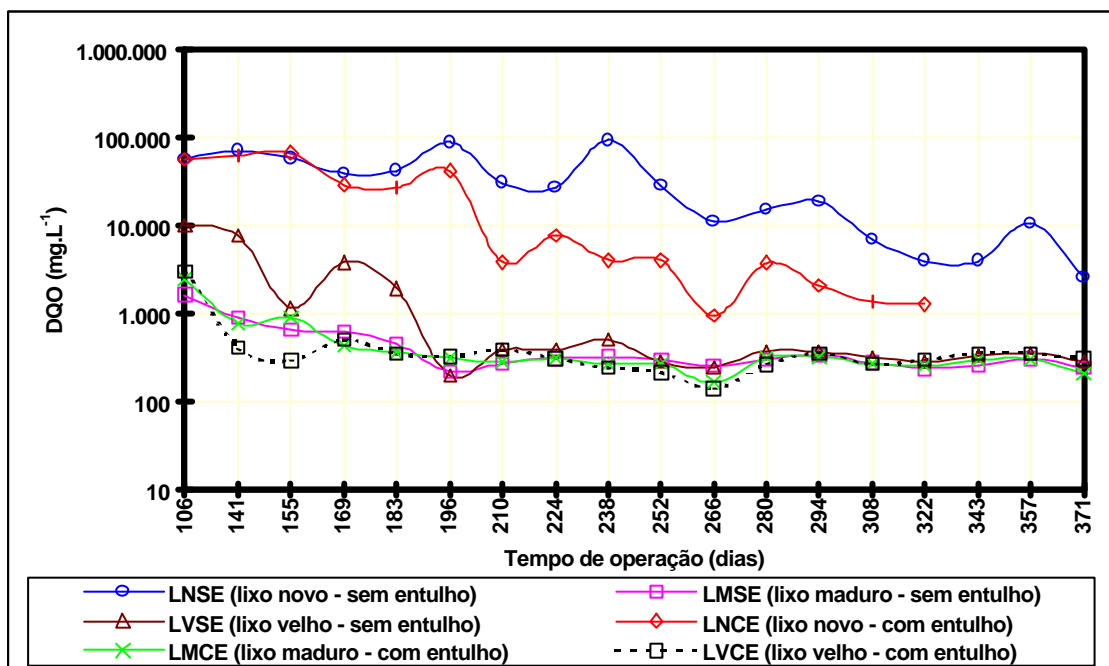


Figura 30 - Evolução temporal da DQO no percolato dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.

A camada de entulho proporcionou redução nos valores de DQO no percolato produzido nos lisímetros preenchidos com lixo novo, maduro e velho.

De forma idêntica ao que foi abordado anteriormente para DBO, o sistema mostrou-se de grande capacidade para remoção de DQO de lixo urbano.

4.2.3.3.3 Carbono Orgânico Total (COT)

Na Figura 31 estão mostradas as concentrações de COT do percolato dos lisímetros submetidos aos tratamentos sem recirculação e com recirculação.

As discussões apresentadas nos itens referentes a DBO e DQO também estão adequadas neste item, uma vez que estes atributos, principalmente a DBO, expressam de certa forma a concentração de COT no efluente.

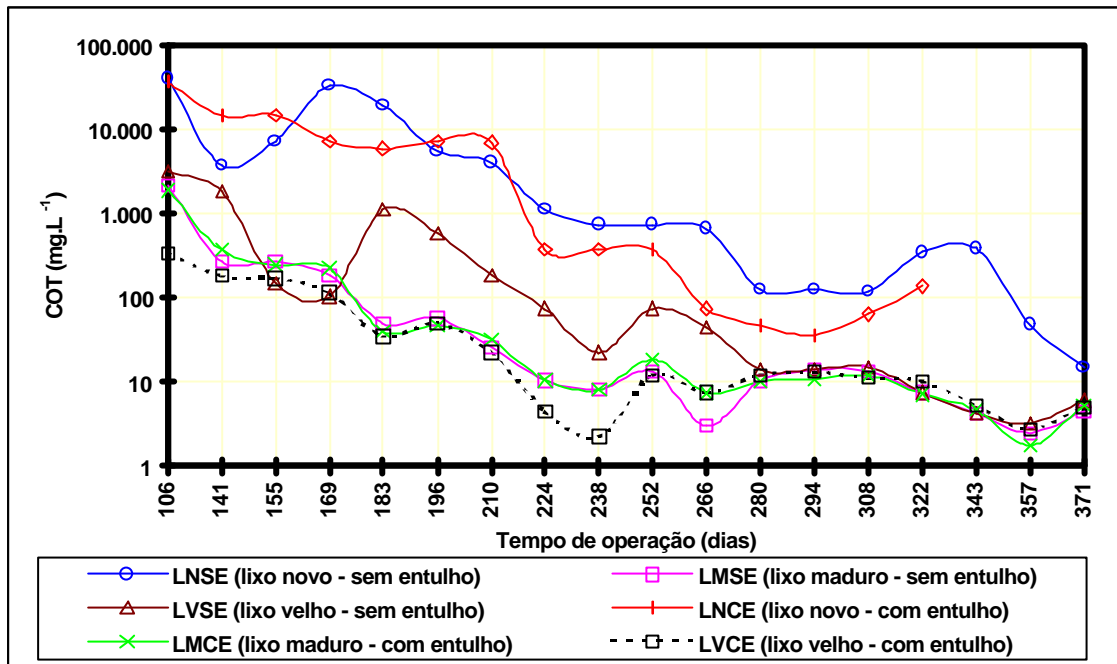


Figura 31 - Evolução temporal de COT no percolado dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.

A concentração de COT dos lisímetros LNSE e LNCE do tratamento convencional, sem recirculação, decresceu ao longo do período de operação do sistema. Os valores apresentados foram da ordem de 41.250 para até 15 mg.L⁻¹ (LNSE) e 37.500 para até 35 mg.L⁻¹ (LNCE).

A concentração de COT dos lisímetros submetidos ao tratamento com recirculação manteve tendência de decréscimo ao longo do período de monitoramento. Os valores apresentados foram da ordem de 2.175,00 para até 2,50 mg.L⁻¹ no (LMSE), de 3.187,50 para até 3,25 mg.L⁻¹ no (LVSE), de 1.912,50 para até 1,75 mg.L⁻¹ no (LMCE) e de 345,00 para até 2,25 mg.L⁻¹ (LVCE). O percolado produzido no LVSE, que recebeu o percolado do LNSE durante o período de 169º a 280º dias de operação do sistema apresentou alguns picos de concentração, principalmente no final do período chuvoso, mas depois seguiu a mesma tendência do percolado dos demais lisímetros.

Os resultados apresentados indicam que o entulho de construção influenciou o COT tanto nos percolados produzidos nos lisímetros preenchidos com lixo novo como nos produzidos nos lisímetros preenchidos com lixo maduro e velho, os quais foram submetidos à recirculação do percolado.

4.2.3.4. Sólidos

Na Figura 32 estão mostradas as concentrações de ST do percolato dos lisímetros submetidos aos tratamentos sem recirculação e com recirculação, tendo o percolato gerado nos lisímetros preenchidos com lixo novo apresentado acentuado decréscimo ao longo do período de operação do sistema.

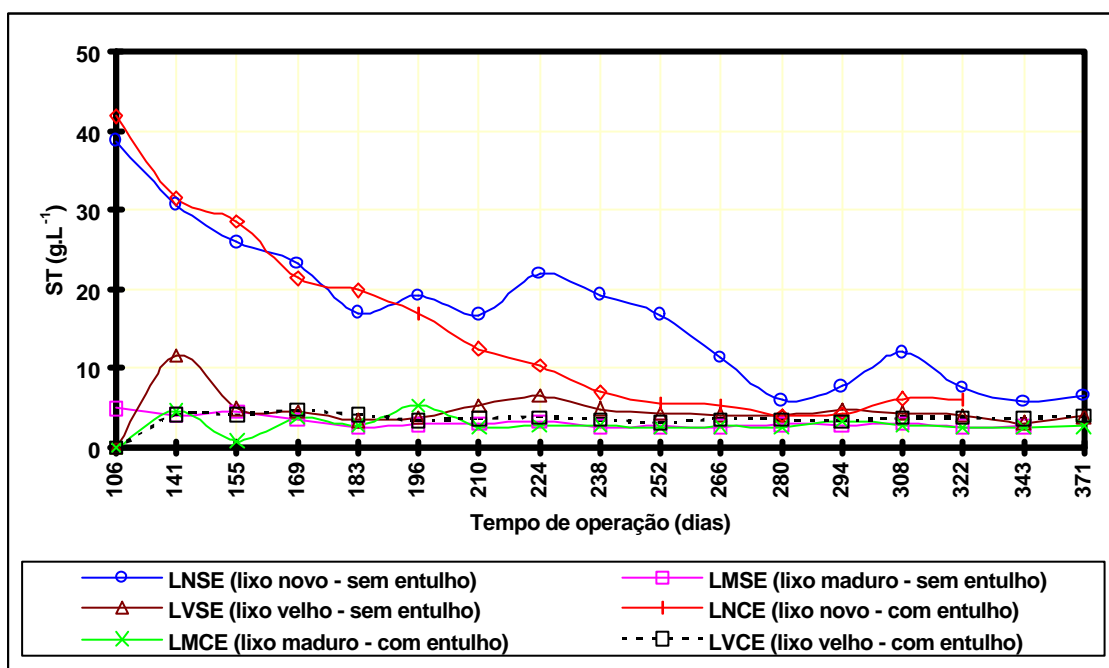


Figura 32 - Evolução temporal de ST no percolato dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.

Percebeu-se decréscimo nos valores de ST de 38,83 para até 5,94 g.L⁻¹ (LNSE), de 41,83 para até 4,16 g.L⁻¹ (LNCE), de 4,99 para até 2,55 g.L⁻¹ (LMSE), de 11,61 para até 3,15 g.L⁻¹ (LVSE), de 5,33 para até 0,87 g.L⁻¹ (LMCE) e de 4,73 para até 3,19 g.L⁻¹ (LVCE).

As baixas concentrações de ST no percolato dos lisímetros preenchidos com lixo velho (LVSE e LVCE) comprovam a grande capacidade desse sistema em remover sólidos presentes no percolato de lixo novo, sabidamente possuidores de altas concentrações de sólidos.

No período de 196 a 280 dias após o preenchimento dos lisímetros foi observada diferença na concentração de ST no LNSE e LNCE, o que pode ser decorrente da menor velocidade de escoamento do líquido em razão da menor permeabilidade observada na coluna com camada de entulho.

No caso do lixo novo e velho, a camada de entulho de construção civil proporcionou redução na concentração de ST com o tempo de operação do sistema.

Na Figura 33 estão mostradas as concentrações de SF do percolato dos lisímetros submetidos ao tratamento sem recirculação e com recirculação, cujo comportamento foi semelhante ao do ST, razão porquê as mesmas discussões anteriormente apresentadas são pertinentes.

As análises das séries de sólidos fixos não sofreram variações significativas no tratamento convencional, sem recirculação. Percebe-se decréscimo nos valores de 16,83 para até 2,61 g.L⁻¹ (LNSE), de 17,24 para até 2,48 g.L⁻¹ (LNCE), de 3,99 para até 1,76 g.L⁻¹ (LMSE), de 5,81 para até 1,90 g.L⁻¹ (LVSE), de 4,87 para até 0,66 g.L⁻¹ (LMCE) e de 3,82 para até 2,80 g.L⁻¹ (LVCE).

A presença da camada de entulho de construção civil alterou significativamente o comportamento das curvas de sólidos fixos.

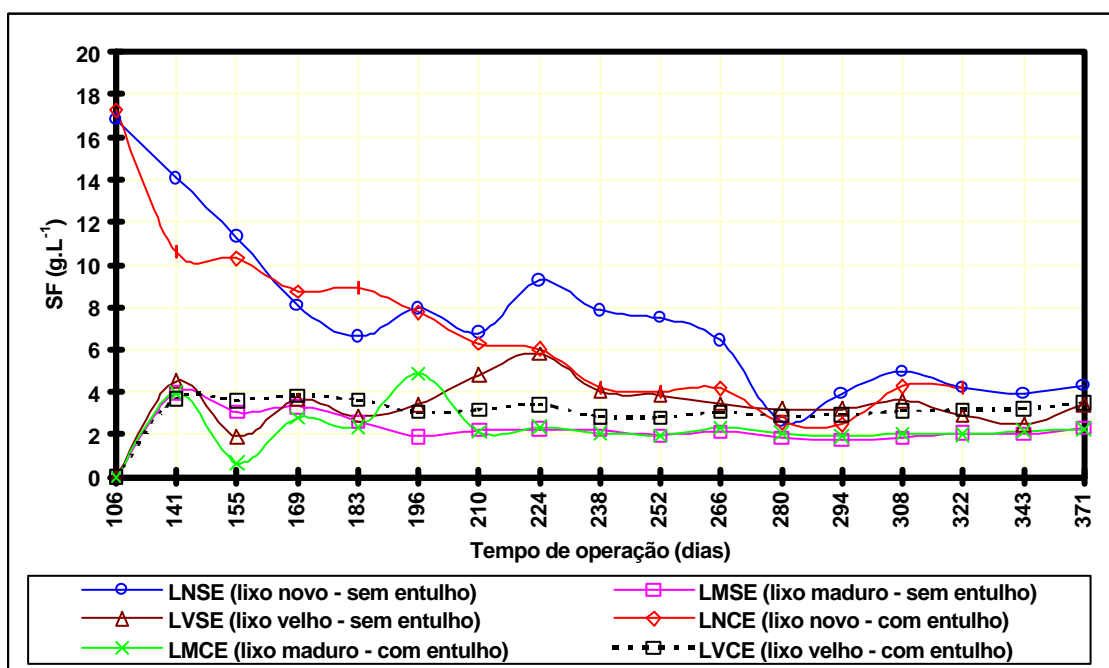


Figura 33 - Evolução temporal de SF no percolato dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.

Na Figura 34 estão mostradas as concentrações de SV do percolato dos lisímetros submetidos aos tratamentos convencionais, sem recirculação e com recirculação, de comportamento, também, muito semelhante ao de ST e SF.

O comportamento das curvas de SV é bem parecido com os de DBO e DQO do LNSE e LNCE, pois ambos os atributos são importantes na caracterização do estágio de degradação dos resíduos sólidos orgânicos, indicando, assim, o grau de estabilização da matéria orgânica.

As análises das séries de sólidos voláteis não sofreram variações significativas no tratamento convencional, sem recirculação. Percebe-se também decréscimo nos valores de 22,00 para até 2,01 g.L⁻¹ (LNSE), de 17,07 para até 0,41 g.L⁻¹ (LNCE), de 17,07 para até 0,41 g.L⁻¹ (LMSE), de 7,09 para até 0,49 g.L⁻¹ (LVSE), de 11,86 para até 0,22 g.L⁻¹ (LMCE) e de 23,70 para até 0,39 g.L⁻¹ (LVCE). Nota-se, no entanto, que a recirculação proporcionou redução na concentração dos sólidos analisados.

A camada de entulho se mostrou eficiente na remoção de SV do percolado dos lisímetros preenchidos com lixo novo, praticamente durante quase todo o período de experimentação, e, principalmente, a partir do 196º dia de operação do sistema.

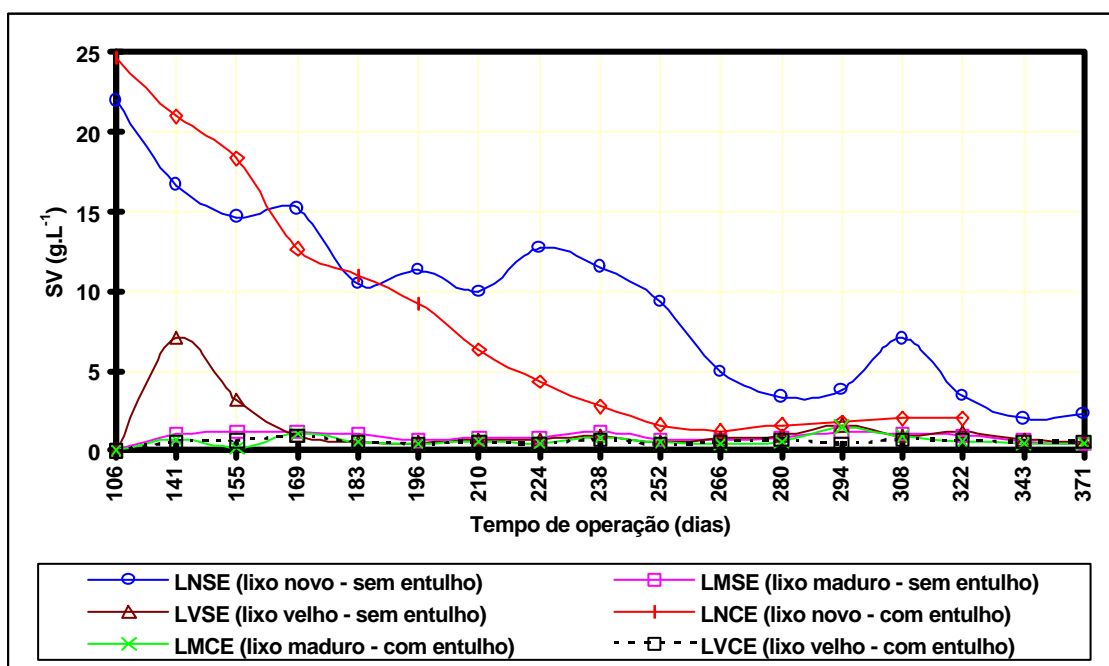


Figura 34 - Evolução temporal de SV no percolado dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.

A evolução temporal das concentrações de SST nos percolados analisados está apresentada na Figura 35.

Nos primeiros 4 meses de experimentação, as concentrações de SST nos percolados do LNSE e LNCE mantiveram-se próximas e mais altas que nos outros percolados, porém, a partir daí, os valores das concentrações do LNSE divergiram bastante dos obtidos no LNCE, o que pode ter ocorrido por influência da camada de entulho.

Nos percolados dos lisímetros com recirculação, os valores das concentrações divergiram também, embora com menor intensidade, principalmente no lixo maduro que recebeu recirculação do seu próprio percolado.

Acredita-se que a maior concentração de SST no percolado do LNSE e LNCE, observada a partir do 183º dia de operação do sistema, deve-se ao desprendimento de material, principalmente orgânico, de pequenas dimensões ou de cadeia química longa, da coluna de lixo novo, ocorrida em decorrência do avanço no processo de degradação. Como o lixo maduro e o velho apresentavam-se um estágio de estabilização mais avançado, o mesmo fenômeno não foi observado nos lisímetros.

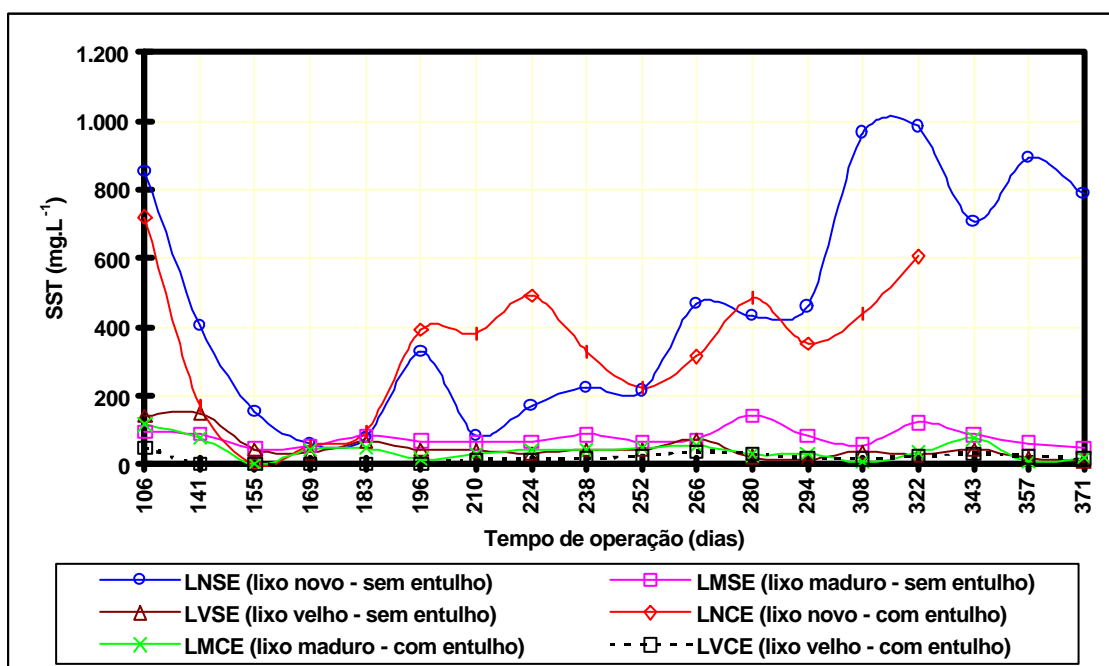


Figura 35 - Evolução temporal de SST no percolado dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.

A grande capacidade do lixo velho em remover SST do percolado proveniente do lixo novo é, no entanto, motivo de destaque, já que demonstrou o efeito positivo desta técnica de recirculação.

A camada de entulho influenciou o comportamento das curvas de SST em função do tempo nos percolados produzidos nos lisímetros.

A evolução temporal das concentrações de SSV no percolado dos lisímetros está apresentada na Figura 36.

Nos primeiros 77 dias de recirculação, as concentrações de SSV no percolado mantiveram uma mesma tendência, porém a partir do 196º dia de operação os valores das concentrações aumentaram bastante no percolado do LNSE e do LNCE, apresentando um comportamento bem parecido com as curvas de SST. Considerando que a degradação da matéria orgânica (aferida principalmente por avaliação dos valores de DBO e DQO) está relacionada à síntese celular dos microrganismos decompositores, o aumento da concentração dos SSV no LNSE e LNCE, a partir do 294º dia de operação, pode ter significado o crescimento da população microbiana (biomassa). Este crescimento poderia ter ocorrido em função da população de arqueas metanogênicas e a conseqüente elevação do pH observado no mesmo período, indicadores da intensificação da atividade metanogênica.

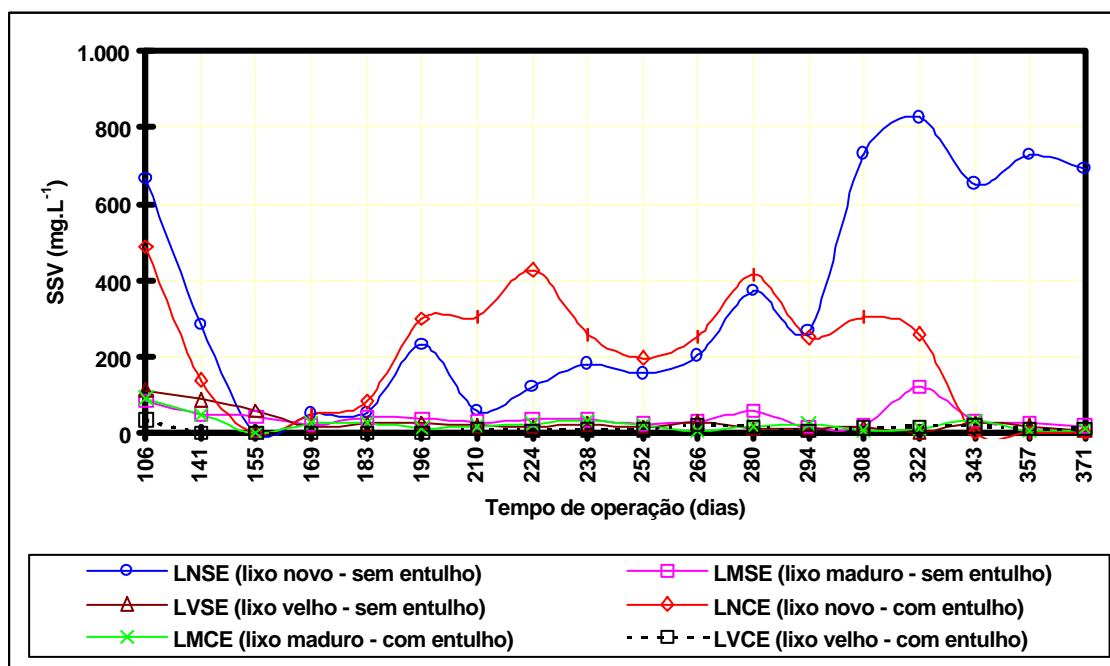


Figura 36 - Evolução temporal de SSV no percolado dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.

Já no tratamento com recirculação, os valores das concentrações mantiveram-se, também, baixos, principalmente devido ao fato que o lixo maduro e velho apresentavam um material orgânico degradado.

A camada de entulho alterou o comportamento das curvas SSV em função do tempo.

A evolução temporal nas concentrações de SSF nos percolados está apresentada na Figura 37.

As concentrações de SSF nos percolados do LNSE e LNCE mantiveram-se próximas, porém a partir de 4 meses de experimentação, os valores encontrados no percolado do LNSE divergiram bastante do LNCE. Já nos tratamentos com recirculação do percolado, os valores das concentrações divergiram com menor intensidade.

Os efeitos da presença da camada de entulho na concentração de SSF no percolado ficaram evidentes quando da recirculação do percolado produzido nos lisímetros preenchidos com lixo maduro (LMSE e LMCE) neles próprios. Nesse caso, a camada de entulho de construção, aparentemente, proporcionou remoção de maior quantidade de SSF.

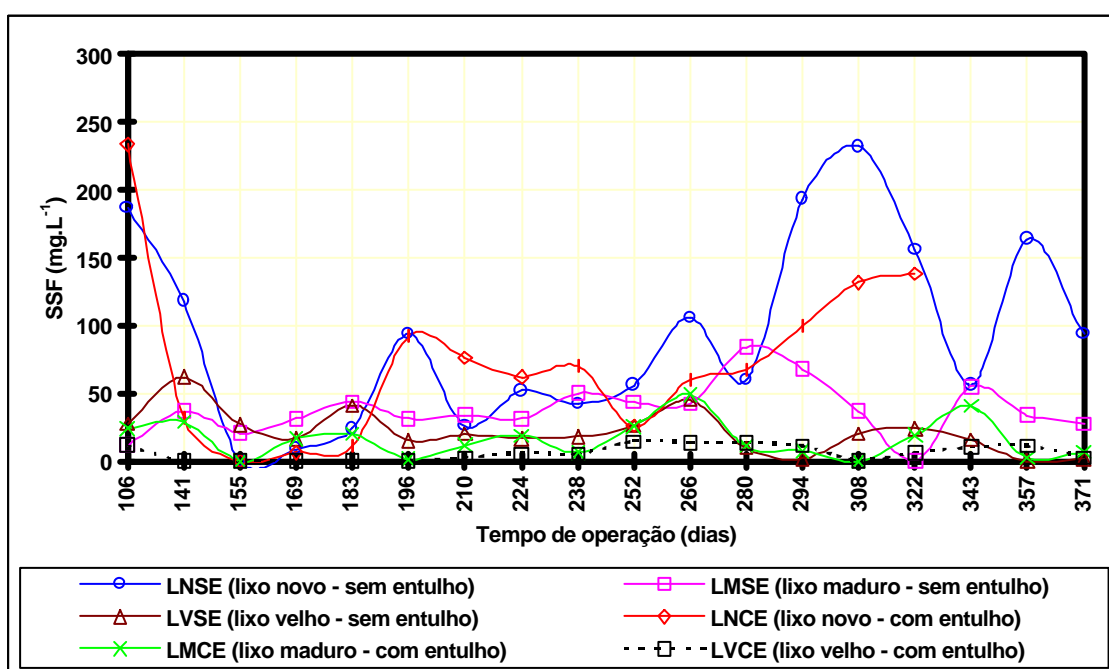


Figura 37 - Evolução temporal de SSF no percolado dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.

Da mesma forma como verificado para o SST e SSV, a recirculação do percolado de lixo novo em colunas de lixo velho e de lixo maduro nele mesmo mostrou-se adequada como forma de reduzir a carga de sólidos do percolado.

A evolução temporal das concentrações de SDT no percolado dos lisímetros está apresentada na Figura 38.

Nos primeiros 4 meses, as concentrações de SDT no percolado do LNSE e LNCE mantiveram-se próximas, porém, a partir daí, os valores das concentrações divergiram, acompanhando comportamento semelhante ao das curvas de DBO, DQO, ST e SV.

Nos tratamentos em que os lisímetros que foram submetidos à recirculação, os valores das concentrações de SDT nos percolados se mantiveram próximos e igualmente baixos, embora tenham sido maiores nos lisímetros LVSE e LVCE, porque receberam o percolado dos lisímetros que continham lixo novo (LNSE e LNCE).

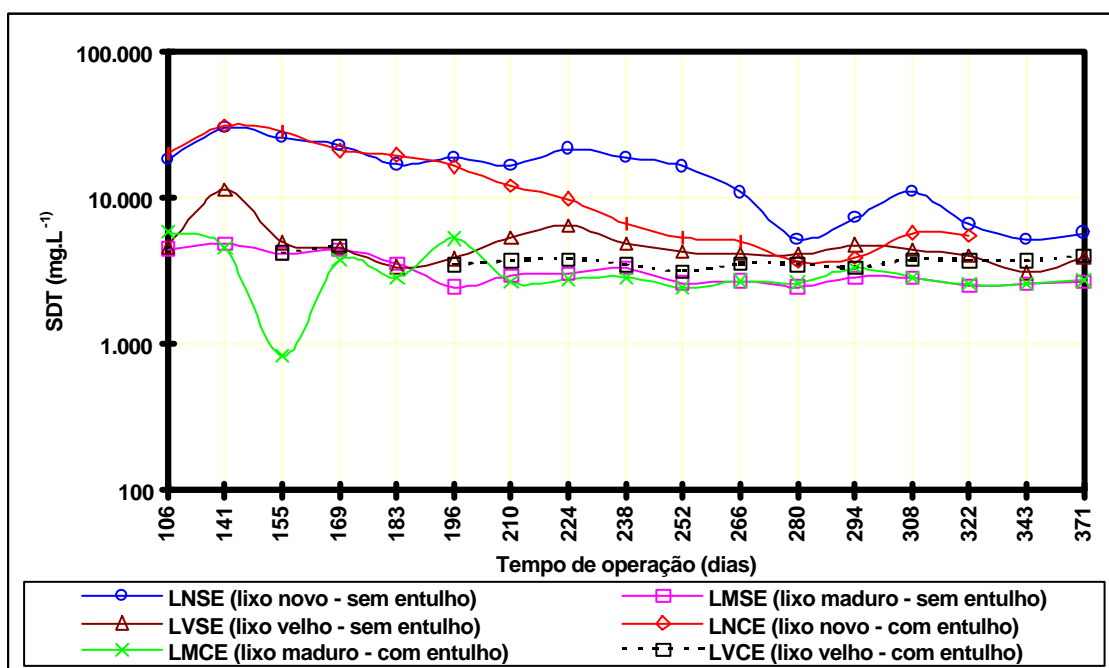


Figura 38 - Evolução temporal de SDT no percolado dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.

A semelhança das curvas de SDT com as associadas à concentração de material orgânico no percolado e não com a da CE é um indicativo de que grande parte dos sólidos dissolvidos presentes no percolado produzido nos lisímetros

preenchidos com lixo novo eram de origem orgânica. Ainda assim, a recirculação do percolato de lixo novo em lixo velho e de lixo maduro nele mesmo mostrou-se capaz de proporcionar a retenção de grande quantidade de SDT.

4.2.3.5. Nutrientes

A evolução temporal das concentrações de nitrogênio total (NT) no percolato dos lisímetros está apresentada na Figura 39.

A concentração de nitrogênio total nos percolados dos lisímetros LNSE e LNCE, que receberam tratamento convencional, sem recirculação, diminuiu ao longo do período de operação do sistema. Os valores decresceram de 1.494,50 para até 459,90 mg.L⁻¹, no LNSE, de 1.395,10 para até 563,50 mg.L⁻¹, no LNCE, permanecendo as curvas de concentração de NT próximas durante todo o período de monitoramento da qualidade do percolato.

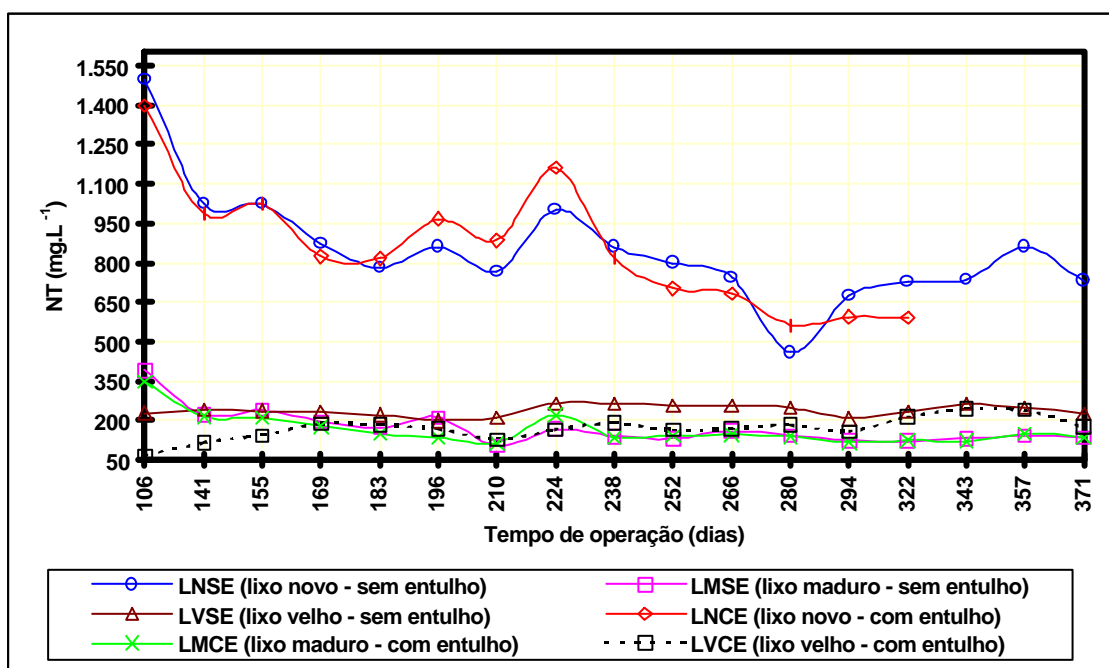


Figura 39 - Evolução temporal de NT no percolato dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.

Os valores da concentração de NT no percolato decresceram de 390,60 para até 102,48 mg.L⁻¹, no LMSE, de 265,44 para até 201,32 mg.L⁻¹, no LVSE, de 346,50 para até 114,80 mg.L⁻¹, no LMCE e de 244,72 para até 67,20 mg.L⁻¹, no LVCE.

Os percolados do lixo velho, sem e com entulho, mantiveram-se com altas concentrações de NT ao longo do período de operação do sistema tendo em vista que os mesmos receberam o percolado do lixo novo.

A recirculação de percolado de lixo novo em lixo velho e de lixo maduro nele mesmo mostrou ser de grande capacidade na remoção de NT no percolado.

O comportamento das curvas é semelhante ao observado para CE e concentração de SDT no percolado, o que pode ser indicativo de que a maior parte do NT encontrada no percolado deve estar na forma solúvel.

De maneira geral, a presença da camada de entulho não proporcionou efeitos significativos na remoção de NT do percolado.

4.2.3.6. Metais

Os resultados do monitoramento estão representados graficamente nas Figuras 40 a 43, exceto aqueles referentes ao cádmio, cobre, crômio, chumbo, níquel e zinco, uma vez que as suas concentrações foram, de um modo geral, quase sempre inferior aos limites de detecção do aparelho utilizado (ver Tabelas A.7 a A.9). Vale lembrar que estes limites são inferiores aos estabelecidos na Resolução CONAMA 20/86 para padrões de lançamentos de efluentes ($0,20 \text{ mg.L}^{-1}$ para o Cd, $< 1 \text{ mg.L}^{-1}$ para o Cu, $< 2 \text{ mg.L}^{-1}$ para o Cr^{+3} , $< 0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ para o Cr^{+6} , $0,50 \text{ mg.L}^{-1}$ para o Pb, $< 2 \text{ mg.L}^{-1}$ para o Ni e $< 5 \text{ mg.L}^{-1}$ para o Zn).

As concentrações de Ca no percolado dos lisímetros LNSE e LNCE (Figura 40) decresceram de $2.995,50$ para até $205,00 \text{ mg.L}^{-1}$ no LNSE e de $3.167,25$ para até $111,25 \text{ mg.L}^{-1}$ no LNCE. A elevada concentração de Ca no percolado desses lisímetros está associada à lixiviação desse cátion, presente de forma mais livre no lixo novo.

Nos tratamentos com recirculação de percolado não houve grande variação na concentração de Ca nos percolados.

Apesar de se saber que o entulho de construção apresenta concentração relativamente elevada de Ca, em razão da presença de cal e de cimento, foi verificada menor concentração desse cátion no percolado do LNCE, notadamente a partir do 183º dia de operação do sistema.

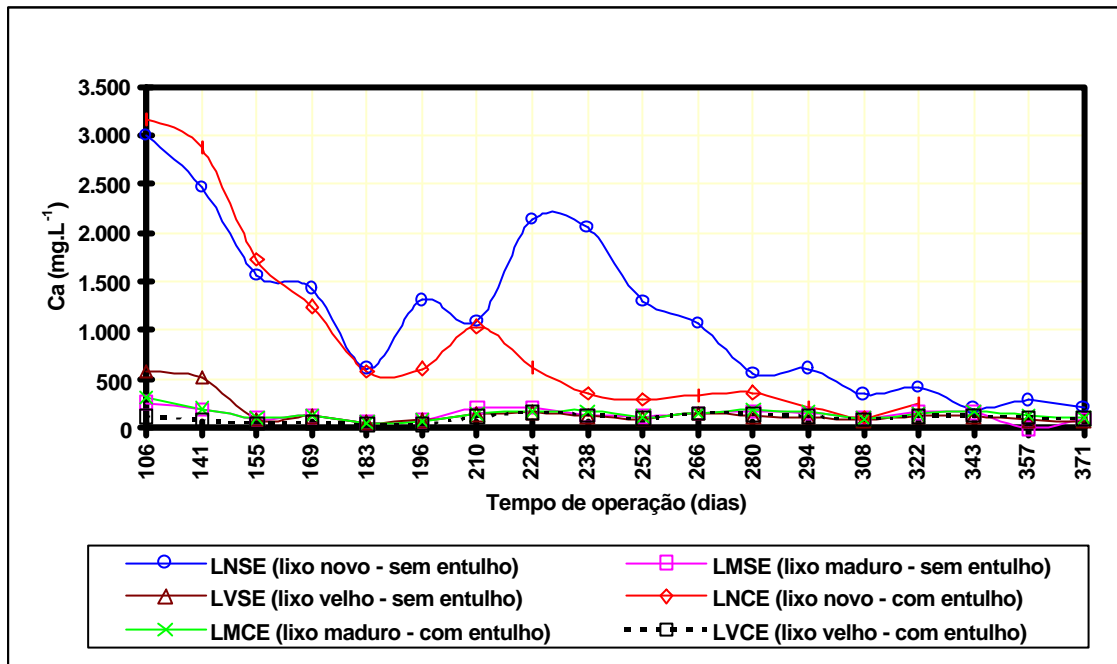


Figura 40 - Evolução temporal de Ca no percolato dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.

O comportamento dessas curvas é semelhante ao observado para ST, SF e, de certa forma, SDT. Isso é um indicativo de que esse cátion foi solubilizado notadamente no período de degradação acidogênica (Figura 27).

A presença de entulho foi capaz de proporcionar redução na concentração de Ca no percolato do LNCE, principalmente a partir do 183º dia de operação do sistema, o que pode ter ocorrido em decorrência da formação de precipitados com pares aniônicos presentes na cal e cimento contidos no entulho de construção.

A recirculação do percolato foi eficiente na remoção de cálcio do percolato de lixo novo.

As concentrações de Mg no percolato dos lisímetros LNSE e LNCE (Figura 41) decresceram de 358,00 para até 72,25 mg.L⁻¹, no LNSE e de 378,75 para até 64,43 mg.L⁻¹, no LNCE. Esta elevada concentração de Mg se deve à jovialidade do lixo utilizado no preenchimento desses lisímetros, possuidor de grande quantidade desse cátion na forma livre ou facilmente lixiviada.

A presença da camada de entulho de construção civil influenciou o comportamento das curvas.

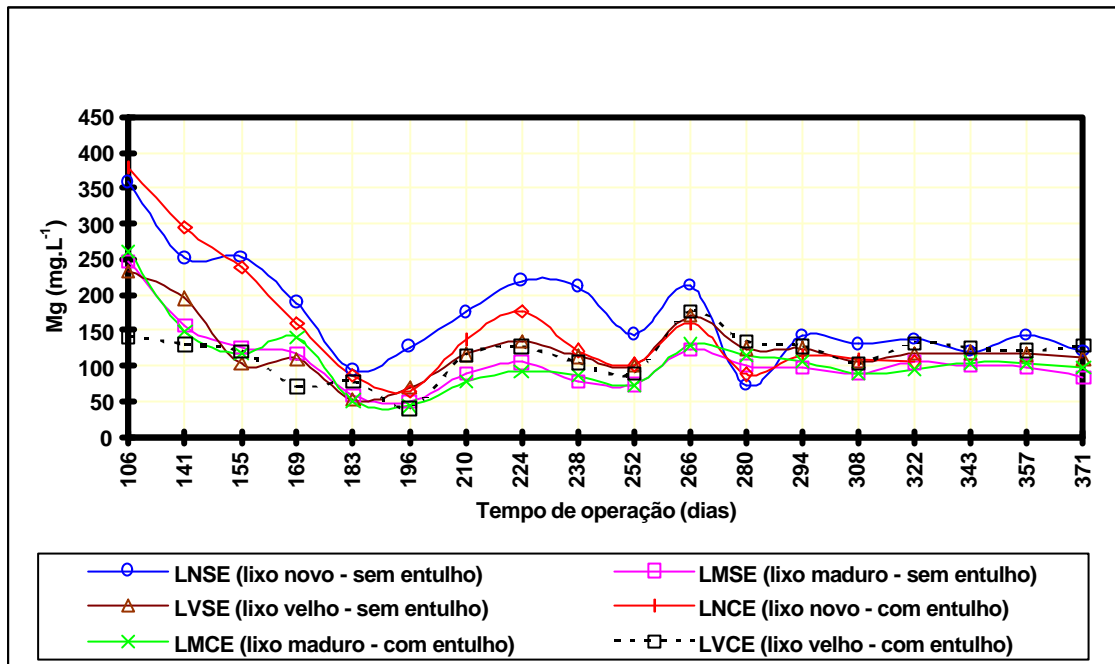


Figura 41 - Evolução temporal de Mg no percolato dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.

Em relação à presença de manganês no percolato dos lisímetros, tanto nos que receberam tratamento convencional, quanto nos que receberam tratamento com recirculação (Figura 42), foram encontradas altas concentrações no início do período de monitoramento do sistema. Posteriormente, houve decréscimo nos valores que, ainda assim, se mantiveram superiores ao padrão para lançamento em corpos receptores, estabelecidos na Resolução CONAMA 20/86, que é de 1,0 mg.L⁻¹.

No período de 183 a 252 dias de operação do sistema houve decréscimo na concentração de Mn no percolato do lixo novo, mostrando que a camada de entulho proporcionou redução na concentração desse elemento, nesse período.

Segundo o IPT/CEMPRE (2000), o manganês encontrado no lixo urbano é oriundo de pilhas comuns e alcalinas, além de lâmpadas fluorescentes.

A recirculação em colunas de lixo velho mostrou-se capaz de proporcionar redução na concentração de Mn no percolato produzido por lixo novo.

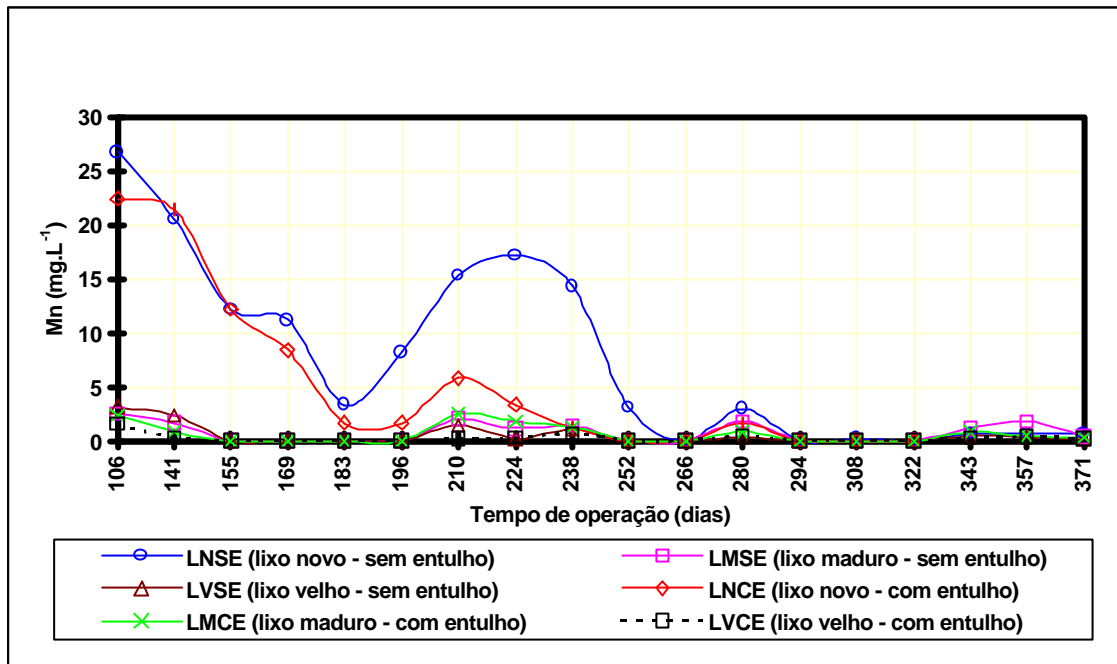


Figura 42 - Evolução temporal de Mn no percolato dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.

Durante o período de monitoramento, o percolato dos lisímetros apresentou altas concentrações de ferro, tanto no tratamento convencional, quanto nos tratamentos com recirculação (Figura 43) e, valores bem superiores ao limite estabelecido na Resolução CONAMA 20/86, que é de 15,0 mg.L⁻¹.

Inicialmente, a concentração de Fe foi alta no percolato do lixo novo, havendo lixiviação das formas menos adsorvidas ou complexadas presentes no material.

Da mesma forma como ocorreu nas curvas de concentração de Ca e Mn, a concentração de Fe no percolato aumentou entre o 183º e 266º dias de operação do sistema, no percolato do LNSE. Neste período, a presença da camada de entulho de construção proporcionou redução na concentração de Fe no percolato do LNCE. A formação de precipitados ou a complexação/quelação no material orgânico de grande superfície específica, retido na camada de entulho, podem ser as razões para o ocorrido.

Segundo o IPT/CEMPRE (2000), o ferro encontrado no lixo urbano é oriundo de material eletrônico, latas e tampas de garrafa. Houve uma grande remoção desse elemento no percolato submetido ao sistema de recirculação e a camada de entulho influenciou na qualidade do mesmo.

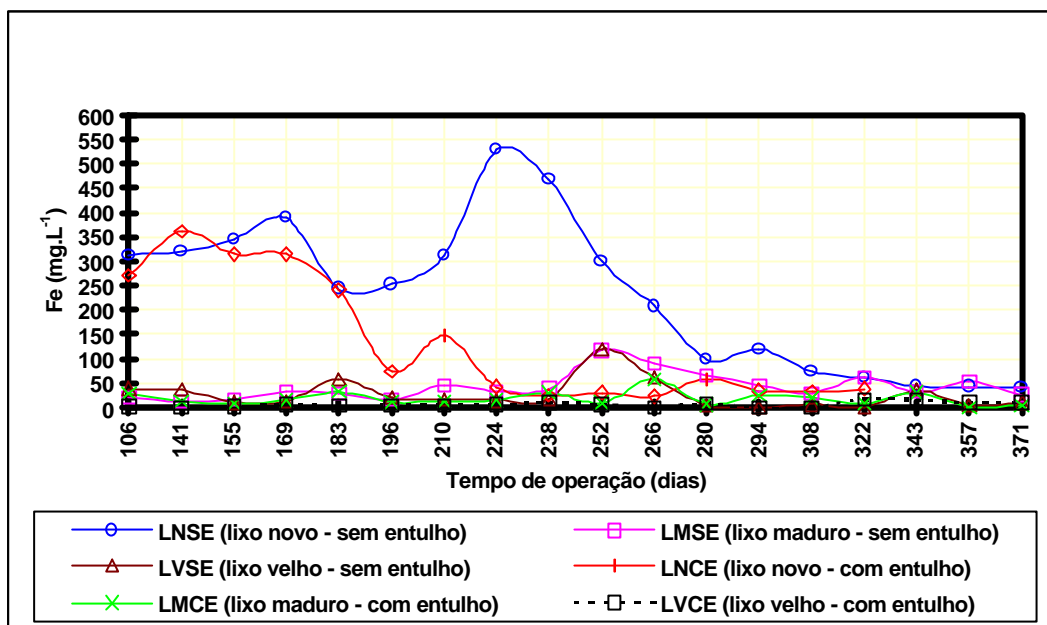


Figura 43 - Evolução temporal de Fe no percolado dos lisímetros submetidos aos tratamentos com e sem recirculação.

4.2.4. Caracterização física e química dos resíduos sólidos retirados dos lisímetros

Os valores dos atributos analisados nas amostras das camadas retiradas da massa de resíduos sólidos da superfície (1^a camada) até a base (8^a camada) dos lisímetros LVSE (lixo velho – sem entulho) e LVCE (lixo velho – com entulho) estão mostrados no Quadro 20 e discutidos nos gráficos apresentados nas Figuras 44 a 48.

Quadro 20 - Valores das características físicas e químicas das camadas dos resíduos sólidos

Parâmetros	Camadas	Nº de camadas							
		1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a	8 ^a
pH	LVSE	8,29	8,25	8,46	8,38	8,55	-	-	-
	LVCE	8,40	8,50	8,53	8,47	8,52	8,53	8,47	8,83
CE (mS.cm ⁻¹)	LVSE	1,60	1,68	1,69	1,56	1,83	-	-	-
	LVCE	1,64	1,84	1,68	1,89	1,62	1,68	1,87	1,21
ST(dag.kg ⁻¹)	LVSE	72,63	73,80	74,38	73,96	71,16	-	-	-
	LVCE	72,64	73,40	74,53	75,30	73,43	73,74	74,88	-
SF(dag.kg ⁻¹)	LVSE	62,29	63,68	65,03	64,41	59,24	-	-	-
	LVCE	63,18	63,45	64,20	64,28	63,49	62,98	64,89	-
SV(dag.kg ⁻¹)	LVSE	10,34	10,12	9,35	9,54	11,92	-	-	-
	LVCE	9,45	9,95	10,32	11,02	9,93	10,75	9,99	-

4.2.4.1. pH

Primeiramente, torna-se necessário informar que o número de amostras coletadas no lisímetro LVSE foi menor porque, devido ao recalque movido, a espessura final de resíduos ficou menor.

O pH da massa do resíduo sólido do LVSE manteve-se na faixa de 8,25 a 8,55, em toda a coluna, conforme está mostrado na Figura 44. O pH do LVCE manteve-se na faixa de 8,40 a 8,53, nas sete camadas de material. A oitava camada refere-se à camada de entulho de construção, que apresentou o maior pH (8,83), o que confere com o valor geralmente encontrado nesse material.

A manutenção do maior valor de pH na camada de entulho é indicativo de que a camada apresentava, ainda, capacidade de neutralizar a acidez de percolados recirculados nessa coluna.

A faixa de pH encontrada no material orgânico é indicativa de que o meio se encontra em condições adequadas para a ocorrência da fase metanogênica (CHRISTENSEN et al., 1991).

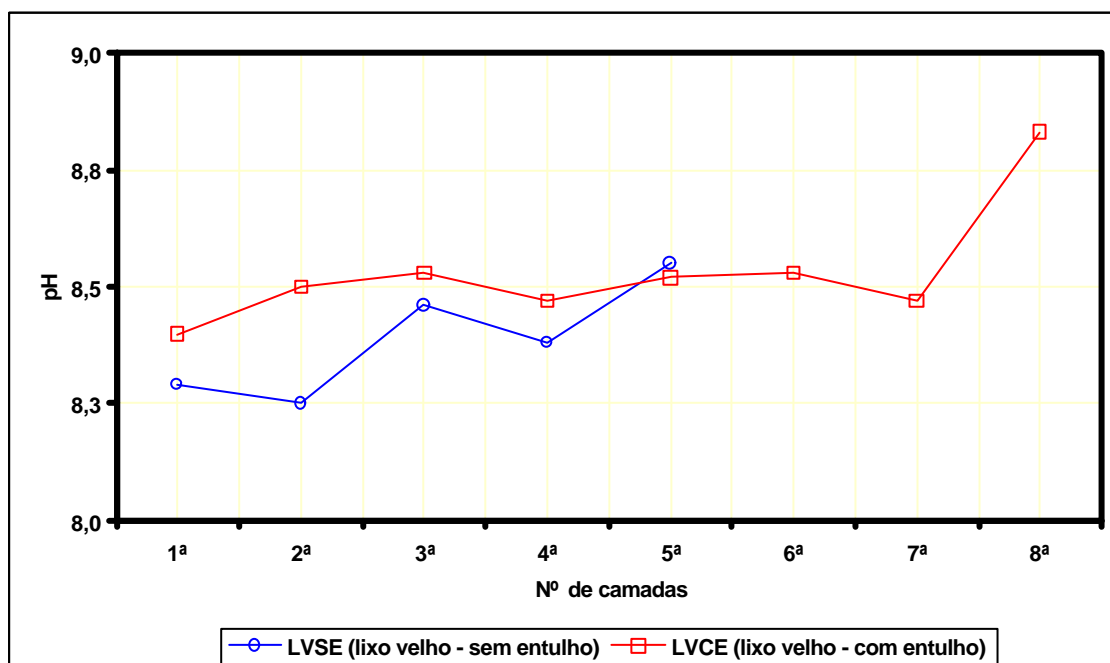


Figura 44 - Concentração de pH nas camadas de resíduos dos lisímetros LVSE e LVCE.

4.2.4.2. Condutividade elétrica

A CE da solução preparada com a massa do resíduo sólido do LVSE manteve-se na faixa de 1,56 a 1,83 mS.cm^{-1} , conforme está mostrado na Figura 45. A CE do LVCE manteve-se na faixa de 1,64 a 1,89 mS.cm^{-1} , nas sete camadas. A oitava camada referente à camada de entulho de construção apresentou a menor CE, que foi de 1,21 mS.cm^{-1} .

A menor CE encontrada para o entulho de construção pode estar associada à menor solubilidade de íons presentes nessa camada ou por estarem presentes na forma de precipitados não solúveis em água ou complexados à matéria orgânica retida nessa camada.

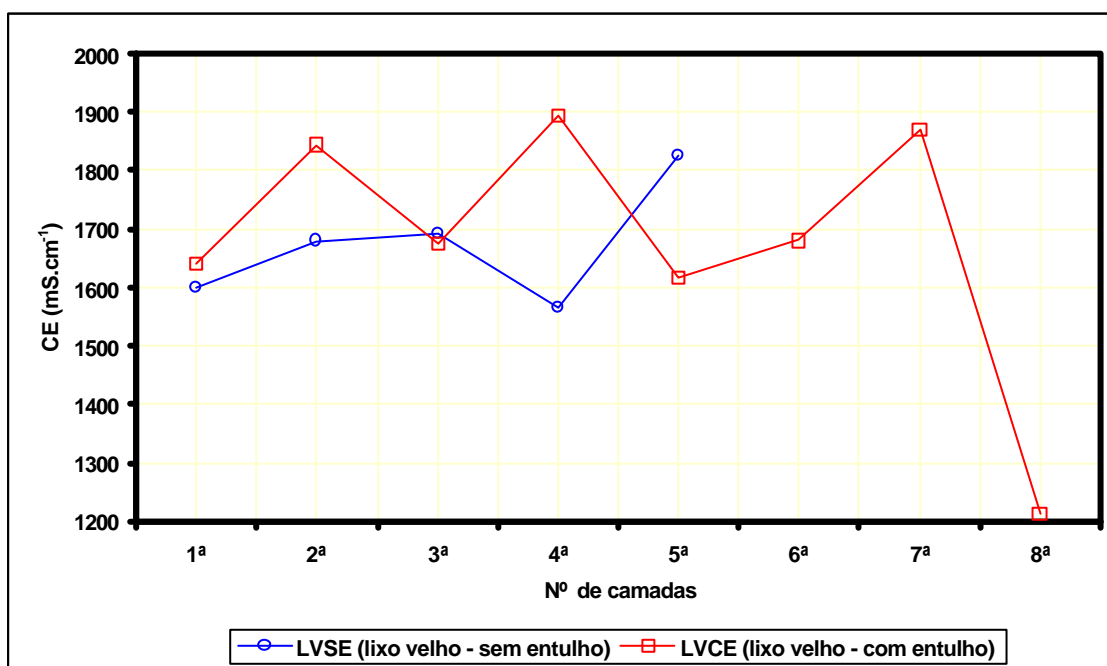


Figura 45 – Concentração de CE nas camadas de resíduos dos lisímetros LVSE e LVCE.

4.2.4.3. Sólidos

Na Figura 46 estão apresentados os valores de ST, SF e SV da massa do resíduo sólido do LVSE e do LVCE.

Os valores de ST da massa do resíduo sólidos do LVSE mantiveram-se na faixa de 71,16 a 74,38 dag.kg^{-1} , nas sete camadas. A quantidade de ST do LVCE manteve-se na faixa de 72,64 a 75,30 dag.kg^{-1} . Na oitava camada, o valor de ST foi

de $91,20 \text{ dag.kg}^{-1}$, o que é decorrente do menor conteúdo de água retido nesse material.

Os valores de SF da massa do resíduo sólidos do LVSE mantiveram-se na faixa de $59,24$ a $65,03 \text{ dag.kg}^{-1}$. A quantidade de SF do LVCE manteve-se na faixa de $62,98$ a $64,89 \text{ dag.kg}^{-1}$. Na oitava camada esse valor de SF chegou a $89,45 \text{ dag.kg}^{-1}$, o que representou praticamente toda a quantidade de ST presente.

Os valores de SV da massa do resíduo sólidos do LVSE mantiveram-se na faixa de $9,35$ a $11,92 \text{ dag.kg}^{-1}$. A quantidade de SV do LVCE manteve-se na faixa de $9,45$ a $11,02 \text{ dag.kg}^{-1}$.

Na oitava camada, o valor de SV foi de $1,75 \text{ dag.kg}^{-1}$, o que é indicativo da ausência de material orgânico nessa camada. Esse resultado é importante uma vez que indica que a retenção do material orgânico na camada de entulho não foi, predominantemente, física (filtração no meio) e que talvez tenha tido uma importante componente biológica, com a formação de biofilme na superfície do material sólido do entulho de construção.

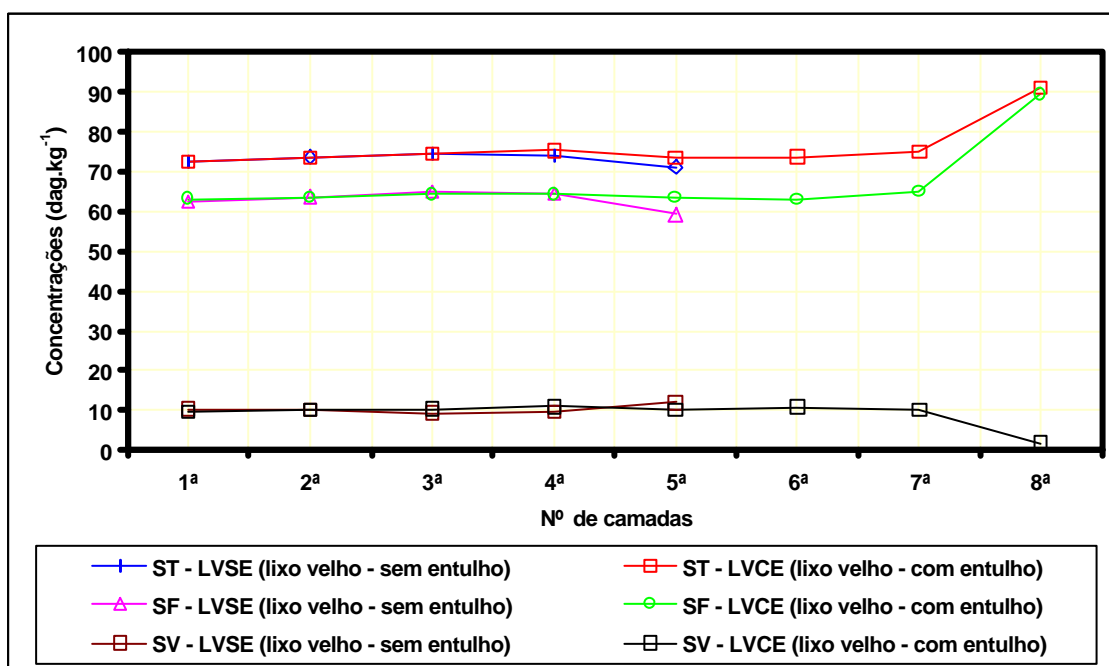


Figura 46 - Concentração de ST, SF e SV nas camadas de resíduos dos lisímetros LVSE e LVCE.

4.2.4.4. Metais

Para avaliar possíveis aumentos na concentração de alguns metais na massa dos resíduos sólidos com a recirculação do percolado, extraiu-se amostras de material nas camadas do LVSE e do LVCE e monitorou-se a concentração de 10 elementos (Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb e Zn), por meio dos ensaios de solubilização e lixiviação, conforme descrito no item 3.3.4.5. Os resultados deste monitoramento estão representados graficamente nas Figuras 47 e 48, exceto aqueles referentes ao cádmio, cobre, crômio, chumbo, ferro, manganês, níquel e zinco que, mais uma vez, apresentaram as suas concentrações, de um modo geral, inferiores ao limites de detecção do aparelho utilizado.

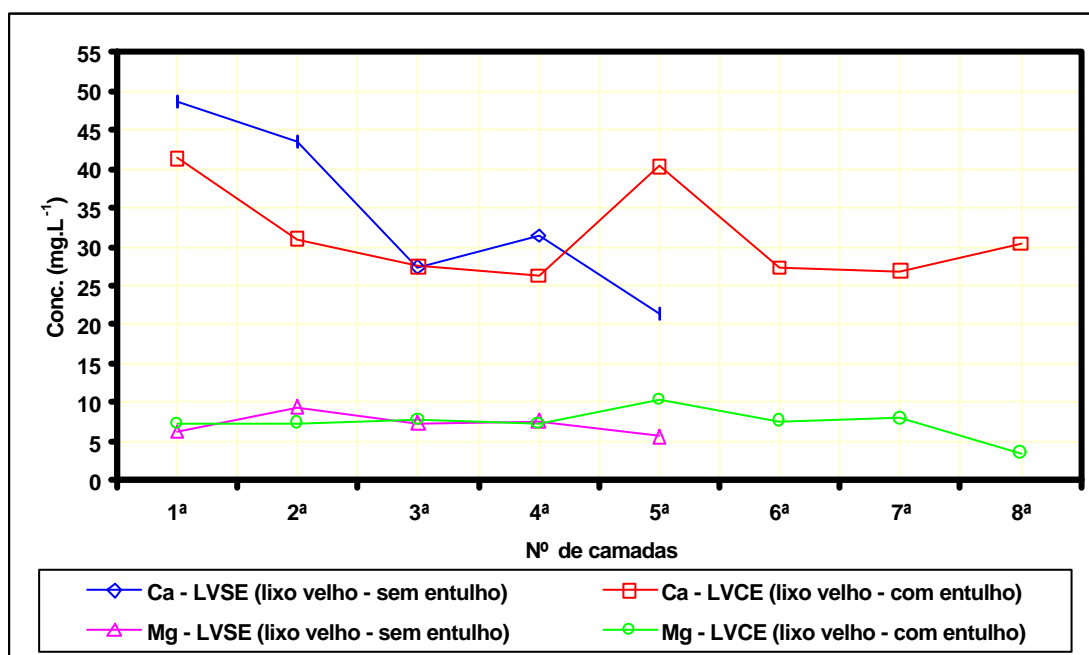


Figura 47 - Concentração de Ca e Mg solubilizável nas camadas de resíduos dos lisímetros LVSE e LVCE.

Os valores obtidos para concentração de Ca e Mg da massa do resíduo sólido retirado do LVSE e do LVCE, obtida por meio do ensaio de solubilização, indicaram tendência de redução na concentração de Ca solúvel com a profundidade, notadamente na coluna do LVSE. Os resultados são indicativos de que há retenção desse elemento, ainda que de forma fraca, à medida que o líquido percola na coluna.

Os mesmos resultados não ficaram evidentes no que se refere ao Mg.

Na Figura 48 estão apresentados os valores de Ca e Mg da massa do resíduo sólido do LVSE e do LVCE, obtida por meio do ensaio de lixiviação.

Nesse caso, os resultados indicam ter havido maior concentração de Ca extraível com solução ácida nas camadas superiores da coluna. Os resultados indicam forte capacidade do material em adsorver cátions, condição altamente desejável no tratamento de efluentes ricos em sólidos solúveis.

As menores concentrações de Ca extraíveis com solução ácida no material do LVCE decorrem do fato de que essa coluna foi receptora de percolado menos rico em SDT do que o proveniente do LVSE.

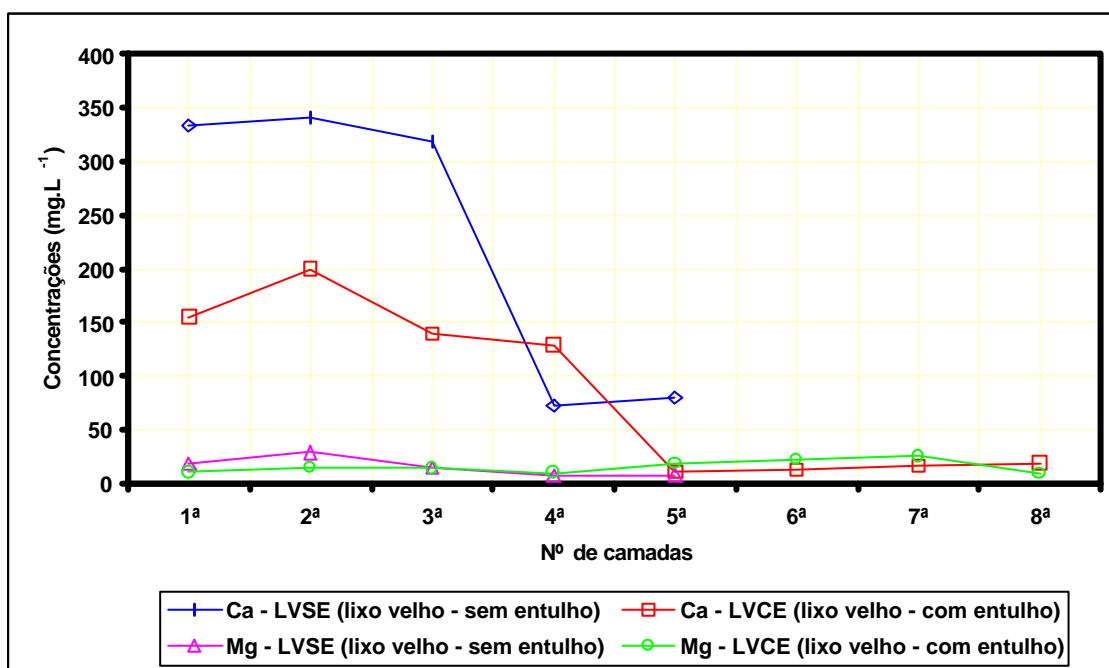


Figura 48 - Concentração de Ca e Mg por lixiviação nas camadas de resíduos dos lisímetros LVSE e LVCE.

4.3. Eficiência do sistema de tratamento

No Quadro 21 estão apresentados os valores de eficiência do sistema de tratamento por meio da recirculação nos lisímetros do LVSE e do LVCE (receptores de percolado) com os do LNSE e do LNCE (produtores de percolado), sem e com camada de entulho de construção civil. A concentração dos atributos no percolado do lixo novo e velho foi obtida pela média calculada durante o período de operação do sistema.

Quadro 21 - Eficiência do processo de recirculação na remoção de atributos químicos, físicos e bioquímicos do percolado nos lisímetros do LVSE e LVCE

Parâmetros	Sem entulho			Com entulho		
	Efl. entr. LNSE	Efl. saída LVSE	Eficiência (%)	Efl. entr. LNCE	Efl. saída LVCE	Eficiência (%)
DBO (mg.L⁻¹)	16.034,37	939,12	94,14	12.176,95	76,15	99,37
DQO (mg.L⁻¹)	34.345,87	1.639,39	95,23	21.315,77	474,67	97,77
CE (mS.cm⁻¹)	7,70	5,16	32,95	7,39	4,68	36,68
COT (mg.L⁻¹)	6.665,83	436,71	93,45	6.474,00	56,06	99,13
NT (mg.L⁻¹)	865,45	238,91	72,39	843,90	173,31	79,46
ST (g.L⁻¹)	16,48	5,38	67,35	14,82	5,29	64,28
SF (g.L⁻¹)	7,41	3,65	50,73	6,78	3,36	50,45
SV (g.L⁻¹)	9,07	1,57	82,69	6,64	1,94	70,78
SSV (g.L⁻¹)	427,57	29,01	93,22	266,12	14,28	94,63
SDT (mg.L⁻¹)	14.886,42	5.061,97	66,00	13.085,50	5.156,98	60,59
SST (g.L⁻¹)	513,81	48,22	90,62	340,13	18,67	94,51
SSF (mg.L⁻¹)	103,05	22,87	77,81	89,98	8,41	90,65
Ca (mg.L⁻¹)	1.149,38	159,83	86,09	919,87	106,79	88,39
Fe (mg.L⁻¹)	231,19	25,76	88,86	133,36	5,58	95,82
Mg (mg.L⁻¹)	172,20	123,07	28,53	156,01	114,85	26,38
Mn (mg.L⁻¹)	7,62	0,51	93,31	5,31	0,23	95,67

Em todos os lisímetros de lixo velho, sem e com entulho, ao receber o percolado do lixo novo, sem e com entulho, o processo da recirculação provocou decréscimo nos valores dos atributos analisados.

A carga orgânica dos lixiviados de aterros sanitários pode variar significativamente em função de uma série de fatores climatológicos e hidrogeológicos da região do aterro, constituição química dos resíduos aterrados e idade do aterro, entre outros. Como se pode observar pela DBO, houve forte tendência de redução, devida, certamente, à significativa diminuição da concentração dos compostos orgânicos solúveis. A DBO e DQO do LVCE apresentaram, respectivamente, valores mínimos de 76,15 mg.L⁻¹ e 474,67 no período final de experimentação e, de acordo com a Deliberação Normativa (COPAM 10/86), o limite máximo para lançamento de efluentes em corpos d'água receptores é de 60 e 90 mg.L⁻¹, respectivamente. Contudo, pode-se verificar com os dados obtidos, a eficiência do processo na remoção dessas cargas.

Com base nessa conclusão, pode-se dizer, por meio de todas as análises físicas, químicas e bioquímicas realizadas com o percolado, que o processo de

recirculação é eficiente e que a idade do lixo é fator que influencia na qualidade do efluente.

No Quadro 22, estão mostrados os valores de eficiência do sistema de tratamento por meio da recirculação dos percolados nos lisímetros do LMSE e do LMCE, sem e com camada de entulho de construção. Os resultados foram obtidos pelos valores máximo e mínimo calculado durante o período de experimentação.

Quadro 22 - Eficiência do processo de recirculação na remoção de atributos químicos, físicos e bioquímicos do percolado nos lisímetros LMSE e LMCE

Parâmetros	Sem entulho			Com entulho		
	LMSE		Eficiência (%)	LMCE		Eficiência (%)
	Efl. máx.	Efl. mín.		Efl. máx.	Efl. mín.	
DBO (mg.L⁻¹)	270,75	20,88	92,29	901,15	21,42	97,62
DQO (mg.L⁻¹)	1.649,00	222,22	86,52	2.522,00	165,86	93,42
CE (mS.cm⁻¹)	10,25	2,46	76,00	8,66	2,44	71,82
COT (mg.L⁻¹)	2.175,00	2,50	99,89	1.912,50	1,75	99,91
NT (mg.L⁻¹)	390,60	102,48	73,76	346,50	114,80	66,87
ST (g.L⁻¹)	19,23	2,55	86,74	13,30	0,87	93,46
SF (g.L⁻¹)	7,38	1,76	76,15	7,64	0,66	91,36
SV (g.L⁻¹)	17,07	0,41	97,60	11,86	0,22	98,15
SSV (g.L⁻¹)	120,00	14,67	87,78	92,00	5,00	94,57
SDT (mg.L⁻¹)	19.172,67	2.484,50	87,04	13.294,50	836,75	93,71
SST (g.L⁻¹)	141,00	44,00	68,79	116,00	5,50	95,26
SSF (mg.L⁻¹)	84,00	0,67	99,20	49,33	1,00	97,97
Ca (mg.L⁻¹)	262,00	0,00	-	316,25	59,90	81,06
Fe (mg.L⁻¹)	117,44	11,63	90,10	57,75	0,00	-
Mg (mg.L⁻¹)	247,50	9,88	96,01	260,75	42,93	83,54
Mn (mg.L⁻¹)	2,58	0,00	-	2,43	0,00	-

Pode-se observar a eficiência do processo em todas as análises físicas, químicas e bioquímicas no percolado, mostrando-se, assim, que a recirculação pode ser feita na própria célula de produção e que em aterro sanitário em fase de operação esse sistema de tratamento de efluente pode ser implantado tão logo se inicie a produção de percolado.

5. CONCLUSÕES

Tendo em vista os objetivos propostos nesta pesquisa e os resultados alcançados, algumas conclusões foram obtidas:

- ®A recirculação direta de percolado se apresenta como alternativa de otimização da degradação dos resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários e pode ser considerada alternativa no tratamento dessas águas residuárias;
- ®A temperatura da massa dos resíduos em degradação nos lisímetros não diferiu entre os lisímetros com e sem recirculação de percolado, permanecendo na condição mesotérmica, em média, 6,0 °C acima da temperatura ambiente;
- ®A produção de líquido percolado nos lisímetros com camada de entulho (LNCE, LMCE e LVCE) foi menor do que a lâmina de percolado nos lisímetros sem camada de entulho (LNSE, LMSE e LVSE);
- ®A maior produção de líquido percolado (3.224 mm) se deu no lisímetro LMSE, superando o dobro da lâmina precipitada no lisímetro (1.364 mm);
- ®A idade do lixo foi um fator de grande influência na qualidade do percolado;
- ®Com o tempo de operação do sistema, houve alteração das características organolépticas do percolado (coloração mais escura e odor atenuado) do lixo novo, que passou a ser semelhante às apresentadas nos percolados dos lisímetros preenchidos com lixo mais antigos (maduro e velho);
- ®O pH no percolado coletado nos lisímetros preenchidos com lixo maduro e velho, submetidos à recirculação, ficou em torno de 7,15, portanto dentro da faixa considerada ótima (de 6,5 a 7,5) para degradação do material orgânico;

- ®A CE no percolado apresentou-se elevada, notadamente nas fases iniciais de produção no LNSE e LNCE, em razão das grandes quantidades de sais liberados com a degradação do material orgânico jovem;
- ®A presença da camada de entulho de construção no sistema com e sem recirculação fez diminuir as concentrações de DBO, DQO e COT no lixo novo, maduro e velho;
- ®A redução na razão DBO/DQO do lixo novo até valores iguais ou inferiores a 0,5 denota que o percolado é relativamente biodegradável;
- ®As baixas concentrações de ST e SST no percolado dos lisímetros LVSE e LVCE comprovam a eficiência do sistema de recirculação;
- ®A recirculação de percolado nos lisímetros preenchidos com lixo maduro e velho mostrou ser de grande capacidade na remoção de NT no percolado, porém, a presença da camada de entulho não proporcionou efeitos significativos na remoção do mesmo;
- ®A eficiência do processo de recirculação na remoção de poluentes do percolado nos lisímetros de lixo velho recebendo o percolado do lixo novo foi, em média, de 94,14% (LVSE) e 99,37% (LVCE) para a DBO;
- ®A eficiência do processo de recirculação na remoção de poluentes do percolado nos lisímetros do lixo maduro, quando recirculado nele mesmo, foi de 99,89% e 99,91% para COT, levando em consideração os valores máximos coletados;
- ®A presença da camada de entulho de construção no sistema de recirculação fez diminuir as concentrações de macro (Ca) e micro (Mn e Fe) nutrientes no percolado;
- ®O pH do material sólido da camada de entulho manteve-se em 8,83, mesmo após ter sido aplicado percolado proveniente dos lisímetros preenchidos com lixo novo, indicando a manutenção da sua capacidade em neutralizar a acidez de percolados recirculados nessa coluna;
- ®As relativamente altas concentrações de Ca e Mg solubilizáveis com solução fracamente ácida na massa de lixo velho indicaram capacidade do meio na retenção desses elementos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEM, S. C. The impact of leachate disposal operations on creek water quality at pitsea landfill site in Essex. **Imperial College of Science and Technology**. 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA - ABLP. **Curso básico sobre aterro sanitário**. São Paulo, 26 a 29 de setembro de 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR.- 10.004**. Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR - 10.005**. Lixiviação de resíduos. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR - 10.006**. Solubilização de resíduos. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR - 10.007**. Amostragem de resíduos: procedimento. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT. **NBR - 8.419**. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos: procedimento. Rio de Janeiro, 1984.

AUGENSTEIN, D.; PACEY, J. Modeling landfill methane generation. In: **Proceedings of the Third International Landfill Symposium**. Caligari, Sardenia, Italy. 1991.

AZEVEDO, I. C. D.; AZEVEDO, R. F.; CARVALHO, A. L.; MATOS, A. T.; NASCENTES, C. R. Contaminação do solo e de águas subsuperficiais por metais pesados no antigo Lixão de Viçosa, MG, Brasil. **Revista da Sociedade Portuguesa de Geotecnia**, Lisboa, Portugal: nº 98, p. 25-57, julho de 2003.

AWWA/APHA/WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 20th edition. New York, 1998.

BALDOCHI, V.; VARESCHE, M.; POVINELLI, J. VAZOLLER, R. Anaerobic biomass evaluation during biodigestion of solid wastes amended with organic substrates and using leachate as a seed. In: **XXV Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental.** México, 1996. Anais. Rio de Janeiro, ABES.

BARROS, R. T. V. **Resíduos sólidos.** Belo Horizonte, MG: UFMG, apostila, 1998.

BARROS, H. L. **Estudo de balanço hídrico em aterro sanitário por meio de lisímetros de grandes dimensões.** 2004, 112 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia Ambiental) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

BASTOS, M. E. P.; NEFUSSI, N. Aspectos toxicológicos de agentes químicos. In: **Centro Panamericano de Ecologia Humana Y Salud.** Programa Nacional de Seguridad de Las Substancias Químicas. México, 1986. 138p.

BOSCOV, M. E.; OLIVEIRA, E.; GHILARDI, M; SILVA, M. M. **Metal diffusion through a lateritic clay liner.** International Conference on Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. Melbourne, Austrália, 2000.

BUSWELL, A. M.; MUELLER, H. F. Mechanism of methane fermentation. **Industrial and engineering chemistry.** V. 44, n. 3, mar. 1952, p. 550-552.

CAMPBELL, D. J. V. An universal approach to landfill management acknowledging local criteria for site design. In: **Proceedings of the third International Landfill Syposium.** Caligari, Sardinia, Italy: 1991.

CARVALHO, A. L. **Contribuição ao estudo da poluição de águas subterrâneas e subsuperficiais causada pela disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos – o caso do antigo lixão de Viçosa (MG).** 2001, 129 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia Ambiental) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

CASTILHO JR., A. B. de. Estimativa da distribuição e dos teores dos metais pesados nas diversas frações dos resíduos urbanos no Brasil. **BIO – Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente,** p 57-60, 1988.

CHANG, A. C.; PAGE, A. L.; WARNEKE, J. E.; GRGUREVIC, E. Sequential extraction of soil heavy metals following a sludge application. **Journal. Environ. Qual.** 13 de janeiro 1984. p. 33-38.

CHRISTENSEN, T. H.; KJELDSSEN, P. Basic biochemical process in landfills. In: CHRISTENSEN, T.H.; COSSU, R.; STEGMANN, R. (eds.). **Sanitary landfilling: process, technology and environmental impact.** Academic Press, 1991.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL E LIMPEZA PÚBLICA – CETESB. **Caracterização e estudo de tratabilidade de líquidos percolados de aterros sanitários**. São Paulo, 1995. 66 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Resíduos sólidos industriais**. 2ª ed. São Paulo, 1992, 234 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução CONAMA nº 20**, de 18 de junho de 1986.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL – COPAM. **Deliberação Normativa nº 10**, MG, 1986.

COSTA, B. M. P. **Estudo da influência da recirculação de chorume na digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos**. 2002, 147 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Engenharia Sanitária e Ambiental) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

DAMASCENO, S. **Remoção de metais pesados em sistemas de tratamento de esgotos de lodo ativado e por um reator compartimentado anaeróbio**. 1996, 141 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1996.

EGREJA FILHO, F. B. **Avaliação da ocorrência e distribuição dos metais pesados na compostagem de lixo domiciliar urbano**. 1993, 176 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

FERREIRA, J. A.; GIORDANO, G.; RITTER, E.; ROSSO, T. C. A.; CAMPOS, J. C.; LIMA, P. Z. M. Uma revisão das técnicas de tratamento de chorume e a realidade do Estado do Rio de Janeiro. In: **XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. João Pessoa, 2001. Anais. Rio de Janeiro: ABES.

FERREIRA, A. B. H. **Novo dicionário da Língua Portuguesa**. 1. ed. Nova Fronteira, 1999.

FETTER, C. W. **Contaminant hydrogeology**. U.S.A: Macmillan Publishing Company, 1993, 458 p.

FORESTI, E.; FLORÊNCIO, L.; VAN ANDEL, A. C.; ZAIAT, M; CAVALCANTI, P. F. Fundamentos do tratamento aneróbio. In: **Tratamento de esgotos por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM. **Página oficial da Fundação Estadual do Meio Ambiente** (<http://www.feam.br>). Abril de 2002.

GADOTTI, R. F. **Avaliação da contaminação das águas superficiais e subterrâneas adjacentes ao “lixão” da cidade de São Carlos**. 1997, 150 p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

GENDEBIEN, A.; PAUWELS, M.; CONSTANT, M. Landfill gas: from environment to energy, state of the art in the european community context. In: **Proceedings of the Third International Landfill Symposium**. Cagliari, Sardinia, Italy, 14 - 18 oct., 1991.

GOMES, L. P. **Estudo da caracterização física e da biodegradabilidade dos resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário**. 1989, 167 p. Tese (Doutorado) - Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.

GONZALES, L. G. I.; SÁNCHEZ, G. J. Estabilización acelerada de los residuos sólidos en relleno sanitario. In: **XXV Congreso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**. México, 1996. Anais. Rio de Janeiro: ABES.

HAMADA, J. Estimativas de geração e caracterização do chorume em aterros sanitários. In: **XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Foz do Iguaçu, 1997. Anais. Rio de Janeiro: ABES.

HAMADA, J., MATSUNAGA, I. Concepção do sistema de tratamento de chorume para o Aterro Sanitário de Ilhéus - BA. In: **IX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Porto Seguro, 2000. Anais. Rio de Janeiro: ABES.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2002**. Página oficial do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (<http://www.ibge.gov.br>). Abril de 2002.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM - CEMPRE. **Lixo municipal. Manual de gerenciamento integrado**. 2. edição. São Paulo, 2000, 370 p.

JUCÁ, J. F. T. Disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. In: **5º Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental - REGEO'2003**. Porto Alegre, RS, 2003, 32 p.

KOERNER, R. M.; DANIEL, D .E. **Final covers for solid waste landfills and abandoned dumps**. Thomas Telford. Asce Press, 1998, 256 p.

KOTZÉ, J. P.; THIEL, P. G.; HATTING, W. H. J. **Anaerobic digestion II. The characterization and control of anaerobic digestion**. Water research, 1969, v. 3, p. 459-494.

KRAUSS, P.; BLESSING, R.; KORHERR, V. Heavy metals in compost from municipal refuse strategies to reduce their content to a acceptable levels. In: **International Simposium in Composting Process, Quality and Use**, 1986, Udine: Proceedings.... Udine: 1986, p. 34-47.

KULGELMAN, I. J.; McCARTY, P. L. Cation toxicity and stimulation in anaerobic waste treatment. **Journal Water Pollution Control Federation**. Jan. 1965, v. 37, nº 1, p. 97-116.

LECKIE, J. O.; PACEY, J. G.; HALVADAKIS, C. Landfill management with moisture control. **Journal of Environmental Engineering Division**. ASCE, 1979, v.105, p.337-355.

LESLIE GRADY, JR. C. P.; LIM, H. C. **Biological wastewater treatment. Theory and applications**. New York, 1980, 963 p.

LIBÂNIO, P. A. C. **Avaliação da eficiência e aplicabilidade de um sistema integrado de tratamento de resíduos sólidos urbanos e de chorume**. 2002, 156 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Engenharia Sanitária e Ambiental) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

LIMA, L. M. Q. **Lixo - Tratamento e biorremediação**. 3. ed. São Paulo: Editora Hemus, 1995. 265 p.

LIMA, L. M. Q. **Estudo da influência da reciclagem de chorume na aceleração da metanogênese em aterro sanitário**. 1988. Tese (Doutorado) - Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1988.

LIMA, L. M. Q. **Processos de metanização de resíduos orgânicos**. Seminário sobre resíduos sólidos urbanos. Prefeitura Municipal de Campinas, SP, 1984.

LIMA, L. M. Q. Biorremediação de áreas degradadas por resíduos sólidos: A experiência do Brasil. In: **Anais do Seminário de reciclagem do lixo urbano para fins industriais e agrícolas**. Belém, 2000.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos**. São Paulo: Produquímica, 1994, 153p.

MATOS, A. T.; COSTA, L. M.; FONTES, M. P. F.; MARTINEZ, M. A. Retardation factors and the dispersion-diffusion coefficients of Zn, Cd, Cu and Pb in soils from Viçosa – MG, Brazil. **Transaction of the ASAE, American Society of Agricultural Engineers**, V.42 (4), 1999, p. 903-910.

MATOS, A. T. **Práticas de qualidade do meio físico ambiental**. Engenharia na agricultura. Série caderno didático 34. Departamento de Engenharia Agrícola: Universidade Federal de Viçosa, 2004, 62 p.

McBEAN, E. A., ROVERS, F. A., FARQUHAR, G. J. **Solid waste landfill engineering and design**. USA: Prentice Hall PTR, 1995.

McCARTY, P. L. **Anaerobic waste treatment fundamentals**. Parte one. Chemistry and microbiology. Public works, sept. 1964, p. 107-112.

MERBACH JR., P. S. **Estudo de avaliação de metais pesados em percolado de aterro sanitário em função do tempo de deposição**. 1989, 83 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, 1989.

MONTEGGIA, L. O.; BEAL, L. L.; DE LUCA, S. J. Requerimento de alcalinidade em processos biológicos anaeróbios. In: **Anais do XXV Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**. México, 1996.

NASCENTES, C. R. **Coeficiente de dispersão hidrodinâmica e fator de retardamento de metais pesados em solo residual compactado**. 2003, 131 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia Ambiental) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

OLIVEIRA, M. R. L.de. **Caracterização do percolado do “lixão” do Jangurussu e seu possível impacto no rio Cocó**. 1997, 79 p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1997.

ORTH, M. H. de A. Aterros sanitários. **Revista de Limpeza Pública**. São Paulo: n. 20, v. 8, p. 26-34, 1981.

PALMA, J. H. G.; VALENZUELA, P. I. T.; ESPNACE, R. H. A. Reducción de los tiempos de estabilización en rellenos sanitarios operados con recirculación de lixiviados tratados. In: **XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Anais. Porto Alegre, 2000.

PFEFFER, J. T. Temperature effects on anaerobic fermentation of domestic refuse. **Biothecnology and Bioengineering XVI**. p. 771-787, 1974.

PESSIN, N.; SILVA, A. R.; BRUSTOLIN, I.; MANDELLI, S. M. C.; PANAROTTO, C. T. Variação da composição dos líquidos percolados do aterro sanitário de São Giacomo - Caxias do Sul - RS. In: **XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Anais. Foz do Iguaçu, 1997.

PESSIN, N.; SILVA, A. R.; MANDELLI, S. M. C.; BRUSTOLIN, I.; PANAROTTO, C. T. Contribuição do monitoramento ambiental para o entendimento do processo de estabilização de resíduos sólidos domiciliares em aterros sanitários. In: **IX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Anais. Porto Seguro, 2000.

PIMENTEL JR., A. C. N. Co-disposição de resíduos sólidos industriais não-inertes e inertes em aterro sanitário. **Revista Gerenciamento Ambiental**. Número 10, 1996.

POHLAND, F. G. Leachate recirculation for accelerated stabilization at controlled landfills. In: **Seminário internacional: Desenvolvimento de reatores anaeróbios para tratamento de águas residuárias**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, julho de 1990.

POHLAND, F. G.; HARPER, S. R. **Critical review and gas production from landfills**. Georgia Institute of Technology, SCEGIT, 1985, p. 84-104.

POHLAND, F. G.; HARPER, S. R. **Critical review and summary of leachate and gas production from landfills**. Georgia Institute of Technology, 1984.

QASIM, S. R.; CHIANG, W. **Sanitary landfill leachate generation, control and treatment**. Lancaster: Technomic, 1994.

QIAN, X.; KOERNER, R. M.; GRAY, D. H. **Geotechnical aspects of landfill design and construction**. New Jersey: Prentice Hall. Upper Sadle River, 2002, 717 p.

RUSSO, M. A. T.; FERREIRA, M.; VIEIRA, C. Caracterização de lixiviados de aterros sanitários de alta compactação. In: **IX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Anais. Porto Seguro, 2000.

SOUZA, H. A. **Estudo da contaminação ambiental na área do aterro sanitário da BR-040, da prefeitura municipal de Belo Horizonte (MG)**. 1998, 147 p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Geologia da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1998.

STANFORTH, R.; HAM, R.; ANSERSON, M. Development of a synthetic municipal landfill leachate. **Journal Water Pollution Control Federation**. Jul. 1979, n. 7, v. 51, p. 1965-1975.

STEGMANN, R. Principles of landfilling - the current approach. In: CHRISTENSEN, T.H., COSSU, R., STEGMANN, R. **Sanitary landfilling: process, technology and environmental impact**. Academic Press, 1991.

STEGMANN, R.; SPENDLIN, H. Enhancement of degradation: german experience. In: CHRISTENSEN, T.H., COSSU, R., STEGMANN, R. **Sanitary landfilling: process, technology and environmental impact**. Academic Press, 1991.

TAVARES, T. M., CARVALHO, F. M. **Avaliação da exposição de populações humanas a metais pesados no ambiente: exemplos do Recôncavo Baiano**. Química Nova, n. 2, v.15, 1992, p.147-153.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. A. **Integrated solid waste management - Engineering Principles and Management Issues**. McGraw-Hill International Editions, 1993, 978 p.

TEIXEIRA, E. N. **Efeito inibidor da recirculação direta de chorume na decomposição anaeróbia de resíduos sólidos**. 1993, 227 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

ANEXOS

Tabela A.1 - Temperatura ambiente e da massa dos resíduos sólidos em profundidades dos lisímetros LNSE, LMSE E LVSE durante os 370 dias de operação

Dia	Tempo de operação (dias)	Temperatura (°C)												Ambiente
		LNSE				LMSE				LVSE				
		Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	
28/08/03	1	23,1	24,7	24,7	24,2	19,2	20,1	19,8	19,7	-	19,8	19,6	19,7	16,9
29/08/03	2	23,3	23,2	23,4	23,3	18,0	19,3	19,4	18,9	-	19,3	19,8	19,6	14,6
30/08/03	3	22,2	22,6	22,8	22,5	17,6	19,4	18,6	18,5	-	18,6	18,9	18,7	15,9
31/08/03	4	20,8	21,3	21,6	21,2	17,5	18,2	18,6	18,1	-	18,0	18,4	18,2	17,7
01/09/03	5	20,0	21,3	21,3	20,9	17,3	17,9	18,9	18,0	-	18,8	19,0	18,9	19,8
02/09/03	6	21,0	21,8	21,3	21,3	18,9	19,0	20,4	19,4	-	20,9	20,2	20,6	17,0
03/09/03	7	20,9	21,9	21,9	21,5	18,9	18,5	20,4	19,3	-	20,3	20,6	20,4	16,5
04/09/03	8	20,5	21,3	21,5	21,1	18,2	19,2	19,9	19,1	-	19,6	19,9	19,7	17,6
05/09/03	9	20,5	21,1	21,4	21,0	18,7	18,8	20,2	19,2	-	19,8	20,5	20,1	16,3
06/09/03	10	20,7	20,8	21,2	20,9	18,4	19,7	21,0	19,7	-	20,4	21,4	20,9	16,5
07/09/03	11	20,6	21,3	21,3	21,1	18,3	18,3	21,3	19,3	-	21,2	21,5	21,4	16,3
08/09/03	12	21,1	21,0	21,6	21,2	19,3	19,7	21,4	20,1	-	21,2	21,9	21,5	17,7
09/09/03	13	20,7	21,2	21,6	21,2	19,8	19,8	21,6	20,4	-	21,5	22,3	21,9	17,8
10/09/03	14	21,6	21,8	22,0	21,8	21,7	20,9	22,6	21,7	-	22,4	22,9	22,6	18,9
11/09/03	15	21,7	22,2	22,2	22,0	21,3	20,7	23,1	21,7	-	22,7	23,6	23,1	17,3
12/09/03	16	21,7	21,2	22,4	21,7	21,7	22,0	22,7	22,1	21,3	22,0	22,7	22,0	17,4
13/09/03	17	20,8	21,4	21,9	21,4	21,0	21,3	21,8	21,3	20,8	20,8	21,5	21,0	19,3
14/09/03	18	21,6	21,7	21,7	21,7	19,9	20,3	21,5	20,6	21,3	21,4	22,0	21,5	16,1
15/09/03	19	21,1	20,6	21,9	21,2	18,9	19,8	20,2	19,6	20,3	20,5	20,6	20,4	16,9
16/09/03	20	20,4	20,4	21,2	20,6	18,7	19,6	20,3	19,5	19,3	20,2	20,4	19,9	19,5
17/09/03	21	21,0	21,1	21,6	21,2	18,9	19,8	21,4	20,0	20,5	21,5	21,8	21,2	16,6
18/09/03	22	20,6	20,6	21,4	20,9	19,5	20,5	20,9	20,3	20,4	20,7	21,2	20,8	17,2
19/09/03	23	20,6	20,5	21,3	20,8	19,3	20,4	20,4	20,0	19,9	20,3	20,5	20,2	18,0
20/09/03	24	20,5	20,9	21,4	20,9	17,2	20,7	21,1	19,7	20,3	20,9	21,1	20,8	18,0
21/09/03	25	20,6	20,9	21,7	21,1	19,2	21,4	21,8	20,8	21,4	21,8	22,5	21,9	19,6
22/09/03	26	21,0	22,2	22,1	21,8	21,5	22,0	23,3	22,3	21,9	22,9	23,3	22,7	18,7
23/09/03	27	21,9	22,3	22,4	22,2	21,8	21,5	23,1	22,1	22,9	23,4	23,8	23,4	18,3
24/09/03	28	22,8	22,3	22,6	22,5	21,6	21,6	23,5	22,2	22,7	23,1	23,9	23,2	20,7
25/09/03	29	23,6	22,6	22,7	23,0	22,8	21,7	24,1	22,9	23,4	24,0	24,7	24,0	22,6
26/09/03	30	24,0	23,1	23,6	23,5	23,9	22,8	24,7	23,8	24,3	24,4	25,4	24,7	21,4
27/09/03	31	24,7	23,8	24,1	24,2	24,3	23,6	24,5	24,1	25,1	24,8	25,7	25,2	21,2
28/09/03	32	25,1	24,5	24,3	24,6	24,3	24,4	25,1	24,6	24,9	25,3	25,7	25,3	20,2

Dia	Tempo de operação (dias)	Temperatura (°C)												Ambiente
		LNSE				LMSE				LVSE				
		Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	
29/09/03	33	25,2	24,4	24,4	24,7	23,4	23,5	24,5	23,8	24,4	24,9	25,0	24,8	19,9
30/09/03	34	24,3	24,2	23,3	23,9	21,8	23,2	24,3	23,1	23,6	23,8	24,0	23,8	20,0
01/10/03	35	23,5	23,4	23,9	23,6	21,6	23,6	23,6	22,9	23,0	24,2	24,2	23,8	19,3
02/10/03	36	23,7	23,7	23,5	23,6	22,7	21,3	23,7	22,6	23,2	24,0	24,2	23,8	20,4
03/10/03	37	23,6	23,6	23,8	23,7	22,4	20,8	24,3	22,5	23,7	24,3	24,8	24,2	20,0
04/10/03	38	23,8	24,3	24,2	24,1	24,0	22,6	25,1	23,9	24,5	25,1	25,5	25,0	19,9
05/10/03	39	24,8	24,6	24,4	24,6	23,8	24,1	25,4	24,4	24,4	25,2	25,6	25,1	19,7
06/10/03	40	24,6	24,9	24,9	24,8	23,9	24,8	25,6	24,7	24,6	25,7	26,0	25,4	20,5
07/10/03	41	24,9	24,3	25,1	24,7	24,6	24,4	25,8	24,9	25,2	25,9	26,3	25,8	22,5
08/10/03	42	25,1	25,7	25,7	25,5	23,3	24,2	26,5	24,6	25,7	26,4	26,8	26,3	21,5
09/10/03	43	25,7	25,2	25,7	25,5	25,1	24,0	25,4	24,8	25,5	25,8	26,0	25,8	21,4
10/10/03	44	25,4	25,2	25,5	25,3	24,4	23,6	25,3	24,4	25,3	25,6	25,8	25,6	20,9
11/10/03	45	24,7	24,8	25,3	24,9	23,9	22,6	24,5	23,6	24,3	24,9	24,7	24,6	20,5
12/10/03	46	24,7	25,1	24,9	24,9	23,1	23,6	24,4	23,7	24,3	24,2	24,3	24,3	17,0
13/10/03	47	23,8	24,4	25,1	24,4	22,2	22,4	22,5	22,3	23,1	23,7	23,4	23,4	17,6
14/10/03	48	21,8	22,8	23,5	22,7	20,9	20,7	22,2	21,3	21,9	22,6	22,7	22,4	17,6
15/10/03	49	21,7	22,1	23,2	22,3	20,1	20,9	22,2	21,1	22,1	22,9	23,1	22,7	16,8
16/10/03	50	21,5	21,7	22,6	21,9	19,3	21,2	23,0	21,2	22,2	22,6	23,1	22,6	16,4
17/10/03	51	23,8	24,5	24,8	24,4	24,2	24,8	24,6	24,5	24,2	24,3	24,7	24,4	14,9
18/10/03	52	23,8	24,4	24,6	24,2	24,7	24,5	24,7	24,6	24,2	24,4	25,0	24,5	17,4
19/10/03	53	23,5	23,7	24,2	23,8	23,8	24,2	25,0	24,3	23,8	24,3	24,8	24,3	19,8
20/10/03	54	24,3	24,6	24,9	24,6	25,1	25,2	25,9	25,4	24,9	25,5	25,7	25,4	21,7
21/10/03	55	25,0	24,7	25,0	24,9	25,6	25,2	26,4	25,7	25,2	25,6	25,8	25,5	22,6
22/10/03	56	26,1	26,0	25,9	26,0	26,6	26,0	27,0	26,5	26,2	26,4	26,8	26,4	23,8
23/10/03	57	27,2	27,0	26,9	27,0	27,5	26,8	27,6	27,3	27,1	26,9	27,3	27,1	18,8
24/10/03	58	26,3	25,8	26,0	26,0	26,2	25,9	25,7	25,9	25,9	25,4	25,4	25,6	17,6
25/10/03	59	24,3	24,3	24,6	24,4	23,9	24,7	24,1	24,2	24,0	24,0	24,4	24,1	20,5
26/10/03	60	24,8	24,4	25,1	24,7	24,7	25,0	25,6	25,1	24,7	25,2	25,1	25,0	21,6
27/10/03	61	25,3	25,0	25,1	25,1	25,3	25,6	26,5	25,8	25,2	26,0	26,4	25,8	22,3
28/10/03	62	26,0	25,5	25,2	25,5	26,2	25,5	27,3	26,3	26,0	26,4	26,8	26,4	21,9
29/10/03	63	27,0	26,8	26,5	26,8	27,4	26,8	27,7	27,3	27,0	27,0	27,4	27,1	21,5
30/10/03	64	27,0	26,7	26,5	26,7	27,3	26,5	27,4	27,0	27,1	27,2	27,4	27,2	21,9
31/10/03	65	27,5	27,1	26,9	27,2	27,8	27,2	27,9	27,6	27,6	27,6	27,8	27,7	20,6

Dia	Tempo de operação (dias)	Temperatura (°C)												Ambiente
		LNSE				LMSE				LVSE				
		Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	
01/11/03	66	26,8	26,5	26,5	26,6	27,0	26,8	27,0	26,9	26,8	26,6	26,7	26,7	21,6
02/11/03	67	27,3	27,0	27,1	27,1	27,4	27,2	27,5	27,3	27,1	27,3	27,3	27,2	20,0
03/11/03	68	27,0	26,9	27,1	27,0	26,9	27,1	26,7	26,9	26,7	26,8	26,6	26,7	16,9
04/11/03	69	25,1	25,5	26,1	25,6	24,6	25,9	25,2	25,2	24,8	25,1	24,9	24,9	17,0
05/11/03	70	24,1	25,1	25,3	24,8	25,0	25,3	25,4	25,2	24,7	25,6	25,4	25,2	17,0
06/11/03	71	25,0	25,5	25,9	25,5	25,1	25,8	26,0	25,6	25,1	25,8	25,8	25,5	17,0
07/11/03	72	24,1	24,7	25,4	24,7	24,1	25,3	25,1	24,8	24,5	24,9	25,0	24,8	17,6
08/11/03	73	22,9	23,8	24,8	23,8	23,2	24,9	24,4	24,1	23,6	24,7	24,1	24,1	19,4
09/11/03	74	23,3	24,2	24,7	24,0	22,9	24,3	24,9	24,0	23,2	24,6	24,6	24,1	21,1
10/11/03	75	24,0	24,9	25,2	24,7	24,6	25,2	25,7	25,1	24,4	25,0	25,4	24,9	23,5
11/11/03	76	25,1	25,4	25,3	25,2	25,7	25,3	26,3	25,8	25,4	26,1	26,3	25,9	22,3
12/11/03	77	25,3	25,7	25,3	25,4	26,3	25,4	26,2	25,9	25,9	26,1	26,3	26,1	22,2
13/11/03	78	26,6	26,3	26,2	26,4	27,1	26,3	27,2	26,8	26,7	26,9	26,9	26,8	22,0
14/11/03	79	26,4	26,3	26,4	26,4	27,0	26,1	26,6	26,5	26,4	26,4	26,4	26,4	20,4
15/11/03	80	26,4	26,2	26,2	26,3	26,8	26,2	26,6	26,5	26,4	26,5	26,6	26,5	20,1
16/11/03	81	25,8	25,8	25,9	25,8	26,0	26,4	26,3	26,2	26,1	26,3	26,2	26,2	21,1
17/11/03	82	26,0	25,9	26,1	26,0	25,8	26,5	26,6	26,3	26,1	26,6	26,5	26,4	21,6
18/11/03	83	26,0	25,8	26,0	25,9	26,1	26,0	26,4	26,2	25,9	26,2	26,4	26,2	22,0
19/11/03	84	25,4	25,4	25,5	25,4	25,4	25,5	25,9	25,6	25,5	25,7	26,1	25,7	22,0
20/11/03	85	26,2	26,3	26,3	26,3	26,3	26,2	26,6	26,4	26,3	26,3	27,0	26,5	20,0
21/11/03	86	25,6	25,8	26,0	25,8	25,7	26,1	26,0	25,9	25,7	25,8	25,9	25,8	19,4
22/11/03	87	25,9	26,5	26,9	26,4	24,8	26,8	25,9	25,8	26,0	26,1	26,0	26,0	19,9
23/11/03	88	24,0	24,2	24,4	24,2	24,2	24,9	25,2	24,7	24,5	24,8	25,0	24,7	20,5
24/11/03	89	24,3	24,7	24,7	24,6	24,6	25,2	25,1	25,0	24,6	25,2	25,3	25,0	21,6
25/11/03	90	24,9	24,7	24,7	24,8	25,1	25,0	25,7	25,3	24,9	25,7	25,7	25,4	22,0
26/11/03	91	25,7	25,4	25,2	25,4	26,1	25,1	26,5	25,9	25,7	26,2	26,4	26,1	22,5
27/11/03	92	26,3	25,6	25,5	25,8	26,7	25,9	26,9	26,5	26,3	26,7	26,9	26,6	22,8
28/11/03	93	26,9	26,5	26,1	26,5	27,2	26,4	27,4	27,0	26,8	27,2	27,5	27,1	23,2
29/11/03	94	27,7	27,1	26,8	27,2	27,8	27,3	27,8	27,6	27,4	27,5	27,9	27,6	22,8
30/11/03	95	27,1	26,5	26,6	26,7	27,4	27,0	27,3	27,2	27,1	27,2	27,4	27,2	22,0
01/12/03	96	27,0	26,8	26,8	26,9	27,2	27,1	27,1	27,1	27,0	27,0	27,2	27,1	22,8
02/12/03	97	26,8	26,7	26,5	26,6	26,9	26,9	27,1	27,0	26,8	27,1	27,2	27,0	22,1
03/12/03	98	25,9	25,9	25,8	25,9	26,0	26,1	26,0	26,0	25,6	26,4	26,2	26,1	23,8

Dia	Tempo de operação (dias)	Temperatura (°C)												Ambiente
		LNSE				LMSE				LVSE				
		Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	
04/12/03	99	27,4	27,1	27,0	27,1	27,3	27,0	27,5	27,3	27,1	27,5	27,7	27,4	21,0
05/12/03	100	26,8	26,9	26,7	26,8	27,1	26,8	27,2	27,0	27,0	27,1	27,1	27,1	22,6
06/12/03	101	26,8	26,7	26,7	26,7	26,9	26,9	27,1	27,0	27,1	27,2	27,1	27,1	22,4
07/12/03	102	26,8	26,8	26,6	26,7	27,0	27,1	27,2	27,1	27,2	27,2	27,2	27,2	18,5
08/12/03	103	25,6	25,9	26,0	25,8	25,7	26,4	26,1	26,0	26,0	26,1	25,9	26,0	21,5
09/12/03	104	25,5	25,9	25,9	25,7	25,4	26,1	26,5	26,0	25,6	26,4	26,4	26,1	22,7
10/12/03	105	25,8	26,2	26,1	26,0	25,8	26,5	27,0	26,4	26,1	26,9	27,1	26,7	21,0
11/12/03	106	25,1	25,7	25,6	25,5	25,5	25,8	25,9	25,7	25,5	25,8	26,1	25,8	22,0
12/12/03	107	25,5	25,7	25,6	25,6	25,6	25,8	26,2	25,8	25,5	26,4	26,2	26,0	23,3
13/12/03	108	26,6	26,6	26,2	26,4	26,8	26,3	27,5	26,8	26,8	27,2	27,4	27,1	23,1
14/12/03	109	26,7	26,5	26,0	26,4	27,1	26,7	27,5	27,1	27,4	27,8	27,9	27,7	22,9
15/12/03	110	27,6	27,2	26,9	27,2	27,8	26,9	27,5	27,4	27,7	27,8	28,0	27,8	23,6
16/12/03	111	28,1	27,6	27,1	27,6	28,2	27,4	28,0	27,9	28,1	28,7	28,4	28,4	23,0
17/12/03	112	28,8	28,1	27,8	28,2	28,9	27,8	28,3	28,3	28,7	29,0	28,9	28,9	23,3
18/12/03	113	29,6	29,0	28,8	29,1	29,5	28,5	29,0	29,0	29,3	29,1	29,1	29,1	21,6
19/12/03	114	28,8	28,4	28,3	28,5	28,7	28,0	28,2	28,3	28,8	28,6	28,4	28,6	20,9
20/12/03	115	27,8	27,3	27,9	27,6	28,2	27,8	27,7	27,9	28,5	28,1	28,0	28,2	21,2
21/12/03	116	26,8	26,8	26,3	26,6	27,0	26,8	26,4	26,7	27,3	27,3	27,2	27,2	22,3
22/12/03	117	28,1	27,9	27,8	27,9	28,2	28,3	27,8	28,1	28,3	28,2	28,0	28,1	20,8
23/12/03	118	26,6	26,8	27,0	26,8	26,9	26,8	26,4	26,7	27,2	27,3	27,2	27,2	21,9
24/12/03	119	26,7	26,6	26,8	26,7	26,8	27,0	26,8	26,8	27,0	27,2	27,1	27,1	21,9
25/12/03	120	27,3	27,0	27,2	27,1	27,1	27,2	27,4	27,2	27,4	27,9	27,8	27,7	20,2
26/12/03	121	27,0	27,1	27,4	27,2	27,2	27,6	27,4	27,4	27,7	27,7	27,7	27,7	19,5
27/12/03	122	26,4	26,8	27,3	26,8	26,3	27,2	26,4	26,6	26,7	26,7	26,6	26,6	18,6
28/12/03	123	24,8	25,5	26,2	25,5	25,1	26,2	25,4	25,6	25,4	25,6	25,5	25,5	19,8
29/12/03	124	24,6	25,1	25,8	25,1	24,7	25,6	25,3	25,2	24,7	25,6	25,7	25,3	20,9
30/12/03	125	25,3	25,6	26,0	25,6	25,4	25,9	26,1	25,8	25,3	26,2	26,3	25,9	22,1
31/12/03	126	26,1	26,0	26,3	26,1	26,3	26,3	26,8	26,5	26,2	26,7	27,0	26,6	22,1
01/01/04	127	26,1	26,2	26,4	26,2	26,4	26,3	26,5	26,4	26,5	26,7	26,8	26,6	22,2
02/01/04	128	26,4	26,4	26,6	26,4	26,5	26,5	26,5	26,5	26,7	26,2	26,7	26,5	19,9
03/01/04	129	25,8	26,1	26,6	26,2	26,0	26,5	26,0	26,2	26,4	26,1	26,1	26,2	17,9
04/01/04	130	24,5	25,3	25,9	25,2	24,8	26,0	25,2	25,3	25,5	25,7	25,5	25,6	18,9
05/01/04	131	24,1	24,3	25,1	24,5	23,8	25,0	24,6	24,5	24,5	25,0	24,9	24,8	20,2

Dia	Tempo de operação (dias)	Temperatura (°C)												Ambiente
		LNSE				LMSE				LVSE				
		Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	
06/01/04	132	23,7	23,9	24,7	24,1	23,9	24,8	25,1	24,6	24,4	25,5	25,6	25,2	22,1
07/01/04	133	25,1	25,1	25,5	25,2	25,5	25,6	26,2	25,7	25,8	26,4	26,6	26,3	20,2
08/01/04	134	25,1	25,4	25,3	25,3	25,8	26,2	26,2	26,1	26,1	26,4	26,4	26,3	19,4
09/01/04	135	24,4	25,1	25,5	25,0	25,0	26,0	25,4	25,4	25,6	26,0	25,8	25,8	18,4
10/01/04	136	23,9	24,9	25,6	24,8	23,6	25,7	24,8	24,7	24,2	25,2	25,1	24,8	20,4
11/01/04	137	23,5	24,4	24,7	24,2	23,5	25,1	24,7	24,4	24,1	25,0	24,9	24,7	21,7
12/01/04	138	23,7	24,3	24,8	24,2	23,9	24,8	24,8	24,5	24,0	24,8	25,0	24,6	22,5
13/01/04	139	23,8	24,2	24,2	24,0	24,2	24,6	24,9	24,6	24,3	24,6	24,9	24,6	22,4
14/01/04	140	24,2	23,8	24,3	24,1	25,2	24,4	25,2	24,9	24,8	25,4	25,7	25,3	22,5
15/01/04	141	25,2	24,9	25,1	25,1	25,7	25,3	25,7	25,5	25,7	25,9	26,1	25,9	22,7
16/01/04	142	24,8	24,4	24,4	24,5	25,3	25,0	25,3	25,2	25,5	25,5	25,5	25,5	23,0
17/01/04	143	26,3	25,7	25,6	25,8	26,4	26,1	26,7	26,4	26,7	27,0	27,0	26,9	21,4
18/01/04	144	26,0	25,8	25,9	25,9	26,4	26,1	26,5	26,3	26,6	26,7	26,4	26,5	19,9
19/01/04	145	27,0	25,8	25,9	26,2	26,8	26,2	26,5	26,5	26,8	27,0	27,0	26,9	19,5
20/01/04	146	26,6	25,8	25,9	26,1	26,9	26,4	26,8	26,7	26,9	27,3	27,1	27,1	19,5
21/01/04	147	26,5	26,4	26,3	26,4	27,2	26,7	26,8	26,9	27,3	27,4	27,2	27,3	20,9
22/01/04	148	27,0	27,1	27,5	27,2	27,0	27,3	26,8	27,0	27,7	27,6	27,3	27,5	20,6
23/01/04	149	25,1	25,6	25,9	25,5	24,9	25,7	25,5	25,3	25,8	26,1	25,9	25,9	20,7
24/01/04	150	24,5	25,1	25,4	25,0	24,6	25,6	25,2	25,1	25,2	25,6	25,4	25,4	22,2
25/01/04	151	25,2	24,7	24,9	24,9	25,1	25,3	25,5	25,3	25,4	25,9	25,9	25,7	21,8
26/01/04	152	25,7	25,2	25,6	25,5	25,8	25,8	26,3	25,9	25,7	26,0	26,1	25,9	21,7
27/01/04	153	25,8	25,6	25,6	25,6	26,4	26,5	26,6	26,5	26,4	26,8	26,9	26,7	21,3
28/01/04	154	26,6	26,2	26,2	26,3	26,8	26,4	26,9	26,7	26,9	27,3	27,1	27,1	21,8
29/01/04	155	26,2	25,6	25,7	25,8	27,5	27,0	27,4	27,3	26,5	26,5	26,5	26,5	20,8
30/01/04	156	25,8	25,7	25,6	25,7	26,5	26,2	26,1	26,3	26,4	26,4	26,3	26,4	21,6
31/01/04	157	26,9	26,6	26,7	26,7	27,1	27,2	27,2	27,1	27,5	27,2	27,3	27,3	21,3
01/02/04	158	26,6	25,7	25,8	26,0	26,9	26,1	26,7	26,6	27,1	27,1	27,1	27,1	20,8
02/02/04	159	26,9	26,5	26,4	26,6	27,2	26,6	26,9	26,9	27,1	27,6	27,3	27,3	21,3
03/02/04	160	26,7	26,5	26,4	26,5	27,0	26,8	26,9	26,9	27,2	27,4	27,3	27,3	23,2
04/02/04	161	27,3	26,7	26,5	26,8	27,5	26,6	28,4	27,5	27,2	27,8	27,9	27,6	23,3
05/02/04	162	28,0	27,2	26,9	27,3	27,4	27,1	28,0	27,5	28,0	28,2	28,4	28,2	23,6
06/02/04	163	29,1	27,8	27,7	28,2	28,9	28,1	29,1	28,7	28,8	29,1	29,2	29,0	22,9
07/02/04	164	29,4	29,2	29,4	29,3	29,6	29,2	29,4	29,4	29,8	29,3	29,4	29,5	19,6

Dia	Tempo de operação (dias)	Temperatura (°C)												Ambiente
		LNSE				LMSE				LVSE				
		Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	
08/02/04	165	27,8	28,2	28,3	28,1	28,4	28,5	28,1	28,3	28,6	28,3	28,2	28,4	17,2
09/02/04	166	26,3	27,3	27,5	27,0	26,1	27,8	26,3	26,7	26,9	27,0	26,4	26,8	17,4
10/02/04	167	23,9	25,6	26,3	25,2	24,2	26,2	25,0	25,1	24,9	25,6	25,0	25,1	18,7
11/02/04	168	23,0	24,8	25,4	24,4	23,5	25,5	24,6	24,5	24,1	24,8	24,6	24,5	18,9
12/02/04	169	22,8	24,6	25,3	24,2	23,2	25,2	24,3	24,2	23,8	24,5	24,3	24,2	20,1
13/02/04	170	22,8	24,3	25,2	24,1	23,3	24,9	24,6	24,3	23,9	24,6	24,6	24,4	21,2
14/02/04	171	22,3	23,0	23,2	22,8	23,6	23,9	24,6	24,0	23,9	23,9	24,3	24,0	21,1
15/02/04	172	25,1	25,1	25,4	25,2	26,1	25,3	26,0	25,8	26,2	25,3	26,0	25,8	20,9
16/02/04	173	23,2	23,9	24,2	23,8	24,1	24,5	24,9	24,5	24,1	24,4	24,9	24,5	21,9
17/02/04	174	24,8	25,7	26,3	25,6	25,1	25,9	26,0	25,6	25,6	-	26,0	25,8	21,0
18/02/04	175	23,7	24,0	24,4	24,0	23,9	24,8	13,1	20,6	24,0	24,5	24,3	24,2	22,0
19/02/04	176	25,2	25,3	25,5	25,3	25,0	25,4	25,8	25,4	25,1	26,0	26,0	25,7	21,9
20/02/04	177	25,4	25,3	25,3	25,3	25,4	25,4	25,9	25,6	25,6	26,0	26,2	25,9	21,9
21/02/04	178	24,6	24,6	24,7	24,6	25,0	25,0	25,3	25,1	25,3	25,3	25,8	25,4	22,1
22/02/04	179	24,9	24,5	24,8	24,7	25,5	24,7	25,6	25,2	25,4	-	26,0	25,7	21,8
23/02/04	180	25,6	25,1	25,3	25,3	26,2	25,2	26,2	25,9	26,1	-	26,6	26,3	22,4
24/02/04	181	26,7	26,2	26,0	26,3	26,8	26,4	27,2	26,8	27,0	-	27,4	27,2	22,1
25/02/04	182	26,5	26,2	26,1	26,2	26,9	26,6	26,9	26,8	27,0	-	27,3	27,1	22,9
26/02/04	183	26,8	26,4	26,1	26,4	26,4	26,5	26,7	26,5	27,0	-	27,2	27,1	20,8
27/02/04	184	26,6	27,2	27,3	27,0	25,9	25,8	26,1	25,9	27,4	-	27,5	27,5	20,0
28/02/04	185	23,2	24,0	24,0	23,7	24,2	25,1	24,3	24,5	24,5	-	25,3	24,9	18,3
29/02/04	186	24,2	24,4	25,1	24,5	24,2	25,3	24,9	24,8	24,3	-	24,8	24,5	19,3
01/03/04	187	24,8	25,4	25,6	25,3	24,9	25,9	26,0	25,6	25,1	-	25,9	25,5	21,1
02/03/04	188	24,4	25,1	25,2	24,9	25,0	25,5	25,7	25,4	25,1	24,6	25,6	25,1	21,3
03/03/04	189	24,0	24,6	24,6	24,4	25,0	25,4	25,6	25,3	25,2	26,9	25,5	25,9	22,1
04/03/04	190	26,1	26,0	26,0	26,0	25,9	26,1	26,5	26,1	26,0	-	26,4	26,2	20,3
05/03/04	191	25,3	26,1	26,7	26,0	26,1	25,9	26,1	26,0	25,9	-	26,0	25,9	20,6
06/03/04	192	24,3	25,0	25,3	24,8	24,8	25,4	25,0	25,1	25,0	-	25,0	25,0	20,6
07/03/04	193	23,7	24,2	24,3	24,1	23,9	24,2	24,2	24,1	24,0	24,9	24,7	24,5	21,3
08/03/04	194	24,8	24,9	24,9	24,8	24,9	25,1	25,3	25,1	25,0	25,6	25,2	25,3	21,4
09/03/04	195	24,9	25,0	25,1	25,0	25,4	25,5	25,5	25,5	25,4	-	25,3	25,3	22,4
10/03/04	196	26,2	25,4	24,9	25,5	25,9	25,5	26,0	25,8	25,9	-	26,2	26,0	21,6
11/03/04	197	27,5	26,7	26,4	26,8	27,2	26,7	27,5	27,1	27,5	-	27,2	27,3	21,5

Dia	Tempo de operação (dias)	Temperatura (°C)												
		LNSE				LMSE				LVSE				Ambiente
		Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	
12/03/04	198	27,6	27,0	26,9	27,1	27,7	27,2	27,5	27,5	27,7	-	27,2	27,4	20,7
13/03/04	199	25,5	25,6	25,7	25,6	26,2	14,5	26,0	22,2	26,6	-	25,8	26,2	21,1
14/03/04	200	26,7	26,2	26,0	26,3	26,9	26,6	27,0	26,8	27,0	-	26,9	26,9	20,2
15/03/04	201	26,9	27,0	26,5	26,8	27,3	27,3	27,4	27,3	27,6	-	27,3	27,5	21,0
16/03/04	202	25,5	26,1	26,2	25,9	26,1	26,6	26,3	26,3	26,9	-	26,4	26,7	21,6
17/03/04	203	26,4	26,4	26,3	26,3	26,3	26,5	26,5	26,4	26,7	-	26,6	26,6	21,7
18/03/04	204	26,9	27,0	26,6	26,8	27,0	27,2	27,4	27,2	27,4	-	27,2	27,3	22,2
19/03/04	205	26,6	26,9	26,6	26,7	27,1	27,1	27,2	27,1	27,5	-	27,1	27,3	21,3
20/03/04	206	25,5	26,0	26,1	25,8	26,8	26,6	26,4	26,6	27,0	-	26,5	26,7	21,6
21/03/04	207	25,3	26,1	26,5	26,0	26,6	26,7	26,7	26,6	27,3	-	27,1	27,2	20,7
22/03/04	208	26,9	26,9	26,6	26,8	26,5	28,0	27,1	27,2	26,8	-	26,6	26,7	19,7
23/03/04	209	25,2	25,5	25,9	25,5	25,9	26,8	26,6	26,4	26,6	-	27,1	26,8	18,2
24/03/04	210	24,2	25,3	25,5	25,0	25,2	25,9	25,3	25,5	25,5	-	25,9	25,7	18,7
25/03/04	211	24,1	24,5	24,5	24,4	24,5	25,2	25,0	24,9	25,0	-	25,4	25,2	19,5
26/03/04	212	24,4	24,1	24,0	24,1	25,1	25,2	25,4	25,2	25,4	-	26,4	25,9	19,6
27/03/04	213	25,8	25,4	25,0	25,4	26,1	26,1	26,4	26,2	26,5	-	27,3	26,9	19,7
28/03/04	214	24,1	24,0	24,4	24,1	24,8	25,4	24,9	25,0	25,4	-	26,1	25,7	20,3
29/03/04	215	26,3	25,3	24,7	25,4	26,1	26,5	26,8	26,4	26,4	-	27,2	26,8	21,3
30/03/04	216	26,3	25,8	25,1	25,7	26,6	26,7	27,0	26,7	27,1	27,2	27,4	27,2	20,2
31/03/04	217	25,4	25,4	24,5	25,1	26,1	26,2	26,2	26,1	26,4	-	26,4	26,4	19,3
01/04/04	218	25,7	25,5	24,4	25,2	26,4	26,5	27,0	26,6	26,4	26,0	26,6	26,3	20,2
02/04/04	219	26,7	26,1	25,6	26,1	26,4	26,4	26,9	26,5	26,8	-	27,1	26,9	20,7
03/04/04	220	27,1	26,7	26,0	26,6	26,8	26,8	27,1	26,9	26,9	-	27,4	27,2	20,5
04/04/04	221	26,7	26,3	25,7	26,2	26,7	26,5	27,1	26,8	26,9	-	27,5	27,2	21,4
05/04/04	222	27,6	27,3	26,6	27,2	27,3	27,2	27,9	27,5	27,6	-	28,1	27,8	20,5
06/04/04	223	26,1	26,6	26,2	26,3	26,5	26,8	26,9	26,7	27,0	27,5	27,4	27,3	21,9
07/04/04	224	26,8	26,8	26,1	26,6	26,7	27,0	27,4	27,0	27,2	-	27,7	27,5	20,6
08/04/04	225	25,5	25,8	25,4	25,5	25,4	25,9	26,1	25,8	26,2	-	26,6	26,4	21,8
09/04/04	226	26,1	26,1	25,9	26,0	25,8	26,4	26,5	26,2	26,2	-	27,1	26,6	21,3
10/04/04	227	26,0	26,1	25,7	25,9	25,7	26,1	26,5	26,1	26,3	-	26,7	26,5	20,5
11/04/04	228	25,7	26,0	25,8	25,8	25,5	25,8	26,4	25,9	25,8	-	26,6	26,2	20,5
12/04/04	229	25,5	26,3	26,2	26,0	25,7	26,4	26,5	26,2	26,2	-	26,8	26,5	20,0
13/04/04	230	24,8	25,8	26,0	25,5	25,2	26,4	25,9	25,8	25,6	-	26,2	25,9	21,0

Dia	Tempo de operação (dias)	Temperatura (°C)												
		LNSE				LMSE				LVSE				Ambiente
		Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	
14/04/04	231	24,6	25,5	25,8	25,3	24,8	25,8	25,4	25,3	25,3	-	25,8	25,5	21,0
15/04/04	232	24,4	24,9	25,2	24,8	24,6	25,3	25,0	24,9	24,8	-	25,3	25,0	21,1
16/04/04	233	24,1	24,8	24,7	24,5	24,2	25,4	24,8	24,8	24,6	-	25,2	24,9	21,2
17/04/04	234	25,2	25,4	25,0	25,2	24,6	25,0	25,1	24,9	24,9	-	25,7	25,3	21,1
18/04/04	235	25,3	25,1	24,5	24,9	25,1	25,2	25,4	25,2	25,7	-	27,0	26,3	20,6
19/04/04	236	25,7	25,2	24,7	25,2	25,8	26,1	26,4	26,1	26,2	-	26,7	26,4	20,0
20/04/04	237	26,3	26,1	25,6	26,0	26,4	26,5	27,0	26,6	26,7	-	27,8	27,2	20,4
21/04/04	238	27,6	26,6	25,9	26,7	27,0	27,2	27,8	27,3	27,3	-	28,3	27,8	21,1
22/04/04	239	27,1	26,7	26,0	26,6	27,1	27,2	27,5	27,3	27,4	-	28,2	27,8	20,3
23/04/04	240	25,4	25,7	25,2	25,4	26,1	26,8	26,3	26,4	26,5	-	27,0	26,8	21,0
24/04/04	241	26,4	26,3	25,7	26,1	26,4	26,3	26,7	26,5	26,6	-	27,2	26,9	20,4
25/04/04	242	26,9	26,6	25,8	26,4	27,2	27,1	27,6	27,3	26,9	-	27,9	27,4	21,1
26/04/04	243	26,0	26,5	26,3	26,2	27,2	27,5	27,3	27,3	27,5	-	27,9	27,7	16,8
27/04/04	244	23,6	25,0	25,5	24,7	25,2	26,1	25,6	25,6	25,8	-	26,1	25,9	16,8
28/04/04	245	21,7	23,6	23,9	23,1	22,9	24,8	23,6	23,7	24,0	-	24,5	24,2	17,5
29/04/04	246	22,4	22,9	23,6	22,9	22,7	24,1	23,9	23,5	23,5	-	24,5	24,0	16,6
30/04/04	247	23,1	23,7	23,9	23,6	22,6	24,5	24,5	23,8	23,8	-	25,3	24,5	16,2
01/05/04	248	21,9	22,7	23,3	22,6	22,5	23,5	23,6	23,2	23,3	-	24,4	23,8	16,6
02/05/04	249	22,8	23,5	23,5	23,3	23,2	23,7	24,6	23,8	23,0	-	24,7	23,9	18,1
03/05/04	250	23,4	23,2	23,0	23,2	23,6	24,1	25,0	24,2	24,3	-	25,6	24,9	18,9
04/05/04	251	24,2	24,3	24,5	24,3	24,5	25,0	25,4	24,9	24,9	-	26,4	25,7	20,3
05/05/04	252	24,9	24,0	23,9	24,3	24,6	24,5	26,3	25,1	25,5	-	27,0	26,2	19,3
06/05/04	253	24,7	24,5	24,1	24,4	25,3	25,6	25,7	25,5	25,8	-	26,8	26,3	19,1
07/05/04	254	24,1	24,2	24,0	24,1	25,0	25,4	25,6	25,3	25,4	-	26,5	25,9	18,7
08/05/04	255	23,9	24,2	23,1	23,7	24,6	25,2	25,3	25,0	24,8	-	25,8	25,3	20,0
09/05/04	256	24,5	24,3	24,6	24,5	25,3	25,7	25,8	25,6	25,6	-	26,1	25,8	18,4
10/05/04	257	23,7	24,1	24,0	23,9	24,9	25,4	25,6	25,3	25,5	-	26,2	25,8	17,1
11/05/04	258	22,6	24,5	23,1	23,4	24,3	25,0	24,9	24,7	24,8	-	25,7	25,2	17,3
12/05/04	259	23,6	23,4	23,5	23,5	23,8	25,0	25,2	24,6	24,5	-	26,0	25,2	17,8
13/05/04	260	23,7	23,9	24,1	23,9	24,1	25,0	25,3	24,8	25,0	-	26,1	25,5	17,7
14/05/04	261	21,9	22,4	22,7	22,3	22,7	24,0	23,7	23,5	23,9	-	24,3	24,1	20,0
15/05/04	262	23,5	23,2	23,1	23,2	23,6	24,3	24,7	24,2	24,1	-	25,6	24,9	20,0
16/05/04	263	23,5	23,7	23,8	23,7	24,6	25,4	24,9	24,9	24,5	-	25,4	25,0	18,8

Dia	Tempo de operação (dias)	Temperatura (°C)												
		LNSE				LMSE				LVSE				Ambiente
		Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	
17/05/04	264	22,7	23,2	23,5	23,1	23,9	24,6	24,5	24,3	24,3	-	25,2	24,7	16,9
18/05/04	265	22,0	22,9	23,4	22,8	23,1	24,2	23,8	23,7	23,7	-	24,5	24,1	18,1
19/05/04	266	20,9	21,6	22,7	21,7	21,6	23,3	22,5	22,4	22,4	-	23,1	22,7	18,5
20/05/04	267	22,2	22,4	23,3	22,6	22,3	23,4	23,4	23,0	23,0	-	24,0	23,5	19,3
21/05/04	268	22,8	22,8	23,0	22,9	22,9	23,4	23,9	23,4	22,9	-	24,7	23,8	17,3
22/05/04	269	21,6	22,3	23,0	22,3	22,4	23,3	23,4	23,0	22,9	-	23,6	23,2	17,3
23/05/04	270	21,0	21,5	22,3	21,6	21,9	22,8	22,7	22,5	22,4	-	23,4	22,9	17,4
24/05/04	271	21,3	22,0	22,6	21,9	22,2	23,1	23,0	22,8	22,7	-	23,5	23,1	16,3
25/05/04	272	21,7	22,1	22,7	22,1	22,4	24,1	23,4	23,3	22,8	-	24,1	23,4	17,1
26/05/04	273	21,4	21,9	22,3	21,9	21,7	22,9	22,9	22,5	22,4	-	23,1	22,7	19,6
27/05/04	274	21,2	22,1	22,6	21,9	22,2	22,6	23,0	22,6	22,7	-	23,5	23,1	14,2
28/05/04	275	21,1	21,7	22,4	21,7	22,0	23,1	23,2	22,7	22,7	-	24,1	23,4	13,1
29/05/04	276	19,5	21,0	24,5	21,7	21,1	22,2	22,0	21,8	21,9	-	22,5	22,2	14,3
30/05/04	277	18,7	19,8	20,8	19,8	19,5	22,3	20,6	20,8	19,9	-	20,9	20,4	16,0
31/05/04	278	18,8	19,8	21,0	19,8	19,5	21,8	20,9	20,7	20,2	-	20,9	20,5	17,0
01/06/04	279	20,6	20,9	21,6	21,0	20,5	21,0	22,2	21,2	20,9	-	22,8	21,8	18,0
02/06/04	280	20,7	20,9	21,2	20,9	21,0	22,7	22,6	22,1	21,3	-	22,7	22,0	17,5
03/06/04	281	21,4	21,2	21,5	21,3	21,5	22,6	22,8	22,3	21,8	-	23,6	22,7	16,6
04/06/04	282	19,9	20,7	20,9	20,5	21,0	21,4	22,0	21,5	21,5	-	22,4	21,9	15,3
05/06/04	283	18,8	20,2	21,0	20,0	20,1	20,8	21,4	20,7	20,2	-	21,5	20,8	13,7
06/06/04	284	18,3	20,0	20,6	19,6	20,4	21,9	21,7	21,3	21,1	-	22,5	21,8	13,9
07/06/04	285	20,0	21,0	22,0	21,0	20,8	22,9	22,6	22,1	21,1	-	23,7	22,4	13,2
08/06/04	286	19,3	20,2	21,0	20,2	20,1	20,8	21,9	20,9	21,2	-	22,7	22,0	14,1
09/06/04	287	18,6	19,5	19,9	19,3	19,9	-	23,2	21,5	20,5	-	22,4	21,5	14,6
10/06/04	288	19,2	19,5	20,3	19,6	19,9	-	22,4	21,1	19,6	-	21,6	20,6	16,5
11/06/04	289	18,9	19,3	19,6	19,3	20,2	-	22,1	21,1	20,3	-	22,4	21,3	15,9
12/06/04	290	20,1	20,1	20,6	20,3	21,0	-	22,2	21,6	21,4	-	23,1	22,3	16,5
13/06/04	291	20,7	20,2	20,7	20,5	21,6	-	22,8	22,2	21,7	-	23,8	22,7	13,9
14/06/04	292	19,1	19,6	20,3	19,6	20,8	20,6	21,4	20,9	20,9	-	22,3	21,6	14,2
15/06/04	293	18,5	19,3	20,4	19,4	19,8	20,7	20,8	20,4	20,5	-	21,7	21,1	14,4
16/06/04	294	18,2	18,8	20,1	19,0	19,0	19,9	20,0	19,6	19,5	-	20,0	19,7	15,7
17/06/04	295	18,8	18,8	19,6	19,0	18,6	19,2	19,6	19,1	18,9	-	20,1	19,5	16,4
18/06/04	296	19,6	19,1	20,0	19,5	19,7	19,1	20,8	19,8	19,5	-	21,2	20,3	15,7

Dia	Tempo de operação (dias)	Temperatura (°C)												Ambiente
		LNSE				LMSE				LVSE				
		Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	
19/06/04	297	19,5	19,4	20,1	19,6	20,6	20,6	21,6	20,9	20,1	-	22,3	21,2	15,2
20/06/04	298	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15,4
21/06/04	299	20,9	19,9	21,3	20,7	21,6	21,2	21,2	21,3	21,4	-	23,3	22,4	15,4
22/06/04	300	19,9	19,7	20,3	20,0	21,5	22,3	22,4	22,1	21,6	-	23,1	22,3	15,5
23/06/04	301	19,1	19,9	19,7	19,5	21,3	-	21,5	21,4	21,2	-	22,8	22,0	17,0
24/06/04	302	20,3	19,8	19,9	20,0	21,7	22,3	22,1	22,0	22,0	-	23,6	22,8	14,7
25/06/04	303	19,0	19,3	19,7	19,3	20,7	-	21,0	20,9	21,3	-	22,0	21,6	15,0
26/06/04	304	18,9	19,3	19,7	19,3	20,4	-	21,1	20,7	20,8	-	21,8	21,3	15,4
27/06/04	305	19,5	19,3	20,0	19,6	20,5	-	21,3	20,9	20,9	-	22,1	21,5	16,6
28/06/04	306	20,1	20,0	20,4	20,2	20,7	-	21,6	21,2	22,0	-	22,4	22,2	15,3
29/06/04	307	19,4	19,5	19,6	19,5	20,1	-	20,9	20,5	20,3	-	21,8	21,0	16,2
30/06/04	308	20,1	20,0	20,2	20,1	20,4	-	22,0	21,2	20,8	-	22,1	21,4	17,2
01/07/04	309	20,4	19,8	20,1	20,1	20,9	-	21,8	21,3	21,2	-	22,4	21,8	17,6
02/07/04	310	19,6	19,1	19,6	19,4	20,1	-	20,9	20,5	20,4	-	21,1	20,7	16,3
03/07/04	311	20,0	19,7	20,1	19,9	20,5	-	21,1	20,8	20,7	-	21,9	21,3	17,9
04/07/04	312	21,2	20,4	20,8	20,8	21,4	-	21,6	21,5	21,3	-	22,7	22,0	15,7
05/07/04	313	21,0	20,2	20,4	20,5	21,8	-	22,4	22,1	21,4	-	23,3	22,3	15,9
06/07/04	314	20,9	20,5	20,7	20,7	21,8	-	22,8	22,3	22,0	-	23,5	22,7	16,5
07/07/04	315	20,6	20,0	20,3	20,3	21,4	-	21,7	21,5	21,7	-	22,9	22,3	16,9
08/07/04	316	21,5	20,8	20,9	21,1	22,1	-	22,7	22,4	22,4	-	23,8	23,1	16,9
09/07/04	317	20,4	20,4	20,6	20,5	21,5	-	22,0	21,8	21,6	-	23,0	22,3	16,8
10/07/04	318	20,5	20,4	20,8	20,6	21,1	-	21,6	21,3	21,5	-	22,3	21,9	18,7
11/07/04	319	20,2	20,1	20,4	20,2	20,4	-	20,7	20,5	21,4	-	22,3	21,8	17,3
12/07/04	320	20,6	20,5	20,7	20,6	20,3	-	21,8	21,1	21,6	-	22,7	22,1	15,6
13/07/04	321	19,8	20,2	20,3	20,1	20,9	-	20,4	20,6	21,4	-	22,1	21,8	16,3
14/07/04	322	20,4	20,1	20,1	20,2	20,4	-	21,7	21,0	20,8	-	21,8	21,3	17,8
15/07/04	323	20,4	19,9	20,4	20,2	20,4	-	21,2	20,8	20,5	-	21,5	21,0	16,5
16/07/04	324	20,0	19,8	19,6	19,8	20,4	-	22,8	21,6	21,0	-	22,2	21,6	15,4
17/07/04	325	20,5	20,6	20,8	20,6	21,5	-	22,3	21,9	21,6	-	23,0	22,3	15,8
18/07/04	326	21,8	21,3	21,4	21,5	22,2	-	22,7	22,5	22,4	-	23,7	23,1	16,5
19/07/04	327	20,7	21,0	21,2	20,9	21,7	-	22,2	21,9	22,0	-	23,0	22,5	14,9
20/07/04	328	19,5	20,6	21,1	20,4	21,0	-	21,0	21,0	21,6	-	22,3	21,9	13,3
21/07/04	329	17,8	19,2	20,1	19,0	19,1	-	20,0	19,6	20,2	-	20,5	20,3	13,2

Dia	Tempo de operação (dias)	Temperatura (°C)												
		LNSE				LMSE				LVSE				Ambiente
		Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	
22/07/04	330	17,1	18,1	19,7	18,3	18,3	-	19,5	18,9	18,8	-	20,0	19,4	12,9
23/07/04	331	18,9	19,3	20,0	19,4	19,0	-	20,4	19,7	19,5	-	21,2	20,4	12,9
24/07/04	332	17,6	18,6	19,0	18,4	18,4	-	20,2	19,3	18,8	-	20,6	19,7	12,4
25/07/04	333	18,0	18,5	19,0	18,5	18,8	-	20,3	19,5	19,4	-	21,1	20,2	12,5
26/07/04	334	17,4	18,3	18,9	18,2	19,0	-	19,8	19,4	19,7	-	21,3	20,5	12,8
27/07/04	335	18,3	18,4	19,0	18,6	21,0	-	20,9	20,9	19,5	-	21,4	20,4	14,5
28/07/04	336	19,4	19,1	19,4	19,3	19,7	-	21,7	20,7	20,0	-	21,6	20,8	14,0
29/07/04	337	19,7	19,6	19,9	19,7	20,3	-	24,3	22,3	20,6	-	22,4	21,5	13,5
30/07/04	338	18,0	18,9	19,2	18,7	19,5	-	20,6	20,1	20,1	-	21,3	20,7	13,3
31/07/04	339	17,7	18,1	18,4	18,0	18,7	-	20,2	19,4	19,3	-	20,3	19,8	14,3
01/08/04	340	19,8	19,4	19,6	19,6	20,1	-	21,4	20,8	20,2	-	22,1	21,2	15,9
02/08/04	341	20,8	19,9	20,1	20,2	21,0	-	21,5	21,2	24,0	-	22,0	23,0	16,3
03/08/04	342	20,1	19,5	19,3	19,6	20,4	-	21,3	20,9	20,3	-	22,0	21,1	16,3
04/08/04	343	22,0	21,1	20,9	21,3	21,3	-	22,4	21,9	21,7	-	23,5	22,6	16,5
05/08/04	344	20,8	20,7	20,6	20,7	21,5	-	22,5	22,0	21,8	-	23,1	22,4	15,7
06/08/04	345	21,7	21,0	20,7	21,1	21,8	-	22,6	22,2	21,8	-	23,4	22,6	16,3
07/08/04	346	21,2	20,4	20,5	20,7	21,4	-	22,3	21,8	21,4	-	23,1	22,2	16,3
08/08/04	347	21,6	21,5	21,1	21,4	22,2	-	23,1	22,7	22,3	-	23,5	22,9	16,0
09/08/04	348	20,9	20,9	21,0	20,9	22,0	-	22,4	22,2	21,9	-	23,0	22,4	13,9
10/08/04	349	20,1	20,5	20,6	20,4	21,5	-	21,9	21,7	21,6	-	22,5	22,0	13,0
11/08/04	350	19,4	19,6	20,3	19,8	20,1	-	21,5	20,8	21,2	-	21,8	21,5	12,5
12/08/04	351	21,0	20,6	20,7	20,8	20,9	-	22,0	21,5	21,3	-	22,7	22,0	13,0
13/08/04	352	19,6	19,8	20,2	19,8	20,3	-	21,5	20,9	20,9	-	22,1	21,5	12,6
14/08/04	353	19,9	19,8	20,0	19,9	20,2	-	21,5	20,8	20,4	-	21,8	21,1	14,0
15/08/04	354	19,0	19,3	19,4	19,2	19,5	-	20,7	20,1	20,1	-	21,5	20,8	15,2
16/08/04	355	21,1	20,3	20,4	20,6	20,3	-	21,6	20,9	20,5	-	22,2	21,4	15,9
17/08/04	356	20,7	20,7	20,6	20,7	20,8	-	21,5	21,2	21,0	-	22,5	21,7	16,1
18/08/04	357	19,7	20,0	20,0	19,9	20,2	-	21,4	20,8	20,6	-	21,7	21,1	15,5
19/08/04	358	19,7	19,7	20,1	19,8	20,8	-	21,6	21,2	20,8	-	21,6	21,2	16,1
20/08/04	359	20,8	19,9	20,3	20,3	20,4	-	21,4	20,9	21,0	-	22,5	21,7	16,1
21/08/04	360	22,5	21,6	21,0	21,7	22,0	-	22,6	22,3	21,9	-	23,5	22,7	16,4
22/08/04	361	21,7	21,3	21,6	21,5	21,1	-	21,7	21,4	21,9	-	23,6	22,7	16,2
23/08/04	362	21,5	21,6	21,4	21,5	22,5	-	22,9	22,7	22,5	-	23,3	22,9	17,2

Dia	Tempo de operação (dias)	Temperatura (° C)												
		LNSE				LMSE				LVSE				Ambiente
		Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	
24/08/04	363	23,5	22,5	21,8	22,6	23,7	-	23,9	23,8	23,2	-	24,7	23,9	19,1
25/08/04	364	24,7	22,8	22,2	23,2	23,8	-	24,6	24,2	23,5	-	25,4	24,4	19,7
26/08/04	365	23,7	23,1	22,6	23,1	23,6	-	24,0	23,8	23,6	-	24,5	24,0	19,9
27/08/04	366	24,7	23,6	22,9	23,7	24,5	-	24,5	24,5	24,5	-	25,4	24,9	19,6
28/08/04	367	24,7	24,3	23,5	24,2	25,8	-	24,7	25,2	24,9	-	25,7	25,3	20,4
29/08/04	368	24,6	24,4	23,3	24,1	25,7	-	24,6	25,1	24,3	-	24,9	24,6	20,6
30/08/04	369	25,3	24,6	24,2	24,7	13,6	-	25,2	19,4	27,4	-	25,8	26,6	19,2
31/08/04	370	26,0	25,1	24,2	25,1	25,0	-	24,5	24,7	25,3	-	26,2	25,7	18,9
	Média	23,6	23,7	23,9	23,7	23,7	24,7	24,5	24,1	24,3	25,3	24,8	24,5	19,0
	Mínimo	17,1	18,1	18,4	18,0	13,6	14,5	13,1	18,0	18,8	18,0	18,4	18,2	12,4
	Máximo	29,6	29,2	29,4	29,3	29,6	29,2	29,4	29,4	29,8	29,3	29,4	29,5	23,8

Tabela A.2 - Temperatura ambiente e da massa dos resíduos sólidos em profundidades dos lisímetros LNCE, LMCE e LVCE durante os 370 dias de operação

Dia	Tempo de operação (dias)	Temperatura (°C)												Ambiente
		LNCE				LMCE				LVCE				
		Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	
28/08/03	1	22,6	23,7	24,1	23,4	19,1	20,0	20,9	20,0	18,6	19,3	19,7	19,2	16,9
29/08/03	2	21,7	22,6	22,8	22,4	18,6	19,4	20,2	19,4	18,3	18,9	19,4	18,8	14,6
30/08/03	3	21,0	21,9	21,7	21,5	18,1	18,7	19,3	18,7	17,6	18,2	18,6	18,1	15,9
31/08/03	4	20,0	21,0	23,4	21,4	17,5	18,3	18,7	18,1	17,3	17,7	18,1	17,7	17,7
01/09/03	5	19,8	20,5	21,0	20,4	17,5	18,9	19,2	18,5	17,4	18,1	18,5	18,0	19,8
02/09/03	6	20,5	20,9	21,8	21,1	19,3	20,0	20,4	19,9	19,7	19,7	19,8	19,8	17,0
03/09/03	7	21,2	21,7	21,9	21,6	19,6	20,7	21,0	20,4	20,3	20,2	20,4	20,3	16,5
04/09/03	8	20,5	21,2	21,5	21,0	19,0	19,8	20,4	19,7	19,3	19,5	19,7	19,5	17,6
05/09/03	9	20,6	21,0	21,3	20,9	19,3	20,2	20,6	20,0	19,6	19,8	19,9	19,8	16,3
06/09/03	10	21,1	21,2	21,3	21,2	19,3	20,6	21,0	20,3	20,1	20,2	20,1	20,1	16,5
07/09/03	11	21,4	21,4	21,7	21,5	19,4	20,9	21,3	20,5	20,4	20,6	20,6	20,5	16,3
08/09/03	12	21,4	21,7	22,1	21,7	20,0	21,2	21,5	20,9	20,7	21,0	20,9	20,9	17,7
09/09/03	13	21,6	22,2	22,6	22,1	20,3	21,6	22,0	21,3	21,0	21,3	21,5	21,2	17,8
10/09/03	14	22,4	22,4	23,0	22,6	21,6	22,1	22,4	22,0	21,7	21,9	21,8	21,8	18,9
11/09/03	15	22,9	23,1	22,2	22,7	21,8	22,7	23,1	22,5	22,4	22,4	22,5	22,4	17,3
12/09/03	16	22,9	23,2	23,6	23,2	21,9	21,1	22,9	22,0	22,1	22,1	22,5	22,2	17,4
13/09/03	17	22,3	22,3	22,6	22,4	20,4	20,7	21,7	20,9	20,8	20,9	21,5	21,1	19,3
14/09/03	18	22,0	22,0	21,1	21,7	20,6	21,0	21,8	21,1	21,2	21,3	21,4	21,3	16,1
15/09/03	19	21,2	21,5	22,3	21,7	19,7	20,3	21,0	20,3	20,0	20,3	20,4	20,2	16,9
16/09/03	20	20,6	21,0	21,2	20,9	19,6	19,7	20,6	20,0	19,6	19,8	20,2	19,9	19,5
17/09/03	21	21,1	21,2	21,8	21,4	19,6	20,4	21,9	20,6	21,0	21,3	21,3	21,2	16,6
18/09/03	22	21,2	21,1	21,8	21,4	19,6	20,9	21,1	20,5	20,3	20,7	21,0	20,7	17,2
19/09/03	23	20,5	21,4	21,7	21,2	19,6	20,2	21,0	20,2	19,6	20,0	20,4	20,0	18,0
20/09/03	24	20,7	20,7	21,6	21,0	20,2	20,4	21,1	20,5	20,3	20,7	20,6	20,5	18,0
21/09/03	25	22,0	21,4	22,4	21,9	20,8	21,2	22,0	21,3	21,7	21,4	21,6	21,5	19,6
22/09/03	26	22,4	22,1	23,0	22,5	21,8	22,1	22,7	22,2	22,4	22,1	22,1	22,2	18,7
23/09/03	27	23,0	22,9	23,4	23,1	22,2	22,9	23,1	22,7	23,3	22,9	22,9	23,0	18,3
24/09/03	28	23,6	23,0	23,8	23,4	22,9	23,1	23,3	23,1	23,1	23,1	23,0	23,1	20,7
25/09/03	29	23,9	23,6	24,4	24,0	23,0	23,9	24,0	23,6	24,1	23,8	23,7	23,8	22,6
26/09/03	30	25,0	24,1	24,7	24,6	23,9	24,4	24,7	24,3	25,1	24,6	24,2	24,6	21,4
27/09/03	31	25,6	24,7	25,1	25,1	24,6	24,5	25,1	24,7	25,5	24,7	24,2	24,8	21,2
28/09/03	32	25,6	25,2	25,5	25,4	24,7	25,1	25,3	25,0	25,7	25,1	25,1	25,3	20,2

Dia	Tempo de operação (dias)	Temperatura (°C)												Ambiente
		LNCE				LMCE				LVCE				
		Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	
29/09/03	33	25,3	25,6	25,8	25,5	24,2	24,6	25,2	24,6	24,9	24,3	24,7	24,6	19,9
30/09/03	34	24,7	24,7	25,3	24,9	23,2	23,9	24,3	23,8	22,8	23,2	23,8	23,3	20,0
01/10/03	35	24,3	24,4	24,8	24,5	22,7	23,9	24,4	23,6	23,3	23,8	23,9	23,7	19,3
02/10/03	36	24,5	24,3	25,0	24,6	23,2	23,8	23,9	23,6	23,4	23,6	23,9	23,6	20,4
03/10/03	37	24,7	24,6	24,8	24,7	23,3	24,3	24,6	24,1	24,0	23,7	24,2	24,0	20,0
04/10/03	38	25,3	24,9	25,4	25,2	24,4	25,0	25,2	24,9	24,6	24,7	24,6	24,6	19,9
05/10/03	39	25,4	24,9	25,6	25,3	24,4	25,0	25,4	24,9	24,8	24,9	25,1	24,9	19,7
06/10/03	40	25,6	25,4	26,0	25,7	24,2	25,5	25,9	25,2	25,2	25,1	25,4	25,2	20,5
07/10/03	41	26,0	25,7	26,2	26,0	24,8	25,6	25,9	25,4	25,2	25,5	25,7	25,5	22,5
08/10/03	42	26,1	25,8	26,5	26,1	24,9	26,1	26,3	25,7	26,4	26,0	26,2	26,2	21,5
09/10/03	43	26,2	26,1	26,6	26,3	24,6	25,6	25,8	25,3	25,7	25,4	25,4	25,5	21,4
10/10/03	44	26,0	25,9	26,6	26,2	24,8	25,6	25,8	25,4	25,4	25,2	25,5	25,4	20,9
11/10/03	45	25,3	25,4	26,0	25,5	23,8	24,8	25,5	24,7	24,7	24,8	25,1	24,9	20,5
12/10/03	46	25,1	25,0	25,3	25,1	23,3	24,1	24,4	23,9	23,2	23,7	23,5	23,5	17,0
13/10/03	47	24,2	24,6	25,3	24,7	22,2	23,5	24,2	23,3	22,4	23,1	23,7	23,1	17,6
14/10/03	48	22,8	23,1	24,0	23,3	21,5	22,5	23,2	22,4	21,3	21,9	22,8	22,0	17,6
15/10/03	49	22,6	22,9	23,4	23,0	21,2	22,6	22,9	22,2	22,0	22,2	23,2	22,4	16,8
16/10/03	50	23,0	23,6	24,0	23,5	21,5	22,9	23,3	22,6	22,4	22,4	23,0	22,6	16,4
17/10/03	51	24,8	25,2	25,6	25,2	24,3	24,7	25,4	24,8	23,7	23,9	24,7	24,1	14,9
18/10/03	52	24,9	25,3	25,6	25,3	24,5	24,8	25,5	24,9	24,1	24,3	25,0	24,4	17,4
19/10/03	53	24,7	24,6	25,3	24,9	24,3	24,5	25,1	24,6	24,0	23,9	24,7	24,2	19,8
20/10/03	54	25,5	25,6	26,1	25,7	25,2	25,5	26,1	25,6	25,1	25,0	25,3	25,1	21,7
21/10/03	55	25,8	25,6	25,9	25,8	25,3	25,5	25,9	25,6	25,7	25,3	25,6	25,5	22,6
22/10/03	56	26,8	26,2	26,8	26,6	26,5	26,5	26,9	26,6	27,1	26,4	26,5	26,6	23,8
23/10/03	57	27,7	27,2	27,7	27,5	27,4	27,1	27,6	27,4	27,6	26,8	26,9	27,1	18,8
24/10/03	58	26,6	26,4	26,7	26,5	26,1	25,8	26,3	26,1	25,6	25,5	25,9	25,6	17,6
25/10/03	59	25,3	25,4	25,9	25,5	24,6	24,7	25,4	24,9	24,0	24,3	24,8	24,4	20,5
26/10/03	60	25,7	25,7	25,9	25,8	24,9	25,5	25,8	25,4	24,9	25,0	24,8	24,9	21,6
27/10/03	61	26,5	25,9	26,7	26,4	25,7	26,2	26,8	26,2	26,4	26,2	26,2	26,2	22,3
28/10/03	62	26,9	26,3	26,9	26,7	26,4	26,9	26,5	26,6	26,8	26,8	26,7	26,8	21,9
29/10/03	63	27,6	27,3	27,6	27,5	27,3	27,2	27,5	27,3	28,1	27,5	27,1	27,5	21,5
30/10/03	64	28,0	27,6	28,0	27,8	27,6	27,3	28,0	27,6	28,0	27,5	27,5	27,7	21,9
31/10/03	65	28,2	27,2	29,0	28,1	27,8	27,6	28,0	27,8	28,0	27,7	27,6	27,8	20,6

Dia	Tempo de operação (dias)	Temperatura (°C)												Ambiente
		LNCE				LMCE				LVCE				
		Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	
01/11/03	66	27,6	27,4	27,3	27,4	27,2	27,0	27,3	27,2	27,0	26,8	26,7	26,8	21,6
02/11/03	67	27,9	27,6	27,8	27,8	27,5	27,4	27,7	27,5	27,3	27,1	26,9	27,1	20,0
03/11/03	68	27,5	27,6	27,6	27,6	26,5	26,8	27,1	26,8	26,0	26,3	26,5	26,3	16,9
04/11/03	69	25,9	26,5	26,2	26,2	24,8	25,4	25,6	25,2	23,7	24,7	25,0	24,5	17,0
05/11/03	70	25,6	26,2	26,4	26,0	24,8	25,5	26,0	25,4	24,8	25,3	25,3	25,1	17,0
06/11/03	71	25,8	26,3	26,3	26,1	25,0	25,5	25,9	25,4	24,6	24,9	25,3	24,9	17,0
07/11/03	72	25,3	26,0	26,2	25,8	24,4	24,9	25,6	25,0	23,6	24,1	24,7	24,1	17,6
08/11/03	73	24,4	25,2	25,4	25,0	23,3	24,3	25,1	24,2	22,6	23,4	24,0	23,3	19,4
09/11/03	74	24,3	25,0	25,3	24,9	23,7	24,7	24,8	24,4	23,4	24,1	24,2	23,9	21,1
10/11/03	75	25,0	25,5	25,7	25,4	24,3	24,7	25,5	24,8	24,2	24,5	24,9	24,5	23,5
11/11/03	76	25,9	26,1	26,1	26,0	25,6	25,9	26,2	25,9	26,2	25,8	25,6	25,8	22,3
12/11/03	77	26,3	26,5	26,7	26,5	26,6	26,4	26,8	26,6	27,5	26,5	26,2	26,7	22,2
13/11/03	78	27,0	26,9	27,2	27,0	27,0	26,8	27,2	27,0	27,4	26,8	26,4	26,8	22,0
14/11/03	79	27,0	27,0	27,1	27,0	26,9	26,9	27,1	26,9	27,5	26,9	26,7	27,0	20,4
15/11/03	80	27,0	27,0	27,4	27,1	26,6	26,7	27,0	26,7	26,7	27,0	26,4	26,7	20,1
16/11/03	81	26,7	26,9	27,1	26,9	26,2	26,2	26,5	26,3	26,1	-	26,0	26,0	21,1
17/11/03	82	26,9	26,9	27,2	27,0	26,2	26,6	26,8	26,5	26,2	26,3	26,2	26,2	21,6
18/11/03	83	26,7	26,7	27,0	26,8	26,1	26,4	26,3	26,3	26,2	26,2	26,1	26,1	22,0
19/11/03	84	26,6	26,7	27,2	26,8	26,5	26,8	26,6	26,6	26,3	26,2	26,2	26,2	22,0
20/11/03	85	27,2	27,2	26,9	27,1	31,8	27,3	26,8	28,6	26,7	26,6	26,5	26,6	20,0
21/11/03	86	26,2	26,7	26,9	26,6	25,7	25,8	26,5	26,0	25,6	25,7	25,8	25,7	19,4
22/11/03	87	26,3	27,0	27,3	26,8	25,7	26,1	26,5	26,1	25,3	25,6	25,8	25,5	19,9
23/11/03	88	25,0	25,5	25,3	25,3	24,5	24,8	25,0	24,8	24,5	24,6	24,7	24,6	20,5
24/11/03	89	25,3	25,6	25,9	25,6	24,8	25,2	25,5	25,2	25,1	24,9	25,0	25,0	21,6
25/11/03	90	25,7	25,7	25,8	25,7	25,2	25,5	25,5	25,4	26,0	25,4	25,2	25,5	22,0
26/11/03	91	26,5	26,1	26,2	26,3	26,3	26,4	26,8	26,5	27,4	26,6	26,2	26,7	22,5
27/11/03	92	27,1	27,0	27,5	27,2	26,9	26,9	26,7	26,8	27,8	27,2	26,8	27,2	22,8
28/11/03	93	27,5	27,5	27,4	27,5	27,3	27,2	27,2	27,2	28,1	27,2	27,0	27,4	23,2
29/11/03	94	28,3	27,7	28,2	28,1	27,9	27,7	27,9	27,8	28,2	27,8	27,7	27,9	22,8
30/11/03	95	27,7	27,7	27,7	27,7	27,5	27,4	27,7	27,5	26,7	27,6	27,1	27,1	22,0
01/12/03	96	27,6	27,8	27,9	27,7	27,3	27,3	27,5	27,4	26,9	27,3	27,1	27,1	22,8
02/12/03	97	27,5	27,6	27,8	27,6	27,1	27,3	27,4	27,2	27,3	27,2	26,9	27,1	22,1
03/12/03	98	26,7	26,7	27,2	26,9	26,6	26,6	26,6	26,6	26,5	26,5	26,3	26,4	23,8

Dia	Tempo de operação (dias)	Temperatura (°C)												Ambiente
		LNCE				LMCE				LVCE				
		Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	
04/12/03	99	27,9	27,7	28,0	27,8	27,1	27,4	27,3	27,3	27,3	27,4	27,1	27,3	21,0
05/12/03	100	27,4	27,5	27,9	27,6	27,1	27,1	27,0	27,0	27,3	26,9	26,6	26,9	22,6
06/12/03	101	27,5	27,6	28,1	27,7	27,0	27,0	27,5	27,1	27,1	26,8	27,0	27,0	22,4
07/12/03	102	27,7	27,8	27,7	27,7	27,0	27,3	27,3	27,2	27,5	27,1	27,1	27,2	18,5
08/12/03	103	26,3	27,1	27,3	26,9	25,8	26,2	26,7	26,2	25,8	25,9	26,4	26,0	21,5
09/12/03	104	26,2	27,0	27,0	26,7	25,2	26,2	26,3	25,9	25,3	25,9	25,8	25,7	22,7
10/12/03	105	26,9	27,3	27,2	27,1	26,1	26,8	27,1	26,7	25,8	26,6	26,8	26,4	21,0
11/12/03	106	26,3	26,8	27,2	26,7	26,0	26,3	26,5	26,2	26,0	25,9	26,3	26,0	22,0
12/12/03	107	26,2	26,3	27,3	26,6	26,0	26,0	26,5	26,1	26,2	25,9	25,6	25,9	23,3
13/12/03	108	27,3	27,2	27,5	27,3	27,0	27,1	27,3	27,1	27,7	27,0	26,8	27,2	23,1
14/12/03	109	27,9	27,7	27,8	27,8	27,5	27,7	27,6	27,6	27,4	27,6	27,5	27,5	22,9
15/12/03	110	28,4	27,8	28,1	28,1	28,2	28,0	28,1	28,1	28,6	28,2	27,3	28,0	23,6
16/12/03	111	28,7	28,2	28,1	28,3	28,4	28,9	28,7	28,7	29,5	28,5	28,0	28,7	23,0
17/12/03	112	29,2	28,7	28,4	28,7	29,6	28,8	28,6	29,0	29,5	29,1	28,6	29,1	23,3
18/12/03	113	29,8	29,3	29,5	29,5	29,5	29,1	29,3	29,3	29,7	29,2	28,6	29,2	21,6
19/12/03	114	28,7	29,0	28,9	28,8	28,8	28,6	28,7	28,7	29,2	28,5	28,3	28,6	20,9
20/12/03	115	28,6	28,6	28,5	28,5	28,1	28,0	27,6	27,9	27,9	27,7	27,7	27,8	21,2
21/12/03	116	27,9	27,9	27,5	27,7	27,6	27,4	27,1	27,3	27,8	27,6	27,1	27,5	22,3
22/12/03	117	28,6	28,5	28,5	28,5	28,2	28,1	28,1	28,1	28,0	27,8	27,8	27,9	20,8
23/12/03	118	27,6	27,9	27,8	27,7	27,1	27,4	27,4	27,3	-	27,2	27,3	27,2	21,9
24/12/03	119	27,6	27,7	27,6	27,6	27,1	27,3	27,3	27,2	27,2	27,4	27,6	27,4	21,9
25/12/03	120	27,9	28,0	27,9	27,9	27,3	27,6	27,8	27,6	27,7	27,3	27,4	27,4	20,2
26/12/03	121	27,8	28,3	28,4	28,2	27,1	27,7	28,0	27,6	26,9	27,0	26,8	26,9	19,5
27/12/03	122	27,1	27,5	27,7	27,4	26,2	26,6	26,9	26,6	25,4	25,9	26,5	25,9	18,6
28/12/03	123	25,7	26,5	26,7	26,3	25,3	25,6	26,0	25,6	24,9	25,0	25,6	25,2	19,8
29/12/03	124	25,4	26,0	26,1	25,8	24,6	25,4	25,7	25,2	24,2	24,6	25,1	24,6	20,9
30/12/03	125	25,9	26,1	26,6	26,2	25,0	25,5	26,1	25,5	24,9	24,9	25,5	25,1	22,1
31/12/03	126	26,7	26,6	26,4	26,6	26,2	26,2	26,9	26,4	27,4	25,8	26,0	26,4	22,1
01/01/04	127	26,9	26,9	27,1	26,9	26,5	26,6	26,9	26,6	26,6	26,0	26,2	26,2	22,2
02/01/04	128	27,1	27,1	27,3	27,2	26,7	26,5	26,8	26,6	26,2	26,1	26,0	26,1	19,9
03/01/04	129	26,2	26,8	27,0	26,7	25,7	25,9	26,4	26,0	25,5	25,2	25,7	25,5	17,9
04/01/04	130	25,5	26,3	26,5	26,1	25,0	25,4	25,9	25,4	23,7	24,6	24,9	24,4	18,9
05/01/04	131	24,6	25,4	25,6	25,2	23,8	24,5	24,9	24,4	23,3	23,8	24,4	23,8	20,2

Dia	Tempo de operação (dias)	Temperatura (°C)												Ambiente
		LNCE				LMCE				LVCE				
		Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	
06/01/04	132	25,1	25,8	25,8	25,6	24,4	25,1	25,6	25,0	23,9	24,4	25,1	24,4	22,1
07/01/04	133	26,1	26,2	26,2	26,1	25,6	25,9	26,1	25,8	25,6	25,4	25,6	25,5	20,2
08/01/04	134	26,2	26,4	26,7	26,4	25,9	26,2	26,5	26,2	25,6	25,5	25,9	25,6	19,4
09/01/04	135	25,5	26,2	26,5	26,0	24,9	25,5	25,9	25,4	24,6	24,9	25,4	24,9	18,4
10/01/04	136	24,5	25,5	25,9	25,3	23,8	24,6	25,2	24,5	23,3	24,1	25,1	24,2	20,4
11/01/04	137	24,3	25,2	25,6	25,0	23,5	24,4	24,9	24,2	23,0	23,8	24,1	23,6	21,7
12/01/04	138	24,3	24,9	25,4	24,9	23,9	24,3	24,8	24,3	23,4	23,9	24,1	23,8	22,5
13/01/04	139	24,2	24,5	24,9	24,5	23,9	24,3	24,7	24,3	24,3	24,0	24,4	24,2	22,4
14/01/04	140	25,3	25,2	25,6	25,3	25,3	25,2	25,4	25,3	25,2	24,7	25,0	24,9	22,5
15/01/04	141	25,9	25,8	26,0	25,9	25,6	25,6	25,7	25,6	25,5	25,2	25,2	25,3	22,7
16/01/04	142	25,6	25,1	25,6	25,4	25,2	25,0	25,6	25,3	25,5	25,0	25,0	25,2	23,0
17/01/04	143	26,9	26,6	26,7	26,7	26,5	26,7	26,8	26,6	26,7	26,4	26,2	26,4	21,4
18/01/04	144	26,9	26,6	26,3	26,6	26,5	26,6	26,4	26,5	26,4	26,5	27,1	26,6	19,9
19/01/04	145	27,0	26,6	27,0	26,9	26,7	26,7	26,8	26,7	26,2	26,7	26,4	26,4	19,5
20/01/04	146	27,3	26,9	27,1	27,1	26,9	26,4	26,7	26,6	26,2	26,2	26,3	26,2	19,5
21/01/04	147	27,4	27,3	27,4	27,3	27,0	26,8	27,0	26,9	26,1	26,4	26,4	26,3	20,9
22/01/04	148	27,4	27,8	27,7	27,6	26,4	27,0	27,1	26,8	26,3	26,5	26,7	26,5	20,6
23/01/04	149	26,0	26,3	26,4	26,2	25,2	25,6	26,0	25,6	25,0	25,4	25,6	25,3	20,7
24/01/04	150	25,6	26,1	26,3	26,0	24,9	25,3	25,7	25,3	24,5	24,8	25,1	24,8	22,2
25/01/04	151	25,9	26,0	26,3	26,1	25,7	26,0	26,3	26,0	26,0	25,8	25,1	25,6	21,8
26/01/04	152	26,7	26,4	26,6	26,6	26,0	26,2	26,5	26,2	25,6	25,7	26,1	25,8	21,7
27/01/04	153	27,3	26,9	27,0	27,1	26,7	26,8	27,1	26,9	26,2	26,2	26,5	26,3	21,3
28/01/04	154	27,5	27,3	27,4	27,4	27,4	26,9	27,3	27,2	26,5	26,4	26,3	26,4	21,8
29/01/04	155	27,0	27,1	27,4	27,1	27,1	27,0	27,2	27,1	26,7	26,5	26,4	26,5	20,8
30/01/04	156	27,0	26,9	27,1	27,0	26,6	26,4	26,4	26,5	26,0	26,1	26,8	26,3	21,6
31/01/04	157	27,7	27,6	27,6	27,6	27,1	27,3	27,2	27,2	26,7	26,7	26,6	26,7	21,3
01/02/04	158	27,4	27,0	27,2	27,2	27,1	26,9	27,2	27,0	26,8	26,8	26,7	26,7	20,8
02/02/04	159	27,8	27,7	27,8	27,8	27,6	27,7	28,0	27,7	27,6	27,6	27,4	27,5	21,3
03/02/04	160	27,4	27,4	27,5	27,4	27,1	27,0	27,3	27,1	26,6	27,0	27,0	26,9	23,2
04/02/04	161	28,1	27,9	28,0	28,0	28,5	27,9	28,0	28,1	27,9	27,9	27,5	27,8	23,3
05/02/04	162	29,1	28,4	28,2	28,6	28,1	28,1	27,7	28,0	28,2	28,5	28,3	28,3	23,6
06/02/04	163	29,8	29,1	28,8	29,2	28,7	28,8	29,1	28,9	28,8	29,2	29,0	29,0	22,9
07/02/04	164	30,3	29,9	29,7	30,0	29,6	29,4	29,4	29,5	29,2	29,1	-	29,1	19,6

Dia	Tempo de operação (dias)	Temperatura (°C)												Ambiente
		LNCE				LMCE				LVCE				
		Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	
08/02/04	165	28,9	29,1	29,1	29,0	28,5	28,5	28,6	28,5	27,2	28,0	-	27,6	17,2
09/02/04	166	26,8	27,7	28,0	27,5	26,3	26,6	26,9	26,6	24,9	25,8	-	25,4	17,4
10/02/04	167	25,1	26,2	26,6	26,0	24,4	25,3	25,5	25,0	22,7	24,0	26,8	24,5	18,7
11/02/04	168	24,0	25,6	26,1	25,2	23,4	24,6	25,2	24,4	22,7	23,8	24,8	23,8	18,9
12/02/04	169	24,0	25,1	25,4	24,8	23,5	24,3	24,6	24,1	21,0	23,1	-	22,1	20,1
13/02/04	170	24,2	25,1	25,4	24,9	23,4	23,6	24,7	23,9	22,7	23,5	23,6	23,2	21,2
14/02/04	171	23,7	24,1	25,7	24,5	23,5	24,2	25,0	24,2	24,0	24,2	-	24,1	21,1
15/02/04	172	26,2	25,9	26,0	26,0	26,0	25,1	25,6	25,6	26,1	25,0	25,3	25,5	20,9
16/02/04	173	24,3	24,8	25,5	24,9	23,9	24,7	25,3	24,6	24,7	24,8	-	24,8	21,9
17/02/04	174	25,6	26,2	26,4	26,0	25,2	25,6	26,0	25,6	24,8	25,3	-	25,0	21,0
18/02/04	175	24,0	24,5	25,2	24,5	23,6	24,0	24,6	24,0	23,4	24,0	-	23,7	22,0
19/02/04	176	25,8	26,0	26,1	26,0	25,1	25,4	25,1	25,2	25,1	25,2	25,6	25,3	21,9
20/02/04	177	26,2	26,4	26,3	26,3	25,7	25,8	26,2	25,9	25,6	25,4	25,6	25,5	21,9
21/02/04	178	25,7	26,0	26,2	26,0	25,3	25,4	25,9	25,5	25,4	25,2	25,6	25,4	22,1
22/02/04	179	25,9	25,8	26,5	26,1	25,7	25,6	26,2	25,8	25,8	25,5	25,8	25,7	21,8
23/02/04	180	26,8	26,7	26,8	26,8	26,5	26,5	26,9	26,6	26,5	26,3	26,6	26,4	22,4
24/02/04	181	27,6	27,4	27,3	27,4	27,1	27,0	27,2	27,1	26,6	26,6	26,8	26,6	22,1
25/02/04	182	27,1	27,3	27,4	27,2	27,0	26,9	27,3	27,0	26,5	26,9	25,8	26,4	22,9
26/02/04	183	27,4	27,5	27,0	27,3	27,2	27,0	27,1	27,1	26,6	26,9	26,2	26,6	20,8
27/02/04	184	27,5	28,0	27,4	27,6	27,4	27,4	27,6	27,5	26,5	26,6	26,7	26,6	20,0
28/02/04	185	24,3	25,1	24,7	24,7	24,5	24,2	25,0	24,6	24,2	24,4	25,3	24,6	18,3
29/02/04	186	24,4	25,2	25,5	25,0	24,2	25,1	25,3	24,8	24,0	24,4	24,3	24,2	19,3
01/03/04	187	25,8	26,4	26,3	26,1	24,9	25,8	26,1	25,6	24,1	24,5	25,1	24,6	21,1
02/03/04	188	25,7	26,2	26,3	26,1	25,0	25,5	26,0	25,5	24,7	24,5	24,9	24,7	21,3
03/03/04	189	25,2	25,7	25,7	25,5	25,2	25,1	25,7	25,3	25,9	24,7	25,0	25,2	22,1
04/03/04	190	27,0	26,9	26,6	26,8	26,2	26,2	26,6	26,3	26,2	25,8	26,0	26,0	20,3
05/03/04	191	26,2	26,7	26,7	26,5	25,7	25,8	26,0	25,8	25,1	25,1	25,2	25,1	20,6
06/03/04	192	25,1	25,7	25,9	25,6	24,9	24,9	25,3	25,0	24,7	24,5	25,2	24,8	20,6
07/03/04	193	24,3	25,0	25,7	25,0	24,5	24,6	25,0	24,7	24,9	24,7	25,0	24,8	21,3
08/03/04	194	25,7	25,8	25,7	25,7	25,0	25,6	25,5	25,4	25,2	25,2	25,5	25,3	21,4
09/03/04	195	26,0	25,7	25,7	25,8	25,5	25,7	26,2	25,8	25,4	25,3	25,7	25,5	22,4
10/03/04	196	26,9	26,5	26,3	26,6	26,3	26,0	25,8	26,0	26,4	26,3	26,1	26,3	21,6
11/03/04	197	28,4	27,9	27,4	27,9	27,5	27,5	27,0	27,3	27,3	27,3	27,2	27,2	21,5

Dia	Tempo de operação (dias)	Temperatura (°C)												Ambiente
		LNCE				LMCE				LVCE				
		Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	
12/03/04	198	28,2	28,1	27,8	28,0	27,5	27,5	27,4	27,5	27,2	27,2	27,3	27,2	20,7
13/03/04	199	26,7	26,8	26,8	26,7	26,6	26,5	26,4	26,5	25,9	26,1	26,5	26,2	21,1
14/03/04	200	27,9	27,5	27,2	27,5	27,0	27,3	-	27,1	-	26,9	26,6	26,7	20,2
15/03/04	201	28,1	28,0	27,8	28,0	27,4	27,5	-	27,4	26,6	27,1	27,5	27,1	21,0
16/03/04	202	26,8	27,4	27,4	27,2	26,8	27,0	-	26,9	25,6	26,4	26,8	26,2	21,6
17/03/04	203	27,3	27,1	27,1	27,2	26,4	26,6	-	26,5	-	26,5	26,8	26,6	21,7
18/03/04	204	28,2	28,1	27,7	28,0	26,9	27,2	-	27,1	26,7	27,2	27,2	27,0	22,2
19/03/04	205	27,8	28,0	27,8	27,8	27,1	27,3	-	27,2	26,6	26,6	26,7	26,6	21,3
20/03/04	206	27,2	27,7	27,6	27,5	26,9	26,6	-	26,7	25,9	26,5	26,6	26,3	21,6
21/03/04	207	27,5	27,7	27,8	27,6	27,2	27,2	-	27,2	-	26,7	-	26,7	20,7
22/03/04	208	27,0	27,4	27,6	27,3	26,6	26,7	-	26,6	-	26,3	-	26,3	19,7
23/03/04	209	27,2	27,6	27,6	27,5	26,4	26,8	-	26,6	25,7	27,0	26,6	26,4	18,2
24/03/04	210	26,1	26,7	26,7	26,5	25,5	25,9	-	25,7	25,5	25,2	-	25,4	18,7
25/03/04	211	25,9	26,2	14,8	22,3	25,0	25,6	-	25,3	24,8	25,3	25,4	25,1	19,5
26/03/04	212	26,6	26,8	26,8	26,7	25,7	26,4	-	26,1	26,9	26,3	26,8	26,6	19,6
27/03/04	213	27,7	27,8	27,6	27,7	26,4	27,1	-	26,7	26,2	26,2	26,4	26,3	19,7
28/03/04	214	26,2	26,9	27,2	26,7	25,5	26,3	-	25,9	25,3	25,8	26,6	25,9	20,3
29/03/04	215	27,4	27,8	27,7	27,6	26,4	26,7	-	26,5	-	26,3	26,8	26,5	21,3
30/03/04	216	27,9	28,2	28,2	28,1	27,1	27,0	-	27,0	25,6	25,8	26,3	25,9	20,2
31/03/04	217	26,9	27,2	27,7	27,2	26,3	26,7	-	26,5	-	26,6	26,6	26,6	19,3
01/04/04	218	26,9	27,1	27,4	27,1	26,4	26,4	-	26,4	25,6	26,4	26,1	26,0	20,2
02/04/04	219	27,8	27,8	27,3	27,6	26,6	26,9	-	26,8	25,5	25,9	-	25,7	20,7
03/04/04	220	27,8	27,9	28,1	27,9	26,7	27,0	-	26,8	-	26,8	-	26,8	20,5
04/04/04	221	27,7	28,0	28,4	28,0	26,8	27,2	-	27,0	-	26,2	-	26,2	21,4
05/04/04	222	28,7	28,8	28,5	28,6	27,5	27,6	-	27,5	-	26,9	-	26,9	20,5
06/04/04	223	27,9	27,3	28,4	27,9	26,8	25,2	-	26,0	-	26,2	-	26,2	21,9
07/04/04	224	28,2	28,3	28,4	28,3	26,8	25,3	-	26,1	-	26,3	-	26,3	20,6
08/04/04	225	26,7	27,2	27,7	27,2	25,9	-	-	25,9	-	25,6	24,2	24,9	21,8
09/04/04	226	27,5	27,9	28,0	27,8	26,0	-	-	26,0	25,9	26,1	-	26,0	21,3
10/04/04	227	27,2	27,7	27,9	27,6	26,1	-	-	26,1	25,5	25,1	-	25,3	20,5
11/04/04	228	26,9	27,8	27,7	27,5	25,9	-	-	25,9	25,6	26,0	-	25,8	20,5
12/04/04	229	26,8	27,6	27,9	27,4	25,8	-	-	25,8	26,3	26,1	-	26,2	20,0
13/04/04	230	25,9	27,0	27,6	26,8	25,1	-	-	25,1	25,4	24,9	-	25,2	21,0

Dia	Tempo de operação (dias)	Temperatura (°C)												
		LNCE				LMCE				LVCE				Ambiente
		Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	
14/04/04	231	25,7	26,7	27,2	26,5	25,0	-	-	25,0	24,0	-	-	24,0	21,0
15/04/04	232	25,4	26,2	26,6	26,0	24,7	-	-	24,7	24,4	23,8	-	24,1	21,1
16/04/04	233	24,9	25,9	26,3	25,7	24,8	-	-	24,8	24,4	24,2	-	24,3	21,2
17/04/04	234	25,9	26,2	26,5	26,2	24,9	-	-	24,9	24,5	25,0	-	24,8	21,1
18/04/04	235	26,7	26,9	27,2	26,9	25,4	-	-	25,4	-	26,3	-	26,3	20,6
19/04/04	236	27,2	27,3	27,5	27,3	26,2	-	-	26,2	-	27,6	-	27,6	20,0
20/04/04	237	27,8	27,9	27,9	27,8	26,6	-	-	26,6	-	26,7	-	26,7	20,4
21/04/04	238	28,9	28,7	28,5	28,7	27,2	-	-	27,2	-	28,8	-	28,8	21,1
22/04/04	239	28,3	28,6	28,7	28,5	27,0	-	-	27,0	-	28,0	-	28,0	20,3
23/04/04	240	26,8	27,4	28,3	27,5	26,1	-	-	26,1	-	27,1	-	27,1	21,0
24/04/04	241	27,7	28,3	28,5	28,1	26,4	-	-	26,4	-	27,4	-	27,4	20,4
25/04/04	242	28,2	28,3	28,5	28,3	26,9	-	-	26,9	-	-	-	-	21,1
26/04/04	243	27,8	28,7	29,1	28,5	27,4	-	-	27,4	-	-	-	-	16,8
27/04/04	244	25,5	27,1	27,8	26,8	25,4	-	-	25,4	-	25,6	-	25,6	16,8
28/04/04	245	23,6	25,4	26,4	25,1	23,4	-	-	23,4	-	24,2	-	24,2	17,5
29/04/04	246	24,2	25,2	26,0	25,1	23,0	-	-	23,0	-	23,8	-	23,8	16,6
30/04/04	247	24,5	25,4	26,0	25,3	23,2	-	-	23,2	-	24,8	-	24,8	16,2
01/05/04	248	24,0	25,2	25,7	24,9	23,0	-	-	23,0	-	23,6	-	23,6	16,6
02/05/04	249	24,4	25,4	25,2	25,0	22,6	-	-	22,6	-	-	-	-	18,1
03/05/04	250	25,8	26,1	26,4	26,1	23,8	-	-	23,8	-	24,5	-	24,5	18,9
04/05/04	251	26,3	26,5	26,3	26,4	24,5	-	-	24,5	-	26,2	-	26,2	20,3
05/05/04	252	27,1	27,2	27,2	27,1	25,3	-	-	25,3	-	26,3	-	26,3	19,3
06/05/04	253	27,0	27,4	27,6	27,3	25,5	-	-	25,5	-	25,6	-	25,6	19,1
07/05/04	254	26,2	26,8	27,3	26,8	25,1	-	-	25,1	-	25,1	-	25,1	18,7
08/05/04	255	25,8	26,3	26,9	26,3	24,7	-	-	24,7	-	25,1	-	25,1	20,0
09/05/04	256	26,1	26,8	27,0	26,6	24,8	-	-	24,8	-	25,0	-	25,0	18,4
10/05/04	257	26,1	26,9	27,4	26,8	25,3	-	-	25,3	-	-	-	-	17,1
11/05/04	258	25,5	26,4	26,8	26,2	24,6	-	-	24,6	-	-	-	-	17,3
12/05/04	259	25,5	26,1	26,5	26,0	24,2	-	-	24,2	-	-	-	-	17,8
13/05/04	260	25,8	26,5	27,0	26,4	24,4	-	-	24,4	-	-	-	-	17,7
14/05/04	261	23,8	25,1	25,6	24,8	23,3	-	-	23,3	-	-	-	-	20,0
15/05/04	262	25,6	25,9	25,9	25,8	23,8	-	-	23,8	-	-	-	-	20,0
16/05/04	263	25,3	26,0	26,5	25,9	24,4	-	-	24,4	-	-	-	-	18,8

Dia	Tempo de operação (dias)	Temperatura (°C)												
		LNCE				LMCE				LVCE				Ambiente
		Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	
17/05/04	264	24,8	25,8	26,5	25,7	24,4	-	-	24,4	-	-	-	-	16,9
18/05/04	265	23,8	25,0	25,9	24,9	23,3	-	-	23,3	-	-	-	-	18,1
19/05/04	266	22,4	23,8	24,6	23,6	22,2	-	-	22,2	-	-	-	-	18,5
20/05/04	267	23,6	24,3	24,9	24,2	22,6	-	-	22,6	-	-	-	-	19,3
21/05/04	268	24,4	24,9	25,1	24,8	23,1	-	-	23,1	-	-	-	-	17,3
22/05/04	269	23,1	24,1	24,5	23,9	22,3	-	-	22,3	-	-	-	-	17,3
23/05/04	270	22,7	23,8	24,7	23,7	22,5	-	-	22,5	-	-	-	-	17,4
24/05/04	271	22,9	23,9	24,4	23,7	22,4	-	-	22,4	-	-	-	-	16,3
25/05/04	272	23,4	24,1	24,5	24,0	22,4	-	-	22,4	-	-	-	-	17,1
26/05/04	273	23,0	23,8	24,3	23,7	22,0	-	-	22,0	-	-	-	-	19,6
27/05/04	274	22,8	24,0	24,5	23,7	22,4	-	-	22,4	-	-	-	-	14,2
28/05/04	275	23,4	24,3	24,6	24,1	22,3	-	-	22,3	-	-	-	-	13,1
29/05/04	276	21,4	23,3	24,1	22,9	21,4	-	-	21,4	-	-	-	-	14,3
30/05/04	277	19,6	21,5	22,8	21,3	19,8	-	-	19,8	-	-	-	-	16,0
31/05/04	278	20,1	21,7	22,4	21,4	19,7	-	-	19,7	-	-	-	-	17,0
01/06/04	279	22,0	22,4	22,9	22,4	20,4	-	-	20,4	-	-	-	-	18,0
02/06/04	280	22,3	22,8	23,2	22,8	21,2	-	-	21,2	-	-	-	-	17,5
03/06/04	281	23,3	23,6	23,9	23,6	21,6	-	-	21,6	-	-	-	-	16,6
04/06/04	282	21,2	22,7	23,4	22,4	21,0	-	-	21,0	-	-	-	-	15,3
05/06/04	283	19,9	21,6	22,3	21,2	20,1	-	-	20,1	-	-	-	-	13,7
06/06/04	284	21,6	22,2	23,1	22,3	20,7	-	-	20,7	-	-	-	-	13,9
07/06/04	285	22,7	23,5	23,3	23,2	21,2	-	-	21,2	-	-	-	-	13,2
08/06/04	286	22,0	22,6	23,3	22,6	20,4	-	-	20,4	-	-	-	-	14,1
09/06/04	287	21,8	22,4	23,2	22,5	20,4	-	-	20,4	-	-	-	-	14,6
10/06/04	288	21,3	21,8	22,4	21,8	19,6	-	-	19,6	-	-	-	-	16,5
11/06/04	289	22,0	22,5	23,2	22,5	20,6	-	-	20,6	-	-	-	-	15,9
12/06/04	290	22,9	23,2	23,5	23,2	21,4	-	-	21,4	-	-	-	-	16,5
13/06/04	291	23,9	24,1	24,3	24,1	22,0	-	-	22,0	-	-	-	-	13,9
14/06/04	292	21,3	22,8	23,3	22,4	21,1	-	-	21,1	-	-	-	-	14,2
15/06/04	293	20,6	22,2	23,0	21,9	20,3	-	-	20,3	-	-	-	-	14,4
16/06/04	294	19,3	20,9	21,8	20,6	19,0	-	-	19,0	-	-	-	-	15,7
17/06/04	295	19,6	20,5	21,4	20,5	18,7	-	-	18,7	-	-	-	-	16,4
18/06/04	296	20,9	21,1	21,7	21,2	19,3	-	-	19,3	-	-	-	-	15,7

Dia	Tempo de operação (dias)	Temperatura (°C)												
		LNCE				LMCE				LVCE				Ambiente
		Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	
19/06/04	297	21,3	21,6	21,8	21,5	19,9	-	-	19,9	-	-	-	-	15,2
20/06/04	298	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15,4
21/06/04	299	23,1	23,2	23,0	23,1	21,4	-	-	21,4	-	-	-	-	15,4
22/06/04	300	22,8	23,2	23,6	23,2	21,5	-	-	21,5	-	-	-	-	15,5
23/06/04	301	22,6	23,3	22,7	22,9	21,2	-	-	21,2	-	-	-	-	17,0
24/06/04	302	23,9	23,8	23,7	23,8	22,0	-	-	22,0	-	-	-	-	14,7
25/06/04	303	21,2	22,6	23,3	22,4	20,7	-	-	20,7	-	-	-	-	15,0
26/06/04	304	21,3	22,3	22,9	22,2	20,4	-	-	20,4	-	-	-	-	15,4
27/06/04	305	21,8	22,4	23,1	22,4	20,8	-	-	20,8	-	-	-	-	16,6
28/06/04	306	22,3	22,9	23,2	22,8	21,2	-	-	21,2	-	-	-	-	15,3
29/06/04	307	21,0	21,9	22,5	21,8	20,2	-	-	20,2	-	-	-	-	16,2
30/06/04	308	22,0	22,5	22,8	22,4	20,8	-	-	20,8	-	-	-	-	17,2
01/07/04	309	22,2	22,6	23,0	22,6	21,1	-	-	21,1	-	-	-	-	17,6
02/07/04	310	20,7	21,6	22,3	21,5	20,4	-	-	20,4	-	-	-	-	16,3
03/07/04	311	21,3	21,5	22,1	21,6	20,5	-	-	20,5	-	-	-	-	17,9
04/07/04	312	22,6	22,6	22,8	22,7	21,3	-	-	21,3	-	-	-	-	15,7
05/07/04	313	23,0	23,2	23,3	23,1	21,6	-	-	21,6	-	-	-	-	15,9
06/07/04	314	23,3	23,6	23,7	23,5	21,9	-	-	21,9	-	-	-	-	16,5
07/07/04	315	22,8	23,2	23,6	23,2	21,7	-	-	21,7	-	-	-	-	16,9
08/07/04	316	23,9	24,1	24,4	24,1	22,5	-	-	22,5	-	-	-	-	16,9
09/07/04	317	22,8	23,6	23,9	23,4	21,9	-	-	21,9	-	-	-	-	16,8
10/07/04	318	22,0	22,9	23,5	22,8	21,4	-	-	21,4	-	-	-	-	18,7
11/07/04	319	22,3	22,8	23,1	22,7	21,4	-	-	21,4	-	-	-	-	17,3
12/07/04	320	22,5	23,0	23,1	22,9	21,6	-	-	21,6	-	-	-	-	15,6
13/07/04	321	21,3	22,5	22,9	22,2	21,2	-	-	21,2	-	-	-	-	16,3
14/07/04	322	21,6	22,1	22,4	22,0	20,7	-	-	20,7	-	-	-	-	17,8
15/07/04	323	20,7	21,7	22,1	21,5	19,9	-	-	19,9	-	-	-	-	16,5
16/07/04	324	22,4	22,4	22,6	22,4	20,5	-	-	20,5	-	-	-	-	15,4
17/07/04	325	22,8	22,9	23,0	22,9	21,5	-	-	21,5	-	-	-	-	15,8
18/07/04	326	23,5	23,8	24,0	23,8	22,3	-	-	22,3	-	-	-	-	16,5
19/07/04	327	22,7	23,2	23,4	23,1	22,0	-	-	22,0	-	-	-	-	14,9
20/07/04	328	21,3	22,7	23,4	22,5	21,4	-	-	21,4	-	-	-	-	13,3
21/07/04	329	19,5	21,4	22,2	21,0	19,9	-	-	19,9	-	-	-	-	13,2

Dia	Tempo de operação (dias)	Temperatura (°C)												
		LNCE				LMCE				LVCE				Ambiente
		Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	
22/07/04	330	18,8	20,4	21,2	20,1	18,6	-	-	18,6	-	-	-	-	12,9
23/07/04	331	20,6	21,2	21,6	21,1	19,2	-	-	19,2	-	-	-	-	12,9
24/07/04	332	19,9	20,4	21,2	20,5	18,7	-	-	18,7	-	-	-	-	12,4
25/07/04	333	20,5	21,1	21,4	21,0	18,9	-	-	18,9	-	-	-	-	12,5
26/07/04	334	20,6	21,5	22,1	21,4	19,4	-	-	19,4	-	-	-	-	12,8
27/07/04	335	20,9	21,4	22,0	21,4	19,3	-	-	19,3	-	-	-	-	14,5
28/07/04	336	21,6	21,8	22,3	21,9	19,9	-	-	19,9	-	-	-	-	14,0
29/07/04	337	22,0	22,5	22,7	22,4	20,5	-	-	20,5	-	-	-	-	13,5
30/07/04	338	20,3	21,7	22,5	21,5	20,1	-	-	20,1	-	-	-	-	13,3
31/07/04	339	19,9	20,6	21,4	20,6	19,1	-	-	19,1	-	-	-	-	14,3
01/08/04	340	22,1	22,2	22,5	22,3	20,1	-	-	20,1	-	-	-	-	15,9
02/08/04	341	22,6	22,2	22,6	22,4	20,4	-	-	20,4	-	-	-	-	16,3
03/08/04	342	22,0	22,1	22,6	22,2	20,3	-	-	20,3	-	-	-	-	16,3
04/08/04	343	24,2	23,9	23,9	24,0	21,9	-	-	21,9	-	-	-	-	16,5
05/08/04	344	23,2	23,3	23,8	23,4	21,8	-	-	21,8	-	-	-	-	15,7
06/08/04	345	23,5	23,5	23,7	23,6	21,8	-	-	21,8	-	-	-	-	16,3
07/08/04	346	23,2	22,7	23,4	23,1	21,5	-	-	21,5	-	-	-	-	16,3
08/08/04	347	23,9	23,5	23,7	23,7	22,1	-	-	22,1	-	-	-	-	16,0
09/08/04	348	22,9	23,6	23,9	23,5	22,1	-	-	22,1	-	-	-	-	13,9
10/08/04	349	22,2	22,8	23,5	22,8	21,8	-	-	21,8	-	-	-	-	13,0
11/08/04	350	21,3	22,5	23,2	22,3	20,9	-	-	20,9	-	-	-	-	12,5
12/08/04	351	22,6	23,0	23,4	23,0	21,1	-	-	21,1	-	-	-	-	13,0
13/08/04	352	21,7	22,5	23,0	22,4	20,8	-	-	20,8	-	-	-	-	12,6
14/08/04	353	21,0	21,9	22,5	21,8	20,2	-	-	20,2	-	-	-	-	14,0
15/08/04	354	20,4	21,6	22,2	21,4	19,7	-	-	19,7	-	-	-	-	15,2
16/08/04	355	22,1	22,3	22,5	22,3	20,2	-	-	20,2	-	-	-	-	15,9
17/08/04	356	22,1	22,6	22,9	22,5	20,9	-	-	20,9	-	-	-	-	16,1
18/08/04	357	20,9	21,7	22,1	21,5	20,5	-	-	20,5	-	-	-	-	15,5
19/08/04	358	21,3	21,7	22,2	21,7	20,3	-	-	20,3	-	-	-	-	16,1
20/08/04	359	22,4	22,2	21,8	22,1	21,1	-	-	21,1	-	-	-	-	16,1
21/08/04	360	23,8	23,1	23,2	23,3	21,9	-	-	21,9	-	-	-	-	16,4
22/08/04	361	24,0	23,5	23,4	23,6	22,1	-	-	22,1	-	-	-	-	16,2
23/08/04	362	23,5	23,1	23,6	23,4	21,7	-	-	21,7	-	-	-	-	17,2

Dia	Tempo de operação (dias)	Temperatura (°C)												
		LNCE				LMCE				LVCE				Ambiente
		Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	
24/08/04	363	25,1	24,5	24,5	24,7	23,0	-	-	23,0	-	-	-	-	19,1
25/08/04	364	26,2	25,4	25,1	25,5	23,9	-	-	23,9	-	-	-	-	19,7
26/08/04	365	24,9	25,1	24,7	24,9	23,6	-	-	23,6	-	-	-	-	19,9
27/08/04	366	26,2	25,6	26,0	25,9	24,8	-	-	24,8	-	-	-	-	19,6
28/08/04	367	26,7	26,4	26,3	26,5	25,1	-	-	25,1	-	-	-	-	20,4
29/08/04	368	25,2	25,5	25,8	25,5	24,7	-	-	24,7	-	-	-	-	20,6
30/08/04	369	26,6	26,1	26,6	26,4	25,3	-	-	25,3	-	-	-	-	19,2
31/08/04	370	27,1	26,7	26,6	26,8	25,7	-	-	25,7	-	-	-	-	18,9
	Média	24,8	25,2	25,4	25,1	24,0	25,4	25,6	24,2	25,0	25,2	25,2	25,2	19,0
	Mínimo	18,8	20,4	14,8	20,1	17,5	18,3	18,7	18,1	17,3	17,7	18,1	17,7	12,4
	Máximo	30,3	29,9	29,7	30,0	31,8	29,4	29,4	29,5	29,7	29,2	29,0	29,2	23,8

Tabela A.3 - Temperatura ambiente e da massa dos resíduos sólidos em profundidade dos lisímetros LNSE, LMSE e LVSE durante os meses de ope

Mês	Temperatura (° C)												Ambiente
	LNSE				LMSE				LVSE				
	Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	
Agosto/2003	22,3	22,9	23,1	22,8	18,1	19,3	19,1	18,8	-	18,9	19,2	12,7	16,3
Setembro/2003	21,7	21,8	22,1	21,8	20,3	20,7	22,0	21,0	22,0	21,8	22,3	21,9	18,4
Outubro/2003	24,7	24,7	24,9	24,8	24,2	24,1	25,2	24,5	24,7	25,1	25,4	25,1	20,0
Novembro/2003	25,5	25,7	25,8	25,7	25,7	25,9	26,2	25,9	25,7	26,0	26,1	25,9	20,7
Dezembro/2003	26,7	26,7	26,7	26,7	26,8	26,8	27,0	26,9	26,9	27,2	27,2	27,1	21,7
Janeiro/2004	25,3	25,3	25,6	25,4	25,6	25,9	25,9	25,8	25,8	26,1	26,1	26,0	20,9
Fevereiro/2004	25,5	25,7	25,9	25,7	25,8	26,0	25,8	25,8	26,0	26,3	26,4	26,2	21,0
Março/2004	25,5	25,6	25,5	25,6	25,9	25,8	26,2	26,0	26,2	25,8	26,3	26,3	20,7
Abril/2004	25,5	25,7	25,4	25,5	25,6	26,1	26,3	26,0	26,1	26,8	26,7	26,4	20,1
Mai/2004	22,4	22,8	23,1	22,8	23,0	24,0	24,0	23,7	23,6	-	24,6	24,1	17,8
Junho/2004	19,5	19,8	20,4	19,9	20,5	21,2	21,7	21,1	20,8	-	22,3	21,6	15,5
Julho/2004	19,7	19,7	20,1	19,8	20,4	-	21,4	20,9	20,8	-	22,0	21,4	15,3
Agosto/2004	21,7	21,3	21,1	21,3	21,5	-	22,5	22,0	22,2	-	23,3	22,7	16,5
Média	23,5	23,7	23,8	23,7	23,4	24,2	24,1	23,7	24,2	24,9	24,5	23,6	18,8
Mínimo	19,5	19,7	20,1	19,8	18,1	19,3	19,1	18,8	20,8	18,9	19,2	12,7	15,3
Máximo	26,7	26,7	26,7	26,7	26,8	26,8	27,0	26,9	26,9	27,2	27,2	27,1	21,7

Tabela A.4 - Temperatura ambiente e da massa dos resíduos sólidos em profundidade dos lisímetros LNCE, LMCE e LVCE durante os meses de ope

Mês	Temperatura (°C)												Ambiente
	LNCE				LMCE				LVCE				
	Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	Topo	Meio	Base	Média	
Agosto/2003	21,3	22,3	23,0	22,2	18,3	19,1	19,8	19,1	17,9	18,5	18,9	18,4	16,3
Setembro/2003	22,2	22,3	22,7	22,4	21,0	21,6	22,2	21,6	21,5	21,5	21,7	21,6	18,4
Outubro/2003	25,5	25,4	26,0	25,6	24,6	25,2	25,6	25,1	24,9	24,9	25,2	25,0	20,0
Novembro/2003	26,4	26,6	26,7	26,6	26,1	26,1	26,4	26,2	25,9	25,9	25,9	25,9	20,7
Dezembro/2003	27,4	27,5	27,7	27,5	27,0	27,2	27,3	27,1	27,1	26,9	26,9	27,0	21,7
Janeiro/2004	26,1	26,3	26,5	26,3	25,7	25,9	26,2	25,9	25,3	25,4	25,6	25,5	20,9
Fevereiro/2004	26,4	26,6	26,8	26,6	26,0	26,1	26,5	26,2	25,6	25,9	26,2	25,8	21,0
Março/2004	26,8	27,0	26,6	26,8	26,1	26,4	26,1	26,3	25,8	26,0	26,2	26,0	20,7
Abril/2004	26,8	27,3	27,7	27,3	25,8	26,5	-	25,8	25,2	26,0	25,2	25,9	20,1
Mai/2004	24,2	25,1	25,6	25,0	23,3	-	-	23,3	-	25,2	-	25,2	17,8
Junho/2004	21,8	22,5	22,9	22,4	20,6	-	-	20,6	-	-	-	-	15,5
Julho/2004	21,6	22,2	22,7	22,2	20,6	-	-	20,6	-	-	-	-	15,3
Agosto/2004	23,4	23,4	23,7	23,5	22,0	-	-	22,0	-	-	-	-	16,5
Média	24,6	25,0	25,3	24,9	23,6	24,9	25,0	23,8	24,4	24,6	24,6	24,6	18,8
Mínimo	21,3	22,2	22,7	22,2	18,3	19,1	19,8	19,1	17,9	18,5	18,9	18,4	15,3
Máximo	27,4	27,5	27,7	27,5	27,0	27,2	27,3	27,1	27,1	26,9	26,9	27,0	21,7

Tabela A.5 - Precipitação mensal na área experimental

DIA	PRECIPITAÇÃO (mm)						2003 / 2004						
	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGO
01	0,00	1,20	0,00	2,00	0,20	0,60	0,00	1,40	0,20	0,40	15,60	1,60	0,00
02	0,00	0,20	0,00	19,00	16,40	10,00	3,80	0,20	2,40	0,20	0,20	0,20	0,00
03	0,20	0,00	0,00	0,20	0,40	4,60	0,00	18,20	0,20	0,00	11,20	0,00	0,00
04	0,00	0,00	0,00	0,00	16,20	0,20	0,00	11,80	0,00	1,00	13,40	0,20	0,00
05	0,00	0,00	0,00	0,00	8,00	0,00	0,00	26,00	3,40	0,20	0,20	0,20	0,20
06	0,00	0,00	0,00	0,00	2,60	0,00	8,80	0,60	0,00	0,00	0,00	0,20	0,20
07	0,00	0,00	0,20	8,60	13,40	2,20	2,20	0,00	7,60	0,00	0,20	0,00	0,00
08	0,00	0,00	0,40	6,60	6,80	36,20	15,60	1,40	38,00	0,20	0,20	0,00	0,00
09	0,00	0,00	0,60	7,20	10,60	59,00	7,60	0,20	10,60	0,20	0,00	0,60	0,00
10	0,00	0,00	4,20	0,00	41,60	2,40	10,80	0,00	2,60	0,00	0,20	16,20	0,20
11	0,60	0,00	8,00	0,40	0,00	24,60	14,00	11,40	3,60	0,20	0,20	0,20	0,20
12	0,00	0,00	2,60	0,00	2,00	0,60	0,40	0,20	1,00	0,20	0,00	0,00	0,00
13	0,00	1,60	0,00	16,40	0,00	0,00	6,80	0,00	0,40	0,20	0,00	0,00	0,00
14	0,20	9,60	0,00	0,00	0,00	2,60	1,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
15	6,40	0,30	0,00	1,80	0,00	15,40	6,20	4,40	0,60	18,20	0,60	0,00	0,20
16	10,80	7,60	0,00	0,00	0,00	2,20	1,20	4,60	0,00	1,00	0,40	0,20	0,00
17	0,00	1,60	0,20	3,40	0,00	0,00	59,60	0,20	0,00	0,60	0,00	0,20	0,00
18	0,00	1,00	0,00	0,20	0,00	0,00	1,20	0,00	0,20	0,00	0,00	0,20	0,20
19	0,00	0,00	0,00	9,40	0,00	0,00	1,80	0,00	0,00	0,20	0,20	0,00	0,20
20	0,00	0,00	0,00	19,80	0,00	0,00	0,60	18,20	0,20	0,00	0,20	4,20	0,00
21	0,20	0,00	0,00	0,20	6,80	6,00	4,40	28,80	0,00	0,20	0,00	0,40	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	2,60	98,60	0,00	0,00	0,20	0,00	1,00	9,40	0,00
23	0,00	0,20	6,20	0,00	6,00	0,20	0,20	0,60	0,00	0,00	0,40	0,20	0,20
24	0,00	0,00	1,00	0,20	1,00	0,00	15,20	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,20
25	0,00	0,00	0,00	0,20	28,20	0,00	38,20	0,20	37,20	0,20	0,20	0,20	0,00
26	15,80	0,00	0,00	0,00	42,20	0,60	44,80	0,00	2,00	0,80	0,20	0,20	0,00
27	0,40	0,00	0,00	0,00	6,20	0,20	30,00	0,20	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00
28	6,60	11,80	0,00	0,40	0,20	0,00	22,80	0,00	0,20	3,80	0,20	0,00	0,00
29	0,00	1,40	0,00	4,40	0,00	2,00	1,40	0,00	0,20	5,80	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	9,40	1,60	0,20	-	0,40	0,20	0,00	0,00	0,20	0,00
31	0,00	-	6,40	-	6,40	3,40	-	0,20	-	0,00	-	0,20	0,00
TOTAL	41,20	36,50	29,80	109,80	219,40	271,80	298,80	129,40	111,20	33,80	45,40	35,20	2,00
TOTAL DO PERÍODO				1.364,30									
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Máximo	15,80	11,80	8,00	19,80	42,20	98,60	59,60	28,80	38,00	18,20	15,60	16,20	0,20

Tabela A.6 - Coleta diária dos valores precipitação e de percolado dos lisímetros

Data da coleta	Tempo de operação (dias)	Coleta diária (mm)					
		LNSE	LMSE	LVSE	LNCE	LMCE	LVCE
20/10/03	54	7,07	0,00	5,73	0,00	0,00	16,05
21/10/03	55	1,59	0,00	1,22	0,00	0,00	1,76
22/10/03	56	1,03	0,00	1,05	0,00	0,00	1,09
23/10/03	57	1,04	0,00	0,89	0,00	0,00	0,83
24/10/03	58	0,73	0,00	0,70	0,00	0,00	0,64
25/10/03	59	0,54	0,00	0,58	0,00	0,00	0,51
26/10/03	60	0,52	0,00	0,50	0,00	0,00	0,44
27/10/03	61	0,58	0,00	0,59	0,00	0,00	0,52
28/10/03	62	0,64	0,00	0,59	0,00	0,00	0,70
29/10/03	63	0,65	0,00	0,64	0,00	0,00	0,80
30/10/03	64	0,57	0,00	0,70	0,00	0,00	0,70
31/10/03	65	1,05	0,00	0,85	0,00	0,00	0,83
01/11/03	66	1,45	0,00	0,82	0,00	0,00	0,65
02/11/03	67	3,81	0,00	2,25	0,00	0,00	3,82
03/11/03	68	17,45	0,00	7,01	0,00	0,78	11,59
04/11/03	69	10,83	0,00	5,73	0,00	2,62	6,24
05/11/03	70	6,94	0,00	4,60	0,00	1,85	2,80
06/11/03	71	5,10	0,23	3,03	0,08	1,52	2,30
07/11/03	72	3,21	0,25	2,10	0,08	1,15	1,24
08/11/03	73	2,80	0,61	6,37	0,06	0,96	5,22
09/11/03	74	6,52	1,14	6,22	0,08	3,82	7,55
10/11/03	75	8,52	3,31	5,16	0,07	3,03	5,73
11/11/03	76	7,58	3,89	5,10	0,16	4,20	4,25
12/11/03	77	6,31	4,48	3,85	3,03	3,26	2,87
13/11/03	78	3,50	3,31	1,82	1,16	2,34	2,24
14/11/03	79	5,92	3,45	7,46	1,35	4,17	7,72
15/11/03	80	8,73	5,85	6,05	5,29	5,10	6,05
16/11/03	81	6,37	6,71	3,36	3,07	3,18	4,30
17/11/03	82	4,27	4,84	2,31	2,32	2,40	1,54
18/11/03	83	3,41	3,44	2,12	2,01	2,10	1,27
19/11/03	84	3,94	2,85	1,11	1,64	1,50	1,13
20/11/03	85	37,39	19,27	25,86	8,94	9,27	23,69
21/11/03	86	25,48	27,81	12,68	6,97	5,75	12,74
22/11/03	87	12,88	12,94	5,03	6,52	4,93	5,10
23/11/03	88	12,93	13,15	4,02	5,33	3,85	2,07
24/11/03	89	5,12	5,10	3,08	3,95	2,83	1,48
25/11/03	90	4,22	4,15	2,62	3,11	2,11	2,01
26/11/03	91	3,21	3,51	2,24	2,88	2,07	1,88
27/11/03	92	2,01	2,68	1,70	1,92	1,59	1,05
28/11/03	93	1,73	2,32	1,76	1,86	1,45	1,62
29/11/03	94	1,41	2,12	1,46	1,71	1,27	1,27
30/11/03	95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
01/12/03	96	1,89	2,71	5,83	2,55	1,62	6,85
02/12/03	97	4,08	1,37	9,07	3,79	1,03	5,36
03/12/03	98	12,61	2,61	6,83	6,24	4,52	6,24
04/12/03	99	31,66	25,35	18,92	17,95	8,18	8,20
05/12/03	100	21,54	12,61	12,74	14,19	6,37	6,37
06/12/03	101	13,89	9,24	10,40	9,55	4,71	6,54
07/12/03	102	22,04	15,80	17,45	14,27	9,04	8,60
08/12/03	103	16,05	8,37	15,29	10,19	6,37	6,37
09/12/03	104	14,56	16,56	11,46	11,46	5,10	5,10
10/12/03	105	10,83	10,19	9,59	12,42	3,82	3,31
11/12/03	106	21,02	25,61	20,38	40,89	20,00	3,57
Data da coleta	Tempo de operação (dias)	Coleta diária (mm)					
		LNSE	LMSE	LVSE	LNCE	LMCE	LVCE
12/12/03	107	14,87	18,60	7,24	11,46	9,94	4,37
13/12/03	108	7,78	9,54	4,68	7,00	5,92	1,99

14/12/03	109	5,66	6,37	3,04	5,67	4,08	2,08
15/12/03	110	4,03	4,83	2,10	2,45	2,36	1,72
16/12/03	111	3,46	3,82	1,82	3,21	1,92	1,46
17/12/03	112	3,08	2,10	1,78	1,53	1,38	1,34
18/12/03	113	2,18	2,36	20,29	1,96	13,31	3,57
19/12/03	114	1,76	13,38	6,24	1,66	4,08	1,91
20/12/03	115	1,46	7,49	3,44	1,21	4,46	1,34
21/12/03	116	1,19	5,25	2,28	1,06	2,00	0,90
22/12/03	117	1,08	3,94	2,93	0,96	2,61	0,96
23/12/03	118	0,89	2,80	4,14	0,85	1,91	1,15
24/12/03	119	0,70	1,66	3,18	0,70	1,46	1,15
25/12/03	120	0,83	27,71	8,41	1,40	9,94	1,85
26/12/03	121	24,20	29,30	17,83	15,92	20,06	1,91
27/12/03	122	30,96	29,68	15,61	47,58	16,31	2,68
28/12/03	123	20,83	24,20	8,28	13,12	4,97	2,17
29/12/03	124	11,08	11,34	5,10	7,13	4,84	2,29
30/12/03	125	8,03	8,28	2,80	5,10	4,71	4,46
31/12/03	126	5,86	5,35	2,17	3,57	3,82	2,17
01/01/04	127	5,10	28,03	15,54	3,06	15,80	2,04
02/01/04	128	5,10	15,92	11,21	2,55	3,82	2,17
03/01/04	129	9,30	8,28	8,66	3,76	4,97	2,04
04/01/04	130	6,88	9,43	9,30	4,33	5,10	1,91
05/01/04	131	5,48	9,49	3,31	3,69	5,10	2,17
06/01/04	132	3,74	6,24	2,13	2,45	3,75	1,80
07/01/04	133	4,71	4,30	1,66	1,91	2,96	1,53
08/01/04	134	3,06	27,58	13,38	1,82	10,97	1,50
09/01/04	135	31,59	28,79	6,50	70,06	32,23	2,11
10/01/04	136	25,35	28,50	7,52	19,91	14,65	1,63
11/01/04	137	18,98	25,16	18,85	13,03	6,94	1,88
12/01/04	138	27,48	26,82	12,01	25,22	19,81	1,66
13/01/04	139	11,59	12,74	18,22	9,17	7,29	1,88
14/01/04	140	7,45	8,28	3,09	6,24	4,62	1,31
15/01/04	141	7,17	64,79	24,01	1,75	23,61	2,87
16/01/04	142	12,61	22,55	15,10	7,08	18,98	2,24
17/01/04	143	10,19	15,03	7,10	6,37	10,83	2,55
18/01/04	144	6,11	9,17	3,57	3,82	5,73	2,23
19/01/04	145	4,20	6,11	2,07	2,68	3,76	2,61
20/01/04	146	4,11	4,29	1,53	1,91	2,74	1,88
21/01/04	147	3,18	3,39	1,27	1,82	2,33	3,09
22/01/04	148	33,76	29,30	11,46	63,69	31,21	6,37
23/01/04	149	27,39	27,29	4,60	28,95	31,72	1,69
24/01/04	150	11,85	15,92	2,87	9,84	9,91	1,82
25/01/04	151	8,98	8,60	3,03	6,50	6,41	2,48
26/01/04	152	5,73	5,10	5,35	3,63	3,18	1,43
27/01/04	153	6,18	4,84	9,04	3,18	2,87	5,99
28/01/04	154	3,25	2,68	4,90	2,23	2,01	2,45
29/01/04	155	3,63	28,23	9,55	3,10	25,22	3,03
30/01/04	156	2,80	12,99	3,18	2,45	8,41	2,23
31/01/04	157	2,42	6,62	2,17	2,29	4,59	1,88
01/02/04	158	2,55	5,29	2,04	2,26	3,63	0,92
02/02/04	159	2,46	3,89	5,31	2,24	2,89	4,89
03/02/04	160	2,20	2,99	5,52	2,04	2,22	3,34
Data da coleta	Tempo de operação (dias)	Coleta diária (mm)					
		LNSE	LMSE	LVSE	LNCE	LMCE	LVCE
04/02/04	161	1,83	2,19	2,01	1,76	1,70	2,90
05/02/04	162	2,20	27,04	2,74	2,05	20,29	4,24
06/02/04	163	1,89	10,93	3,31	1,81	9,81	3,40
07/02/04	164	1,91	6,78	1,85	1,62	4,33	2,80
08/02/04	165	2,04	4,46	1,78	1,40	3,72	2,68
09/02/04	166	12,48	6,18	2,74	6,24	13,15	3,83

10/02/04	167	13,06	16,42	5,62	6,82	13,44	3,67
11/02/04	168	27,45	15,64	6,11	22,82	22,83	3,89
12/02/04	169	18,85	27,26	5,03	6,37	22,99	2,04
13/02/04	170	6,37	19,11	2,55	6,37	6,37	3,18
14/02/04	171	12,80	6,62	2,36	6,69	6,62	4,97
15/02/04	172	6,88	5,35	2,93	6,11	6,50	3,69
16/02/04	173	6,24	6,31	2,00	6,18	6,18	4,41
17/02/04	174	31,08	27,58	9,81	45,86	24,97	3,25
18/02/04	175	16,01	23,41	6,50	12,97	13,96	4,03
19/02/04	176	9,07	26,82	4,01	6,65	23,71	3,12
20/02/04	177	6,56	15,18	3,98	6,24	8,04	2,39
21/02/04	178	4,59	7,58	2,68	4,01	4,97	2,17
22/02/04	179	4,39	6,05	3,38	3,82	3,76	2,55
23/02/04	180	5,61	4,52	3,95	4,65	4,20	3,12
24/02/04	181	8,41	3,82	2,61	6,50	4,90	3,89
25/02/04	182	32,10	29,68	1,97	31,59	24,59	3,44
26/02/04	183	29,94	283,76	1,91	27,45	25,99	3,03
27/02/04	184	30,76	25,61	1,53	33,57	25,54	5,16
28/02/04	185	26,82	26,94	1,59	24,39	23,69	4,20
29/02/04	186	14,46	25,35	1,62	15,61	23,06	4,71
01/03/04	187	13,38	19,52	1,62	10,66	12,74	3,25
02/03/04	188	7,13	8,44	1,34	6,67	6,37	12,99
03/03/04	189	6,18	6,24	1,27	6,24	4,27	3,31
04/03/04	190	25,22	27,81	4,05	17,71	25,35	2,17
05/03/04	191	15,11	26,43	2,61	13,63	14,87	1,59
06/03/04	192	27,90	27,32	2,36	17,52	22,17	1,15
07/03/04	193	12,74	19,55	3,06	11,02	8,92	1,34
08/03/04	194	6,37	8,31	2,89	6,24	6,11	1,25
09/03/04	195	6,24	6,24	2,04	5,99	4,09	1,40
10/03/04	196	4,01	25,03	0,89	3,59	23,38	1,04
11/03/04	197	4,20	13,63	1,82	4,20	8,04	2,29
12/03/04	198	6,31	7,20	1,85	5,57	5,99	2,55
13/03/04	199	5,80	6,69	1,46	4,84	7,45	1,59
14/03/04	200	4,71	6,56	1,91	4,59	5,54	1,78
15/03/04	201	3,71	4,71	2,42	3,92	3,66	2,64
16/03/04	202	3,13	3,76	1,59	3,06	2,74	1,68
17/03/04	203	3,25	29,55	2,74	3,50	24,14	2,17
18/03/04	204	2,75	14,46	2,43	2,94	7,72	2,29
19/03/04	205	2,55	9,24	2,04	3,12	4,52	2,68
20/03/04	206	2,68	5,80	2,61	2,55	2,68	3,12
21/03/04	207	10,83	4,14	2,10	6,62	6,37	2,68
22/03/04	208	20,25	14,20	3,57	19,24	20,51	3,44
23/03/04	209	11,78	12,74	5,48	7,58	9,49	3,18
24/03/04	210	4,59	27,39	2,99	5,48	23,76	1,97
25/03/04	211	4,08	15,99	4,59	5,13	8,79	4,20
26/03/04	212	4,01	9,17	4,39	5,50	5,54	3,82
27/03/04	213	3,76	6,11	2,42	4,01	3,01	3,38
28/03/04	214	2,87	3,82	2,33	2,55	2,78	0,06
Data da coleta	Tempo de operação (dias)	Coleta diária (mm)					
		LNSE	LMSE	LVSE	LNCE	LMCE	LVCE
29/03/04	215	2,68	3,18	2,17	2,99	2,04	1,27
30/03/04	216	2,45	2,42	1,72	2,56	1,73	6,58
31/03/04	217	2,36	26,56	1,85	2,68	5,80	3,50
01/04/04	218	1,97	12,74	2,42	1,99	6,37	3,06
02/04/04	219	1,99	7,32	2,24	2,22	4,78	3,40
03/04/04	220	2,10	3,69	2,17	2,10	3,44	3,50
04/04/04	221	1,91	3,50	1,97	1,97	2,68	3,18
05/04/04	222	1,78	2,87	1,72	1,78	2,10	2,99
06/04/04	223	1,50	2,14	1,26	1,31	1,64	2,42
07/04/04	224	1,21	22,55	0,25	0,96	6,11	2,04

08/04/04	225	29,17	27,01	1,76	18,73	22,48	2,17
09/04/04	226	16,05	20,06	2,29	21,91	10,13	3,25
10/04/04	227	15,80	12,68	1,91	10,70	7,07	2,74
11/04/04	228	8,92	12,66	2,74	8,09	6,62	2,87
12/04/04	229	5,22	8,79	4,97	5,48	6,37	2,29
13/04/04	230	4,73	5,55	2,90	4,73	4,04	2,31
14/04/04	231	4,08	28,34	1,02	4,71	21,46	2,17
15/04/04	232	3,34	13,13	5,29	3,86	13,12	2,29
16/04/04	233	2,93	7,57	0,76	3,15	4,73	30,70
17/04/04	234	2,55	5,48	2,68	2,74	3,15	2,93
18/04/04	235	2,74	4,52	4,27	2,68	2,93	4,90
19/04/04	236	2,36	3,25	4,08	2,36	2,42	4,59
20/04/04	237	2,36	2,23	2,39	2,02	1,95	4,69
21/04/04	238	2,10	22,66	2,48	1,91	9,55	38,22
22/04/04	239	2,09	13,83	3,25	1,76	6,24	2,89
23/04/04	240	1,85	6,52	2,66	1,50	4,46	2,69
24/04/04	241	1,69	4,65	1,97	1,27	2,93	1,81
25/04/04	242	1,78	3,69	2,10	1,40	2,68	1,91
26/04/04	243	23,69	22,93	6,50	22,55	19,43	8,28
27/04/04	244	6,52	14,39	5,86	6,37	6,59	15,03
28/04/04	245	4,59	28,28	3,06	4,20	22,55	5,61
29/04/04	246	3,44	15,16	2,23	3,25	5,54	5,86
30/04/04	247	3,26	8,79	3,82	2,78	5,38	3,18
01/05/04	248	2,76	5,41	3,25	2,17	3,63	1,97
02/05/04	249	2,36	4,08	1,78	1,91	2,99	2,29
03/05/04	250	2,20	3,24	2,42	1,59	2,47	2,42
04/05/04	251	2,24	3,01	2,10	1,50	2,31	1,91
05/05/04	252	2,04	31,21	2,17	1,40	11,21	2,55
06/05/04	253	2,01	1,35	1,80	1,27	6,37	1,82
07/05/04	254	2,97	6,79	3,07	1,21	4,05	1,44
08/05/04	255	1,61	4,59	1,36	1,02	2,94	1,39
09/05/04	256	1,75	4,08	1,97	1,03	2,71	1,49
10/05/04	257	1,27	2,47	2,06	0,80	1,86	1,44
11/05/04	258	1,40	2,58	1,36	0,92	1,75	1,30
12/05/04	259	1,40	21,53	1,21	0,76	4,27	2,55
13/05/04	260	1,36	12,64	1,10	0,75	5,99	1,99
14/05/04	261	1,27	6,46	1,22	0,23	3,89	1,35
15/05/04	262	1,15	4,97	1,34	0,64	2,88	1,49
16/05/04	263	6,37	3,82	1,85	6,31	6,24	1,91
17/05/04	264	3,63	8,92	3,95	5,99	6,37	1,66
18/05/04	265	2,42	6,57	3,57	1,97	4,69	1,66
19/05/04	266	2,10	28,41	2,55	1,34	7,32	1,59
20/05/04	267	2,38	19,30	8,02	1,44	8,03	2,54
21/05/04	268	1,53	5,86	1,94	1,17	3,06	1,40
Data da coleta	Tempo de operação (dias)	Coleta diária (mm)					
		LNSE	LMSE	LVSE	LNCE	LMCE	LVCE
22/05/04	269	1,34	4,60	2,14	1,08	2,87	1,62
23/05/04	270	1,59	3,25	1,59	1,02	2,23	1,34
24/05/04	271	1,40	3,12	1,34	1,02	2,04	1,46
25/05/04	272	1,24	6,76	1,15	0,96	1,67	1,54
26/05/04	273	1,32	9,75	1,46	1,06	4,74	1,68
27/05/04	274	1,39	9,55	2,11	0,94	5,64	2,50
28/05/04	275	0,85	6,37	2,10	0,44	2,56	2,04
29/05/04	276	1,27	4,50	1,86	0,66	2,45	1,62
30/05/04	277	1,76	2,74	2,48	2,39	1,85	0,98
31/05/04	278	0,45	2,80	5,61	1,97	2,93	1,53
01/06/04	279	0,41	4,84	3,38	1,55	5,61	1,80
02/06/04	280	9,55	24,71	3,06	8,85	12,13	1,91
03/06/04	281	6,14	10,19	6,65	6,48	8,51	1,86
04/06/04	282	15,92	9,78	3,64	13,76	14,08	1,40

05/06/04	283	11,72	15,90	10,48	7,43	8,73	1,35
06/06/04	284	4,14	9,55	6,37	3,18	6,37	2,68
07/06/04	285	2,42	5,10	2,17	1,97	3,57	2,17
08/06/04	286	2,80	14,39	0,64	2,23	9,55	2,93
09/06/04	287	2,29	14,48	0,25	1,53	7,96	2,52
10/06/04	288	1,92	12,61	0,06	1,59	7,80	2,80
11/06/04	289	1,66	5,32	6,41	0,80	4,11	2,33
12/06/04	290	1,59	4,19	2,55	0,89	2,71	2,59
13/06/04	291	1,02	1,54	0,80	2,55	1,66	2,59
14/06/04	292	1,66	2,85	2,79	0,57	0,13	3,69
15/06/04	293	1,41	2,31	2,80	0,33	3,90	3,25
16/06/04	294	1,48	13,66	2,25	0,45	2,74	2,93
17/06/04	295	1,15	9,68	2,13	0,50	6,08	2,14
18/06/04	296	1,13	4,44	3,04	0,22	3,77	2,47
19/06/04	297	1,07	4,87	4,08	0,38	2,59	3,07
20/06/04	298	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21/06/04	299	2,42	3,63	6,62	0,57	2,61	7,20
22/06/04	300	0,96	2,48	2,10	0,29	0,05	3,29
23/06/04	301	1,17	9,49	1,89	0,32	0,03	2,17
24/06/04	302	0,89	10,43	1,63	0,47	8,66	3,29
25/06/04	303	1,43	4,67	1,02	0,25	2,94	2,80
26/06/04	304	1,04	3,87	1,30	0,25	2,62	2,22
27/06/04	305	1,08	3,57	1,46	0,19	2,42	3,25
28/06/04	306	0,83	2,93	1,69	0,13	2,04	3,50
29/06/04	307	0,00	1,53	0,83	0,00	1,15	1,02
30/06/04	308	1,30	2,93	3,31	0,13	2,23	3,57
01/07/04	309	1,04	8,76	1,15	0,00	2,45	2,55
02/07/04	310	0,99	6,42	1,31	0,00	3,15	2,37
03/07/04	311	0,89	4,15	1,24	0,00	2,45	2,19
04/07/04	312	0,69	3,44	2,04	0,00	2,24	4,33
05/07/04	313	1,04	2,93	0,41	0,00	1,85	3,57
06/07/04	314	0,85	1,95	1,20	0,00	1,66	4,27
07/07/04	315	0,98	2,31	1,12	0,00	1,62	4,65
08/07/04	316	1,96	7,22	1,11	0,00	2,33	3,72
09/07/04	317	0,64	3,18	0,55	0,00	1,08	1,46
10/07/04	318	0,98	5,35	1,02	0,00	2,69	4,71
11/07/04	319	3,53	3,89	8,87	5,89	7,64	3,25
12/07/04	320	2,27	8,60	5,32	2,23	7,39	3,94
13/07/04	321	1,32	6,79	2,48	0,00	6,97	4,10
14/07/04	322	2,48	17,83	3,20	0,25	10,05	2,45
Data da coleta	Tempo de operação (dias)	Coleta diária (mm)					
		LNSE	LMSE	LVSE	LNCE	LMCE	LVCE
15/07/04	323	1,21	10,76	2,48	0,05	5,61	2,80
16/07/04	324	1,67	5,90	2,13	0,00	4,46	4,33
17/07/04	325	1,26	4,46	1,91	0,00	3,26	4,47
18/07/04	326	1,22	5,10	1,78	0,09	2,61	3,76
19/07/04	327	1,15	2,61	1,27	0,00	2,04	1,68
20/07/04	328	0,17	4,56	2,78	0,00	6,82	2,45
21/07/04	329	8,85	27,26	8,54	0,00	10,32	4,42
22/07/04	330	3,38	13,40	4,36	0,00	7,87	2,42
23/07/04	331	2,10	7,75	3,38	0,00	5,16	4,71
24/07/04	332	0,93	4,47	2,52	0,32	3,17	3,72
25/07/04	333	1,46	3,91	2,31	0,00	2,76	4,39
26/07/04	334	1,57	2,99	2,01	0,00	2,33	4,29
27/07/04	335	1,50	2,99	2,01	0,00	3,69	4,99
28/07/04	336	1,89	18,52	2,18	0,00	8,78	3,59
29/07/04	337	2,20	10,75	3,44	0,00	6,79	4,65
30/07/04	338	1,53	4,84	2,76	0,00	3,39	2,24
31/07/04	339	0,96	4,43	3,95	0,00	2,93	2,74
01/08/04	340	1,21	2,68	1,59	0,00	1,72	0,89

02/08/04	341	1,53	4,01	2,99	0,13	2,84	1,95
03/08/04	342	1,08	2,36	1,46	0,00	1,64	0,68
04/08/04	343	1,21	17,20	1,21	0,00	8,43	4,74
05/08/04	344	1,40	8,08	2,68	0,00	5,18	3,50
06/08/04	345	1,02	5,80	2,32	0,00	4,01	3,06
07/08/04	346	0,70	3,38	1,46	0,00	2,42	2,04
08/08/04	347	0,89	2,65	1,53	0,00	2,48	2,59
09/08/04	348	0,92	2,64	1,32	0,00	1,92	1,43
10/08/04	349	1,59	2,17	1,78	0,00	1,72	5,35
11/08/04	350	0,96	8,28	1,02	0,00	2,17	10,96
12/08/04	351	1,07	8,55	1,13	0,00	5,10	3,50
13/08/04	352	0,89	5,10	0,76	0,00	3,06	1,45
14/08/04	353	0,51	3,44	0,76	0,00	2,38	1,53
15/08/04	354	0,83	2,55	0,64	0,00	1,91	0,64
16/08/04	355	0,97	2,82	0,93	0,00	2,17	2,04
17/08/04	356	1,40	2,04	0,89	0,00	1,85	4,94
18/08/04	357	0,89	3,25	0,76	0,00	1,43	10,57
19/08/04	358	0,89	6,56	0,76	0,00	1,34	3,29
20/08/04	359	0,96	5,86	0,89	0,00	2,36	3,44
21/08/04	360	1,06	3,95	0,93	0,00	2,61	2,42
22/08/04	361	0,70	2,68	1,02	0,00	1,97	1,27
23/08/04	362	1,08	2,80	1,04	0,00	2,04	1,61
24/08/04	363	1,11	2,48	1,85	0,00	1,91	1,21
25/08/04	364	0,83	2,48	1,15	0,00	1,72	0,96
26/08/04	365	1,02	5,73	1,15	0,00	1,40	1,15
27/08/04	366	0,85	4,88	0,83	0,00	1,46	0,89
28/08/04	367	1,27	3,81	0,89	0,00	1,94	0,74
29/08/04	368	0,25	0,51	0,19	0,00	1,15	0,19
30/08/04	369	1,96	4,75	1,50	0,00	2,29	0,70
31/08/04	370	1,77	2,15	0,98	0,15	1,53	0,43
TOTAL		1.841,26	3.224,09	1.190,12	1.431,53	1.941,38	1.019,56
MÍNIMO		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MÁXIMO		37,39	283,76	25,86	70,06	32,23	38,22

Tabela A.8 - Concentrações de metais nos lisímetros LVSE e LNCE

Data	Dias de Operação	Concentração do metal (mg.L ⁻¹)																			
		LVSE										LNCE									
		Zn	Cd	Cu	Pb	Ni	Mn	Cr	Fe	Ca	Mg	Zn	Cd	Cu	Pb	Ni	Mn	Cr	Fe	Ca	Mg
11/12/03	106	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,15	0,00	38,35	583,75	233,25	2,00	0,03	0,00	0,00	0,00	22,45	0,00	269,23	3.167,25	378,75
15/01/04	141	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	2,33	0,00	35,80	520,25	195,50	0,10	0,00	0,08	0,00	0,18	21,38	0,00	361,50	2.871,00	295,50
29/01/04	155	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,18	92,28	103,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,20	0,00	315,00	1.722,28	238,00
12/02/04	169	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	13,45	125,35	110,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40	0,00	315,00	1.246,10	160,50
26/02/04	183	0,00	0,00	5,33	0,00	0,00	0,00	0,00	58,10	59,90	52,50	0,00	0,00	3,53	0,00	0,00	1,68	0,00	240,23	576,15	86,75
10/03/04	196	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,03	19,63	83,50	68,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,65	0,00	73,23	612,75	64,43
24/03/04	210	0,85	0,00	0,33	0,00	0,40	1,43	0,00	16,60	144,50	115,81	0,73	0,00	0,60	0,00	0,00	5,75	0,00	147,28	1.041,63	136,81
07/04/04	224	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	14,78	161,75	134,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,35	0,00	42,58	626,50	177,50
21/04/04	238	0,00	0,00	7,90	0,53	0,00	1,00	0,00	16,93	125,25	113,75	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	1,20	0,00	23,35	355,50	121,75
05/05/04	252	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	119,19	101,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,94	295,00	102,00
19/05/04	266	0,00	0,00	1,73	0,00	0,00	0,00	0,00	60,25	155,50	170,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,03	338,25	160,00
02/06/04	280	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,18	4,40	122,75	124,50	0,00	0,01	3,55	0,00	0,00	1,58	0,20	57,53	364,50	88,00
16/06/04	294	0,00	0,00	26,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	113,50	124,00	0,00	0,00	71,25	0,00	0,00	0,00	0,00	33,63	217,88	114,63
30/06/04	308	0,13	0,00	1,70	0,00	0,00	0,00	0,00	7,03	85,25	106,50	0,23	0,00	1,85	0,00	0,00	0,00	0,00	32,00	111,25	109,75
14/07/04	322	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	-	123,25	117,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	37,98	252,00	105,75
04/08/04	343	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	35,88	126,38	119,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18/08/04	357	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28	0,00	3,53	85,50	116,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
01/09/04	371	4,55	0,00	0,03	0,00	0,00	0,13	0,00	9,63	67,25	110,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Média	0,31	0,00	2,59	0,03	0,02	0,51	0,01	27,28	159,83	123,07	0,20	0,00	5,39	0,00	0,01	5,31	0,01	133,36	919,87	156,01
	Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	59,90	52,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,03	111,25	64,43
	Máximo	4,55	0,05	26,65	0,53	0,40	3,15	0,18	119,19	583,75	233,25	2,00	0,03	71,25	0,00	0,18	22,45	0,20	361,50	3.167,25	378,75

Tabela A.9 - Concentrações de metais nos lisímetros LMCE e LVCE

Data	Dias de Operação	Concentração do metal (mg.L ⁻¹)																			
		LMCE										LVCE									
		Zn	Cd	Cu	Pb	Ni	Mn	Cr	Fe	Ca	Mg	Zn	Cd	Cu	Pb	Ni	Mn	Cr	Fe	Ca	Mg
11/12/03	106	1,23	0,00	0,00	0,00	0,00	2,30	0,00	28,15	316,25	260,75	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	1,53	0,00	0,85	122,25	141,50
15/01/04	141	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00	0,85	0,00	11,95	201,75	148,50	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,30	0,00	0,38	85,50	130,50
29/01/04	155	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,68	104,78	117,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,08	52,28	120,25
12/02/04	169	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	15,05	128,60	140,00	0,00	0,00	0,83	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00	60,10	71,50
26/02/04	183	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	32,20	59,90	51,00	0,00	0,00	8,40	0,00	0,00	0,00	0,00	3,20	40,40	78,50
10/03/04	196	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,93	80,50	42,93	0,00	0,00	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	4,13	42,25	40,68
24/03/04	210	0,43	0,33	0,28	0,00	0,00	2,43	0,00	13,50	144,25	77,06	0,85	0,00	1,08	0,00	0,00	0,15	0,00	4,55	118,25	115,19
07/04/04	224	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,80	0,00	14,48	170,50	92,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	5,43	165,75	126,75
21/04/04	238	0,08	0,00	0,05	0,00	0,00	1,23	0,00	30,73	177,50	86,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,73	0,00	9,45	140,00	104,75
05/05/04	252	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,66	118,25	72,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,21	107,25	88,75
19/05/04	266	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	57,75	157,50	129,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	155,75	176,25
02/06/04	280	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,80	0,13	6,10	186,50	114,00	0,00	0,01	4,03	0,00	0,00	0,43	0,05	7,40	141,00	134,25
16/06/04	294	0,00	0,00	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	24,28	162,63	106,25	0,00	0,00	13,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28	125,63	127,63
30/06/04	308	0,10	0,00	1,85	0,00	0,08	0,00	0,00	18,98	98,25	89,00	0,00	0,00	1,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45	92,75	103,25
14/07/04	322	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,43	141,25	94,50	0,00	0,00	45,88	0,00	0,00	0,00	0,00	15,95	124,38	132,50
04/08/04	343	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	0,00	29,65	172,13	104,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	15,80	134,25	124,88
18/08/04	357	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,43	0,00	-	130,88	103,25	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	0,00	9,33	108,88	121,13
01/09/04	371	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	3,45	103,50	97,38	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	11,03	105,50	129,13
	Média	0,10	0,03	0,19	0,00	0,00	0,61	0,01	18,88	147,49	107,10	0,06	0,00	4,20	0,01	0,00	0,23	0,00	5,58	106,79	114,85
	Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,45	59,90	42,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,40	40,68
	Máximo	1,23	0,33	1,85	0,00	0,08	2,43	0,13	57,75	316,25	260,75	0,85	0,01	45,88	0,25	0,00	1,53	0,05	15,95	165,75	176,25