Campus de São Carlos

TRATAMENTO BIOLÓGICO DE LÍQUIDOS
PERCOLADOS DE ATERROS SANITÁRIOS
UTILIZANDO REATOR ANAERÓBIO
HORIZONTAL DE LEITO FIXO
(RAHLF)

RONAN CLEBER CONTRERA

ORIENTADOR: Prof. Associado VALDIR SCHALCH

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

**TRATAMENTO BIOLÓGICO DE LÍQUIDOS PERCOLADOS DE
ATERROS SANITÁRIOS UTILIZANDO REATOR ANAERÓBIO
HORIZONTAL DE LEITO FIXO (RAHLF)**

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: 19/07/03

Ass.:

Ronan Cleber Contrera

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

ORIENTADOR: Prof. Assoc. Valdir Schalch

DEDALUS - Acervo - EESC

31100043513

São Carlos

2003

Class.	TEST - EESC
Cutt.	1592
Tombo	T228/03
Sysno	1323126

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

C764t Contrera, Ronan Cleber
Tratamento biológico de líquidos percolados de aterros sanitários utilizando reator anaeróbico horizontal de leito fixo (RAHLF)/ Ronan Cleber Contrera. -- São Carlos, 2003.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 2003.

Área:Hidráulica e Saneamento

Orientador: Prof. Assoc. Valdir Schalch.

1. Resíduos sólidos urbanos. 2. Líquidos percolados. 3. Aterro sanitário. 4. Tratamento biológico. 5. Reator anaeróbico horizontal de leito fixo. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **RONAN CLEBER CONTRERA**

Dissertação defendida e julgada em 12-05-2003 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Assoc. **VALDIR SCHALCH (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO

Prof. Dr. **JOSE ALBERTO DOMINGUES RODRIGUES**
(Escola de Engenharia de Mauá)

APROVADO

Prof. Dr. **JORGE HAMADA**
(UNESP/Campus de Bauru)

APROVADO

Profa. Associada **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia (Hidráulica e Saneamento) e
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

*Aos meus pais, João e Sylvia, à minha tia
Maria, aos meus irmãos, aos meus avós e a todos
que de alguma forma tornaram possível a
realização deste trabalho.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, que tanto me ajudou.

Ao CNPq e à FAPESP pelas bolsas de estudo e pelo auxílio à pesquisa concedidos.

Ao Prof. Assoc. Valdir Schalch, meu orientador, que acima de tudo, sempre foi um grande amigo.

Ao Prof. Dr. Marcelo Zaiat, que foi praticamente um co-orientador deste trabalho.

À Profa. Assoc. Maria do Carmo Calijuri, Coordenadora de Pós Graduação da Área de Hidráulica e Saneamento, pela indispensável ajuda nos momento mais difíceis.

Ao Prof. Dr. Rodrigo de Melo Porto por toda ajuda, no início deste Mestrado.

A todos os meus amigos e colegas, que tantas vezes me ajudaram e contribuíram na realização deste trabalho.

Aos técnicos dos Laboratórios: Paulo, Júlio, Cidinha, Profa. Bete, Janja, Eloísa e Ana Paula por todo carinho e dedicação em me ajudar com as análises.

A todos os funcionários e funcionárias do SHS-EESC-USP.

Às Prefeituras de Rio Claro-SP e Bauru-SP, que permitiram o uso do percolado e ajudaram nas coletas.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xii
LISTA DE SÍMBOLOS	xiii
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
1 – INTRODUÇÃO	1
2 – OBJETIVOS	3
2.1 – Objetivo Geral	3
2.2 – Objetivos Específicos	3
3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 – Resíduos Sólidos e Aterro Sanitário	4
3.2 – Líquidos Percolados	10
3.3 – Digestão Anaeróbia	18
3.4 – Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo (RAHLF)	21
3.5 – Considerações Finais	26
4 – MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1 – Descrição do Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo (RAHLF)	27
4.2 – Inóculo e Preparo do Leito do RAHLF	29
4.3 – Coleta e Armazenamento dos Líquidos Percolados	30
4.3.1 – Primeira Coleta de Percolados (Aterro Sanitário de Bauru-SP)	30
4.3.2 – Segunda Coleta de Percolados (Aterro Sanitário de Rio Claro-SP)	32
4.3.3 – Terceira Coleta de Percolados (Aterro Sanitário de Rio Claro-SP)	34
4.3.4 – Armazenamento do Percolado	35
4.4 – Análises Físico-Químicas das Amostras Líquidas	35
4.5 – Análises das Amostras Gasosas	37
4.6 – Exames Microbiológicos	37
4.7 – Descrição do Experimento	37
5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1 – Primeira Etapa: Operação do Sistema com o Percolado de Bauru-SP	42
5.2 – Segunda Etapa: Operação do Reator com o Percolado de Rio Claro-SP	55
5.3 – Terceira Etapa: Operação do Reator com Substrato Sintético e Substituição Gradual por Percolado de Aterro Sanitário	67
5.3.1 – Descrição das Fases de Operação do Sistema nessa Terceira Etapa	67
5.3.1.1 – Fase 1: Operação do Sistema com Substrato Sintético	67
5.3.1.2 – Fase 2: Substituição Gradual do Substrato Sintético pelo Primeiro Percolado Coletado em Rio Claro	67
5.3.1.3 – Fase 3: Substituição do Percolado por Outro Coletado em Rio Claro	67
5.3.2 – Resultados das Fases de Operação do Sistema nessa Terceira Etapa	71
5.3.2.1 – Resultados da Fase 1	71
5.3.2.2 – Resultados da Fase 2	71
5.3.2.3 – Resultados da Fase 3	72
5.3.2.4 – Análise Global dos Resultados da Terceira Etapa	72
6 – CONCLUSÕES	105

7 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	108
8 – ANEXOS	109
ANEXO 1	110
ANEXO 2	115
ANEXO 3	121
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	145

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1.1: Início de operação de um aterro sanitário e construção de sistema de coleta de líquidos percolados.....	6
FIGURA 3.1.2: Vista geral da superposição das células sanitárias e da distribuição dos drenos de gases em aterros sanitários.	6
FIGURA 3.1.3: Detalhe de um dreno convencional de gás.	7
FIGURA 3.1.4: Dreno com terminação especial para queima de gases.	7
FIGURA 3.1.5: Variação de parâmetros selecionados, indicadores das fases de estabilização da matéria orgânica em um aterro sanitário.....	9
FIGURA 3.3.1: Sequências metabólicas da digestão anaeróbia (com redução de sulfato [---]).	19
FIGURA 3.4.1: Esquema do Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo (RAHLF) em escala de bancada. (1) Reservatório de substrato, (2) Bomba peristáltica,(3) Amostradores, (4) Medidor de produção de gás.....	22
FIGURA 4.1.1: Reator anaeróbio horizontal de leito fixo utilizado no experimento.	27
FIGURA 4.1.2: “Caps” com crivos de plástico perfurado ou tela plástica.	28
FIGURA 4.1.3: Câmara de madeira e termostato digital utilizados no experimento.	28
FIGURA 4.2.1: Lodo granular do abatedouro de aves da cidade de Tietê-SP.....	29
FIGURA 4.2.2: Espuma de poliuretano depois e antes da imobilização do lodo	29
FIGURA 4.3.1.1: Vista geral do pé do aterro de Bauru-SP (à esquerda) e vista da frente de aterramento (à direita).....	31
FIGURA 4.3.1.2: Lagoa de percolado sobre o aterro de Bauru-SP (à esquerda) e caixa de acúmulo de percolado no pé do aterro (à direita).....	31
FIGURA 4.3.1.3: Funcionários da EMDURB – Bauru auxiliando na coleta do percolado (à esquerda) e percolado acondicionado em galões de 20 L no interior do veículo (à direita).	32
FIGURA 4.3.2.1: Vista geral do aterro (à esquerda) e vista da frente de aterramento e construção de drenos (à direita).	32
FIGURA 4.3.2.2: Vista geral da região da caixa de acúmulo e preparo da bomba para coleta.	33
FIGURA 4.3.2.3: Preparo da bomba e mangueiras para coleta, e vista da abertura na manta plástica de proteção da caixa de acúmulo.	33
FIGURA 4.3.3.1: Vista geral das lagoas de acúmulo de percolado, e preparo da bomba para coleta.	34
FIGURA 4.3.3.2: Vista da lagoa tendo o aterro ao fundo e o percolado coletado e armazenado em galões de 20 L.....	34
FIGURA 4.3.4.1: Percolado armazenado em geladeira a 4 °C em um galão de 40 L.	35
FIGURA 4.7.1: Bomba peristáltica à esquerda e bomba diafragma à direita, juntos com a geladeira e o “no-break” utilizados.....	38
FIGURA 4.7.2: Frasco de Mariot para medida do volume de gases à esquerda, e conjunto ventilador-resistência elétrica para manter a temperatura da câmara.	38
FIGURA 4.7.3: Esquema com as três etapas do experimento e os percolados utilizados.	41

FIGURA 5.1.1: Resultado da Microscopia Óptica do Percolado de Bauru-SP. (a) bacilo com inclusões; (b) cisto; (c) bacilos e cocos; (d) diplococos; (e) bacilos curvos e cocos; (f) vibrio.	44
FIGURA 5.1.2: DQO afluente (A) e efluente (E), das amostras brutas e filtradas. ..	45
FIGURA 5.1.3: Eficiência em termos de remoção de DQO, para amostras brutas e filtradas.	46
FIGURA 5.1.4: Composição e volume de gás produzido no sistema.	46
FIGURA 5.1.5: Alcalinidade Total e pH, afluentes (A) e efluentes (E).	47
FIGURA 5.1.6: Alcalinidade a bicarbonato, afluente (A) e efluente (E).	47
FIGURA 5.1.7: Ácidos Voláteis Totais por titulação, afluente (A) e efluente (E). ..	48
FIGURA 5.1.8: Concentração de Zinco afluente e efluente.	48
FIGURA 5.1.9: Concentração de Ferro afluente e efluente.	49
FIGURA 5.1.10: Concentração de Manganês afluente e efluente.	49
FIGURA 5.1.11: Sólidos Totais, afluente (A) e efluente (E).	50
FIGURA 5.1.12: Eficiência de remoção de Sólidos Totais no sistema.	50
FIGURA 5.1.13: Sólidos Suspensos, afluente (A) e efluente (E).	51
FIGURA 5.1.14: Eficiência de remoção de Sólidos Suspensos no sistema.	51
FIGURA 5.1.15: Sólidos Dissolvidos, afluente (A) e efluente (E).	52
FIGURA 5.1.16: Eficiência de remoção de Sólidos Dissolvidos no sistema.	52
FIGURA 5.1.17: Coliformes Totais e Fecais, afluente e efluente.	53
FIGURA 5.1.18: Microscopia Óptica do lodo retido na espuma após o colapso do sistema. (a) <i>methanosarcina sp.</i> , (b) <i>methanosarcina sp.</i> observada com fluorescência, (c) bacilos e fragmento de <i>methanosaeta sp.</i> e (d) formação do tipo sarcina e em meio à matéria orgânica.	54
FIGURA 5.2.1: DQO, afluente (A) e efluente (E), bruta e filtrada.	57
FIGURA 5.2.2: Eficiência em termos de remoção de DQO no sistema.	57
FIGURA 5.2.3: Composição e volume de gás produzido no sistema.	58
FIGURA 5.2.4: Alcalinidade Total e pH, afluentes (A) e efluentes (E).	59
FIGURA 5.2.5: Alcalinidade a Bicarbonato afluente (A) e efluente (E).	60
FIGURA 5.2.6: Ácidos Voláteis Totais afluente (A) e efluente (E) por titulação. ...	60
FIGURA 5.2.7: Ácidos Voláteis Totais e Ácido Acético, afluentes (A) e efluentes (E) por Cromatografia.	61
FIGURA 5.2.7: Concentrações de Zinco, afluente (A) e efluente (E).	61
FIGURA 5.2.8: Concentrações de Ferro, afluente (A) e efluente (E).	62
FIGURA 5.2.9: Concentrações de Manganês, afluente (A) e efluente (E).	62
FIGURA 5.2.10: Sólidos Totais, afluente (A) e efluente (E).	63
FIGURA 5.2.11: Eficiência de remoção de Sólidos Totais no sistema.	63
FIGURA 5.2.12: Sólidos Suspensos, afluente (A) e efluente (E).	64
FIGURA 5.2.13: Eficiência de remoção de Sólidos Suspensos no sistema.	64
FIGURA 5.2.14: Sólidos Dissolvidos, afluente (A) e efluente (E).	65
FIGURA 5.2.15: Eficiência de remoção de Sólidos Dissolvidos no sistema.	65
FIGURA 5.2.16: Coliformes Totais e Fecais, afluentes (A) e efluentes (E).	66
FIGURA 5.3.1: Caracterização Microbiológica do Percolado de Rio Claro-SP: (a), (b) e (c) Grande diversidade microbiológica com destaque para os cloroflagelados; (d) Aparentemente uma parte de uma hifa de fungo; (e) e (f) Alguns protozoários e uma grande variedade de morfologias bacterianas – cocos, bacilos, bacilos curvos e vibrios.	69

FIGURA 5.3.2: Caracterização Microbiológica do Percolado de Rio Claro-SP: (a) e (b) Alguns protozoários e grande variedade de morfologias bacterianas – cocos, bacilos, bacilos curvos, etc; (c) Estreptococos, cocos, bacilos, bacilos curvos, etc; (d) Bacilo com inclusões, cocos, bacilos, bacilos curvos, etc; (e) e (f) Provavelmente formações do tipo sarcina.....	70
FIGURA 5.3.3: Deficiência na remoção de DQO no sistema e porcentagem de percolado em relação à carga orgânica aplicada.....	72
FIGURA 5.3.4: DQO afluente e efluente, e porcentagem de percolado em relação à carga orgânica aplicada.	73
FIGURA 5.3.5: Eficiência de remoção de DQO no sistema, e porcentagem de percolado em relação à carga orgânica aplicada.....	73
FIGURA 5.3.6: Alcalinidade Total e pH, afluentes (A) e efluentes (E).....	74
FIGURA 5.3.7: Alcalinidade a Bicarbonato, afluente (A) e efluente (E) e porcentagem de percolado em relação à carga orgânica aplicada.	74
FIGURA 5.3.8: Produção de gás no sistema e composição.....	75
FIGURA 5.3.9: Concentrações de Zinco afluente e efluente.....	75
FIGURA 5.3.10: Concentrações de Ferro afluente e efluente.....	76
FIGURA 5.3.11: Concentrações de Manganês afluente e efluente.	76
FIGURA 5.3.12: Ácidos Voláteis Totais, afluente (A) e efluente (E), por titulação. 81	
FIGURA 5.3.13: Ácidos Voláteis Totais, afluente (A) e efluente (E), por cromatografia.....	81
FIGURA 5.3.14: Ácidos Voláteis, afluente (A) e efluente (E), por cromatografia... 82	
FIGURA 5.3.15: Sólidos Totais, afluente (A) e efluente (E).....	83
FIGURA 5.3.16: Eficiência de remoção de Sólidos Totais.	83
FIGURA 5.3.17: Sólidos Totais Fixos, afluente (A) e efluente (E).	84
FIGURA 5.3.18: Eficiência de remoção de Sólidos Totais Fixos.....	84
FIGURA 5.3.19: Sólidos Totais Voláteis, afluente (A) e efluente (E).....	85
FIGURA 5.3.20: Eficiência de remoção de Sólidos Totais Voláteis.....	85
FIGURA 5.3.21: Sólidos Suspensos Totais, afluente (A) e efluente (E).....	86
FIGURA 5.3.22: Eficiência de remoção de Sólidos Suspensos Totais.	86
FIGURA 5.3.23: Sólidos Suspensos Fixos, afluente (A) e efluente (E).....	87
FIGURA 5.3.24: Eficiência de remoção de Sólidos Suspensos Fixos.....	87
FIGURA 5.3.25: Sólidos Suspensos Voláteis, afluente (A) e efluente (E).....	88
FIGURA 5.3.26: Eficiência de remoção de Sólidos Suspensos Voláteis.	88
FIGURA 5.3.27: Sólidos Dissolvidos Totais, afluente (A) e efluente (E).....	89
FIGURA 5.3.28: Eficiência de remoção de Sólidos Dissolvidos Totais.	89
FIGURA 5.3.29: Sólidos Dissolvidos Fixos, afluente (A) e efluente (E).....	90
FIGURA 5.3.30: Eficiência de remoção de Sólidos Dissolvidos Fixos.	90
FIGURA 5.3.31: Sólidos Dissolvidos Voláteis, afluente (A) e efluente (E).....	91
FIGURA 5.3.32: Eficiência de remoção de Sólidos Dissolvidos Voláteis.	91
FIGURA 5.3.33: Perfil (1) de DQO com Zero % de percolado.....	93
FIGURA 5.3.34: Perfil (2) de DQO com 40 % de percolado.	93
FIGURA 5.3.35: Perfil (3) de DQO com 100 % de percolado.	93
FIGURA 5.3.36: Perfil (4) de DQO com 100 % de percolado.	93
FIGURA 5.3.37: Perfil (1) de remoção de DQO com Zero % de percolado.	94
FIGURA 5.3.38: Perfil (2) de remoção de DQO com 40 % de percolado.....	94
FIGURA 5.3.39: Perfil (3) de remoção de DQO com 100 % de percolado.....	94
FIGURA 5.3.40: Perfil (4) de remoção de DQO com 100 % de percolado.....	94

FIGURA 5.3.41: Perfil (1) de pH e Alcalinidade com Zero % de percolado.	95
FIGURA 5.3.42: Perfil (2) de pH e Alcalinidade com 40 % de percolado.	95
FIGURA 5.3.43: Perfil (3) de pH e Alcalinidade com 100 % de percolado.	95
FIGURA 5.3.44: Perfil (4) de pH e Alcalinidade com 100 % de percolado.	95
FIGURA 5.3.45: Perfil (1) de Ácidos Voláteis com Zero % de percolado.	96
FIGURA 5.3.46: Perfil (2) de Ácidos Voláteis com 40 % de percolado.	96
FIGURA 5.3.47: Perfil (3) de Ácidos Voláteis com 100 % de percolado.	96
FIGURA 5.3.48: Perfil (4) de Ácidos Voláteis com 100 % de percolado.	96
FIGURA 5.3.49: Perfil (3) – Concentração de Zinco com 100 % de perc.	97
FIGURA 5.3.51: Perfil (3) – Concentração de Ferro com 100 % de perc.	97
FIGURA 5.3.50: Perfil (4) – Concentração de Zinco com 100 % de perc.	97
FIGURA 5.3.52: Perfil (4) – Concentração de Ferro com 100 % de perc.	97
FIGURA 5.3.53: Perfil (3) – Concentr. de Manganês com 100 % de perc.	98
FIGURA 5.3.55: Perfil (3) – Remoção de metais com 100 % de perc.	98
FIGURA 5.3.54: Perfil (4) – Concentr. de Manganês com 100 % de perc.	98
FIGURA 5.3.56: Perfil (4) – Remoção de metais com 100 % de perc.	98
FIGURA 5.3.57: Perfil (3) de Sólidos Totais com 100 % de perc.	99
FIGURA 5.3.58: Perfil (3) – Remoção de Sól. Totais com 100 % de perc.	99
FIGURA 5.3.59: Perfil (4) de Sólidos Totais com 100 % de perc.	99
FIGURA 5.3.60: Perfil (4) – Remoção de Sól. Totais com 100 % de perc.	99
FIGURA 5.3.61: Perfil (3) de Sólidos Suspensos com 100 % de perc.	100
FIGURA 5.3.62: Perfil (3) – Remoção de Sól. Susp. com 100 % de perc.	100
FIGURA 5.3.63: Perfil (4) de Sólidos Suspensos com 100 % de perc.	100
FIGURA 5.3.64: Perfil (4) – Remoção de Sól. Susp. com 100 % de perc.	100
FIGURA 5.3.65: Perfil (3) de Sólidos Dissolvidos com 100 % de perc.	101
FIGURA 5.3.66: Perfil (3) – Remoção de Sól. Dissol. com 100 % de perc.	101
FIGURA 5.3.67: Perfil (4) de Sólidos Dissolvidos com 100 % de perc.	101
FIGURA 5.3.68: Perfil (4) – Remoção de Sól. Dissol. com 100 % de perc.	101
FIGURA 5.3.69: Aspecto da biomassa no interior do reator. Na parte superior, a entrada do sistema e na parte inferior a saída.	102
FIGURA 5.3.70: Caracterização da biomassa que se desenvolveu na espuma de poliuretano. (a) e (b) grande população de <i>methanosaeta sp.</i>	103
FIGURA 5.3.71: Caracterização da biomassa que se desenvolveu na espuma de poliuretano. (a) e (c) <i>methanosarcina sp.</i> , (b) e (d) <i>methanosarcina sp.</i> observada com fluorescência, (e) bacilos e fragmentos de <i>methanosaeta</i> (f) bacilos fluorescentes.	104

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1.1: Composição física dos resíduos sólidos da cidade de São Carlos-SP.	5
TABELA 3.1.2: Quantidade diária de lixo coletado, por unidade de destino final do lixo coletado, segundo as Grandes Regiões no ano 2.000.	8
TABELA 3.2.1: Comparação da composição dos líquidos percolados com idades diferentes, de aterros sanitários situados no Canadá.	11
TABELA 3.2.2: Faixas de concentração dos principais parâmetros de percolados de aterros sanitários.	12
TABELA 4.4.1: Parâmetros físico-químicos monitorados no afluente e nos efluentes do reator, metodologia utilizada e frequência das análises.	36
TABELA 5.1.1: Resultados da Caracterização do percolado coletado em Bauru-SP.	43
TABELA 5.2.1: Resultado da caracterização do percolado coletado em Rio Claro-SP.	55
TABELA 5.3.1: Resultado da caracterização do percolado da segunda coleta realizada em Rio Claro-SP.	68
TABELA 5.3.2: Comportamento médio do sistema, quanto à DQO, pH, alcalinidade e coliformes, nas últimas duas semanas de operação com 100% de percolado, da segunda coleta realizada em Rio Claro-SP.	78
TABELA 5.3.3: Comportamento médio do sistema, quanto a ácidos voláteis, alguns metais e nitrogênio, nas últimas duas semanas de operação com 100% de percolado, da segunda coleta realizada em Rio Claro-SP.	79
TABELA 5.3.4: Comportamento médio do sistema, quanto aos sólidos, nas últimas duas semanas de operação com 100% de percolado, da segunda coleta realizada em Rio Claro-SP.	80
TABELA 8.1.1: Resultados da Primeira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E).	111
TABELA 8.1.2: Resultados da Primeira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E).	112
TABELA 8.1.3: Resultados da Primeira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E).	113
TABELA 8.1.4: Resultados da Primeira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E).	114
TABELA 8.2.1: Resultados da Segunda Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E).	116
TABELA 8.2.2: Resultados da Segunda Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E).	117
TABELA 8.2.3: Resultados da Segunda Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E).	118
TABELA 8.2.4: Resultados da Segunda Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E).	119
TABELA 8.2.5: Resultados da Segunda Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E).	120

TABELA 8.3.1: Resultados da Terceira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E).....	122
TABELA 8.3.1: Resultados da Terceira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E). (continuação)	123
TABELA 8.3.1: Resultados da Terceira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E). (continuação)	124
TABELA 8.3.2: Resultados da Terceira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E).....	125
TABELA 8.3.2: Resultados da Terceira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E). (continuação)	126
TABELA 8.3.2: Resultados da Terceira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E). (continuação)	127
TABELA 8.3.3: Resultados da Terceira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E).....	128
TABELA 8.3.3: Resultados da Terceira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E). (continuação)	129
TABELA 8.3.3: Resultados da Terceira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E). (continuação)	130
TABELA 8.3.4: Resultados da Terceira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E).....	131
TABELA 8.3.4: Resultados da Terceira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E). (continuação)	132
TABELA 8.3.4: Resultados da Terceira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E). (continuação)	133
TABELA 8.3.5: Resultados da Terceira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E).....	134
TABELA 8.3.5: Resultados da Terceira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E). (continuação)	135
TABELA 8.3.5: Resultados da Terceira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E). (continuação)	136
TABELA 8.3.6: Resultados do Primeiro Perfil da Terceira Etapa (Sem adição de percolado ao substrato). Data: 11/10/2002	137
TABELA 8.3.7: Resultados do Segundo Perfil da Terceira Etapa (Com 40% da carga orgânica aplicada composta por percolado). Data: 18/11/2002	138
TABELA 8.3.8: Resultados do Terceiro Perfil da Terceira Etapa (Com 100% da carga orgânica aplicada composta por percolado). Data: 17/12/2002.....	139
TABELA 8.3.9: Resultados do Terceiro Perfil da Terceira Etapa (Com 100% da carga orgânica aplicada composta por percolado). Data: 17/12/2002.....	140
TABELA 8.3.10: Resultados do Terceiro Perfil da Terceira Etapa (Com 100% da carga orgânica aplicada composta por percolado). Data: 17/12/2002.....	141
TABELA 8.3.11: Resultados do Quarto Perfil da Terceira Etapa (Com 100% da carga orgânica aplicada composta por percolado). Data: 24/12/2002.....	142
TABELA 8.3.12: Resultados do Quarto Perfil da Terceira Etapa (Com 100% da carga orgânica aplicada composta por percolado). Data: 24/12/2002.....	143
TABELA 8.3.13: Resultados do Quarto Perfil da Terceira Etapa (Com 100% da carga orgânica aplicada composta por percolado). Data: 24/12/2002.....	144

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB	– Alcalinidade a bicarbonato
ABNT	– Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHBF	– “Anaerobic hybrid bed filter”
APHA	– “American Public Health Association”
ASBR	– “Anaerobic sequence batch reactor”
AVT	– Ácidos voláteis totais
AWWA	– “American Water Works Association”
D	– Diâmetro
DBO ₅	– Demanda bioquímica de oxigênio padrão
DQO	– Demanda química de oxigênio
EESC	– Escola de Engenharia de São Carlos
EUA	– Estados Unidos da América
L	– Comprimento
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NBR	– Norma Brasileira Registrada
NMP	– Número mais provável
PVC	– Policloreto de vinila
RAHLF	– Reator anaeróbio horizontal de leito fixo
SHS	– Departamento de Hidráulica e Saneamento
SDF	– Sólidos dissolvidos fixos
SDT	– Sólidos dissolvidos totais
SDV	– Sólidos dissolvidos voláteis
SSF	– Sólidos suspensos fixos
SST	– Sólidos suspensos totais
SSV	– Sólidos suspensos voláteis
ST	– Sólidos totais
STF	– Sólidos totais fixos
STV	– Sólidos totais voláteis
UASB	– “Upflow anaerobic sludge blanket reactor”
USP	– Universidade de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS

θ_c – Tempo de residência celular

θ_h – Tempo de detenção hidráulica

As – Astató

Ca – Cálcio

CaCO_3 – Carbonato de cálcio

Cd – Cádmio

CH_4 – Metano

Cl – Cloro/cloreto

CN – Cianeto

Co – Cobalto

CO_2 – Dióxido de carbono

Cr – Cromo

Cu – Cobre

Eh – Potencial de oxi-redução

Fe – Ferro

H_2 – Gás hidrogênio

H_2S – Gás sulfídrico

Hg – Mercúrio

K – Potássio

Mg – Magnésio

Mn – Manganês

N_2 – Gás nitrogênio

Na – Sódio

NH_3 – Amônia

Ni – Níquel

NO_3 – Nitrato

NO_2 – Nitrito

N_{org} – Nitrogênio orgânico

N_{tot} – Nitrogênio total

O_2 – Gás oxigênio

Pb – Chumbo

pH – Potencial hidrogeniônico

PO_4 – Fósforo

P_{tot} – Fósforo total

SO_4 – Sulfato

Zn – Zinco

RESUMO

CONTRERA, R. C. (2003) **Tratamento biológico de líquidos percolados de aterros sanitários utilizando reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF)**. São Carlos, 149p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Ainda são poucas as cidades brasileiras que dão destino adequado aos seus resíduos sólidos urbanos. A disposição de resíduos em aterros sanitários é hoje uma das formas mais econômicas e adequadas de disposição. A grande quantidade de matéria orgânica presente nos resíduos domiciliares, a umidade própria dos resíduos, a infiltração de águas de chuvas e as atividades microbiológicas, faz com que se gere no interior dos aterros os líquidos percolados. Esses líquidos apresentam elevada demanda química de oxigênio (DQO) e são potencialmente poluidores. Este trabalho avaliou a eficiência e a viabilidade da utilização de um reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF), no tratamento de líquidos percolados coletados nos aterros sanitários de Bauru-SP e Rio Claro-SP. O reator, em escala piloto, constituiu-se de um tubo de PVC com 3,0 m de comprimento e 14,5 cm de diâmetro interno, perfazendo uma relação comprimento por diâmetro (L/D) de aproximadamente 20 e volume de aproximadamente 50 L. O reator possuía coletor de gases e amostradores intermediários ao longo do comprimento, em posições correspondentes a L/D de 4, 8, 12 e 16. Como suporte de imobilização foi utilizada espuma de poliuretano com densidade de 20 kg.m⁻³ na forma de cubos de aproximadamente 10 mm de lado. Os percolados foram coletados e armazenados em uma câmara fria a 5 °C e o reator foi mantido com temperatura controlada em uma câmara a 30 °C. Ao se operar o sistema por oito semanas, com o percolado coletado em Bauru-SP, não houve adaptação da biomassa devido, provavelmente, às altas concentrações de NH₃. Utilizando o percolado de Rio Claro-SP, o sistema apresentou inicialmente baixas eficiências, mesmo com tempo de detenção hidráulica de 25 dias. Mas após mudanças na estratégia de operação, utilizando-se um substrato sintético na adaptação e substituindo-se o percolado por outro coletado no mesmo aterro, o sistema reagiu muito bem, obtendo-se eficiências de aproximadamente 80 % em termos de remoção de DQO, com tempo de detenção hidráulica de 2,5 dias e com DQO afluente da ordem de 5.000 mg/L.

Palavras chave: Resíduos sólidos urbanos; Líquidos percolados; Aterro sanitário; Tratamento biológico; Reator anaeróbio horizontal de leito fixo.

ABSTRACT

CONTRERA, R. C. (2003) **Biological treatment of sanitary landfill leachate using a horizontal anaerobic immobilized sludge reactor**. São Carlos, 2003. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Even today, only few Brazilian cities give adequate destiny to urban solid wastes. The waste disposal at sanitary landfills is currently one of the most economical and adequated way of waste disposal. The high quantity of organic matter in domiciliary wastes, the waste own moisture, the rainwater infiltration and the microbiological activities lead to the leachate generation into the landfill. This liquid has a high chemical oxygen demand (COD) concentration, and is a potential pollutant. This work evaluated the viability and the efficiency of the use of a horizontal anaerobic immobilized sludge reactor (HAIS reactor) for leachate treatment collected from Bauru-SP and Rio Claro-SP landfills. The reactor, in pilot scale, was constructed using a 3,0 m of length and 14,5 cm internal diameter PVC pipe, with a length-diameter ratio (L/D) of approximately 20, and an approximately 50 L volume. The reactor had gas collectors and intermediate samplers in the direction of its length, in positions corresponding to L/D equal to 4, 8, 12 and 16. For immobilization support it was utilized polyurethane foam with 20 kg.m⁻³ of density in cube form, with side of approximately 10 mm. The leachate was collected and stored in a cold chamber at 5 °C and the reactor was maintained at controlled temperature in a chamber at 30 °C. Operating the system with the leachate from Bauru-SP during eight weeks, there was no biomass acclimatization due, probably, to high NH₃ concentrations. When utilizing the leachate from Rio Claro-SP the system had, initially, low efficiencies, even with a hydraulic retention time of 25 days. But after changes in the operation strategy, changing the leachate by one other collected in the same place, the system reacted very well, obtaining efficiencies of approximately 80 % in terms of COD removal, with a hydraulic retention time of 2,5 days and an inlet COD at the range of 5.000 mg/L.

Keywords: Urban solid wastes; Leachate; Sanitary landfill; Biological treatment; Horizontal anaerobic immobilized sludge reactor.

1 – INTRODUÇÃO

A disposição final dos resíduos gerados pela atividade humana vem, há muitos anos, se constituindo um sério problema ambiental e de saúde pública, causando poluição e degradação do meio ambiente, contaminando o solo, os corpos hídricos, gerando maus odores e proliferando vetores de várias doenças.

No Brasil, segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do IBGE (2002), somente cerca de 36,2% dos resíduos sólidos gerados nas cidades vão para aterros sanitários, e a maior parte dos resíduos sólidos urbanos (58,3%) vai para aterros controlados ou lixões. Tanto os aterros controlados quanto os lixões são pontos de elevada poluição do meio ambiente, onde os resíduos são dispostos diretamente no solo, sem nenhum critério de engenharia. No caso dos aterros controlados os resíduos recebem uma cobertura diária de solo, para se evitar a presença de animais, insetos e mau odor.

Quando um aterro sanitário é bem construído e operado, com a construção de células, impermeabilização do solo e com sistema para a drenagem de líquidos percolados e gases, a produção de líquidos percolados poderá ocorrer em poucas semanas, logo após o início de operação. A inadequada disposição desses líquidos pode trazer consequências gravíssimas ao meio ambiente, em especial aos corpos hídricos (águas superficiais e subterrâneas), surgindo assim, a necessidade de se ter um sistema de tratamento adequado para esses líquidos, como prevê a NBR 8419 (ABNT, 1992).

Dentre os sistemas de tratamento atualmente pesquisados destacam-se o tratamento conjunto em sistemas de tratamento de esgoto doméstico (CASTRO, 2001), filtros anaeróbios de leito híbrido (TIMUR *et al.*, 2000), reatores UASB seguidos de sistemas de lodos ativados (KETTUNEN *et al.*, 1996), reatores anaeróbios em batelada (TIMUR *et al.*, 2000) e (KENNEDY & LENTZ, 2000), tratamentos físico-químicos (AMOKRANE *et al.*, 1997) e (SLETTEN *et al.*, 1995), tratamento enzimático (ZOUBOULIS, *et al.*, 2001), ultrafiltração e osmose reversa (BOHDZIEWICS *et al.*, 2001), recirculação do percolado no aterro sobre a massa de resíduos (DIAMADOPOULOS, 1994).

Atualmente, o processo de digestão anaeróbia é largamente utilizado no tratamento de diversos tipos de resíduos. “Em comparação com os processos aeróbios, os processos

anaeróbios apresentam algumas vantagens, tais como: baixo consumo de energia por ocorrer na ausência de oxigênio o qual, em processos aeróbios, pode ser fornecido por meio de equipamentos eletromecânicos; menor produção de lodo; alto grau de estabilização do excesso de lodo; menor requerimento de nutrientes; produção de gás metano, que é combustível, possível de ser utilizado como fonte de energia” (CABRAL, 2000).

Uma nova configuração de reator anaeróbio, o Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo (RAHLF), foi desenvolvido por ZAIAT (1996), que determinou os parâmetros cinéticos desse reator, avaliando o seu desempenho no tratamento do efluente de indústria de papel reciclado e substrato sintético à base de glicose.

Segundo ZAIAT (1996), o RAHLF apresentou operação satisfatória no tratamento de água residuária de indústria de papel reciclado durante os seus 26 dias de ensaio, apresentando eficiência de remoção de DQO máxima de 86% para carga orgânica de 5kg DQO.m³.dia⁻¹ baseado no volume líquido. A eficiência média obtida foi de 82%, similar à eficiência observada em reator de manta de lodo e fluxo ascendente de 600 m³ (80%) existente na indústria. ZAIAT (1996) sugeriu ainda, que se avaliasse a operação do RAHLF no tratamento de outras águas residuárias mais complexas ou contendo resíduos tóxicos ou inibidores da atividade microbiana.

Portanto, a presente pesquisa visa dar continuidade ao trabalho realizado por ZAIAT, avaliando-se a eficiência do RAHLF no tratamento de águas residuárias mais complexas, tal como o percolado de aterro sanitário, que se constitui num grande problema ambiental, devido a existência de poucas pesquisas relacionadas ao tema.

2 – OBJETIVOS

2.1 – Objetivo Geral

- Avaliar a eficiência e a viabilidade técnica da utilização de um reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF) no tratamento de líquidos percolados gerados em aterros sanitários.

2.2 – Objetivos Específicos

- Determinar as características físicas, químicas e microbiológicas do líquido percolado coletado nos aterros sanitários de Bauru-SP e Rio Claro-SP;

- Determinar a influência do tempo de detenção hidráulica (θ_h) sobre a eficiência do RAHLF no tratamento de líquidos percolados;

- Determinar as características físicas, químicas e microbiológicas do efluente tratado pelo RAHLF;

- Caracterizar a biomassa imobilizada que se desenvolve na espuma de poliuretano;

- Caracterizar a composição e o volume dos gases gerados no RAHLF.

3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 – Resíduos Sólidos e Aterro Sanitário

A NBR 10.004 (ABNT, 1987) define resíduos sólidos, como os resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam da atividade da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nessa 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 d'água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

A NBR 8.419 (ABNT, 1992) define resíduos sólidos urbanos, como os resíduos sólidos gerados num aglomerado urbano, excetuados os resíduos industriais perigosos, hospitalares sépticos e de aeroportos e portos.

A presente pesquisa terá como foco os resíduos sólidos urbanos, mais precisamente, os resíduos sólidos de origem domiciliar.

A composição dos resíduos sólidos domiciliares varia muito, principalmente em função dos hábitos culturais, sociais e da situação econômica, de cada aglomerado populacional, quer seja representado por um núcleo de favelas, um povoado, um bairro, uma cidade ou uma grande metrópole. Pode-se dividir sua composição em qualitativa e quantitativa, e segundo SCHALCH (1984), essa divisão pode contribuir muito para o estudo do aproveitamento ou biodegradabilidade de alguns de seus componentes. Assim, antes de tudo, quando se deseja fazer qualquer estudo envolvendo resíduos sólidos e seu tratamento, deve-se primeiro partir da sua caracterização.

GOMES (1989), em seu estudo, caracterizou o lixo da cidade de São Carlos-SP chegando às proporções da TABELA 3.1.1.

TABELA 3.1.1: Composição física dos resíduos sólidos da cidade de São Carlos-SP.

COMPONENTE	CLASSIFICAÇÃO	% MÉDIA EM MASSA (BASE ÚMIDA)
Matéria Orgânica putrescível	FD	56,7
Papel e papelão	MD	21,3
Plástico	DD	8,5
Metal	ND	5,4
Trapos	DD	3,4
Madeira, couro, borracha	DD	2,3
Vidro	ND	1,4
Inertes	ND	1,3
TOTAL		100
Peso específico $\cong 136,40 \text{ kg/m}^3$		MD – Moderadamente degradável
Teor de umidade médio = 46,4%		DD – Difícilmente degradável
FD – Facilmente degradável		ND – Não Degradável
Fonte: GOMES (1989).		

Observa-se, portanto, considerando-se esses resultados, que a maior parte da fração dos resíduos sólidos de São Carlos é passível de degradação biológica, correspondentes à matéria orgânica putrescível (56,7%) e o papel e papelão (21,3%), isto é, 78% do total do lixo gerado. Assim é quase que inevitável a formação de chorume e percolados a partir de resíduos com essas características, como foi observado por SCHALCH (1992), ao correlacionar parâmetros do processo de digestão anaeróbia entre dois aterros experimentais contendo esses mesmos resíduos sólidos domiciliares.

Segundo BIDONE e POVINELLI (1999), o aterro sanitário é uma forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, dentro de critérios de engenharia e normas operacionais específicas, proporcionando o confinamento seguro dos resíduos (normalmente, recoberto com argila selecionada e compactada em níveis satisfatórios), evitando danos ou riscos à saúde pública e minimizando os impactos ambientais. Esses critérios de engenharia mencionados materializam-se no projeto de sistemas de drenagem periférica e superficial para afastamento de águas de chuva, de drenagem de fundo para a coleta de percolado, de sistema de tratamento para o percolado drenado, de dissipação e queima dos gases gerados durante o processo de bioestabilização da matéria orgânica.

A FIGURA 3.1.1 apresenta os principais elementos de um aterro e o sistema de coleta de percolados. A FIGURA 3.1.2 apresenta uma vista geral da superposição das células sanitárias e da distribuição dos drenos de gases em aterros sanitários.

FIGURA 3.1.1: Início de operação de um aterro sanitário e construção de sistema de coleta de líquidos percolados.

Fonte: TCHOBANOGLIOUS *et al.* (1993).

FIGURA 3.1.2: Vista geral da superposição das células sanitárias e da distribuição dos drenos de gases em aterros sanitários.

Fonte: MINTER/CNDU/CETESB (1979)¹, *apud* CASTRO (2001).

¹ MINTER/CNDU/CETESB (1979) *Aterro sanitário*. São Paulo: CETESB.

A FIGURA 3.1.3 apresenta o detalhe de um dreno convencional de gás e a FIGURA 3.1.4 apresenta um dreno com terminação especial para queima de gases.

FIGURA 3.1.3: Detalhe de um dreno convencional de gás.

Fonte: CETESB (1997).

FIGURA 3.1.4: Dreno com terminação especial para queima de gases.

Fonte: CETESB (1997).

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do IBGE (2002), somente cerca de 36,2% dos resíduos sólidos gerados nas cidades brasileiras vão para aterros sanitários, ou seja, a maior parte dos resíduos sólidos urbanos (58,3%) vai para aterros controlados e lixões. A TABELA 3.1.2 apresenta alguns dos resultados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico.

TABELA 3.1.2: Quantidade diária de lixo coletado, por unidade de destino final do lixo coletado, segundo as Grandes Regiões no ano 2.000.

Unidade de destino final do lixo coletado	Quantidade diária de lixo coletado (t/dia)					
	Região					Brasil t/dia (%)
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sul	Sudeste	
Vazadouro a céu aberto (lixão)	6 279,0	20 043,5	3 131,0	5 112,3	13 755,9	48 321,7 (21,15)
Vazadouro em áreas alagadas	56,3	45,0	8,0	36,7	86,6	232,6 (0,10)
Aterro controlado	3 133,9	6 071,9	4 684,4	4 833,9	65 851,4	84 575,5 (37,03)
Aterro sanitário	1 468,8	15 030,1	5 553,1	8 046,0	52 542,3	82 640,3 (36,18)
Estação de compostagem	5,0	74,0	685,6	347,2	5 437,9	6 549,7 (2,87)
Estação de triagem	-	92,5	77,0	832,6	1 262,9	2 265,0 (0,99)
Incineração	8,1	22,4	26,0	30,1	945,2	1 031,8 (0,45)
Locais não-fixos	95,6	128,4	104,9	119,9	781,4	1 230,2 (0,54)
Outra	20,4	50,0	26,5	516,1	953,2	1 566,2 (0,69)
TOTAL	11 067,1	41 557,8	14 296,5	19 874,8	141 616,8	228 413,0 (100)

Fonte: Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, IBGE (2002).

O estudo da biodegradação dos resíduos e o monitoramento de alguns parâmetros em aterros sanitários levam à conclusão, que a estabilização da matéria orgânica passa por diversas fases no interior de um aterro sanitário, o que levou ao surgimento de vários modelos que representam este fato. POHLAND e GOULD (1986)² *apud* SCHALCH (1992), apresentaram um modelo com cinco fases de estabilização da matéria orgânica como apresentado na FIGURA 3.1.5.

As atividades em um aterro sanitário são iniciadas com a *fase 1 – de ajustamento*, na qual fica acumulada uma umidade suficiente que favorece a realização das reações e que iniciam a produção de gás e líquidos percolados. Daí em diante, a ação microbiana estimula o prosseguimento da conversão dos resíduos e a estabilização com várias fases sucessivas, cada uma variando em intensidade e duração, de acordo com as condições operacionais predominantes.

A fase de adaptação inicial é seguida pela *fase 2 – de transição*, quando a capacidade de campo, que é o limite máximo que um resíduo pode reter umidade, é alcançada e a formação do gás e dos líquidos percolados refletem a passagem da condição aeróbia para a condição anóxica ou anaeróbia.

² POHLAND e GOULD (1986) Co-disposal of municipal refuse and industrial waste sludge in landfills. *Water Science Technology*, v.18, n.12, p.177-192.

A *fase 3 – formação de ácido*, define a predominância da formação de ácidos voláteis totais com um decréscimo nos valores do pH, elevação da concentração da DQO dos líquidos percolados e aumento da mobilidade das espécies iônicas.

A *fase 4 – fermentação metanogênica*, é acompanhada por uma produção adicional e conversão dos compostos intermediários em metano e excesso de dióxido de carbono, além da redução da intensidade de formação de líquidos percolados, aumento dos valores do pH, abaixamento do potencial de oxidação-redução e uma acelerada complexação e redução das espécies iônicas.

A *fase 5 – maturação final*, ocorre quando os nutrientes tornam-se escassos. Uma menor quantidade de substratos disponíveis são degradados, a produção de gás decresce e tanto os constituintes orgânicos como inorgânicos dos líquidos percolados apresentam condição de pós-estabilização (SCHALCH, 1992).

FIGURA 3.1.5: Variação de parâmetros selecionados, indicadores das fases de estabilização da matéria orgânica em um aterro sanitário.

Fonte: POHLAND e GOULD (1986), *apud* SCHALCH (1992).

3.2 – Líquidos Percolados

A NBR 8.419 (ABNT, 1992) define *percolado*, como o líquido que passou através de um meio poroso e define *sumeiro* ou *chorume*, como o 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).

O chorume é formado pela digestão da matéria orgânica sólida, por ação de exoenzimas produzidas pelas bactérias. A função dessas enzimas é solubilizar a matéria orgânica para que possa ser assimilada pelas células bacterianas. A água das chuvas, que cai sobre o aterro, bem como de nascentes, percolam através do lixo e carregam o chorume e a matéria orgânica, dando origem ao percolado, que pode causar sérios problemas ambientais. A alta carga orgânica e a complexa composição desse líquido podem comprometer por muito tempo a qualidade de um corpo hídrico, seja através do deflúvio para corpos d'água superficiais, ou através da infiltração em lençóis subterrâneos (COSTA LEITE³ *et al.*, 1982, *apud* SCHALCH, 1984).

O volume e a intensidade com que os líquidos percolados são produzidos dependem das atividades físicas, químicas e biológicas do aterro que o gera. A produção é freqüentemente observada dentro de poucos meses após o início da operação do aterro, quando a capacidade de campo do aterro é excedida e o resíduo fica saturado com água. A taxa de saturação dependerá da presença ou ausência de cobertura, material de cobertura, composição do lixo, grau de compactação, condições climáticas e conteúdo inicial de água presente no resíduo (MARIS *et al.*⁴, 1987 e SENIOR *et al.*⁵, 1987, *apud* CLARETO, 1997).

A composição química dos líquidos percolados varia muito dependendo da idade do aterro sanitário. Análises de líquidos percolados, coletados durante a fase ácida da decomposição, mostram altos valores de DQO, DBO₅, nutrientes e metais pesados, e baixos valores de pH. Por outro lado, líquidos percolados coletados durante a fase de fermentação metanogênica, apresentam valores de pH que podem estar na faixa de 6,5 a 7,5 e valores de DQO, DBO₅, e nutrientes significativamente menores que os da fase ácida. Da mesma forma, as concentrações de metais pesados também são bem menores, porque a maioria dos metais são menos solúveis em pH aproximadamente neutro. O pH dos líquidos percolados não depende somente da concentração dos ácidos presentes, mas também da pressão parcial

³ COSTA LEITE *et al.*, (1982) Avaliação da produção de percolado do lixo e da capacidade filtrante de aterros sanitários. *Revista Engenharia Sanitária*, 21 (01), p.90-99.

⁴ MARIS *et al.*, (1987) Leachate treatment with particular reference to aerated lagoons. *Water Pollution Control*, p. 521-525.

⁵ SENIOR *et al.*, (1987) Landfill biotechnology. In: WISE, D.L. (ed.) Bioenvironmental systems. Flórida: CRC Press, v.2, p. 17-65.

do CO₂ do gás do aterro que está em contato com o percolado (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1993).

A biodegradabilidade dos líquidos percolados varia com a idade do aterro e essa mudança pode ser verificada através da relação DBO₅/DQO. Inicialmente, as razões são maiores ou iguais a 0,5, e razões na faixa de 0,4 a 0,6 são tomadas como uma indicação de que a matéria orgânica presente no líquido percolado é facilmente biodegradável. Em aterros sanitários “velhos”, a razão DBO₅/DQO está freqüentemente na faixa de 0,05 a 0,2. Essa razão cai, porque os líquidos percolados de aterros sanitários “velhos” contém tipicamente ácidos húmico e fúvico, que não são facilmente biodegradáveis (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1993).

O líquido percolado coletado durante o estágio de acidificação do aterro tem valores muito altos de DBO (38.000 mg/L), de DQO (60.000 mg/L) e de carbono orgânico total (21.000 mg/L) (SENIOR *et al.*, 1987, *apud* CLARETO, 1997).

A TABELA 3.2.1 compara a composição dos líquidos percolados gerados em aterros sanitários de diferentes idades no Canadá, porém em locais próximos e submetidos ao mesmo índice pluviométrico (820 mm/ano), obtidos por HENRY *et al.*⁶ (1987), *apud* CLARETO (1997).

TABELA 3.2.1: Comparação da composição dos líquidos percolados com idades diferentes, de aterros sanitários situados no Canadá.

Parâmetros	Aterro Sanitário		
	Keele Valley	Brock North	Beare Road
Idade (ano)	1,5	8	18
pH	5,80	6,35	6,58
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	1.800	880	1.070
DQO	13.780	3.750	1.870
DBO ₅	9.660	1.100	1.870
Sólidos Totais	12.730	5.280	3.070
Sólidos Voláteis	6.300	1.350	1.300
Ácidos Voláteis	4.600	1.170	1.480
N-Orgânico	170	6	65
Fósforo Total	0,77	0,11	0,15
Ferro	1.070	500	36
Zinco	5,04	0,22	0,19
Cádmio	0,10	0,02	0,008
Cobre	0,19	0,11	0,05
Níquel	1,08	0,01	-

* Todos os valores expressos em mg/L, exceto pH e quando indicado.

Fonte: HENRY *et al.* (1987), *apud* CLARETO (1997).

⁶ HENRY, J.G., PASSAD, D., YOUNG, H. (1987) Removal of organics from leachate by anaerobic filter. *Water Research*, V.21, n.11, pp.1395-1399.

ANDREOTTOLA *et al.*⁷, (1990) *apud* CHISTENSEN *et al.*, (1992) apresentam faixas de concentração para os principais parâmetros de percolados de aterros sanitários. A TABELA 3.2.2 apresenta essas faixas de concentração, que tiveram como base o estudo das características dos percolados de mais de 70 aterros sanitários situados na Europa e Estados Unidos.

TABELA 3.2.2: Faixas de concentração dos principais parâmetros de percolados de aterros sanitários.

Parâmetro	Unidade	Faixa
DQO	mg/L	150 – 100.000
DBO ₅	mg/L	100 – 90.000
pH	-	5,3 – 8,5
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	300 – 11.500
Dureza	mg CaCO ₃ /L	500 – 8.900
NH ₄	mg/L	1 – 1.500
N _{org}	mg/L	1 – 2.000
N _{tot}	mg/L	50 – 5.000
NO ₃	mg/L	0,1 – 50
NO ₂	mg/L	0 – 25
P _{tot}	mg/L	0,1 – 30
PO ₄	mg/L	0,3 – 25
Ca	mg/L	10 – 2.500
Mg	mg/L	50 – 1.150
Na	mg/L	50 – 4.000
K	mg/L	10 – 2.500
SO ₄	mg/L	10 – 1.200
Cl	mg/L	30 – 4.000
Fe	mg/L	0,4 – 2.200
Zn	mg/L	0,05 – 170
Mn	mg/L	0,4 – 50
CN	mg/L	0,04 – 90
Fenol	mg/L	0,04 – 44
As	µg/L	5 – 1.600
Cd	µg/L	0,5 – 140
Co	µg/L	4 – 950
Ni	µg/L	20 – 2.050
Pb	µg/L	8 – 1.020
Cr	µg/L	30 – 1.600
Cu	µg/L	4 – 1.400
Hg	µg/L	0,2 – 50

Fonte: ANDREOTTOLA *et al.*, (1990) *apud* CHRISTENSEN *et al.*, (1992).

⁷ ANDREOTTOLA, G., CANNAS, P. & COSSU, R. (1990). **Overview on landfill leachate quality.** CISA, Environmental Sanitary Engineering Centre, Technical Note No. 3.

Observando-se a TABELA 3.2.2, nota-se que o autor não menciona os sólidos, quando reúne as faixas de concentração dos principais parâmetros de percolados de aterros sanitários.

PINTO & PAULA Jr (2000) avaliaram a biodegradabilidade anaeróbia de líquidos percolados gerados em aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Os testes foram realizados utilizando-se os percolados dos aterros das cidades de São Carlos-SP e Piracicaba-SP. No total os pesquisadores realizaram oito testes de biodegradabilidade utilizando amostras coletadas em células encerradas e em operação, das duas cidades, com lodo adaptado e não adaptado. O experimento foi instalado em uma câmara a 33 ± 2 °C e realizado em batelada por um período de dez dias. Os pesquisadores observaram baixa biodegradabilidade em praticamente todos os testes realizados, e observaram que os maiores decaimentos ocorreram para as amostras provenientes das células em operação dos dois aterros. Essas amostras apresentaram apenas 40 % de decaimento, em termos de DQO, durante os dez dias de experimento.

Como resultado da grande variabilidade das características dos líquidos percolados, o projeto de sistemas de tratamento desses líquidos torna-se bastante complicado (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1993). Portanto deve-se optar por sistemas de tratamento que permitam alguma flexibilidade ou adaptação em função das variações das características dos líquidos percolados com o tempo. Uma solução pode ser a separação dos líquidos percolados da fração “jovem” do aterro, e dos líquidos percolados das frações mais “velhas” do aterro, dando para cada fração um tratamento adequado, de acordo com suas características físicas, químicas ou microbiológicas.

Atualmente existem muitos estudos sobre possibilidades de tratamento para os líquidos percolados gerados em aterro sanitário, e cada uma deles procura sempre levar em conta os fatores que facilitem o tratamento, de acordo com os recursos, tecnologias, circunstâncias e características dos locais e dos líquidos percolados.

Em Des Moines-Iowa (E.U.A.), uma solução para o problema dos líquidos percolados foi a utilização desses líquidos para a manutenção da umidade em leiras de compostagem. Os líquidos eram coletados por caminhões-tanque e eram aspergidos sobre as leiras. Essa decisão foi tomada depois de um estudo técnico e econômico das diversas opções de tratamento e disposições finais. E verificaram que esse tipo de disposição não só servia para manter a umidade das leiras, mas também aumentava significativamente a atividade biológica ajudando a reduzir a quantidades de constituintes orgânicos, além da adsorção de metais e outros compostos inorgânicos, que no composto podem atuar como micronutrientes.

O principal cuidado tomado foi a pavimentação dos pátios de compostagem, para se evitar a infiltração do percolato no solo e a construção de sistemas de drenagem para água de chuva.

DIAMADOPOULOS (1994), estudou na Grécia a estabilização dos líquidos percolados gerados na área “jovem” de um aterro sanitário, quando recirculados sobre áreas mais velhas do mesmo aterro. O percolato da fração jovem do aterro possuía DQO na faixa de 60.000 a 77.500 mg/L e uma relação média DBO_5/DQO de 0,53. Após a irrigação sobre a fração “velha” esses líquidos foram recoletados e observou-se remoções de DQO da ordem de 90% e de DBO_5 da ordem de 98%. A relação média DBO_5/DQO caiu de 0,53 para 0,10 e o pH aumentou de 6,0 para 8,3. Porém o autor não relaciona a vazão recirculada e as vazões de percolados das áreas velhas do aterro, assim o fenômeno relatado poderia se constituir, em sua maior parte, em diluição de percolados mais concentrados em percolados menos concentrados.

CASTRO (2001) utilizou um sistema piloto para tratamento conjunto de percolato e esgoto sanitário, simulando um sistema australiano de lagoas. O experimento foi montado em Piracicaba-SP, na estação de tratamento de esgoto, que dispõe de um sistema australiano de lagoas. O autor conclui que, em termos gerais, o tratamento de percolados em conjunto com esgoto em lagoas é uma alternativa viável e sem maiores prejuízos para o sistema, nas proporções em que são gerados o esgoto e o percolato.

Essa alternativa proposta por CASTRO (2001) pode ser uma alternativa viável e econômica, pois pode-se aproveitar uma infraestrutura já existente para se resolver o problema dos percolados. O único problema seria então a existência de um sistema de tratamento de esgoto para poder fazer esse tratamento em conjunto.

KETTUNEN *et al.* (1996), utilizaram um sistema de lodos ativados para pós-tratamento de um reator UASB tratando percolato de aterro sanitário. Os autores relatam que a 11 °C os reatores anaeróbios conseguiam eficiência de 60 a 65% em termos de DQO, com tempos de detenção hidráulica de 1,5 a 2 dias, carga orgânica de 0,7 a 1,5 kg DQO.m⁻³.dia⁻¹ e DQOs na faixa de 2.300 a 4.500 mg/L. O sistema de lodos ativados era operado a 24 °C e foram conseguidas eficiências superiores a 75% em termos de DQO com tempos de detenção de 10 horas. A máxima carga orgânica aplicada no sistema de lodos ativados foi de 10 kg DQO.m⁻³.dia⁻¹.

TIMUR *et al.*, (2000), compararam três diferentes tipos de reatores no tratamento de percolados: um reator anaeróbio em batelada sequencial (ASBR), um reator UASB e um filtro anaeróbio de leito híbrido (AHBF). Os três tipos de reatores foram construídos em escala de bancada. Foram utilizados seis ASBR com um volume operacional de 2 L cada; um AHBF com volume total de 3,35 L e um volume líquido disponível de 2,75 L e um reator

UASB com volume efetivo de 10,35 L. Os percolados eram provenientes de dois aterros jovens (3,5 anos) e todos os reatores foram operados em condições mesofílicas. Nos ASBRs o experimento foi conduzido com concentrações de DQO afluente na faixa de 1.900 a 19.000 mg/L, com tempos de reação variando de 10 a 1,5 dias e tempos de retenção celular de 40 a 10 dias. Para o AHBF utilizou-se percolados com concentrações de DQO afluente na faixa de 4.000 a 15.000 mg/L, com tempos de detenção hidráulica variando de 5,1 a 0,9 dias. Para o UASB utilizou-se percolados com concentrações de DQO afluente na faixa de 9.000 a 25.000 mg/L, com tempos de detenção hidráulica variando de 1,7 a 2,35 dias. As eficiências dos reatores em termos de remoção de DQO variaram na faixa de 92 a 94% para aquelas condições operacionais. O autor concluiu que o tratamento anaeróbio é viável para percolados de aterros jovens e que eficiências de até 90% podem ser atingidas em reatores UASB e ASBR com carga orgânica da ordem de 10 kg DQO.m⁻³.dia⁻¹. O autor ainda relata que apesar do tratamento anaeróbio ser bastante efetivo para percolados de alta concentração, um pós-tratamento ainda é necessário para se satisfazer os limites de lançamento.

KENNEDY & LENTZ (2000), investigaram e compararam o tratamento de líquidos percolados de aterros sanitários utilizando um reator de batelada e um reator UASB. Ambos os reatores foram operados com carga orgânica entre 0,6 – 19,7 gDQO.L⁻¹.dia⁻¹. Os líquidos percolados eram provenientes do aterro de Nepean – Canadá e apresentavam DQO na faixa de 3.210 a 9.190 mg/L. O desempenho do reator UASB e do reator de batelada foi bastante similar, para cargas baixas e intermediárias. O reator de batelada apresentou remoção de DQO solúvel entre 71% e 92% para tempos de reação de 24, 18 e 12 h. E para o reator UASB a remoção de DQO solúvel ficou sempre entre 77% e 91% para todos os tempos de detenção hidráulica (24, 18 e 12 h). Mas, embora ambos os reatores tenham apresentado resultados satisfatórios, o autor relata que o tratamento não foi suficiente para se atingir os padrões de lançamento de efluentes e recomenda um pós-tratamento para esse efluente, considerando como opção uma filtração através de membranas.

INANC *et al.* (2000) caracterizaram e trataram o percolado de um aterro sanitário localizado na parte asiática de Istambul na Turquia, que estava em operação há 3 anos. As características do percolado foram monitoradas por oito meses. As concentrações, em termos de DQO, variaram entre 18.800 e 47.800 mg/L enquanto a DBO₅ variou entre 6.820 e 38.500 mg/L. As concentrações de N-NH₄ variaram entre 1.660 e 2.690 mg/L, sendo que as maiores concentrações foram observadas no período das chuvas, ocorrendo, portanto, um efeito contrário ao da diluição, e assim apresentado um comportamento oposto ao observado para DBO₅ e DQO. A relação DBO₅/DQO foi maior que 0,7 para maioria das amostras coletadas,

indicando elevada biodegradabilidade e fase ácida de decomposição no aterro. Para se verificar a tratabilidade anaeróbia do percolado foram utilizados três reatores diferentes com volume efetivo de 7,85 L cada um. Foram utilizados um reator UASB, um filtro biológico de fluxo ascendente e um reator de leito híbrido. Os reatores foram operados por mais de 230 dias e a carga orgânica foi aumentada gradualmente de 1,3 a 8,2 kgDQO.m⁻³.dia⁻¹ enquanto o θ_h foi reduzido de 2,4 para 2,0 dias. Os reatores foram mantidos à temperatura de 35 ± 2 °C e receberam suplementação de fósforo para se atingir uma relação DQO/N/P igual a 500/7/1, devido à deficiência de fósforo no percolado. Foram observados pH relativamente altos (8,2) devido aos altos níveis de alcalinidade, que foram fortemente afetados pelas altas concentrações de amônia. Os valores de alcalinidade variaram entre 6.900 e 11.750 mgCaCO₃/L. Observou-se que todas as vezes que os sistemas eram submetidos a altas concentrações de amônia, eles apresentavam diferentes níveis de inibição. Porém, os pesquisadores não relataram para quais níveis de concentração de amônia, os sistemas apresentaram inibição. Todos os sistemas tiveram desempenho similar com o aumento da carga orgânica aplicada, apresentando eficiências entre 80 e 90 % e os pesquisadores concluíram que percolados de aterros sanitários “jovens” podem ser tratados de forma anaeróbia obtendo-se até 90 % de eficiência, desde que os níveis de concentração de amônia sejam mantidos abaixo dos níveis que causam inibição aos sistemas anaeróbios. Verificou-se também que o filtro biológico e o reator de leito híbrido foram mais resistentes à inibição causada pela amônia que o reator UASB.

CLARETO (1997), utilizando reator anaeróbio compartimentado, tratando líquidos percolados de um aterro sanitário “jovem”, com DQO de aproximadamente 60.000 mg/L, e com tempos de detenção hidráulico (θ_h) de 80, 45, 15 e 5 dias, constatou eficiência na remoção de DQO de 97% a 80% para θ_h de 80 e 5 dias respectivamente. A carga orgânica variou muito durante o experimento (0,3 a 11 kg DQO.m⁻³.dia⁻¹), porém para cargas orgânicas acima de 12 kg DQO.m⁻³.dia⁻¹ notou-se fermentação com aumento da quantidade de ácidos voláteis e queda na eficiência de remoção da DQO para 5% (para carga orgânica de 34 kg DQO.m⁻³.dia⁻¹). Concluindo a pesquisadora que tal água residuária é passível de tratamento biológico anaeróbio, mas devido à alta concentração de matéria orgânica presente no efluente final, recomenda-se sistema aeróbio como pós-tratamento.

ZOUBOULIS *et al.* (2000) avaliaram a eficácia da aplicação de enzimas para aumento da tratabilidade biológica de percolados de aterros sanitários municipais. Para aplicação das enzimas os pesquisadores utilizaram um reator em batelada sequencial em escala de laboratório, com um volume total de 8 L. O conteúdo do reator foi agitado utilizando-se um agitador magnético e a aeração era feita através de um difusor cerâmico

localizado no fundo do reator. O sistema foi operado com θ_h de 20 dias e antes de se utilizar a formulação enzimática "TK-100", as máximas eficiências observadas no sistema foram de 40 % para DQO e 70 % para DBO₅, utilizando um percolado com DQO de 15.000 mg/L, DBO₅ de 5.600 mg/L, e com 1.800 mg/L de N-NH₄. Após a utilização das enzimas as remoções de DQO e DBO₅ passaram para respectivamente 75 % e 95 %, com uma dosagem de 2 g de enzimas para o sistema. Os pesquisadores observaram que dosagens menores conduziam a resultados de menor eficiência e que dosagens maiores acabavam resultando também em resultados piores devido ao aumento do residual orgânico causado pela própria enzima.

CHIANESE *et al.* (1999) avaliaram o tratamento de líquidos percolados de aterros sanitários, utilizando uma unidade de osmose reversa em escala piloto. Foram pesquisados percolados com concentrações de até 1.749 mg/L em termos de DQO. Operando o sistema com pressão de 53 atm, obteve-se remoção de DQO da ordem de 98 %. Analisou-se também o efeito da DQO, na remoção de metais e verificou-se que esse efeito era muito pequeno para a maioria dos metais, porém para o Zinco, observou-se que a remoção diminuía quando aumentava-se a DQO.

LIN *et al.* (2000) investigaram a partida e a eficiência da co-digestão anaeróbia de percolados e esgoto sanitário, utilizando um reator UASB com volume de 13,5 L mantido a temperatura de 35 ± 1 °C. O percolado utilizado era proveniente de um aterro com aproximadamente três anos de operação. Foram pesquisadas as relações esgoto/percolado de 3:1, 2:1 e 1:1 em termos de DQO. A mistura esgoto-percolado apresentava DQO da ordem de 11.000 mg/L. Operando o sistema com um θ_h de 1,5 dias e carga orgânica de 6,73 kgDQO.m⁻³.dia⁻¹ (na proporção 1:1) as eficiências de remoção de DQO bruta e filtrada foram respectivamente de 42,2 % e 58,1 %. Segundo os pesquisadores essas eficiências foram satisfatórias, apesar de não serem altas, talvez por estarem considerando o tratamento anaeróbio como uma forma de pré-tratamento, que deve ser complementada com algum outro tipo de tratamento.

BAE *et al.* (1999) utilizaram um sistema de lodos ativados e um processo de radiação por feixe de elétrons no tratamento de percolados visando degradar substâncias refratárias ao tratamento biológico. A composição do percolado foi analisada, em termos de distribuição de massa molecular da substâncias e concentração de substâncias húmicas aquáticas, antes e depois do tratamento por lodos ativados seguido por radiação de feixe de elétrons. O sistema de lodos ativados, em batelada, apresentou 98 % de eficiência, em termos de remoção de DBO, tratando um percolado com DBO inicial de 1370 mg/L, com um tempo de batelada de 72 h. No entanto a biodegradabilidade do percolado diminuiu após o

tratamento biológico, devido à presença de matéria orgânica refratária. Após a radiação por feixe de elétrons, verificou-se uma redução de 49 % na concentração de substâncias húmicas, que são substâncias refratárias ao tratamento biológico, com grande massa molecular e difícil biodegradabilidade. Os pesquisadores verificaram também que o fator que mais influenciou na eficiência do sistema de radiação por feixe de elétrons foi o pH.

AMOKRANE, COMEL & VERON (1997) estudaram o uso de coagulação-floculação em percolados de aterros sanitários velhos, como um pré-tratamento para osmose reversa. Embora os pesquisadores tenham chegado a doses ótimas idênticas (0,035 mol/L de Fe ou Al), o cloreto férrico produziu melhores resultados que o sulfato de alumínio na remoção de turbidez (95 % contra 87 %) e DQO (55 % contra 42 %). Os pesquisadores relataram que uma melhora na floculação é possível, se o cloreto férrico for combinado com 40 mg/L de polímero não iônico ou se o sulfato de alumínio for combinado com 40 mg/L de polímero aniônico. Porém, devido às altas concentrações de ferro residual, o uso de processo de osmose reversa só foi possível através do uso de peróxido de hidrogênio antes do processo de floculação, com o ajuste do pH de coagulação em 4,7 utilizando cal hidratada. Assim o sobrenadante do sistema apresentou residual de ferro menor que o limite necessário para o não entupimento da membrana.

De forma geral, pode-se observar que, além de não existirem muitos trabalhos na literatura sobre tratamento de percolados de aterro sanitário, os poucos trabalhos encontrados parecem não apresentar nenhuma tendência ou linha bem definida de pesquisa. Isso pode ser devido à grande variabilidade das características dos percolados e também devido às diversas situações dos locais e circunstâncias que envolveram as pesquisas, tais como: disponibilidade de recursos, de tecnologias, de materiais, etc.

3.3 – Digestão Anaeróbia

Segundo CHERNICHARO (1997), a digestão anaeróbia pode ser comparada a um ecossistema onde diversos grupos de microrganismos trabalham interativamente na conversão da matéria orgânica complexa em metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico e amônia, além de novas células bacterianas. Os microrganismos que participam do processo de decomposição anaeróbia podem ser divididos em três importantes grupos:

- O primeiro grupo é composto de *bactérias fermentativas*, que transformam, por hidrólise, os polímeros em monômeros, e estes em acetato, hidrogênio, dióxido de carbono, ácidos orgânicos de cadeia curta, aminoácidos e outros produtos;

- O segundo grupo é formado pelas *bactérias acetogênicas* produtoras de hidrogênio, o qual converte os produtos gerados pelo primeiro grupo (aminoácidos, açúcares, ácidos orgânicos e álcoois) em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono;
- Os produtos finais do segundo grupo são os substratos essenciais para o terceiro grupo, que por sua vez constitui-se de dois diferentes grupos de *árqueas metanogênicas*. Um grupo usa o acetato transformando-o em metano e dióxido de carbono, enquanto o outro produz metano, através da redução de dióxido de carbono.

As fases da digestão anaeróbia, bem como os microrganismos envolvidos em cada etapa do processo, estão sintetizadas na FIGURA 3.3.1, e mais adiante cada uma dessas fases é descrita a partir do texto extraído de CHERNICHARO (1997).

FIGURA 3.3.1: Sequências metabólicas da digestão anaeróbia (com redução de sulfato [---]).

Fonte: CHERNICHARO, (1997).

Hidrólise Enzimática – Esta primeira fase do processo de degradação anaeróbia consiste na hidrólise de materiais particulados complexos (polímeros), em materiais dissolvidos mais simples (moléculas menores) e como as bactérias não são capazes de assimilar a matéria orgânica particulada, essa conversão é conseguida através da ação de enzimas excretadas pelas *bactérias hidrolíticas fermentativas*.

Acidogênese – Os produtos solúveis oriundos da fase de hidrólise são metabolizados no interior das células das bactérias fermentativas, sendo convertidos em diversos compostos mais simples, os quais são excretados pelas células. Os compostos produzidos incluem ácidos graxos voláteis, álcoois, ácido láctico, gás carbônico, hidrogênio, amônia, sulfeto de hidrogênio, além de novas células bacterianas. Como os ácidos voláteis são o principal produto dos organismos fermentativos, estes são usualmente designados de *bactérias fermentativas acidogênicas*.

Acetogênese – As *bactérias acetogênicas* são responsáveis pela oxidação dos produtos gerados na fase acidogênica em substratos apropriados para as arqueas metanogênicas. Os produtos gerados pelas bactérias acetogênicas são o hidrogênio, o dióxido de carbono e o acetato. De todos os produtos metabolizados pelas bactérias acidogênicas, apenas o hidrogênio e o acetato podem ser utilizados diretamente pelas metanogênicas. Porém pelo menos 50% da DQO biodegradável é convertida em propionato e butirato, os quais são posteriormente decompostos em acetato e hidrogênio pela ação das *bactérias acetogênicas*.

Metanogênese – A etapa final do processo de degradação anaeróbia de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono é efetuada pelas *árqueas metanogênicas*. As metanogênicas utilizam somente um limitado número de substratos, compreendendo ácido acético, hidrogênio/dióxido de carbono, ácido fórmico, metanol, metilaminas e monóxido de carbono. Em função de sua afinidade por substrato e magnitude de produção de metano, as metanogênicas são divididas em dois grupos principais, um que forma metano a partir de ácido acético ou metanol (metanogênicas acetoclásticas), e o segundo que produz metano a partir de hidrogênio e dióxido de carbono (metanogênicas hidrogenotróficas). Embora apenas poucas espécies de metanogênicas são capazes de formar metano a partir do acetato, estas são normalmente os microrganismos predominantes na digestão anaeróbia e são responsáveis por cerca de 60 a 70% de toda produção de metano, a partir do grupo metil do ácido acético. E ao contrário das acetoclásticas, praticamente todas as espécies conhecidas de arqueas metanogênicas são capazes de produzir metano a partir de hidrogênio e dióxido de carbono.

Tanto as metanogênicas acetoclásticas quanto as hidrogenotróficas são muito importantes na manutenção do curso da digestão anaeróbia, uma vez que estas são responsáveis pela função essencial de consumir o hidrogênio produzido nas fases anteriores. Com isso, é propiciado o abaixamento da pressão parcial de hidrogênio no meio, tornando possível as reações de produção das acidogênicas e acetogênicas, que são inibidas com pressões parciais de hidrogênio acima de 10^{-4} atm.

Caso o substrato contenha sulfatos ou compostos de enxofre ocorrerá a sulfetogênese. A produção de sulfetos é um processo no qual o sulfato e outros compostos a base de enxofre são utilizados como aceptores de elétrons durante a oxidação de compostos orgânicos. Durante esse processo, sulfato, sulfito, e outros compostos sulfurados são reduzidos a sulfeto, através da ação de um grupo de bactérias anaeróbias estritas, denominadas *bactérias redutoras de sulfato* (ou bactérias sulforredutoras). As bactérias sulforredutoras dividem-se em dois grandes grupos.

- *Bactérias sulforredutoras* que oxidam seus substratos de forma incompleta até o acetato.
- *Bactérias sulforredutoras* que oxidam seus substratos completamente até o gás carbônico. As possíveis rotas para redução de sulfatos são apresentadas na FIGURA 3.3.1 pelas linhas tracejadas.

Na ausência de sulfato, o processo de digestão anaeróbia ocorre de acordo com as seqüências metabólicas representadas por linhas contínuas na FIGURA 3.3.1, e com a presença de sulfato na água residuária, muitos dos compostos intermediários formados através dessas rotas metabólicas passam a ser utilizados pelas bactérias sulforredutoras, provocando uma alteração das rotas metabólicas (linhas tracejadas). Dessa forma, as bactérias sulforredutoras passam a competir com as bactérias fermentativas, acetogênicas e com as arqueas metanogênicas pelos substratos disponíveis.

3.4 – Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo (RAHLF)

“Novas configurações de reatores vem sendo estudadas com o intuito de se obter sistemas mais eficientes, pelo melhor aproveitamento do volume útil reacional, com a conseqüente diminuição do volume total e pela melhoria da estabilidade e facilidade de operação. Uma das tentativas nesse sentido consiste em desenvolver reatores anaeróbios com

células imobilizadas que permitam maior retenção da biomassa no sistema” (CABRAL, 2000).

“O desenvolvimento de reatores anaeróbios com biomassa aderida propiciou avanço significativo no tratamento anaeróbio de águas residuárias. Tais biorreatores apresentam diversas vantagens quando comparados com os reatores convencionais, sendo obtidas elevadas eficiências de remoção de matéria orgânica quando se trabalha com cargas altas, maiores tempos de detenção celular (θ_c) e melhor aproveitamento do volume útil reacional. Reatores anaeróbios com microrganismos imobilizados apresentam, também, melhores respostas quando submetidos a cargas de choque ou substâncias tóxicas, ocorrendo, em muitos casos, recuperação total do sistema” (CABRAL, 2000).

Dentro desse contexto surgiu nova configuração de reator anaeróbio, o Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo (RAHLF), desenvolvido por ZAIAT (1996), e que determinou os parâmetros cinéticos desse reator, avaliando o seu desempenho no tratamento do efluente de indústria de papel reciclado e substrato sintético à base de glicose.

O RAHLF desenvolvido por ZAIAT (1996), em escala de bancada, constituiu-se de um tubo, confeccionado em vidro boro silicato com 99,8 cm de comprimento e 5,04 cm de diâmetro, perfazendo uma relação comprimento por diâmetro (L/D) de aproximadamente 20. O reator possuía na parte superior, um tubo perfurado com diâmetro de 0,9 cm, para captação de gás. O reator tinha uma capacidade total de 1991 mL, sendo 1735 mL de volume útil reacional e 256 mL (13 % do total) destinados à separação do gás. E possuía ainda amostradores intermediários ao longo do comprimento em posições correspondentes a L/D de 4, 8, 12 e 16. Para suporte de imobilização foi utilizada espuma de poliuretano com densidade de 20 kg.m^{-3} na forma de cubos de 5 mm de lado aproximadamente.

A FIGURA 3.4.1 a seguir apresenta a configuração esquemática do RAHLF.

FIGURA 3.4.1: Esquema do Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo (RAHLF) em escala de bancada. (1) Reservatório de substrato, (2) Bomba peristáltica, (3) Amostradores, (4)

Medidor de produção de gás.

Fonte: ZAIAT (1996).

ZAIAT (1996) concluiu, que a espuma de poliuretano apresentou-se como suporte adequado para imobilização de biomassa anaeróbia, tendo permitido colonização rápida, o que pode ser confirmado pelos curtos períodos de partida do RAHLF (aproximadamente 8 dias) quando utilizado para tratamento de água residuária de indústria de papel reciclado e de substrato sintético à base de glicose. Além disso, não foi observado severo arraste de biomassa durante as operações do reator.

Segundo ZAIAT (1996), o RAHLF apresentou operação satisfatória no tratamento de água residuária de indústria de papel reciclado durante os seus 26 dias de ensaio, apresentando eficiência de remoção de DQO máxima de 86% para carga orgânica de 5 kg DQO.m³.dia⁻¹ baseado no volume líquido. A eficiência média obtida foi de 82%, similar à eficiência observada em reator de manta de lodo e fluxo ascendente de 600 m³ (80%). ZAIAT (1996) ainda sugeriu que se avaliasse a operação do RAHLF no tratamento de outras águas residuárias mais complexas ou contendo resíduos tóxicos ou inibidores da atividade microbiana.

O RAHLF é um reator de fluxo contínuo, denominado como reator de escoamento pistonado (“plug-flow”) ou também, de reator tubular. Segundo LEVENSPIEL (2000), os reatores ideais com escoamento pistonado são caracterizados pelo fato de que o escoamento de fluido através do reator é ordenado, não havendo mistura entre os elementos de fluido. Na verdade, pode haver mistura lateral de fluido em um reator com escoamento pistonado; no entanto, não deve haver mistura ou difusão ao longo do caminho de escoamento. A condição necessária e suficiente para o escoamento pistonado é que o tempo de residência no reator deve ser o mesmo para todos os elementos de fluido.

Porém, apesar de alguns reatores apresentarem comportamento muito próximo do ideal, como apresentado acima, na prática, os reatores reais apresentam desvios do comportamento ideal. Segundo LEVENSPIEL (2000), os desvios do comportamento ideal podem ser causados pela formação de canais preferenciais, pelo reciclo de fluido no interior dos reatores, ou pela presença de zonas mortas.

CABRAL (1995) realizou a caracterização hidrodinâmica de um RAHLF de bancada, com volume útil de 1,731 L, preenchido com esferas de cerâmica porosa com diâmetro médio de 5 mm e porosidade de 21 %. Os ensaios foram realizados a 30 °C, utilizando Rodamina WT como traçador, adicionada na forma de pulso. A pesquisadora utilizou três modelos matemáticos para análise das curvas de distribuição do tempo de residência do traçador. Foram utilizados os modelos de N reatores de mistura completa em série, dispersão de pequena intensidade e dispersão de grande intensidade. Segundo a

pesquisadora, o melhor ajuste foi obtido com o modelo de N reatores de mistura completa em série, sendo que o valor de N variou nos diferentes ensaios de 12 a 7.

Porém, embora CABRAL (1995) tenha conseguido ajustar um modelo matemático para as curvas de distribuição do tempo de residência do traçador, esses parâmetros obtidos pela pesquisadora podem variar para outras situações, utilizando o mesmo reator (RAHLF), modificando-se, por exemplo, a escala do reator, o meio suporte, a temperatura, o líquido a ser tratado, etc.

SARTI (1998) utilizou o RAHLF alimentado com substrato sintético simulando esgoto sanitário, com tempos de detenção hidráulico (θ_h) de 10,0; 5,0; 3,3; 2,5 e 2 horas, fixados de modo a se obter em todos os ensaios, θ_h de 2 horas em um dos pontos de coleta de amostras. O pesquisador observou pequenos períodos de partida (inferiores a 15 dias) no RAHLF de bancada nos vários θ_h aplicados, tratando esgoto sanitário sintético, demonstrando a rápida colonização das matrizes cúbicas de poliuretano e fácil adaptação da biomassa anaeróbia. Essa constatação confirma os resultados obtidos anteriormente por outros pesquisadores que utilizaram a mesma configuração de reator. O RAHLF demonstrou desempenho satisfatório no tratamento de esgoto sanitário sintético, apresentando eficiências de remoção de DQO médias de 81 %, 80 %, 84 %, 82 %, 77 % para os respectivos tempos θ_h de 10; 5; 3,3; 2,5; 2 horas.

LIMA (2001) avaliou o desempenho das demandas operacionais e dos fatores intervenientes no aumento da escala, em uma unidade piloto do reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF) no tratamento de esgoto sanitário após passagem por peneira com malha de 1 mm, durante dois anos de operação. O reator foi confeccionado em tubo de PVC com 14,5 cm de diâmetro interno, em cinco módulos de 2,88m, perfazendo um comprimento total de 14,4 m e relação total de L/D igual a 100. Como suporte de imobilização o pesquisador utilizou espuma de poliuretano em matrizes cúbicas de aproximadamente 1 cm de aresta e verificou que o suporte mostrou-se bastante adequado ao desenvolvimento do biofilme, pois com partida sem inoculação prévia, ocorreu sua colonização a partir de 70 dias, com predominância de morfologia semelhante a *Methanosaeta* sp. em relação a da *Methanosarcina*. O pesquisador verificou que o sistema apresentou melhor qualidade de efluente em torno de 90 dias de operação, obtendo-se a partir de um afluente com DQO de 350 mg/L, um efluente com DQO de 100 mg/L. Depois de um longo tempo de operação, o sistema apresentou queda de rendimento e menor reprodutibilidade das previsões de projeto, e o pesquisador atribuiu esses fatos aos constantes entupimentos e ineficácia das operações de limpeza, com o comprometimento do volume reacional, verificado por estudos de hidrodinâmica.

BOLAÑOS (2001) verificou a capacidade de degradação de fenol utilizando um RAHLF, com as mesmas características do reator utilizado por ZAIAT (1996). Antes da realização do experimento o reator foi operado com substrato sintético, contendo como fontes de carbono glicose, ácido acético e ácido fórmico, e atingida a estabilização da matéria orgânica para uma carga orgânica de 1028 mg/L, correspondente a uma remoção de DQO de 98%, foi iniciada a adição de fenol começando com uma concentração de 50 mg/L como única fonte de carbono. A concentração de fenol adicionada variou de 50 a 1200 mg/L e sua degradação foi avaliada através de determinação cromatográfica. O RAHLF foi operado com um tempo de detenção hidráulica θ_h de 12,3 horas. Com 50 mg/L, após 33 dias o reator atingiu uma remoção de fenol de 97%. Com 100 mg/L e depois de 148 dias de operação não foi detectado fenol no efluente do reator. Com 300 mg/L e após 58 dias de operação o reator apresentou 99% de remoção e uma concentração no efluente de 0,85 mg/L. Com 600 mg/L, 900 mg/L e 1200 mg/L, após 47, 29 e 7 dias de operação o reator alcançou remoções de 99%. Segundo a pesquisadora, as altas remoções de fenol observadas neste trabalho provavelmente devido à utilização de células imobilizadas.

TELH (2001) avaliou o uso do RAHLF no tratamento de vinhaça sob condições termofílicas. A pesquisadora operou o reator a 55 °C e constatou a inadequação do sistema ao tratamento de vinhaça com DQO de 20.000 mg/L mesmo após a completa adaptação do lodo à temperatura, mas relata ainda que condições estáveis de operação foram obtidas com DQO afluente de 10.000 mg/L com θ_h de 26 horas, e que nessas condições, a remoção média de DQO ao final do experimento foi da ordem de 70 %, com 63 % de metano na composição do gás do reator.

CABRAL (2000) submeteu o RAHLF de bancada, a aumentos progressivos da concentração da matéria orgânica afluente, e a cargas de choque orgânicas, com o objetivo de se verificar seu desempenho e estabilidade operacional.

CABRAL (2000) operando o reator com substrato sintético contendo carboidratos, com DQO afluente em torno de 2.000 mg/L e carga orgânica equivalente a 8,77 kgDQO.m⁻³.dia⁻¹ (baseado no volume de escoamento), observou que ocorreu um colapso do sistema, verificado através de baixa eficiência de remoção de DQO, instabilidade nos valores de ácidos voláteis no efluente e colmatção do leito do reator. A pesquisadora conclui que o desbalanceamento do processo foi decorrente da rápida proliferação de material extracelular e conseqüente colmatção do leito do reator. E que esse fenômeno deve ser atribuído à composição do substrato, contendo carboidratos, e não ao valor da carga orgânica aplicada.

CABRAL (2000) ao operar o reator com substratos sintéticos contendo ácidos voláteis, não observou a inibição do processo decorrente do aumento nas concentrações de

matéria orgânica aplicadas ao sistema. E para o experimento com DQO afluente com 2000 mg/L, foi confirmado o curto período de partida do reator (aproximadamente 15 dias). A pesquisadora observou que o reator respondeu bem à aplicação de cargas de choque e a resposta obtida foi, em todos os experimentos, semelhante a uma curva gaussiana, sendo que o valor máximo de DQO efluente foi sempre da ordem de 11% do valor da DQO aplicada. A carga de choque máxima aplicada foi de 47 kg DQO.m⁻³.dia⁻¹. E verificou-se o aumento crescente no valor da massa de matéria orgânica removida (expressa como DQO) com o aumento da carga de choque, na faixa de valores aplicados, indicando que o reator não atingiu, nessa pesquisa, sua capacidade máxima de remoção de DQO.

Como se pode observar, já existem diversas pesquisas envolvendo o RAHLF e os mais diversos tipos de águas residuárias. Assim, a utilização do RAHLF no tratamento de percolados de aterros sanitários, vem trazer mais uma contribuição sobre a utilização desse reator nessa linha de pesquisa, que visa o desenvolvimento de reatores para o tratamento dos mais diversos tipos de águas residuárias.

3.5 – Considerações Finais

Apesar da disposição dos resíduos sólidos domiciliares em aterros sanitários ainda não ser uma realidade na maioria das cidades brasileiras, essa situação terá que mudar com o tempo para se tornar possível a preservação dos mananciais superficiais e subterrâneos.

Os percolados gerados nos aterros deverão receber um tratamento eficiente, com soluções técnicas que sejam viáveis economicamente e adequadas à real situação brasileira. Apesar da literatura não apresentar uma direção estabelecida no sentido do tratamento dos percolados, os processos de tratamento anaeróbio vêm se mostrando como uma tecnologia bastante promissora em países de clima quente, como o Brasil.

Como os percolados apresentam características que variam muito, com relação às vazões e concentrações, dependendo basicamente, dos resíduos aterrados, da idade do aterro e das sazonalidades, os sistemas de tratamento devem também permitir lidar com essas variações apresentando sempre alguma flexibilidade e possibilidade de adaptação. Baseado nessa possibilidade, este trabalho vem avaliar a tratabilidade de líquidos percolados, das frações “jovens” de aterros sanitários, através de processo biológico, em um reator anaeróbio horizontal de leito fixo, pois esse tipo de reator, segundo a literatura, vem se mostrando bastante eficiente no tratamento de águas residuárias complexas, mesmo que em alguns casos seja ainda necessário algum tipo de pós-tratamento, para poder se atingir os limites de lançamento.

4 – MATERIAL E MÉTODOS

4.1 – Descrição do Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo (RAHLF)

O RAHLF em escala piloto utilizado no experimento foi confeccionado com um tubo de PVC com 3,0 m de comprimento e 14,5 cm de diâmetro interno, perfazendo uma relação comprimento por diâmetro (L/D) de aproximadamente 20. O reator foi construído em dois módulos de 1,5 m em série para que coubesse dentro da câmara que mantém a temperatura controlada. Na parte superior dos módulos, o reator possui orifícios ligados por mangueiras para captação de gás. O volume total do reator é de aproximadamente 50 L e o reator ainda possui amostradores intermediários ao longo do comprimento em posições correspondentes a L/D de 4, 8, 12 e 16. Para suporte de imobilização foi utilizada espuma de poliuretano com densidade de 20 kg.m^{-3} na forma de cubos de 1 cm de lado aproximadamente. A FIGURA 4.1.1 apresenta o reator utilizado no experimento.

FIGURA 4.1.1: Reator anaeróbio horizontal de leito fixo utilizado no experimento.

Para fechamento lateral do reator foram utilizados “caps” de PVC com anel de borracha para vedação. No interior dos “caps” foram colados crivos de plástico perfurado ou

com tela plástica para melhorar a dispersão do percolado no reator. A FIGURA 4.1.2 apresenta os caps utilizados no reator.

FIGURA 4.1.2: “Caps” com crivos de plástico perfurado ou tela plástica.

O reator foi mantido com temperatura controlada dentro de uma câmara de madeira. A temperatura era mantida a $30 \pm 0,1$ °C por um termostato digital ligado a uma resistência elétrica no interior da câmara. A FIGURA 4.1.3 apresenta a câmara utilizada e o termostato digital.

FIGURA 4.1.3: Câmara de madeira e termostato digital utilizados no experimento.

O experimento foi montado no Laboratório de Resíduos Sólidos do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC-USP.

4.2 – Inóculo e Preparo do Leito do RAHLF

O inóculo utilizado era um lodo proveniente de um reator UASB de um abatedouro de aves da cidade de Tietê-SP. Esse lodo foi escolhido por se adaptar bem e por apresentar sempre resultados positivos nas diversas pesquisas em andamento, com o tratamento dos mais diversos tipos de efluentes. A FIGURA 4.2.1 apresenta o aspecto granular desse lodo de coloração bastante escura. A biomassa foi imobilizada utilizando-se a metodologia desenvolvida por ZAIAT *et al.* (1994). A FIGURA 4.2.2 apresenta o aspecto da espuma depois e antes da imobilização do lodo. Como os percolados coletados apresentaram DQO abaixo da esperada, provavelmente por conta das chuvas intensas do início do ano, decidiu-se por não diluir o percolado e tentar fazer a adaptação do inóculo no próprio reator, iniciando-se o experimento com os tempos de detenção hidráulica maiores.

FIGURA 4.2.1: Lodo granular do abatedouro de aves da cidade de Tietê-SP

FIGURA 4.2.2: Espuma de poliuretano depois e antes da imobilização do lodo

Para o preparo do inóculo, foi medido aproximadamente 70 L de espuma de poliuretano que foi colocada em um tambor de 100 L e mantida submersa em água por aproximadamente 24 h.

Após o umedecimento da espuma, aproximadamente 20 L do lodo do abatedouro de aves foram batidos em liquidificador e misturado à espuma, tirando-se o excesso de água da mesma antes de se misturar com o lodo. Depois de misturados e homogeneizados, o lodo e a espuma foram mantidos em contato por aproximadamente 24 h, apesar de ZAIAT (1994) ter deixado em contato por apenas 2 h.

Depois de decorrido o tempo de contato, para imobilização do lodo na espuma, o excesso de lodo foi retirado da espuma utilizando-se uma peneira e a espuma com lodo imobilizado foi introduzida no reator, tomando-se o cuidado de não se compactar o leito e nem deixar vazios.

4.3 – Coleta e Armazenamento dos Líquidos Percolados

Foram feitas três coletas de percolado, a primeira em Bauru-SP no dia 17/04/2002 e as duas últimas em Rio Claro-SP nos dias 25/06/2002 e 22/11/2002.

Pretendia-se para esse trabalho, utilizar percolados provenientes de aterros “jovens” que apresentassem DQO da ordem de pelo menos 20.000 mg/L.

Não se optou pelo percolado do aterro de São Carlos-SP, pois segundo informações da VEGA Engenharia Ambiental, que administra o aterro, o percolado apresentava DQO da ordem de apenas 5.000 mg/L, talvez devido ao efeito da recirculação do percolado, da incidência de chuvas ou da própria idade do aterro.

4.3.1 – Primeira Coleta de Percolados (Aterro Sanitário de Bauru-SP)

O aterro sanitário de Bauru-SP estava em operação há 10 anos e optou-se inicialmente pelo percolado daquele aterro, pois análises de acompanhamento daquele percolado, realizadas pelos laboratórios da EESC-USP nos anos anteriores, apresentaram DQO da ordem de 20.000 mg/L, semelhante a percolados de aterros jovens.

A FIGURA 4.3.1.1 apresenta uma vista geral do pé do aterro e uma vista da frente de aterramento, localizada na extremidade oposta do aterro.

FIGURA 4.3.1.1: Vista geral do pé do aterro de Bauru-SP (à esquerda) e vista da frente de aterramento (à direita).

Todo o percolado que é coletado pelo sistema de drenagem do aterro de Bauru-SP tem como destino uma caixa de acúmulo localizada ao pé do aterro. Nessa caixa o percolado acumulado é bombeado para uma lagoa construída sobre o aterro, para recirculação, como apresentado na FIGURA 4.3.1.2.

FIGURA 4.3.1.2: Lagoa de percolado sobre o aterro de Bauru-SP (à esquerda) e caixa de acúmulo de percolado no pé do aterro (à direita).

Para o experimento, coletou-se o percolado na caixa de acúmulo no pé do aterro. O volume coletado foi de aproximadamente 500 L, tendo sido armazenado em galões de 20 L como apresentado na FIGURA 4.3.1.3.

FIGURA 4.3.1.3: Funcionários da EMDURB – Bauru auxiliando na coleta do percolado (à esquerda) e percolado acondicionado em galões de 20 L no interior do veículo (à direita).

4.3.2 – Segunda Coleta de Percolados (Aterro Sanitário de Rio Claro-SP)

A segunda coleta de percolados foi feita no aterro novo de Rio Claro-SP. Esse aterro novo localiza-se quase ao lado do aterro antigo. Quando foi realizada a coleta do percolado o aterro estava em operação há somente três meses, sendo assim um aterro bastante “jovem”.

Na FIGURA 4.3.2.1 pode-se observar a construção do sistema de impermeabilização com mantas plásticas e argila, e a construção dos drenos com tubos e pedra britada. Pode-se observar também o início da fase de aterramento do lixo, com o avanço da frente de aterramento.

FIGURA 4.3.2.1: Vista geral do aterro (à esquerda) e vista da frente de aterramento e construção de drenos (à direita).

Todo o percolato drenado no aterro de Rio Claro-SP tem como destino uma caixa de acúmulo, localizada ao pé do aterro. Quando foi feita a coleta do percolato nessa caixa, ela ainda não estava completamente cheia e estavam construindo duas lagoas para receber o percolato acumulado nela. A FIGURA 4.3.2.2 apresenta a caixa de acúmulo de percolato coberta por uma manta plástica.

FIGURA 4.3.2.2: Vista geral da região da caixa de acúmulo e preparo da bomba para coleta.

O percolato foi coletado na caixa de acúmulo com uma bomba com motor a gasolina, através de uma abertura existente na manta plástica que protegia a caixa. Foi coletado um volume de aproximadamente 360 L de percolato, que foram armazenados em galões de 20 L para o transporte.

FIGURA 4.3.2.3: Preparo da bomba e mangueiras para coleta, e vista da abertura na manta plástica de proteção da caixa de acúmulo.

4.3.3 – Terceira Coleta de Percolados (Aterro Sanitário de Rio Claro-SP)

A terceira coleta de percolado também foi feita no aterro novo de Rio Claro-SP. Quando foi feita esta última coleta o aterro já estava em operação por aproximadamente oito meses e a produção de percolado já era bem mais intensa. Os funcionários da Prefeitura de Rio Claro não souberam informar qual era a produção diária de percolado no aterro.

Nessa terceira coleta o percolado foi coletado em uma lagoa construída próxima à caixa de acúmulo de percolado. As FIGURAS 4.3.3.1 e 4.3.3.2 apresentam as lagoas de acúmulo de percolado.

FIGURA 4.3.3.1: Vista geral das lagoas de acúmulo de percolado, e preparo da bomba para coleta.

FIGURA 4.3.3.2: Vista da lagoa tendo o aterro ao fundo e o percolado coletado e armazenado em galões de 20 L.

Nessa terceira coleta, realizada na lagoa, utilizou-se também uma bomba a gasolina para se coletar o percolado. Foram coletados aproximadamente 380 L de percolado, que foram armazenados em galões de 20 L para o transporte, como apresentado na FIGURA 4.3.3.2.

4.3.4 – Armazenamento do Percolado

Os percolados das três coletas foram acondicionados em galões plásticos de 20 L e conservados em uma câmara fria a 5 °C. Quando o percolado era utilizado, armazenava-se o galão em uma geladeira a 4 °C, no Laboratório de Resíduos Sólidos, bombeando o percolado para o reator com uma bomba peristáltica ou uma bomba diafragma dependendo da vazão aplicada.

FIGURA 4.3.4.1: Percolado armazenado em geladeira a 4 °C em um galão de 40 L.

4.4 – Análises Físico-Químicas das Amostras Líquidas

A TABELA 4.4.1 apresenta os parâmetros físico-químicos analisados nas amostras líquidas coletadas nos afluentes e nos efluentes do RAHLF, bem como a metodologia empregada e as frequências. Essas análises foram realizadas nos Laboratórios de Saneamento, de Processos biológicos e de Resíduos Sólidos da EESC - USP.

TABELA 4.4.1: Parâmetros físico-químicos monitorados no afluente e nos efluentes do reator, metodologia utilizada e frequência das análises.

PARÂMETRO	METODOLOGIA	(ETAPA)-FREQUÊNCIA
pH	Potenciometria	(1 e 2)-semanal, (3)-2 vezes /semana
Potencial redox	Potenciometria	(3)-somente nos perfis
Alcalinidade a bicarbonato	Titulação	(1 e 2)-semanal, (3)-2 vezes /semana
Alcalinidade a ácidos voláteis	Titulação	(1 e 2)-semanal, (3)-2 vezes /semana
DQO (bruta e filtrada)	Digestão e Espectrofotometria	(1 e 2)-semanal, (3)-2 vezes /semana
Sólidos totais	Filtração e Gravimetria	(1 e 2)-semanal, (3)-2 vezes /semana
Sólidos totais fixos	Filtração e Gravimetria	(1 e 2)-semanal, (3)-2 vezes /semana
Sólidos totais voláteis	Filtração e Gravimetria	(1 e 2)-semanal, (3)-2 vezes /semana
Sólidos suspensos totais	Filtração e Gravimetria	(1 e 2)-semanal, (3)-2 vezes /semana
Sólidos suspensos fixos	Filtração e Gravimetria	(1 e 2)-semanal, (3)-2 vezes /semana
Sólidos suspensos voláteis	Filtração e Gravimetria	(1 e 2)-semanal, (3)-2 vezes /semana
Sólidos dissolvidos totais	Filtração e Gravimetria	(1 e 2)-semanal, (3)-2 vezes /semana
Sólidos dissolvidos fixos	Filtração e Gravimetria	(1 e 2)-semanal, (3)-2 vezes /semana
Sólidos dissolvidos voláteis	Filtração e Gravimetria	(1 e 2)-semanal, (3)-2 vezes /semana
Metais (cromo, cádmio, cobre, ferro, níquel, zinco, manganês e chumbo)	Espectrofotometria	(1 e 2)-semanal, (3)-2 vezes /semana
Nitrogênio Amoniacal (NH ₃)	Destilação e titulometria	(1, 2 e 3)caracterização, (3) nos perfis
Nitrogênio Total (NTK)	Digestão, destilação e titulometria	(1, 2 e 3)caracterização, (3) nos perfis
Fósforo (PO ₄ ³⁻)	Espectrofotometria e FID	(2) uma única vez*
Ácidos voláteis	Titulometria e Cromatografia gasosa	(1 e 2)-semanal, (3)-2 vezes /semana
DBO	Oxímetro	(1,2 e 3)-Eventualmente

*Para investigação de problemas.

Com exceção da cromatografia gasosa para determinação de ácidos voláteis, todas as demais análises foram feitas segundo o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA, AWWA, WPCF (1998).

A cromatografia gasosa para determinação de ácidos voláteis foi feita de acordo com MORAES (2000) utilizando um microdestilador para purificação das amostras de percolado.

Na primeira e na segunda fase desse trabalho, as amostras eram coletadas semanalmente para a realização das análises. Na terceira fase as amostras eram coletadas duas vezes por semana para serem analisadas. Nessa última fase, somente nas três primeiras

semanas, é que as análises de metais e ácidos voláteis por cromatografia, foram realizadas somente uma vez por semana.

4.5 – Análises das Amostras Gasosas

A composição do gás gerado pelo reator foi determinada através de cromatografia gasosa, utilizando-se cromatógrafo Gow-Mac com detector de condutividade térmica e coluna “Porapak Q” (2m x ¼” – 80 a 100 mesh), tendo hidrogênio a 1 ml.s^{-1} , como gás de arraste, existente no Laboratório de Processos Biológicos, pertencente ao Departamento de Hidráulica e Saneamento – EESC – USP.

A caracterização do gás do reator era realizada uma vez por semana.

4.6 – Exames Microbiológicos

Para a caracterização da biomassa imobilizada foram feitos exames por microscopia ótica utilizando-se microscópio Olympus modelo BH2 no Laboratório de Processos Biológicos

Os exames de coliformes foram feitos utilizando-se o método “colilert” e foram realizadas no Laboratório de Saneamento do Departamento de Hidráulica e Saneamento.

4.7 – Descrição do Experimento

O reator foi mantido em uma câmara de madeira com temperatura de $30 \pm 0,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, controlada por um termostato digital ligado a uma resistência elétrica, com um pequeno ventilador para circulação do ar no interior da câmara, como apresentado na FIGURA 4.7.2.

O percolado, armazenado em geladeira a $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$, era bombeado para o reator utilizando-se uma bomba peristáltica ou uma bomba diafragma, de acordo com a vazão necessária para bombeamento. A FIGURA 4.7.1 apresenta as duas bombas utilizadas.

FIGURA 4.7.1: Bomba peristáltica à esquerda e bomba diafragma à direita, juntos com a geladeira e o “no-break” utilizados.

Os gases gerados no reator foram medidos por deslocamento de líquido, utilizando-se um frasco de Mariot de 12 L, como na FIGURA 4.7.2.

A FIGURA 4.7.2 também apresenta o conjunto ventilador-resistência elétrica utilizado para manter e homogeneizar a temperatura no interior da câmara.

FIGURA 4.7.2: Frasco de Mariot para medida do volume de gases à esquerda, e conjunto ventilador-resistência elétrica para manter a temperatura da câmara.

Logo após o reator ter sido preenchido com a biomassa imobilizada na espuma de poliuretano iniciou-se a alimentação do reator com o percolado proveniente de Bauru-SP

sem diluição, pois concluiu-se que não era necessário diluir, devido ao percolado apresentar-se com concentração bem abaixo da esperada na coleta. O reator foi alimentado utilizando-se uma bomba peristáltica dosadora. Baseado no trabalho de CLARETO (1997), a operação foi iniciada com o tempo de detenção hidráulica (θ_h) de 25 dias pretendendo-se chegar a 5 dias, segundo a seguinte ordem de θ_h : 25; 8,33; 12,5; 5,0 e 6,25 dias. Esses θ_h seriam aplicadas nessa sequência no RAHLF com o objetivo de se obter θ_h de 5 dias em pontos intermediários ao longo do reator para as diferentes velocidades superficiais de líquido aplicadas. E após a verificação da estabilidade operacional do RAHLF, seriam realizadas as análises físico-químicas e de coliformes nos amostradores intermediários ao longo do comprimento do reator em posições correspondentes a L/D de 4, 8, 12 e 16, a fim de se determinar 3 perfis de concentrações e exames microbiológicos para caracterização da biomassa imobilizada.

Porém o experimento não pôde ser conduzido como se esperava, pois não ocorreu a partida do sistema, atingindo eficiência aproximadamente igual a zero na oitava semana de operação com o percolado de Bauru-SP.

Assim, o reator foi completamente esvaziado descartando-se a biomassa que apresentou um aspecto bastante desagradável com um forte odor de amoníaco e cor marrom, bem diferente do aspecto apresentado no início da operação do reator.

Depois do fracasso na partida do sistema, reforçou-se a idéia de se coletar um percolado de outro aterro para conduzir o experimento. Como o aterro de Rio Claro-SP era o aterro mais novo da região com somente três meses de operação, optou-se por se fazer a nova coleta de percolado naquele local.

Assim, o inóculo do reator foi preparado novamente com lodo proveniente do mesmo abatedouro de aves, exatamente como preparado na fase anterior.

Como o percolado de Rio Claro-SP apresentou DQO mais baixa que o percolado de Bauru-SP, concluiu-se novamente que não era necessário diluir-se o percolado, que já se encontrava bastante diluído, provavelmente por conta das águas das chuvas do início do ano.

Iniciou-se a operação do reator novamente com o percolado de Rio Claro-SP, procurando-se reproduzir de forma exata todas as condições da etapa anterior, na busca de bases comparativas para os dois casos.

Porém, mais uma vez o experimento não pôde ser conduzido como se esperava, pois dessa vez o sistema aparentemente se estabilizou, mas com uma eficiência muito baixa. Foram feitas então análises de fósforo e de quantificação do lodo na espuma para se investigar a possível causa do problema.

Na oitava semana de operação dessa segunda etapa, decidiu-se por parar a operação do reator e iniciá-la novamente, sem mudar o inóculo do reator, substituindo-se somente o substrato de alimentação, pois o inóculo apresentava ainda um aspecto agradável.

Para se avaliar o comportamento da biomassa, decidiu-se partir o sistema com um substrato sintético, simulando um esgoto sanitário, como o substrato utilizado por RIBEIRO (2001), com uma concentração, em termos de DQO, da ordem de grandeza da concentração do percolado utilizado na etapa anterior ($\pm 1.500 \text{ mg/L}$). Esse substrato era uma mistura de extrato de carne, amido, sacarose, celulose, óleo de soja, detergente, sais e água da torneira. Decidiu-se inicialmente que o reator seria alimentado somente com o substrato sintético, e após se verificar a estabilidade operacional do reator, esse substrato seria gradualmente substituído pelo percolado de aterro sanitário segundo as proporções de 10%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100% de percolado. Assim a carga orgânica aplicada permaneceria aproximadamente constante e só o substrato seria gradualmente substituído, podendo-se possivelmente, ter um aumento de carga somente depois que se atingisse 100% de percolado na alimentação do sistema.

Nessa terceira etapa decidiu-se alterar o tempo de detenção hidráulica aplicada no sistema. Optou-se pelo tempo de 2,5 dias em relação ao volume total do reator, devido à facilidade de degradação desse novo substrato. Com a alteração do tempo de detenção foi necessário também se alterar a bomba utilizada, pois a vazão nessa etapa passou a ser dez vezes maior que a vazão das etapas anteriores, assim passou-se a utilizar uma bomba diafragma para bombear o substrato. Nessa etapa Foram coletadas amostras do sistema para análises, duas vezes por semana e não somente uma como nas duas etapas anteriores.

Essa terceira etapa teve início utilizando-se o substrato sintético puro durante três semanas, e depois de verificada a viabilidade da biomassa e a estabilização aparente do sistema, começou-se a introduzir o percolado na composição do substrato. O percolado utilizado foi o de Rio Claro-SP, o mesmo utilizado na etapa anterior. Esse percolado foi utilizado até se atingir a proporção de 40 %, depois disso foi feita uma nova coleta de percolado em Rio Claro-SP, e utilizou-se o novo percolado a partir da proporção de 60 % até o final do experimento. Cada proporção de percolado no substrato foi mantida durante uma semana até a proporção de 40 %, que foi mantida durante quatro semanas esperando-se uma reação do sistema. A proporção de 60 % foi mantida durante uma semana e meia, e como o sistema reagiu positivamente ao novo percolado, aplicou-se diretamente 100 % de percolado, porém diluído, por mais uma semana, e nas duas últimas semanas aumentou-se a carga aplicada, utilizando-se o percolado puro (sem diluição). A FIGURA 4.7.3 apresenta uma síntese do que foi relatado.

5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos foram organizados em três etapas, conforme a ordem dos fatos ocorridos na operação do sistema. Eles foram organizados em forma de tabelas e estão nos ANEXOS 1, 2 e 3.

5.1 – Primeira Etapa: Operação do Sistema com o Percolado de Bauru-SP

Nessa primeira etapa, utilizou-se o percolado coletado em Bauru-SP. A caracterização desse percolado é apresentada na TABELA 5.1.1.

Observa-se que esse percolado já não apresentava, predominantemente, características de percolados de um aterro “jovem”, ou seja, apresentou DQO relativamente baixa, relação DBO/DQO $\approx 0,47$ e baixas concentrações de ácidos voláteis. Isso pode ser devido, ao aterro já estar em operação há 10 anos, quando a coleta foi realizada. Um outro fato é que não havia separação dos percolados nesse aterro, tendo todos eles como destino, uma única caixa de coleta ao pé do aterro. E também um outro fato que pode ter contribuído para essas características é a própria recirculação do percolado que era feita no aterro, sem contar ainda os efeitos da diluição por águas de chuvas intensas, ocorridas meses antes da coleta do percolado em Bauru-SP.

Para caracterização do percolado foram feitos também exames de amostras desse percolado através de Microscopia Óptica. Os exames não revelaram uma concentração muito grande de microrganismos, que se apresentavam bastante dispersos na amostra. Os exames revelaram a presença de vários tipos de bacilos, cocos, víbrios e até alguns cistos de protozoários. A FIGURA 5.1.1 apresenta as imagens da Microscopia Óptica do percolado.

TABELA 5.1.1: Resultados da Caracterização do percolado coletado em Bauru-SP.

Parâmetro	Unidade	Local
		Bauru-SP
DQO		
Bruta	mg/L	5.340
Filtrada	mg/L	3.660
DBO		
Bruta	mg/L	2.500
pH	-	8,10
Coliformes		
Totais	NMP/100 mL	4,1x10 ³
Fecais	NMP/100 mL	1,0x10 ³
Ácidos voláteis		
Ácidos voláteis totais	mgHAc./L	50
Ácido acético	mgHAc./L	39
Ácido propiônico	mgHPr./L	8,5
Alcalinidade		
Total	mgCaCO ₃ /L	7.640
Metais		
Zinco	mg/L	0,18
Chumbo	mg/L	0,18
Cádmio	mg/L	0,02
Níquel	mg/L	0,42
Ferro	mg/L	18,0
Manganês	mg/L	1,37
Cobre	mg/L	0,06
Cromo	mg/L	< 0,01
Sólidos		
Sólidos totais	mg/L	9.067 (100 %)
Sólidos totais fixos	mg/L	7.133 (78,68 %)
Sólidos totais voláteis	mg/L	1.933 (21,32 %)
Sólidos suspensos totais	mg/L	118 (1,30 %) (100 %)
Sólidos suspensos fixos	mg/L	48 (0,53 %) (40,68 %)
Sólidos suspensos voláteis	mg/L	70 (0,77 %) (59,32 %)
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	8.949 (98,70 %) (100 %)
Sólidos dissolvidos fixos	mg/L	7.085 (78,15 %) (79,17 %)
Sólidos dissolvidos voláteis	mg/L	1.863 (20,55 %) (20,83 %)
Nitrogênio		
Total	mgNH ₃ /L	1.722
Amoniacal	mgNH ₃ /L	1.630
Orgânico	mgNH ₃ /L	92

Um fato que chamou a atenção na caracterização do percolado de Bauru-SP, foi a baixa concentração de ácidos voláteis e a elevada concentração de N-amoniacal. A alcalinidade total também era relativamente alta e o pH acima de 7,0 contrariou todas as expectativas de se coletar um percolado com características de percolados de aterros “jovens”. Observando-se a concentração de sólidos desse percolado pode-se constatar a sua baixa biodegradabilidade, pois somente 21,32 % dos sólidos totais são voláteis e dos sólidos dissolvidos que são 98,70 % dos sólidos totais, somente 20,83 % são voláteis.

FIGURA 5.1.1: Resultado da Microscopia Óptica do Percolado de Bauru-SP. (a) bacilo com inclusões; (b) cisto; (c) bacilos e cocos; (d) diplococos; (e) bacilos curvos e cocos; (f) vibrio.

Para o início da operação do sistema, nessa primeira etapa, optou-se por não diluir o percolado, pois o percolado já possuía concentração bem inferior à que se esperada na coleta.

Nessa primeira etapa o sistema foi operado durante oito semanas com θ_h de 25 dias.

As FIGURAS 5.1.2 e 5.1.3 ilustram o comportamento do sistema utilizando o percolado de Bauru. Observou-se logo na primeira semana de operação uma eficiência, em termos de remoção de DQO, superior a 60% para as amostras brutas e filtradas. É provável que parte desta eficiência não tenha sido real, e que seja somente efeito da diluição do percolado na água do lodo de inóculo, e que a eficiência real, seja próxima à eficiência da segunda semana, ou seja, entre 20 e 30%, mesmo porque, na primeira semana não ocorreu uma produção considerável de gás, o que pode ser verificado na FIGURA 5.1.4.

FIGURA 5.1.2: DQO afluyente (A) e efluente (E), das amostras brutas e filtradas.

Observa-se ainda, na FIGURA 5.1.3, principalmente com relação à eficiência de remoção de DQO filtrada, que o sistema não apresentou tendência no aumento da eficiência com o passar do tempo, e que a partir da quarta semana de operação, o que coincide aproximadamente com a operação por um tempo igual a um θ_h , a única tendência observada foi a queda da eficiência, até aproximadamente zero, na oitava semana de operação. Isso pode ser verificado também pela produção de gás na FIGURA 5.1.4. Assim não ocorreu a adaptação do inóculo ao substrato, e acredita-se ainda que, a alta concentração de N-amoniaco do percolado, possa ter causado uma intoxicação do sistema.

FIGURA 5.1.3: Eficiência em termos de remoção de DQO, para amostras brutas e filtradas.

Entre a segunda e a terceira semana de operação do sistema ocorreu um pico na produção de gás chegando a quase 7 L por semana, mas a partir daí houve uma queda acentuada da produção chegando-se a pouco mais de 1 L por semana, na oitava semana de operação. Observa-se na FIGURA 5.1.4, que apesar da queda na produção de gás a partir da quarta semana, a proporção dos constituintes do gás gerado, manteve-se praticamente constante, com teores de metano sempre acima de 60%.

FIGURA 5.1.4: Composição e volume de gás produzido no sistema.

O pH do sistema manteve-se praticamente constante ao redor de $8,0 \pm 0,2$ no afluente e no efluente do reator. A alcalinidade total (AT) afluente também não apresentou grande variação ficando sempre muito próxima a 8.000 mg CaCO_3/L , porém a alcalinidade efluente apresentou uma queda no início da operação, como se pode verificar pela FIGURA 5.1.5, que ocorreu, provavelmente, devido à diluição na água do inóculo. O mesmo ocorreu com a alcalinidade à bicarbonato (AB) como pode ser notado pela FIGURA 5.1.6.

FIGURA 5.1.5: Alcalinidade Total e pH, afluentes (A) e efluentes (E).

FIGURA 5.1.6: Alcalinidade a bicarbonato, afluente (A) e efluente (E).

Nota-se novamente, pela FIGURA 5.1.7, que o efeito provável da diluição também se repete para os ácidos voláteis totais no sistema. Um fato constatado é que, apesar de se determinar as concentrações de ácidos voláteis totais por titulação, a cromatografia não conseguiu detectar a presença de ácidos nas amostras. Assim, ou a metodologia por titulação é passível de interferências por algumas substâncias presentes no percolado e conduziu a um resultado falso, ou os ácidos se perderam no processo de destilação para purificação das amostras para determinação por cromatografia, ou ainda esses dois fatos.

FIGURA 5.1.7: Ácidos Voláteis Totais por titulação, afluentes (A) e efluente (E).

FIGURA 5.1.8: Concentração de Zinco afluentes e efluente.

Em geral o reator apresentou sempre alguma remoção de metais, mesmo que com eficiências baixas, o que pode ser verificado na TABELA 8.1.4 do ANEXO 1. As maiores remoções ocorreram para o Ferro, que apesar da ineficiência do sistema, ainda continuava sendo removido, o que leva a concluir que, na verdade este metal estava sendo somente adsorvido pela matéria orgânica do inóculo ou precipitando no sistema, e não sendo utilizado pela biomassa como nutriente, como poderia-se imaginar. A FIGURA 5.1.9 apresenta a remoção de Ferro e as FIGURAS 5.1.8 e 5.1.10 apresentam a remoção de Zinco e Manganês respectivamente no sistema.

FIGURA 5.1.9: Concentração de Ferro afluente e efluente.

FIGURA 5.1.10: Concentração de Manganês afluente e efluente.

Da FIGURA 5.1.11 até a FIGURA 5.1.16 são apresentados os resultados da remoção de sólidos pelo sistema.

Pode-se notar que com o passar das semanas até a remoção de sólidos começou a ficar deficiente, e a ineficiência do sistema é evidente na oitava semana de operação, até na remoção de sólidos.

É provável também que as melhores eficiências notadas nas duas primeiras semanas de operação possam ser devido ao efeito da diluição da água do lodo de inóculo.

FIGURA 5.1.11: Sólidos Totais, afluyente (A) e efluente (E).

FIGURA 5.1.12: Eficiência de remoção de Sólidos Totais no sistema.

As análises de sólidos suspensos foram as que apresentaram maiores oscilações nos valores dos parâmetros, sem uma tendência, como observado para os sólidos totais. Observa-se também que as concentrações de sólidos suspensos foram, relativamente, bem menores que as concentrações de sólidos dissolvidos. Enquanto a concentração de sólidos dissolvidos totais afluentes era da ordem de 9.000 mg/L, a concentração de sólidos suspensos totais era da ordem de 150 mg/L.

FIGURA 5.1.13: Sólidos Suspensos, afluente (A) e efluente (E).

FIGURA 5.1.14: Eficiência de remoção de Sólidos Suspensos no sistema.

Observa-se ainda que além desse percolado apresentar grande quantidade de sólidos dissolvidos, a maior parte era de sólidos dissolvidos fixos, ou seja, esse percolado possuía pouca matéria orgânica dissolvida e possuía muitos sais, o que também pode ter contribuído para o fracasso dessa primeira etapa, juntamente com a elevada concentração de N-amoniacoal, também verificada nesse percolado.

FIGURA 5.1.15: Sólidos Dissolvidos, afluente (A) e efluente (E).

FIGURA 5.1.16: Eficiência de remoção de Sólidos Dissolvidos no sistema.

O sistema apresentou remoções pouco significativas de coliformes totais e remoções um pouco melhores com relação a coliformes fecais, porém houve grande dificuldade em se utilizar o método “colilert”, pois esse método sofria interferências dos constituintes do percolado. As interferências eram notadas nas amostras menos diluídas, que em vez de apresentar valores maiores de coliformes, sofriam inibição, e quase sempre não indicavam a presença de coliformes, e esse efeito ia se reduzindo conforme se diluía as amostras. Mas por outro lado quanto mais se diluí as amostras, maiores são as dificuldades de se detectar com precisão a presença de coliformes.

FIGURA 5.1.17: Coliformes Totais e Fecais, afluente e efluente.

Depois de oito semanas de operação o sistema foi paralisado. Um fato importante que levou a crer que ocorreu a intoxicação do sistema, foi a alta concentração de N-amoniacal, constatada pelo forte odor que exalava das amostras efluentes coletadas no reator. As amostras possuíam um forte odor de amoníaco, bem semelhante ao odor de alguns produtos de limpeza doméstica, que possuem altas concentrações de amônio.

Quando o reator foi desmontado para substituição do inóculo, constatou-se visualmente que não houve crescimento celular nenhum nas matrizes de poliuretano, além da biomassa apresentar somente aderência mecânica à espuma e um aspecto bem desagradável com cor marrom escuro, bem diferente da cor negra do lodo inoculado.

Amostras das espumas foram coletadas para se verificar a situação do lodo aderido. Foram feitos exames de Microscopia Óptica e verificou-se, como pode ser observado na

FIGURA 5.1.18, que o lodo apresentava-se bastante pobre em microrganismos e foram encontrados alguns fragmentos de *methanosaeta sp.* e algumas *methanosarcinas sp.* em meio a uma grande quantidade de matéria orgânica pouco povoada.

FIGURA 5.1.18: Microscopia Óptica do lodo retido na espuma após o colapso do sistema. (a) *methanosarcina sp.*, (b) *methanosarcina sp.* observada com fluorescência, (c) bacilos e fragmento de *methanosaeta sp.* e (d) formação do tipo sarcina e em meio à matéria orgânica.

5.2 – Segunda Etapa: Operação do Reator com o Percolado de Rio Claro-SP

Nessa segunda etapa, utilizou-se o percolado coletado em Rio Claro-SP. A caracterização desse percolado é apresentada na TABELA 5.2.1.

TABELA 5.2.1: Resultado da caracterização do percolado coletado em Rio Claro-SP.

Parâmetro	Unidade	Local
		Rio Claro-SP
DQO		
Bruta	mg/L	1.450
Filtrada	mg/L	1.320
DBO		
Bruta	mg/L	890
pH	-	8,20
Coliformes		
Totais	NMP/100 mL	2,1x10 ⁴
Fecais	NMP/100 mL	2,9x10 ¹
Ácidos voláteis		
Ácidos voláteis totais	mgH.Ac./L	71
Ácido acético	mgH.Ac./L	33
Ácido propiônico	mgH.Pr./L	13
Alcalinidade		
Total	mgCaCO ₃ /L	3.130
Metais		
Zinco	mg/L	0,20
Chumbo	mg/L	0,12
Cádmio	mg/L	< 0,01
Níquel	mg/L	0,10
Ferro	mg/L	8,50
Manganês	mg/L	0,06
Cobre	mg/L	< 0,01
Cromo	mg/L	< 0,01
Sólidos		
Sólidos totais	mg/L	5.337 (100 %)
Sólidos totais fixos	mg/L	4.035 (75,60 %)
Sólidos totais voláteis	mg/L	1.303 (24,40%)
Sólidos suspensos totais	mg/L	207 (3,88 %) (100 %)
Sólidos suspensos fixos	mg/L	138 (2,59 %) (66,67 %)
Sólidos suspensos voláteis	mg/L	69 (1,29 %) (33,33 %)
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	5.130 (96,12 %) (100 %)
Sólidos dissolvidos fixos	mg/L	3.897 (73,02 %) (75,96 %)
Sólidos dissolvidos voláteis	mg/L	1.233 (23,10 %) (24,04 %)
Nitrogênio		
Total	mgNH ₃ /L	577
Amoniacal	mgNH ₃ /L	311
Orgânico	mgNH ₃ /L	266

Observa-se que apesar desse percolado ter sido coletado em um aterro sanitário em início de operação, o valor da DQO e da concentração de ácidos voláteis apresentaram-se muito abaixo do indicado na literatura. Observando-se a concentração de sólidos desse percolado pode-se constatar a sua baixa biodegradabilidade, pois somente 24,40 % dos sólidos totais são voláteis e dos sólidos dissolvidos que são 96,12 % dos sólidos totais, somente 24,04 % são voláteis. Esse percolado possivelmente sofreu diluição por efeito das chuvas intensas desse ano (2002) provavelmente porque o sistema de drenagem do aterro, ainda em construção, pode ter permitido o escoamento de águas de chuva para a caixa de acúmulo de percolado.

Nesse percolado não foi feito exame de amostras através de Microscopia Óptica, pois como seria necessário pelo menos mais uma coleta de percolado naquele mesmo local, este tipo de caracterização seria realizado em amostras da próxima coleta.

Após o fracasso da etapa anterior, o reator foi desmontado e todo o inóculo e o material suporte foram substituídos. O novo inóculo foi preparado exatamente como na etapa anterior. Utilizou-se o mesmo tipo de espuma, o mesmo lodo do abatedouro de aves e os mesmos procedimentos, tentado-se reproduzir com a maior exatidão possível a etapa anterior. Assim nessa segunda etapa mudou-se apenas o percolado para alimentação do sistema. A única diferença é que desta vez, tomou-se mais cuidado no enchimento do reator, retirando-se bem o excesso de lodo, para que a água contida no inóculo não causasse muita de diluição nas primeiras amostras de efluentes.

Para o reinício da operação do sistema, nessa segunda etapa, optou-se novamente por não diluir o percolado, pois o mesmo já possuía concentração bem inferior à esperada na coleta e era necessário também tentar acelerar a operação do sistema, devido aos prazos para conclusão da pesquisa. Ao reiniciar-se a operação do sistema, aplicou-se inicialmente, durante duas horas, uma vazão 15 L/h de percolado no sistema, com o propósito de se eliminar o efeito inicial da diluição do percolado na água do lodo de inóculo.

Nessa segunda etapa o sistema foi operado novamente durante oito semanas com θ_h de 25 dias.

Observando-se as FIGURAS 5.2.1 e 5.2.2 pode-se notar que o sistema não apresentou quase que nenhuma tendência, em termos de aumento na remoção de DQO da segunda até a oitava semana de operação. Poder-se-ia concluir que: a adaptação do inóculo era realmente muito lenta ou que o inóculo era incompatível, e que oito semanas ainda era muito pouco tempo para se obter uma resposta satisfatória do sistema; ou que o tempo de detenção hidráulica de 25 dias é insuficiente, o que realmente é pouco provável de acordo com a literatura, pois um tempo de detenção de 25 dias é alto; ou poderia estar ocorrendo a

falta de algum nutriente importante para os microrganismos, sendo, portanto um fator limitante; ou a intoxicação do sistema com alguma substância que inibisse a ação dos microrganismos; ou a baixa biodegradabilidade do percolado; ou que a quantidade de lodo de inóculo não era suficiente (baixa concentração celular); ou ainda que o lodo não estivesse em condições, com uma baixa atividade (inviabilidade). Procurou-se investigar cada uma dessas hipóteses, com o objetivo de se descobrir qual o motivo para essa resposta tão pouco satisfatória do sistema.

FIGURA 5.2.1: DQO, afluentes (A) e efluentes (E), bruta e filtrada.

FIGURA 5.2.2: Eficiência em termos de remoção de DQO no sistema.

Além da aparente estabilidade operacional do sistema, apresentada nas figuras anteriores, a produção de gás do sistema parecia ficar aproximadamente entre 4 e 6 L/semana após o pico de 8,4 L registrado na terceira semana de operação, como pode ser observado na FIGURA 5.2.3.

FIGURA 5.2.3: Composição e volume de gás produzido no sistema.

Esse pico na terceira semana pode ter sido somente o resultado de uma descarga de gás que atingiu predominantemente esta semana, pois devido à baixa vazão do sistema foram registrados alguns problemas operacionais, tais como: nenhuma produção gasosa durante dias, e em seguida pequenas descargas gasosas; ou ainda, nenhuma liberação de efluente durante horas, e em seguida uma descarga de efluente com uma vazão bem maior que a vazão constante de entrada. Esse tipo de problema, provavelmente ocorreu, devido à formação de gás no leito e à baixa velocidade de escoamento do percolado. As bolhas de gás formavam-se, cresciam e deslocavam-se muito lentamente. O percolado que vinha com baixa velocidade de escoamento, encontrava as bolhas de gás em seu caminho tendo sua passagem dificultada no sistema. Com o crescimento das bolhas, elas ganhavam força para vencer a resistência do leito, deslocando-se na vertical e atingindo os coletores de gás na parte superior do reator. Quando as bolhas eram liberadas, o caminho ficava novamente livre para escoamento do líquido na horizontal, até a formação de novas bolhas. Assim o sistema não tinha um comportamento regular. Isso deixa claro o comportamento hidrodinâmico desfavorável do sistema ao ser operado com θ_h tão alto (25 dias). Uma forma de se

minimizar esse comportamento seria a utilização de um reator de menor diâmetro e maior comprimento.

Um outro fato também importante, que pode ser notado na FIGURA 5.2.3, foi que a composição do gás variou pouco durante toda esta etapa, apresentando proporções de metano da ordem de 60%.

O pH do afluente do sistema manteve-se praticamente em torno de 8,2 ao longo de toda esta etapa de operação, e o do efluente em torno de 8,0 sem muitas variações. As alcalinidades total e a bicarbonato eram relativamente altas (em torno de 3.000 mg/L) e também não apresentaram grandes variações. Elas eram um pouco menores no efluente, no início da operação, mas nas duas últimas semanas superaram a alcalinidade do afluente. Isso mostra uma boa capacidade de tamponamento do meio, principalmente porque a maior parte da alcalinidade do meio era devido a bicarbonato e não a ácidos voláteis, que era bem baixa (em torno de 130 mg/L). As FIGURAS 5.2.4 e 5.2.5 apresentam os resultados de pH e de alcalinidade total e a bicarbonato.

FIGURA 5.2.4: Alcalinidade Total e pH, afluentes (A) e efluentes (E).

Pelas FIGURAS 5.2.6 e 5.2.7 pode-se notar que o percolado apresentava baixas concentrações de ácidos voláteis e só ocorreu produção de ácidos no sistema nas duas primeiras semanas. Depois disso as concentrações efluentes foram sempre menores que as concentrações de ácidos do afluente, ou seja, a partir da terceira semana o sistema deixou de produzir e passou a consumir ácidos.

Talvez uma das causas da baixa eficiência do sistema pode ter sido justamente a baixa concentração de ácidos e de outras substâncias facilmente biodegradáveis.

FIGURA 5.2.5: Alcalinidade a Bicarbonato afluente (A) e efluente (E).

FIGURA 5.2.6: Ácidos Voláteis Totais afluente (A) e efluente (E) por titulação.

Na FIGURA 5.2.7, foram apresentados os resultados até a quinta semana de operação, pois da sexta até a oitava semana as amostras foram analisadas separadamente, devido à escala para uso do cromatógrafo, e os resultados obtidos não apresentaram coerência e nem continuidade e, portanto foram desprezados.

FIGURA 5.2.7: Ácidos Voláteis Totais e Ácido Acético, afluentes (A) e efluentes (E) por Cromatografia.

Nas FIGURAS 5.2.8 e 5.2.9 observa-se novamente a remoção de Zinco e Ferro como ocorreu na etapa anterior. A amostra coletada na sexta semana apresentava um pouco de argila o que explica o pico na concentração afluente de ferro e manganês, que foram desprezadas da análise. Por outro lado, as concentrações de Manganês eram maiores no efluente que no afluente do reator, como pode ser observado na FIGURA 5.2.10. Provavelmente o Manganês poderia estar sendo arrastado do lodo de inóculo.

FIGURA 5.2.7: Concentrações de Zinco, afluente (A) e efluente (E).

FIGURA 5.2.8: Concentrações de Ferro, afluente (A) e efluente (E).

FIGURA 5.2.9: Concentrações de Manganês, afluente (A) e efluente (E).

Quanto à remoção de sólidos totais e dissolvidos o sistema apresentou, em geral, uma eficiência maior nas três primeiras semanas, e depois apresentou uma ligeira queda. A sétima semana não deve ser considerada na análise, pois ocorreu uma queda de eficiência devido a uma falha de amostragem e não na operação do sistema.

FIGURA 5.2.10: Sólidos Totais, afluente (A) e efluente (E).

FIGURA 5.2.11: Eficiência de remoção de Sólidos Totais no sistema.

Nas FIGURAS 5.2.12 e 5.2.13, o que chama a atenção é a alta concentração de sólidos suspensos totais e fixos no afluente, na partida e na sexta semana de operação, devido à elevada quantidade de argila suspensa na amostra.

O sistema apresentou uma eficiência na remoção de sólidos suspensos relativamente melhor que as eficiências de remoção de sólidos totais e dissolvidos.

FIGURA 5.2.12: Sólidos Suspensos, afluente (A) e efluente (E).

FIGURA 5.2.13: Eficiência de remoção de Sólidos Suspensos no sistema.

Esse percolado coletado em Rio Claro também apresentou baixas concentrações de sólidos suspensos voláteis e sólidos dissolvidos voláteis, e provavelmente, uma quantidade relativamente pequena de matéria orgânica estaria disponível para ser biodegradada pelo sistema, o que é confirmado também através da DQO relativamente baixa.

FIGURA 5.2.14: Sólidos Dissolvidos, afluente (A) e efluente (E).

FIGURA 5.2.15: Eficiência de remoção de Sólidos Dissolvidos no sistema.

Uma das prováveis causas da baixa eficiência do sistema poderia ser também um problema hidrodinâmico relacionado à baixa velocidade do escoamento no leito do reator. Essa baixa velocidade, devida ao alto tempo de detenção hidráulica de 25, dias poderia estar dificultando os fenômenos de transferência de massa no sistema, dificultando o acesso da biomassa ao substrato que, além disso, apresentava-se diluído.

Os resultados dos exames de coliformes não levaram a nenhuma conclusão. Novamente este exame apresentou uma série de interferências, podendo-se deduzir que, provavelmente, o método “colilert” possa não servir para determinação precisa de coliformes em determinadas águas residuárias, que possam conter substâncias interferentes ao método.

FIGURA 5.2.16: Coliformes Totais e Fecais, afluentes (A) e efluentes (E).

Com o objetivo de se tentar entender qual era o problema do sistema, realizou-se na quarta semana de operação uma análise de Fósforo-Fosfato no afluente e no efluente do reator. O resultado foi bastante interessante, pois o afluente apresentava **2,1 mg/L** de fosfato, enquanto o efluente apresentava **20,0 mg/L**. Assim o fosfato do efluente só poderia ter como origem as células do inóculo. Segundo CHERNICHARO (1997), para biomassa com baixo coeficiente de produção celular ($Y \sim 0,05 \text{ g}_{\text{SSV}}/\text{g}_{\text{DQO}}$) tem-se como requisito a relação $\text{DQO:N:P} = 1000:5:1$ e para biomassa com elevado coeficiente de produção celular ($Y \sim 0,15 \text{ g}_{\text{SSV}}/\text{g}_{\text{DQO}}$) tem-se como requisito a relação $\text{DQO:N:P} = 350:5:1$. O percolado utilizado apresentou a relação $\text{DQO:N:P} = 1450:577:2,1$ ou $690:275:1$ e portanto a relação entre DQO e P não está muito distante daquela recomendada na literatura.

Realizou-se também uma análise do lodo contido na espuma do reator e chegou-se à relação média de **1,23 $\text{g}_{\text{Lodo}}/\text{g}_{\text{Espuma}}$** , o que está totalmente de acordo com os demais trabalhos em andamento utilizando o mesmo inóculo e a mesma espuma. Um fato que chamou a atenção foi a característica do lodo de inóculo na amostragem para essa análise. O lodo tinha aspecto parecido com o apresentado no momento do início da operação do reator, conservando a cor escura, e não apresentando nenhum odor desagradável.

5.3 – Terceira Etapa: Operação do Reator com Substrato Sintético e Substituição Gradual por Percolado de Aterro Sanitário

Para o reinício da operação do sistema nessa terceira etapa, a biomassa do sistema não foi substituída como na etapa anterior, por acreditar-se que a biomassa existente ainda era viável. Além disso, mantendo-se a biomassa do sistema, poder-se-ia realmente tirar a prova sobre a real situação da biomassa e sua viabilidade.

Esta terceira etapa pode ser dividida em três fases, de acordo com o substrato utilizado em cada fase.

5.3.1 – Descrição das Fases de Operação do Sistema nessa Terceira Etapa

5.3.1.1 – Fase 1: Operação do Sistema com Substrato Sintético

A operação do sistema foi reiniciada nessa terceira etapa utilizando-se um substrato sintético simulando esgoto sanitário, porém com uma concentração um pouco maior, com ordem de grandeza, em termos de DQO, da apresentada pelo percolado utilizado na etapa anterior (aproximadamente 1.500 mg/L).

A utilização desse substrato teve como objetivo avaliar a reação da biomassa e, possivelmente, “ajudar” a biomassa na adaptação ao percolado, com a substituição gradual do substrato sintético pelo percolado.

O sistema foi operado durante três semanas nessa fase, sendo alimentado somente com o substrato sintético puro.

5.3.1.2 – Fase 2: Substituição Gradual do Substrato Sintético pelo Primeiro Percolado Coletado em Rio Claro

Da terceira até a nona semana de operação o substrato sintético foi gradualmente substituído pelo percolado da primeira coleta realizada em Rio Claro, ou seja, o mesmo percolado da segunda etapa.

5.3.1.3 – Fase 3: Substituição do Percolado por Outro Coletado em Rio Claro

A partir da nona semana de operação o percolado que compunha o substrato foi substituído por um novo percolado coletado novamente em Rio Claro-SP. O resultado da caracterização desse novo percolado é apresentado na TABELA 5.3.1.

TABELA 5.3.1: Resultado da caracterização do percolado da segunda coleta realizada em Rio Claro-SP.

Parâmetro	Unidade	Local
		Rio Claro-SP
DQO		
Bruta	mg/L	4.800
Filtrada	mg/L	4.350
DBO		
Bruta	mg/L	3.900
pH	-	7,65
Coliformes		
Totais	NMP/100 mL	1,82 x 10 ³
Fecais	NMP/100 mL	8,53 x 10 ³
Ácidos voláteis		
Ácidos voláteis totais (titulação)	mgH.Ac./L	2.000
Ácido acético	mgH.Ac./L	850
Ácido propiônico	mgH.Pr./L	630
Alcalinidade		
Total	mgCaCO ₃ /L	2.780
Metais		
Zinco	mg/L	0,29
Chumbo	mg/L	0,08
Cádmio	mg/L	> 0,01
Níquel	mg/L	0,07
Ferro	mg/L	30,45
Manganês	mg/L	1,52
Cobre	mg/L	0,03
Cromo	mg/L	> 0,01
Sólidos		
Sólidos totais	mg/L	6.716 (100 %)
Sólidos totais fixos	mg/L	3.471 (51,68 %)
Sólidos totais voláteis	mg/L	3.245 (48,32 %)
Sólidos suspensos totais	mg/L	228 (3,39 %) (100 %)
Sólidos suspensos fixos	mg/L	98 (1,46 %) (42,98 %)
Sólidos suspensos voláteis	mg/L	130 (1,93 %) (57,02 %)
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	6.488 (96,01 %) (100 %)
Sólidos dissolvidos fixos	mg/L	3.373 (50,23 %) (51,99 %)
Sólidos dissolvidos voláteis	mg/L	3.115 (46,38 %) (48,01 %)
Nitrogênio		
Total	mgNH ₃ /L	382
Amoniacal	mgNH ₃ /L	331
Orgânico	mgNH ₃ /L	51

Verificou-se que este percolado apresentou concentração, em termos de DQO, da ordem de três vezes a concentração do percolado coletado pela última vez em Rio Claro-SP, com relação DBO/DQO $\approx 0,8$. Além de uma concentração de ácidos voláteis totais muito maior e, ao que parece, as características desse percolado estão mais coerentes com as características dos percolados de aterros “jovens” encontradas na literatura. E este percolado pode apresentar uma boa biodegradabilidade, pois 48,32 % dos sólidos totais são voláteis.

A caracterização microbiológica desse percolado foi feita através de Microscopia Óptica e as imagens estão apresentadas nas FIGURAS 5.3.1 e 5.3.2.

FIGURA 5.3.1: Caracterização Microbiológica do Percolado de Rio Claro-SP: (a), (b) e (c) Grande diversidade microbiológica com destaque para os cloroflagelados; (d) Aparentemente uma parte de uma hifa de fungo; (e) e (f) Alguns protozoários e uma grande variedade de morfologias bacterianas – cocos, bacilos, bacilos curvos e víbrios.

FIGURA 5.3.2: Caracterização Microbiológica do Percolado de Rio Claro-SP: (a) e (b) Alguns protozoários e grande variedade de morfologias bacterianas – cocos, bacilos, bacilos curvos, etc; (c) Estreptococos, cocos, bacilos, bacilos curvos, etc; (d) Bacilo com inclusões, cocos, bacilos, bacilos curvos, etc; (e) e (f) Provavelmente formações do tipo sarcina.

A caracterização microbiológica mostrou a presença de uma grande variedade microbiana com destaque para os protozoários cloroflagelados. A caracterização apresentou ainda a presença de hifa de fungos e morfologias bacterianas tipo cocos, bacilos, bacilos curvos, bacilos com inclusões, víbrios, estreptococos, sarcinas, etc.

5.3.2 – Resultados das Fases de Operação do Sistema nessa Terceira Etapa

5.3.2.1 – Resultados da Fase 1

Como o substrato de alimentação do sistema foi mudado, na fase 1 dessa terceira etapa, e esse substrato é facilmente degradável, decidiu-se operar o sistema com tempo de detenção hidráulica de 2,5 dias, ou seja, um tempo dez vezes menor que o utilizado na outras duas etapas. Decidiu-se que esse tempo poderia ser alterado, dependendo da resposta do sistema ao se reintroduzir o percolado no substrato de alimentação na fase seguinte.

Observando-se as FIGURAS 5.3.4 e 5.3.5, nota-se que o sistema respondeu surpreendentemente bem ao novo substrato, podendo-se considerar o sistema já em equilíbrio operacional aparente, a partir da primeira metade da segunda semana de operação. Esta fase 1 teve como principal objetivo avaliar as condições do lodo de inóculo e verificar a sua viabilidade, promovendo ainda uma reabilitação do sistema, com um substrato de fácil degradação, o que poderia promover algum crescimento bacteriano nas matrizes de poliuretano.

5.3.2.2 – Resultados da Fase 2

Essa fase teve como objetivo promover uma adaptação gradual da biomassa ao percolado. Assim, após a coleta das amostras da fase 1, para análise na terceira semana, o substrato passou a ter 10 % de percolado. As análises realizadas com amostras a partir da semana 3,5 já continham percolado. A partir daí verificou-se uma tendência de queda contínua na eficiência do sistema e essa tendência foi se acentuando conforme a proporção de percolado na composição do substrato ia aumentando. Quando se chegou à proporção de 40 %, essa proporção foi mantida por quatro semanas esperando que o sistema reagisse nesse período. Observando-se a FIGURA 5.3.3, onde em vez de eficiência construiu-se um gráfico da deficiência do sistema (100 % menos a % de Eficiência), fica clara a resposta negativa do sistema com o aumento da proporção de percolado, e com quase nenhuma tendência de melhora ao se manter a proporção de 40 % por quatro semanas.

FIGURA 5.3.3: Deficiência na remoção de DQO no sistema e porcentagem de percolado em relação à carga orgânica aplicada.

5.3.2.3 – Resultados da Fase 3

Com a mudança do percolado a partir da nona semana, o sistema voltou a responder bem, e apresentar estabilidade aparente a partir da décima primeira semana de operação, com eficiências da ordem de 80 %, em termos de remoção de DQO, como pode ser observado na FIGURA 5.3.5.

5.3.2.4 – Análise Global dos Resultados da Terceira Etapa

Nota-se pelas FIGURAS 5.3.6 e 5.3.7, que o sistema gerou alcalinidade total no seu efluente durante quase todo período de operação e que gerou alcalinidade a bicarbonato durante todas as fases de operação. O pH manteve-se bem próximo do neutro durante quase todo o tempo, sem grandes variações. Tudo isso comprova que o sistema tratando percolado, possui uma boa capacidade tampão, além de gerar alcalinidade a bicarbonato.

A produção de gás do sistema foi crescente até a terceira semana de operação com uma ligeira queda ocorrida após a introdução do percolado ao substrato, mas a partir da nona semana, com a substituição do percolado, a produção de gás voltou a crescer continuamente até o final do experimento, quando se operou o sistema com percolado puro e sem diluição. A composição dos constituintes do gás não variou muito durante a operação, tendo sempre proporções superiores a 60 % de metano e nas últimas semanas atingindo até 80 % de metano. Um fato interessante em relação ao gás produzido pelo reator, quando se utilizou percolado puro, foi a ausência do odor de sulfetos nesse gás, o que não era verificado enquanto se utilizava o substrato sintético, pois o gás possuía forte odor de sulfeto.

FIGURA 5.3.4: DQO afluente e efluente, e percentagem de percolato em relação à carga orgânica aplicada.

FIGURA 5.3.5: Eficiência de remoção de DQO no sistema, e percentagem de percolato em relação à carga orgânica aplicada.

FIGURA 5.3.6: Alcalinidade Total e pH, afluentes (A) e efluentes (E).

FIGURA 5.3.7: Alcalinidade a Bicarbonato, afluente (A) e efluente (E) e percentagem de percolato em relação à carga orgânica aplicada.

FIGURA 5.3.8: Produção de gás no sistema e composição.

FIGURA 5.3.9: Concentrações de Zinco afluente e efluente.

FIGURA 5.3.10: Concentrações de Ferro afluente e efluente.

FIGURA 5.3.11: Concentrações de Manganês afluente e efluente.

O sistema apresentou remoção para todos os metais analisados, porém quase sempre com baixa eficiência. Os metais que apareceram com maior concentração e em todas as amostras analisadas foram o Zinco, o Ferro e o Manganês. As concentrações desses metais estão apresentadas respectivamente nas FIGURAS 5.3.9, 5.3.10 e 5.3.11, para as amostras de afluentes e efluentes. Os resultados para os outros de metais analisados encontram-se nas tabelas do ANEXO 3.

A FIGURA 5.3.12 apresenta as concentrações de ácidos voláteis totais, obtidas por titulação das amostras. As FIGURAS 5.3.13 e 5.3.14 apresentam as concentrações de ácidos voláteis, obtidas por cromatografia. Observa-se que embora os resultados da cromatografia e da titulação tenham apresentado resultados ligeiramente diferentes, em ambos os casos ficou registrado o aumento da concentração afluente de ácidos quando se introduziu o percolado puro, e em ambos os casos, também ficou evidente, o grande consumo desses ácidos pelo sistema.

Os resultados de remoção de sólidos pelo sistema estão apresentados nas FIGURAS 5.3.15 a 5.3.32.

Na FIGURA 5.3.16 observa-se que nas seis primeiras semanas de operação a remoção de sólidos totais era sempre em torno de 40 %, devido talvez à retenção física da celulose que fazia parte da composição do substrato. Da quinta semana em diante, quando o percolado passou a fazer parte do substrato já na proporção de 40 %, a eficiência do sistema caiu para valores pouco menores que 20 %, melhorando no final do experimento chegando próximo de 30 %. Pelas FIGURAS 5.3.18 e 5.3.20 pode-se notar que na remoção de sólidos totais, as maiores eficiências ocorriam para os sólidos totais voláteis, que apresentaram no período, eficiências de remoção na faixa de 30 a 70 %, enquanto que para os sólidos totais fixos, além de baixas remoções, algumas vezes elas foram negativas.

Observando-se as FIGURAS 5.3.21 a 5.3.26 pode ver que o sistema apresentou eficiências bem razoáveis na remoção de sólidos suspensos, com exceção das semanas 0,5 e 10,5 onde ocorreram arraste de sólidos na amostragem dos efluentes. Todos aqueles picos observados nas concentrações afluentes até a sexta semana, foram devido a arraste de celulose na amostragem do afluente. Como o substrato ficava armazenado sem agitação, uma parte da celulose se acumulava no fundo do reservatório e quando a amostragem era feita, qualquer movimento ressuspensava essa celulose, e ela era arrastada com uma concentração maior que o normal durante a amostragem. Mas a maior atenção deve ser dada mesmo nas semanas finais onde se operou o sistema somente com o percolado. Da semana 10,5 em diante, que foi quando se operou o sistema com o percolado puro, e com exceção da semana 11, o sistema apresentou eficiências de remoção de sólidos totais sempre maiores que 50 % e

passando de 75 % na semana 13. As remoções de sólidos suspensos fixos e voláteis tiveram praticamente o mesmo comportamento e a mesma ordem de grandeza como pode ser observado nas FIGURAS 5.3.24 e 5.3.26.

O desempenho do sistema na remoção de sólidos dissolvidos foi bem parecido com o da remoção de sólidos totais relatada anteriormente, como pode ser observado nas FIGURAS 5.3.27 a 5.3.32.

As TABELAS 5.3.2 a 5.3.4 apresentam a média do comportamento do sistema, quanto aos principais parâmetros, considerando somente as últimas duas semanas, quando o sistema foi operado com percolado puro.

TABELA 5.3.2: Comportamento médio do sistema, quanto à DQO, pH, alcalinidade e coliformes, nas últimas duas semanas de operação com 100% de percolado, da segunda coleta realizada em Rio Claro-SP.

Parâmetro	Unidade	Média	Desvio Padrão
DQO bruta (A)	mg/L	4715	715
DQO bruta (E)	mg/L	985	142
Remoção	%	79,1	0,7
DQO filtrada (A)	mg/L	4339	637
DQO filtrada (E)	mg/L	880	121
Remoção	%	79,7	0,6
pH (A)		7,56	0,09
pH (E)		7,51	0,05
Alcalinidade total (A)	mgCaCO ₃ /L	2816	241
Alcalinidade total (E)	mgCaCO ₃ /L	2832	302
Geração	%	0,5	-3,4
Alcalinidade a bicarbonato (A)	mgCaCO ₃ /L	1815	39
Alcalinidade a bicarbonato (E)	mgCaCO ₃ /L	2737	297
Geração	%	50,9	-16,8
Alcalinidade a ácidos voláteis (A)	mgCaCO ₃ /L	1001	249
Alcalinidade a ácidos voláteis (E)	mgCaCO ₃ /L	95	7
Geração	%	-90,1	-2,1
Coliformes totais (A)	NMP/100mL	36125	10081
Coliformes totais (E)	NMP/100mL	17040	12021
Remoção	%	53,3	28,3
Coliformes fecais (A)	NMP/100mL	2318	1293
Coliformes fecais (E)	NMP/100mL	2230	1828
Remoção	%	-26,6	128,5

TABELA 5.3.3: Comportamento médio do sistema, quanto a ácidos voláteis, alguns metais e nitrogênio, nas últimas duas semanas de operação com 100% de percolado, da segunda coleta realizada em Rio Claro-SP.

Parâmetro	Unidade	Média	Desvio Padrão
AVT – titulação (A)	mg/L	1419	353
AVT – titulação (E)	mg/L	135	10
Remoção	%	90,1	2,1
AVT – cromatografia (A)	mg/L	2386	451
AVT – cromatografia (E)	mg/L	0	0
Remoção	%	100,0	0,0
Ac. Acético (A)	mg/L	981	186
Ac. Acético (E)	mg/L	0	0
Remoção	%	100,0	0,0
Ac. Propiônico (A)	mg/L	634	128
Ac. Propiônico (E)	mg/L	0	0
Remoção	%	100,0	0,0
Ac. Isobutírico (A)	mg/L	108	23
Ac. Isobutírico (E)	mg/L	0	0
Remoção	%	100,0	0,0
Ac. Butírico (A)	mg/L	225	40
Ac. Butírico (E)	mg/L	0	0
Remoção	%	100,0	0,0
Ac. Isovalérico (A)	mg/L	77	17
Ac. Isovalérico (E)	mg/L	0	0
Remoção	%	100,0	0,0
Ac. Valérico (A)	mg/L	190	38
Ac. Valérico (E)	mg/L	0	0
Remoção	%	100,0	0,0
Ac. Capróico (A)	mg/L	171	33
Ac. Capróico (E)	mg/L	0	0
Remoção	%	100,0	0,0
Zinco (A)	mg/L	0,33	0,19
Zinco (E)	mg/L	0,07	0,03
Remoção	%	77,0	6,5
Ferro (A)	mg/L	20,85	2,65
Ferro (E)	mg/L	7,54	1,98
Remoção	%	62,8	12,9
Manganês (A)	mg/L	1,47	0,11
Manganês (E)	mg/L	0,52	0,35
Remoção	%	63,0	27,7
Nitrogênio total (A)	mgNH ₃ /L	356,8	39,4
Nitrogênio total (E)	mgNH ₃ /L	325,5	41,6
Remoção	%	8,9	2,3
Nitrogênio orgânico (A)	mgNH ₃ /L	40,8	17,2
Nitrogênio orgânico (E)	mgNH ₃ /L	22,3	7,9
Remoção	%	30,2	55,7
Nitrogênio amoniacal (A)	mgNH ₃ /L	316,0	29,6
Nitrogênio amoniacal (E)	mgNH ₃ /L	303,3	42,5
Remoção	%	4,3	6,9

TABELA 5.3.4: Comportamento médio do sistema, quanto aos sólidos, nas últimas duas semanas de operação com 100% de percolado, da segunda coleta realizada em Rio Claro-SP.

Parâmetro	Unidade	Média	Desvio Padrão
Sólidos totais (A)	mg/L	6148	555
Sólidos totais (E)	mg/L	4446	487
Remoção	%	27,8	1,7
Sólidos totais fixos (A)	mg/L	3290	464
Sólidos totais fixos (E)	mg/L	3058	356
Remoção	%	6,8	3,0
Sólidos totais voláteis (A)	mg/L	2858	198
Sólidos totais voláteis (E)	mg/L	1388	153
Remoção	%	51,5	3,0
Sólidos suspensos totais (A)	mg/L	283	78
Sólidos suspensos totais (E)	mg/L	94	23
Remoção	%	64,1	15,0
Sólidos suspensos fixos (A)	mg/L	91	35
Sólidos suspensos fixos (E)	mg/L	29	9
Remoção	%	63,4	21,2
Sólidos suspensos voláteis (A)	mg/L	193	46
Sólidos suspensos voláteis (E)	mg/L	66	14
Remoção	%	63,8	13,1
Sólidos dissolvidos totais (A)	mg/L	5864	494
Sólidos dissolvidos totais (E)	mg/L	4352	497
Remoção	%	25,9	2,4
Sólidos dissolvidos fixos (A)	mg/L	3199	432
Sólidos dissolvidos fixos (E)	mg/L	3030	359
Remoção	%	5,1	2,3
Sólidos dissolvidos voláteis (A)	mg/L	2665	182
Sólidos dissolvidos voláteis (E)	mg/L	1322	163
Remoção	%	50,5	4,0

FIGURA 5.3.12: Ácidos Voláteis Totais, afluentes (A) e efluente (E), por titulação.

FIGURA 5.3.13: Ácidos Voláteis Totais, afluentes (A) e efluente (E), por cromatografia.

FIGURA 5.3.14: Ácidos Voláteis, afluyente (A) e efluente (E), por cromatografia.

FIGURA 5.3.15: Sólidos Totais, afluente (A) e efluente (E).

FIGURA 5.3.16: Eficiência de remoção de Sólidos Totais.

FIGURA 5.3.17: Sólidos Totais Fixos, afluentes (A) e efluente (E).

FIGURA 5.3.18: Eficiência de remoção de Sólidos Totais Fixos.

FIGURA 5.3.19: Sólidos Totais Voláteis, afluente (A) e efluente (E).

FIGURA 5.3.20: Eficiência de remoção de Sólidos Totais Voláteis.

FIGURA 5.3.21: Sólidos Suspensos Totais, afluente (A) e efluente (E).

FIGURA 5.3.22: Eficiência de remoção de Sólidos Suspensos Totais.

FIGURA 5.3.23: Sólidos Suspensos Fixos, afluente (A) e efluente (E).

FIGURA 5.3.24: Eficiência de remoção de Sólidos Suspensos Fixos.

FIGURA 5.3.25: Sólidos Suspensos Voláteis, afluente (A) e efluente (E).

FIGURA 5.3.26: Eficiência de remoção de Sólidos Suspensos Voláteis.

FIGURA 5.3.27: Sólidos Dissolvidos Totais, afluente (A) e efluente (E).

FIGURA 5.3.28: Eficiência de remoção de Sólidos Dissolvidos Totais.

FIGURA 5.3.29: Sólidos Dissolvidos Fixos, afluente (A) e efluente (E).

FIGURA 5.3.30: Eficiência de remoção de Sólidos Dissolvidos Fixos.

FIGURA 5.3.31: Sólidos Dissolvidos Voláteis, afluente (A) e efluente (E).

FIGURA 5.3.32: Eficiência de remoção de Sólidos Dissolvidos Voláteis.

Foram realizados quatro perfis de concentração ao longo dos amostradores intermediários do reator, com o objetivo de se analisar como os parâmetros variavam dentro do sistema. O primeiro perfil foi realizado na terceira semana de operação do sistema, antes de se introduzir o percolado no substrato. O segundo perfil foi realizado na semana 8,5 enquanto o sistema era operado com 40 % de percolado da primeira coleta em Rio Claro, na composição do substrato. O terceiro e o quarto perfil foram realizados nas semanas 12,5 e 13,5 enquanto o sistema era operado com percolado puro da segunda coleta de Rio Claro.

Os quatro perfis de concentração e de remoção de DQO são apresentados nas FIGURAS 5.3.33 a 5.3.40. Observa-se nesses perfis, que apesar das diferenças de substratos e concentrações, os comportamentos foram bem parecidos, e até o desvio ocorrido na amostras do terceiro amostrador se repetem em todos os perfis. A maior parte da eficiência do sistema ocorreu até o quarto amostrador para todos os perfis, sendo que os dois últimos módulos ficaram praticamente ociosos. Considerando-se que o sistema está dividido em cinco partes e com um θ_h total de 2,5 dias, pode-se admitir que cada parte corresponde a um θ_h de 0,5 dia. Portanto, como a maior parte da degradação ocorre nos três primeiros módulos, pode-se dizer que, provavelmente, o θ_h ótimo para esse sistema esteja próximo de 1,5 dias.

As FIGURAS 5.3.41 a 5.3.44 apresentam os perfis de pH e de alcalinidade. Observa-se que o pH praticamente não variou ao longo do sistema em todos os perfis, e o sistema praticamente não gerou alcalinidade total com o percolado puro, mas produziu alcalinidade a bicarbonato com todos os substratos.

Os perfis de ácidos voláteis obtidos por titulação e por cromatografia são apresentados nas FIGURAS 5.3.45 a 5.3.48. Somente no primeiro perfil, utilizando o substrato sintético ocorreu produção de ácidos, nos demais perfis ocorreram somente consumo de ácidos, sendo que novamente, a grande maioria dos ácidos era totalmente consumida até o quarto amostrador.

A remoção de metais no sistema pode ser observada nas FIGURAS 5.3.49 a 5.3.56, onde são apresentados os perfis de Zinco, Ferro e Manganês. Os resultados para os demais metais encontram-se no ANEXO 3. As maiores eficiências de remoção ocorreram com o Manganês nos dois perfis realizados com o percolado puro e com todos os metais a remoção foi predominantemente crescente ao longo do reator.

As FIGURAS 5.3.57 a 5.3.68 apresentam os perfis de sólidos e remoção de sólidos ao longo do reator, utilizando percolado puro como substrato de alimentação do sistema. Em quase todos os perfis, as remoções de sólidos foram crescentes ao longo do reator e só em alguns casos a eficiência de remoção caiu do quinto para o sexto amostrador.

FIGURA 5.3.33: Perfil (1) de DQO com Zero % de percolado.

FIGURA 5.3.35: Perfil (3) de DQO com 100 % de percolado.

FIGURA 5.3.34: Perfil (2) de DQO com 40 % de percolado.

FIGURA 5.3.36: Perfil (4) de DQO com 100 % de percolado.

FIGURA 5.3.37: Perfil (1) de remoção de DQO com Zero % de percolado.

FIGURA 5.3.39: Perfil (3) de remoção de DQO com 100 % de percolado.

FIGURA 5.3.38: Perfil (2) de remoção de DQO com 40 % de percolado.

FIGURA 5.3.40: Perfil (4) de remoção de DQO com 100 % de percolado.

FIGURA 5.3.41: Perfil (1) de pH e Alcalinidade com Zero % de percolado.

FIGURA 5.3.43: Perfil (3) de pH e Alcalinidade com 100 % de percolado.

FIGURA 5.3.42: Perfil (2) de pH e Alcalinidade com 40 % de percolado.

FIGURA 5.3.44: Perfil (4) de pH e Alcalinidade com 100 % de percolado.

FIGURA 5.3.45: Perfil (1) de Ácidos Voláteis com Zero % de percolado.

FIGURA 5.3.47: Perfil (3) de Ácidos Voláteis com 100 % de percolado.

FIGURA 5.3.46: Perfil (2) de Ácidos Voláteis com 40 % de percolado.

FIGURA 5.3.48: Perfil (4) de Ácidos Voláteis com 100 % de percolado.

FIGURA 5.3.49: Perfil (3) – Concentração de Zinco com 100 % de perc.

FIGURA 5.3.50: Perfil (4) – Concentração de Zinco com 100 % de perc.

FIGURA 5.3.51: Perfil (3) – Concentração de Ferro com 100 % de perc.

FIGURA 5.3.52: Perfil (4) – Concentração de Ferro com 100 % de perc.

FIGURA 5.3.53: Perfil (3) – Concentr. de Manganês com 100 % de perc.

FIGURA 5.3.54: Perfil (4) – Concentr. de Manganês com 100 % de perc.

FIGURA 5.3.55: Perfil (3) – Remoção de metais com 100 % de perc.

FIGURA 5.3.56: Perfil (4) – Remoção de metais com 100 % de perc.

FIGURA 5.3.57: Perfil (3) de Sólidos Totais com 100 % de perc.

FIGURA 5.3.59: Perfil (4) de Sólidos Totais com 100 % de perc.

FIGURA 5.3.58: Perfil (3) – Remoção de Sól. Totais com 100 % de perc.

FIGURA 5.3.60: Perfil (4) – Remoção de Sól. Totais com 100 % de perc.

FIGURA 5.3.61: Perfil (3) de Sólidos Suspensos com 100 % de perc.

FIGURA 5.3.63: Perfil (4) de Sólidos Suspensos com 100 % de perc.

FIGURA 5.3.62: Perfil (3) – Remoção de Sól. Susp. com 100 % de perc.

FIGURA 5.3.64: Perfil (4) – Remoção de Sól. Susp. com 100 % de perc.

FIGURA 5.3.65: Perfil (3) de Sólidos Dissolvidos com 100 % de perc.

FIGURA 5.3.67: Perfil (4) de Sólidos Dissolvidos com 100 % de perc.

FIGURA 5.3.66: Perfil (3) – Remoção de Sól. Dissol. com 100 % de perc.

FIGURA 5.3.68: Perfil (4) – Remoção de Sól. Dissol. com 100 % de perc.

Os resultados dos perfis de Nitrogênio Total, Orgânico e Amoniacoal não foram apresentados em forma de gráfico, pois praticamente não ocorreu remoção de Nitrogênio ao longo do reator. Os resultados numéricos são apresentados nas TABELAS 8.3.10 e 8.3.13 do ANEXO 3.

Os resultados de Eh também não apresentaram variações ao longo do sistema e assim também não foram apresentados em forma de gráfico. Os valores de Eh foram praticamente constantes ficando em torno de -200 mV.

Em síntese, a biomassa mostrou-se viável e o sistema respondeu muito bem utilizando o segundo percolado coletado em Rio Claro-SP, e ao que parece, a substituição do percolado surtiu muito mais efeito na reabilitação do sistema, do que a estratégia de substituição gradual do substrato sintético por percolado. Observou-se que esse último percolado apresentou concentração de ácidos voláteis totais muito maior, que as concentrações nos dois primeiros percolados utilizados. Apresentou também relação DBO/DQO $\approx 0,8$ e menores concentrações de nitrogênio. Provavelmente essas características contribuíram para o sucesso no tratamento desse percolado.

FIGURA 5.3.69: Aspecto da biomassa no interior do reator. Na parte superior, a entrada do sistema e na parte inferior a saída.

Observando-se a FIGURA 5.3.69 pode-se notar a diferença entre a coloração das matrizes de poliuretano na entrada e na saída do reator. Na entrada, na parte superior, as matrizes apresentaram uma coloração marrom mais claro, possivelmente devido aos sólidos que ficaram retidos nessa região.

Observa-se também que tanto na entrada quanto na saída do reator a coloração marrom é mais clara nas partes superiores, o que pode indicar a existência de um caminho preferencial na parte superior do reator, devido provavelmente a um pequeno vazio deixado nessa região (± 1 cm) devido à compressão da espuma pelo seu peso próprio depois de umedecida.

Apesar do reator ser de leito fixo não ocorreu nenhum tipo de entupimento do leito devido à retenção de sólidos, crescimento celular ou formação de polímeros extracelulares. Pode ser que o tempo de operação não tenha sido suficiente para que esses tipos de problema ocorressem.

Foram feitos também exames microbiológicos de amostras coletadas na espuma do reator após o encerramento da operação. As FIGURAS 5.3.70 e 5.3.71 apresentam as imagens obtidas por Microscopia Óptica.

O exame da espuma revelou uma grande quantidade de *methanosarcina sp.*, *methanosaeta sp* e bacilos do tipo *methanobacterium sp.*

FIGURA 5.3.70: Caracterização da biomassa que se desenvolveu na espuma de poliuretano.

(a) e (b) grande população de *methanosaeta sp.*

FIGURA 5.3.71: Caracterização da biomassa que se desenvolveu na espuma de poliuretano. (a) e (c) *methanosarcina* sp., (b) e (d) *methanosarcina* sp. observada com fluorescência, (e) bacilos e fragmentos de *methanosaeta* (f) bacilos fluorescentes.

6 – CONCLUSÕES

Na primeira etapa deste trabalho, utilizando-se percolato de Bauru-SP, o sistema não se adaptou e provavelmente atingiu eficiência praticamente zero na oitava semana de operação, devido às altas concentrações de N-amoniaco de aproximadamente 1.600 mg/L, que podem ter intoxicado o sistema. O percolato coletado em Bauru apresentava características mais próximas das características de percolados de aterros “velhos”, que de aterros “jovens”;

Os líquidos percolados de aterros sanitários “velhos” podem não conduzir a bons resultados quando tratados em reatores anaeróbios, devido talvez, à baixa concentração de matéria orgânica de fácil degradação (ácidos voláteis), e à presença de substâncias tóxicas (metais, amônio, etc.) que podem inibir o processo;

Na segunda etapa deste trabalho, utilizando-se o percolato de Rio Claro-SP, um percolato de um aterro bastante “jovem”, o sistema apresentou uma estagnação com uma eficiência da ordem de 25 %, muito abaixo da desejada e com quase nenhuma tendência de melhora;

O percolato coletado em Rio Claro, apesar de ter sido coletado em um aterro muito “jovem”, não apresentou altas concentrações, em termos de DQO e ácidos voláteis, como era esperado. A DQO era da ordem de 1.500 mg/L e um fato que realmente pode ter alterado as características desse percolato, pode ter sido a alta incidência de chuvas do início deste ano;

Quando operou-se o sistema na primeira e na segunda etapa, verificou-se problemas hidrodinâmicos relacionados ao alto tempo de detenção hidráulica utilizado (25 dias). Esse comportamento hidrodinâmico desfavorável pode também ter prejudicado o desempenho do reator nessas etapas, pois baixas velocidades de escoamento podem dificultar o processo de transferência de massa entre o percolato e os microrganismos, ou seja, as baixas velocidades de escoamento dificultam o acesso dos microrganismos ao substrato (alimento),

prejudicando assim o tratamento. Esse problema poderia ser minimizado para esse caso, utilizando-se um reator com menor diâmetro e maior comprimento (maior relação L/D);

Mesmo depois da estagnação na segunda etapa, o reator reagiu de forma extremamente positiva quando se utilizou um substrato sintético, atingindo-se eficiências, em termos de remoção de DQO, superiores a 85%. Isso serviu para verificar que apesar da estagnação do sistema, na etapa anterior, a biomassa ainda era viável e reagiu extremamente rápido (1,5 semanas);

Na última etapa, ao se introduzir 10% de percolado na composição do novo substrato, o sistema apresentou uma ligeira queda de eficiência sendo crescente até atingir a proporção de 40%. Porém quando se alterou o percolado por outro também coletado no mesmo aterro e com maior DQO (da ordem de 5.000 mg/L), o sistema voltou a melhorar seu desempenho, mesmo aumento-se a proporção de percolado no substrato, chegando a apresentar eficiências da ordem de 80% em termos de remoção de DQO com até 80% de metano no gás do reator, quando se alimentou o sistema com o percolado puro;

Como o sistema reagiu extremamente rápido após a mudança do percolado, pode-se concluir também, que a mudança de percolado foi muito mais positiva para o sistema, que a nova estratégia de partida adotada, com substituição gradual do substrato sintético por percolado;

O último percolado, coletado em Rio Claro-SP, apresentou concentração de ácidos voláteis totais da ordem de 2.000 mg/L, bem maior que as concentrações dos dois primeiros percolados utilizados, que eram menores que 100 mg/L. Apresentou também relação DBO/DQO $\approx 0,8$ e menores concentrações de nitrogênio, da ordem de 350 mgNH₃/L. Provavelmente essas características contribuíram muito mais para o sucesso do tratamento desse percolado, do que a própria estratégia de partida adotada;

Apesar do reator ser de leito fixo não ocorreu nenhum tipo de obstrução do leito devido à retenção de sólidos, crescimento celular ou formação de polímeros extracelulares, provavelmente por causa do curto período de operação do sistema;

Não foi determinado o melhor tempo de detenção hidráulica para o tratamento eficiente dos percolados, como proposto em um dos objetivos no início desse trabalho, porém conseguiu-se o tratamento eficiente do percolado de Rio Claro-SP com um tempo de detenção hidráulica de 2,5 dias, valor que é a metade do menor tempo proposto para a

presente pesquisa. A análise dos perfis de ácidos e DQO ao longo do reator, mostraram que 2/5 do sistema trabalhou praticamente ocioso, com o tempo de detenção hidráulica de 2,5 dias, assim pode-se concluir que para se aproveitar ao máximo o sistema, o melhor tempo de detenção hidráulica deveria ser de aproximadamente 1,5 dias; $\rightarrow$ *propósito*

Utilizando-se o percolado puro com DQO da ordem de 5.000 mg/L, o sistema apresentou o seu melhor desempenho na formação de gás, chegando a produzir até 228 L de gás na última semana de operação com composição de metano da ordem de 80%. É interessante notar também que esse gás gerado não possui nenhum odor de sulfeto, ao contrário do odor do gás obtido quando operou-se o sistema com o substrato sintético. Essa baixa concentração de sulfeto, observada apenas pelo odor, pode tornar viável o uso desse gás em determinadas circunstâncias na obtenção de energia; *DQO = 5000 mg/L $\rightarrow$ CH_4 : 80%
sem H_2S
sintético*

Um ponto muito importante observado nesse trabalho foi a questão da biodegradabilidade do percolado. Nesse trabalho onde se utilizou três tipos de percolados, verificou-se que mesmo percolados de aterros "jovens" podem apresentar baixa biodegradabilidade. Assim, mais importante do que a idade do aterro onde o percolado foi produzido são os parâmetros de biodegradabilidade, ou seja, relação DBO/DQO, concentração de ácidos voláteis, relação entre sólidos voláteis e totais, ausência de substâncias tóxicas, etc;

Um dos problemas de se tratar águas residuárias concentradas é que, mesmo obtendo altas eficiências no tratamento, o efluente tratado pode ter ainda concentrações relativamente altas, não atingindo os padrões para lançamento nos corpos d'água. Assim, sempre será necessário um pós-tratamento para esses efluentes;

O exame da espuma ao final do experimento revelou uma grande quantidade de *methanosarcina sp.*, *methanosaeta sp* e bacilos do tipo *methanobacterium sp*. As espumas mostraram-se bem colonizadas principalmente na entrada do reator;

As últimas semanas de operação do sistema mostraram que é possível se utilizar o RAHLF no tratamento de percolados de aterros sanitários jovens, porém, com os resultados obtidos, não se pode dizer ainda quais são os limites dessa tecnologia e quais seriam de fato, as melhores circunstâncias para o seu uso.

7 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo em vista os resultados obtidos e todos os problemas encontrados, e visando contribuir com trabalhos futuros na mesma linha de pesquisa, são sugeridos alguns temas para investigações futuras:

- Verificar a influência das concentrações de Nitrogênio Total, Orgânico e Amoniacal na tratabilidade de percolados em reatores anaeróbios;
- Verificar a influência da concentração de metais pesados;
- Fazer uma caracterização mais ampla dos percolados, tentando identificar outros compostos que possam possivelmente prejudicar os sistemas biológicos de tratamento;
- Utilizar o reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF) com percolados de aterros “jovens” com concentrações maiores, em termos de DQO, do que as concentrações utilizadas nesse trabalho;
- Verificar a utilização de outros materiais como meio suporte para biomassa, que sejam econômicos e possíveis de se utilizar em escala real;
- Utilizar outros tipos de reator na tentativa de se tratar o percolado biologicamente;
- Obter parâmetros cinéticos da degradação do percolado em reatores anaeróbios;
- Otimizar o processo de tratamento tentando encontrar o melhor tempo de detenção hidráulica para tratamento anaeróbio de percolados no RAHLF.

8 – ANEXOS

Nos três anexos a seguir estão apresentados em forma de tabelas todos os resultados obtidos na operação do sistema. O ANEXO 1 apresenta os resultados da primeira etapa, utilizando o percolado de Bauru-SP. O ANEXO 2 apresenta os resultados da segunda etapa, utilizando o percolado da primeira coleta realizada em Rio Claro-SP. E por fim, o ANEXO 3 apresenta os resultados da terceira etapa de operação do sistema e onde finalmente conseguiu-se algum resultado positivo.

ANEXO 1

TABELA 8.1.1: Resultados da Primeira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E).

Parâmetros	Unidade	Semana → 0 (partida)	1	2	3	4	5	6	7	8
		Data → 07/05/02	14/05/02	21/05/02	28/05/02	04/06/02	11/06/02	18/06/02	25/06/02	02/07/02
DQO										
bruta (A)	mg/L	5340	6531	6263	8750	7970	8467	8806	7660	8420
bruta (E)	mg/L	5340	2428	4123	4123	6136	7322	7350	7170	8410
Ef. Rem.	%	0,0	62,8	34,2	52,9	23,0	13,5	16,5	6,4	0,1
filtrada (A)	mg/L	3663	5834	5643	6663	7867	8227	8534	7380	8220
filtrada (E)	mg/L	3663	2233	3848	4528	5778	6272	7243	7080	8040
Ef. Rem.	%	0,0	61,7	31,8	32,0	26,6	23,8	15,1	4,1	2,2
DBO										
bruta (A)	mg/L	2583	2950	5734	4923	5540	4380	-	4280	-
bruta (E)	mg/L	2583	-	3840	3232	2860	-	-	3430	-
Ef. Rem.	%	0,0	-	33,0	34,3	48,4	-	-	19,9	-
PH										
(A)	--	8,10	8,10	8,13	8,11	8,15	8,10	8,09	8,06	8,10
(E)	--	8,10	7,84	7,87	8,07	8,22	8,21	8,22	8,15	8,17
Alcalinidade										
Total (A)	mg/L CaCO ₃	7389	7841	7822	7782	7725	7820	7686	7780	7890
Total (E)	mg/L CaCO ₃	7389	2575	3388	5769	6331	6880	7473	7520	7670
Ef. Rem.	%	0,0	67,2	56,7	25,9	18,0	12,0	2,8	3,3	2,8
À ácidos (A)	mg/L CaCO ₃	413	442	413	421	472	444	366	404	377
À ácidos (E)	mg/L CaCO ₃	413	177	177	355	413	413	366	384	367
Ef. Rem.	%	0,0	60,0	57,2	15,8	12,6	7,1	0,0	4,9	2,8
À bicarbonato (A)	mg/L CaCO ₃	6976	7399	7409	7361	7253	7376	7320	7376	7513
À bicarbonato (E)	mg/L CaCO ₃	6976	2398	3211	5414	5918	6467	7107	7136	7303
Ef. Rem.	%	0,0	67,6	56,7	26,4	18,4	12,3	2,9	3,3	2,8
Gás										
Nitrogênio	%	-	-	26,4	26,4	16,4	25,4	27,7	29,3	28,7
Metano	%	-	-	58,8	61,5	70,8	64,6	63,2	61,1	60,9
Gás Carbônico	%	-	-	14,8	12,1	12,8	10	9,1	9,6	10,4
Volume de gás	L/semana	0	2,69	6,72	6,89	6,32	4,56	4,31	3,01	1,32

TABELA 8.1.2: Resultados da Primeira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E).

Parâmetros	Semana → 0 (partida)										
		1	2	3	4	5	6	7	8		
	Data →	07/05/02	14/05/02	21/05/02	28/05/02	04/06/02	11/06/02	18/06/02	25/06/02	02/07/02	
Unidade											
Eh *											
(A)	mV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
(E)	mV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ácidos Voláteis (Titulação)											
Totais (A)	mg/L Ac. Acet.	586	627	585	597	669	630	519	573	535	
Totais (E)	mg/L Ac. Acet.	586	250,5	250,5	502,5	585	585	519	545	520	
Ef. Rem.	%	0,0	60,0	57,2	15,8	12,6	7,1	0,0	4,9	2,8	
Ácidos Voláteis (Cromatografia)											
Totais (A)	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
Totais (E)	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Coliformes											
Totais (A)	NMP/100mL	5,70E+03	3,09E+03	2,59E+05	1,00E+06	5,64E+04	1,21E+06	2,41E+06	8,07E+06	6,57E+05	
Totais (E)	NMP/100mL	5,70E+03	2,42E+05	3,17E+04	1,01E+05	1,22E+06	1,21E+06	2,75E+05	3,13E+05	2,42E+04	
Ef. Rem.	%	0,0	-7731,7	87,8	89,9	-2063,1	0,0	88,6	96,1	96,3	
Fecais (A)	NMP/100mL	1,50E+03	1,83E+02	5,04E+02	4,95E+04	10	10	2,90E+05	2,43E+02	0	
Fecais (E)	NMP/100mL	1,50E+03	2,40E+02	1,43E+02	0	0	0	0	0	0	
Ef. Rem.	%	0,0	-31,1	71,6	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	-	
Nitrogênio											
Total (A)	mg NH ₃ /L	1881	-	-	-	-	-	-	-	1740	
Total (E)	mg NH ₃ /L	1881	-	-	-	-	-	-	-	1730	
Amoniacal (A)	mg NH ₃ /L	1609	-	-	-	-	-	-	-	1685	
Amoniacal (E)	mg NH ₃ /L	1609	-	-	-	-	-	-	-	1656	
Orgânico (A)	mg NH ₃ /L	272	-	-	-	-	-	-	-	55	
Orgânico (E)	mg NH ₃ /L	272	-	-	-	-	-	-	-	74	

* Parâmetro não medido devido à problemas de fornecimento de material.

ND = Não detectado.

TABELA 8.1.3: Resultados da Primeira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E).

Parâmetros	Semana → 0 (partida) 1 2 3 4 5 6 7 8									
	Data →	07/05/02	14/05/02	21/05/02	28/05/02	04/06/02	11/06/02	18/06/02	25/06/02	02/07/02
	Unidade									
Sólidos										
Sólidos totais (A)	mg/L	9164	9140	9418	9357	9412	9453	9432	9556	9364
Sólidos totais (E)	mg/L	9164	3086	4220	6819	7631	8202	8760	9116	9167
Ef. Rem.	%	0,0	66,2	55,2	27,1	18,9	13,2	7,1	4,6	2,1
Sólidos totais fixos (A)	mg/L	7033	6521	6989	6939	6891	7037	6917	7024	6957
Sólidos totais fixos (E)	mg/L	7033	1963	2823	4923	5768	6092	6439	6767	6767
Ef. Rem.	%	0,0	69,9	59,6	29,0	16,3	13,4	6,9	3,7	2,7
Sólidos totais voláteis (A)	mg/L	2131	2619	2429	2418	2521	2417	2516	2531	2408
Sólidos totais voláteis (E)	mg/L	2131	1123	1397	1896	1863	2110	2321	2349	2400
Ef. Rem.	%	0,0	57,1	42,5	21,6	26,1	12,7	7,7	7,2	0,3
Sólidos suspensos totais (A)	mg/L	236	139	155	74	128	124	101	145	112
Sólidos suspensos totais (E)	mg/L	236	146	55	64	66	283	74	90	68
Ef. Rem.	%	0,0	-5,0	64,5	13,5	48,4	-128,1	27,0	38,1	39,3
Sólidos suspensos fixos (A)	mg/L	84	80	72	28	39	44	33	37	38
Sólidos suspensos fixos (E)	mg/L	84	123	5	16	29	109	15	29	16
Ef. Rem.	%	0,0	-53,8	93,1	42,9	25,0	-146,8	55,0	22,3	57,9
Sólidos suspensos voláteis (A)	mg/L	152	59	83	46	89	80	68	108	74
Sólidos suspensos voláteis (E)	mg/L	152	23	50	48	37	174	59	61	52
Ef. Rem.	%	0,0	61,0	39,8	-4,3	58,6	-117,9	13,2	43,5	29,7
Sólidos dissolvidos totais (A)	mg/L	8928	9001	9263	9283	9284	9329	9331	9410	9252
Sólidos dissolvidos totais (E)	mg/L	8928	2940	4165	6755	7565	7919	8686	9026	9099
Ef. Rem.	%	0,0	67,3	55,0	27,2	18,5	15,1	6,9	4,1	1,7
Sólidos dissolvidos fixos (A)	mg/L	6949	6441	6917	6911	6852	6993	6883	6987	6919
Sólidos dissolvidos fixos (E)	mg/L	6949	1840	2818	4907	5739	5984	6424	6738	6751
Ef. Rem.	%	0,0	71,4	59,3	29,0	16,3	14,4	6,7	3,6	2,4
Sólidos dissolvidos voláteis (A)	mg/L	1979	2560	2346	2372	2432	2337	2448	2423	2334
Sólidos dissolvidos voláteis (E)	mg/L	1979	1100	1347	1848	1826	1936	2262	2288	2348
Ef. Rem.	%	0,0	57,0	42,6	22,1	24,9	17,2	7,6	5,6	-0,6

TABELA 8.1.4: Resultados da Primeira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E).

Parâmetros	Semana → 0 (partida)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	
	Data →	07/05/02	14/05/02	21/05/02	28/05/02	04/06/02	11/06/02	18/06/02	25/06/02	02/07/02
Unidade										
Metais										
Zinco (A)	mg/L	0,43	0,29	0,23	0,30	0,35	0,35	0,36	0,40	0,22
Zinco (E)	mg/L	0,43	0,11	0,06	0,17	0,23	0,53	0,23	0,24	0,14
Ef. Rem.	%	0,0	62,1	73,9	43,3	34,3	-51,4	36,1	40,0	36,4
Chumbo (A)	mg/L	0,33	0,22	0,19	0,20	0,16	0,19	0,18	0,37	0,26
Chumbo (E)	mg/L	0,33	>0,01	0,04	0,10	0,04	0,20	0,22	0,30	0,14
Ef. Rem.	%	0,0	100,0	78,9	50,0	75,0	-5,3	-22,2	18,9	46,2
Cádmio (A)	mg/L	0,02	0,03	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	0,02	>0,01
Cádmio (E)	mg/L	0,02	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	0,02	>0,01
Ef. Rem.	%	0,0	100,0	-	-	-	-	-	0,0	-
Níquel (A)	mg/L	0,35	0,23	0,24	0,29	0,29	0,26	0,28	0,21	0,22
Níquel (E)	mg/L	0,35	0,002	0,02	0,23	0,22	0,22	0,27	0,20	0,23
Ef. Rem.	%	0,0	99,1	91,7	20,7	24,1	15,4	3,6	4,8	-4,5
Ferro (A)	mg/L	21,0	20,0	17,6	17,4	8,21	16,65	17,37	13,8	16,9
Ferro (E)	mg/L	21,0	2,00	0,93	1,66	0,42	5,13	2,21	2,42	3,40
Ef. Rem.	%	0,0	90,0	94,7	90,5	94,9	69,2	87,3	82,5	79,9
Manganês (A)	mg/L	0,96	1,06	1,00	0,96	0,98	0,99	1,00	1,00	0,96
Manganês (E)	mg/L	0,96	0,51	0,47	0,60	0,61	0,60	0,71	0,72	0,72
Ef. Rem.	%	0,0	51,9	53,0	37,5	37,8	39,4	29,0	28,0	25,0
Cobre (A)	mg/L	0,13	0,05	0,04	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	>0,01
Cobre (E)	mg/L	0,13	0,09	0,04	0,04	0,03	0,28	0,02	0,01	>0,01
Ef. Rem.	%	0,0	-80,0	0,0	-33,3	-200,0	-2700,0	0,0	0,0	-
Cromo (A)	mg/L	>0,01	>0,01	>0,01	0,01	0,04	0,26	0,01	0,03	>0,01
Cromo (E)	mg/L	>0,01	0,04	>0,01	0,01	0,01	0,09	>0,01	0,03	>0,01
Ef. Rem.	%	-	-	-	0,0	75,0	65,4	100,0	0,0	-

ANEXO 2

TABELA 8.2.1: Resultados da Segunda Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E).

Parâmetros	Semana → 0 (partida) 1 2 3 4 5 6 7 8									
	Data →	15/07/02	22/07/02	29/07/02	05/08/02	12/08/02	19/08/02	26/08/02	02/09/02	09/09/02
	Unidade									
DQO										
bruta (A)	mg/L	1394	1430	1510	1420	1490	1460	1450	1470	1420
bruta (E)	mg/L	1394	1200	1190	1130	1150	1070	1080	1080	1060
Ef. Rem.	%	0,0	16,1	21,2	20,4	22,8	26,7	25,5	26,5	25,4
filtrada (A)	mg/L	1340	1370	1410	1320	1410	1320	1320	1430	1350
filtrada (E)	mg/L	1340	1110	1170	1130	1140	1040	1050	1030	1040
Ef. Rem.	%	0,0	19,0	17,0	14,4	19,1	21,2	20,5	28,0	23,0
DBO										
bruta (A)	mg/L	-	890	1130	-	-	1280	840	710	-
bruta (E)	mg/L	-	-	650	-	-	-	870	680	-
Ef. Rem.	%	-	-	42,5	-	-	-	-3,6	4,2	-
pH										
(A)	--	7,58	8,13	8,29	8,24	8,16	8,27	8,26	8,25	8,25
(E)	--	7,58	7,82	7,86	7,85	7,99	8,02	8,07	8,07	8,03
Eh										
(A)	mV	-	-	-	-	-	-	-	180	183
(E)	mV	-	-	-	-	-	-	-	-255	-250
Gás										
Nitrogênio e outros	%	-	26,8	19,1	34,6	27,7	21,6	30	30,4	26,9
Metano	%	-	56,2	63,5	52,6	59,8	68,6	60,8	59,1	61,3
Gás Carbônico	%	-	17	17,4	12,8	12,5	9,8	9,2	10,5	11,8
Volume de gás	L/semana	0	2,25	6,03	8,4	5,96	5,89	3,8	5,12	4,3

TABELA 8.2.2: Resultados da Segunda Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E).

Parâmetros	Semana → 0 (partida) 1 2 3 4 5 6 7 8										
	Data → 15/07/02 22/07/02 29/07/02 05/08/02 12/08/02 19/08/02 26/08/02 02/09/02 09/09/02										
	Unidade										
Alcalinidade											
Total (A)	mg/L CaCO ₃	2536	3098	3204	3132	3195	3190	3204	3121	3164	
Total (E)	mg/L CaCO ₃	2536	2323	2565	2745	3006	3035	3139	3175	3258	
Ef. Rem.	%	0,0	25,0	19,9	12,4	5,9	4,9	2,0	-1,7	-3,0	
À ácidos (A)	mg/L CaCO ₃	600	504	572	743	157	94	76	209	140	
À ácidos (E)	mg/L CaCO ₃	600	445	585	657	405	213	72	223	90	
Ef. Rem.	%	0,0	11,7	-2,3	11,6	-158,0	-126,6	5,3	-6,7	35,7	
À bicarbonato (A)	mg/L CaCO ₃	1936	2594	2633	2390	3038	3096	3128	2912	3024	
À bicarbonato (E)	mg/L CaCO ₃	1936	1878	1980	2088	2601	2822	3607	2952	3168	
Ef. Rem.	%	0,0	27,6	24,8	12,6	14,4	8,9	-15,3	-1,4	-4,8	
Coliformes											
Totais (A)	NMP/100mL	2,42E+07	7,70E+03	1,73E+04	6,47E+04	3,19E+03	2,42E+03	3,10E+04	1,93E+04	6,67E+03	
Totais (E)	NMP/100mL	2,42E+07	1,35E+06	2,50E+02	1,21E+06	7,65E+05	4,08E+05	2,48E+07	7,83E+05	4,56E+04	
Ef. Rem.	%	0,0	-17432,5	98,6	-1770,2	-23881,2	-16759,5	-79900,0	-3957,0	-583,7	
Fecais (A)	NMP/100mL	6,20E+01	2,00E+01	1,12E+02	0,00E+00	1,00E+01	0,00E+00	1,50E+01	0,00E+00	2,00E+01	
Fecais (E)	NMP/100mL	6,20E+01	0,00E+00	0,00E+00	1,01E+03	0,00E+00	2,60E+04	0,00E+00	1,21E+01	0,00E+00	
Ef. Rem.	%	0,0	100,0	100,0	-	100,0	-	100,0	-	100,0	
Nitrogênio											
Total	mg NH ₃ /L	577	-	-	-	-	-	-	-	-	
Amoniacal	mg NH ₃ /L	311	-	-	-	-	-	-	-	-	
Orgânico	mg NH ₃ /L	266	-	-	-	-	-	-	-	-	

TABELA 8.2.3: Resultados da Segunda Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E).

Parâmetros	Semana → 0 (partida) 1 2 3 4 5 6 7 8									
	Data → 15/07/02 22/07/02 29/07/02 05/08/02 12/08/02 19/08/02 26/08/02 02/09/02 09/09/02									
	Unidade									
Ácidos Voláteis (Titulação)										
Totais (A)	mg/L Ac. Acet.	198	264	138	119	116	104	132	132	144
Totais (E)	mg/L Ac. Acet.	198	198	124	124	130	121	121	115	132
Ef. Rem.	%	0,0	25,0	10,1	-4,2	-12,1	-16,3	8,3	12,9	8,3
Ácidos Voláteis (Cromatografia)*										
Totais (A)	mg/L	71,2	76,8	51,5	55,1	59,8	61,9	132	132	144
Totais (E)	mg/L	71,2	87,7	84,6	57,6	50,2	47,2	121	115	132
Ef. Rem.	%	0,0	-14,2	-64,3	-4,5	16,1	23,7	8,3	12,9	8,3
Ac. Acético (A)	mg/L	28,9	33,4	19,6	22,9	25,2	28,8	6,5	24	35,6
Ac. Acético (E)	mg/L	28,9	53,1	43	25,4	17,9	15,3	80,7	25	33,9
Ef. Rem.	%	0,0	-59,0	-119,4	-10,9	29,0	46,9	-1141,5	-4,2	4,8
Ac. Propiônico (A)	mg/L	7,9	12,9	8,5	8,7	9,5	9,6	5	21,5	30,9
Ac. Propiônico (E)	mg/L	7,9	9,2	9,4	8,6	8,6	8,5	18,5	22,8	28,7
Ef. Rem.	%	0,0	28,7	-10,6	1,1	9,5	11,5	-270,0	-6,0	7,1
Ac. Isobutírico (A)	mg/L	7,2	6	5,4	5,5	6,1	5,5	0,3	2,2	4,3
Ac. Isobutírico (E)	mg/L	7,2	5,6	5,8	5,4	5,5	5,4	60,9	1,8	2,4
Ef. Rem.	%	0,0	6,7	-7,4	1,8	9,8	1,8	-20200,0	18,2	44,2
Ac. Butírico (A)	mg/L	8,7	6,4	5,9	6,1	6,3	0	0,2	0,3	0,4
Ac. Butírico (E)	mg/L	8,7	6,3	6,5	6	6,1	6	1,2	0,4	0,4
Ef. Rem.	%	0,0	1,6	-10,2	1,6	3,2	-	-500,0	-33,3	0,0
Ac. Isovalérico (A)	mg/L	5,5	5,6	5,5	5,4	6,2	5,4	0	0	0
Ac. Isovalérico (E)	mg/L	5,5	6,6	6,3	5,7	5,6	5,5	0	0	1,2
Ef. Rem.	%	0,0	-17,9	-14,5	-5,6	9,7	-1,9	-	-	-
Ac. Valérico (A)	mg/L	6,2	6,1	0	0	0	6,2	0	0	0
Ac. Valérico (E)	mg/L	6,2	0	6,5	0	0	0	0	0	0,3
Ef. Rem.	%	0,0	100,0	-	-	-	100,0	-	-	-
Ac. Capróico (A)	mg/L	6,9	6,4	6,5	6,5	6,6	6,4	0,1	0	0
Ac. Capróico (E)	mg/L	6,9	7	7,2	6,5	6,4	6,5	0	0	0,6
Ef. Rem.	%	0,0	-9,4	-10,8	0,0	3,0	-1,6	100,0	-	-

* As amostras das semanas 0 a 5 foram analisadas separadamente das amostras das semanas 6 a 8 devido à escala para uso do cromatógrafo.

TABELA 8.2.4: Resultados da Segunda Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E).

Parâmetros	Semana → 0 (partida) 1 2 3 4 5 6 7 8									
	Data → 15/07/02 22/07/02 29/07/02 05/08/02 12/08/02 19/08/02 26/08/02 02/09/02 09/09/02									
	Unidade									
Sólidos										
Sólidos totais (A)	mg/L	5647	5561	5409	5122	5426	5122	5686	4710	5352
Sólidos totais (E)	mg/L	5647	3172	3504	3804	4767	4510	4891	4715	4936
Ef. Rem.	%	0,0	43,0	35,2	25,7	12,1	12,0	14,0	-0,1	7,8
Sólidos totais fixos (A)	mg/L	4368	4047	4119	3847	4226	3892	4249	3716	3849
Sólidos totais fixos (E)	mg/L	4368	2143	2527	2847	3706	3439	3668	3773	3646
Ef. Rem.	%	0,0	47,0	38,7	26,0	12,3	11,6	13,7	-1,5	5,3
Sólidos totais voláteis (A)	mg/L	1279	1514	1290	1276	1200	1230	1437	994	1503
Sólidos totais voláteis (E)	mg/L	1279	1029	978	957	1061	1071	1223	942	1290
Ef. Rem.	%	0,0	32,1	24,2	25,0	11,6	12,9	14,8	5,3	14,2
Sólidos suspensos totais (A)	mg/L	474	305	124	92	95	192	410	97	75
Sólidos suspensos totais (E)	mg/L	474	75	70	51	54	38	45	44	37
Ef. Rem.	%	0,0	75,4	43,5	44,6	43,2	80,2	89,0	54,6	50,7
Sólidos suspensos fixos (A)	mg/L	344	236	70	40	49	117	298	57	30
Sólidos suspensos fixos (E)	mg/L	344	21	14	22	24	7	12	19	10
Ef. Rem.	%	0,0	91,1	80,0	45,0	51,0	94,0	96,0	66,7	66,7
Sólidos suspensos voláteis (A)	mg/L	129	69	54	52	46	75	112	40	45
Sólidos suspensos voláteis (E)	mg/L	129	54	56	29	30	31	33	25	27
Ef. Rem.	%	0,0	22,0	-3,7	44,2	34,8	58,7	70,5	37,5	40,0
Sólidos dissolvidos totais (A)	mg/L	5173	5256	5285	5030	5331	4930	5276	4613	5277
Sólidos dissolvidos totais (E)	mg/L	5173	3097	3434	3753	4713	4472	4846	4671	4899
Ef. Rem.	%	0,0	41,1	35,0	25,4	11,6	9,3	8,1	-1,3	7,2
Sólidos dissolvidos fixos (A)	mg/L	4024	3811	4049	3807	4177	3775	3951	3659	3819
Sólidos dissolvidos fixos (E)	mg/L	4024	2122	2513	2825	3682	3432	3656	3754	3636
Ef. Rem.	%	0,0	44,3	37,9	25,8	11,9	9,1	7,5	-2,6	4,8
Sólidos dissolvidos voláteis (A)	mg/L	1150	1445	1236	1224	1154	1155	1325	954	1458
Sólidos dissolvidos voláteis (E)	mg/L	1150	975	922	928	1031	1040	1190	917	1263
Ef. Rem.	%	0,0	32,5	25,4	24,2	10,6	10,0	10,1	3,9	13,4

TABELA 8.2.5: Resultados da Segunda Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E).

Parâmetros	Semana → 0 (partida) 1 2 3 4 5 6 7 8									
	Data →	15/07/02	22/07/02	29/07/02	05/08/02	12/08/02	19/08/02	26/08/02	02/09/02	09/09/02
	Unidade									
Metais										
Zinco (A)	mg/L	0,18	0,37	0,22	0,09	0,06	0,23	0,24	0,16	0,09
Zinco (E)	mg/L	0,18	0,14	0,07	0,07	>0,01	0,06	0,08	0,08	0,02
Ef. Rem.	%	0,0	62,2	68,2	22,2	100,0	73,9	66,7	50,0	77,8
Chumbo (A)	mg/L	0,04	0,10	0,03	0,06	0,12	0,18	0,12	>0,01	>0,01
Chumbo (E)	mg/L	0,04	0,04	>0,01	0,11	0,08	0,32	0,09	>0,01	0,04
Ef. Rem.	%	0,0	60,0	100,0	-83,3	33,3	-77,8	25,0	-	-
Cádmio (A)	mg/L	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01
Cádmio (E)	mg/L	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Níquel (A)	mg/L	0,03	0,04	0,06	0,01	0,13	0,13	0,12	>0,01	0,06
Níquel (E)	mg/L	0,03	0,02	>0,01	0,05	0,10	0,10	0,10	>0,01	0,07
Ef. Rem.	%	0,0	50,0	100,0	-400,0	23,1	23,1	16,7	-	-16,7
Ferro (A)	mg/L	18,9	13,4	4,35	3,02	4,27	6,93	17,3	4,65	2,66
Ferro (E)	mg/L	18,9	0,87	0,54	>0,01	0,45	0,03	0,37	0,46	0,78
Ef. Rem.	%	0,0	93,5	87,6	100,0	89,5	99,6	97,9	90,1	70,7
Manganês (A)	mg/L	0,22	0,15	0,01	0,03	0,05	0,05	0,18	0,04	>0,01
Manganês (E)	mg/L	0,22	0,28	0,26	0,27	0,29	0,20	0,19	0,18	0,19
Ef. Rem.	%	0,0	-86,7	-2500,0	-800,0	-480,0	-300,0	-5,6	-350,0	-
Cobre (A)	mg/L	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	0,01	0,01	>0,01	>0,01	>0,01
Cobre (E)	mg/L	>0,01	0,05	>0,01	0,03	>0,01	>0,01	>0,01	0,01	>0,01
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	100,0	100,0	-	-	-
Cromo (A)	mg/L	>0,01	>0,01	0,02	0,04	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01
Cromo (E)	mg/L	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01
Ef. Rem.	%	-	-	100,0	100,0	-	-	-	-	-

ANEXO 3

TABELA 8.3.1: Resultados da Terceira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E).

Parâmetros	Unidade \ Data →	Semana → 0 (partida)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
		20/09/02	23/09/02	27/09/02	30/09/02	04/10/02	07/10/02	11/10/02	14/10/02	18/10/02	21/10/02
DQO											
bruta (A)	mg/L	1910	1530	1540	2270	1580	1560	1350	2420	1960	2570
bruta (E)	mg/L	1910	510	380	280	260	230	200	290	365	375
Ef. Rem.	%	0,0	66,7	75,3	87,7	83,5	85,3	85,2	88,0	81,4	85,4
filtrada (A)	mg/L	1460	1420	1450	1510	1410	1430	1300	1640	1540	1810
filtrada (E)	mg/L	1460	460	340	220	190	170	150	240	325	335
Ef. Rem.	%	0,0	67,6	76,6	85,4	86,5	88,1	88,5	85,4	78,9	81,5
pH											
(A)	--	7,46	7,16	7,15	7,00	6,56	6,57	6,67	7,09	6,87	7,22
(E)	--	7,46	6,92	6,83	6,93	6,83	6,73	6,86	6,91	6,88	6,99
Alcalinidade											
Total (A)	mg/L CaCO ₃	518	502	371	376	418	409	552	643	697	927
Total (E)	mg/L CaCO ₃	518	985	909	914	855	857	896	1045	1003	1251
Ef. Rem.	%	0,0	-96,2	-145,0	-143,1	-104,5	-109,5	-62,3	-62,5	-43,9	-35,0
Parcial (A)	mg/L CaCO ₃	468	406	293	230	270	285	378	484	520	783
Parcial (A)	mg/L CaCO ₃	468	846	865	816	834	825	848	1023	907	1197
Ef. Rem.	%	0,0	-108,4	-195,2	-254,8	-208,9	-189,5	-124,3	-111,4	-74,4	-52,9
Intermediária (A)	mg/L CaCO ₃	50	96	78	146	148	124	174	159	177	144
Intermediária (E)	mg/L CaCO ₃	50	139	44	98	21	32	48	22	96	54
Ef. Rem.	%	0,0	-44,8	43,6	32,9	85,8	74,2	72,4	86,2	45,8	62,5
À ácidos (A)	mg/L CaCO ₃	75	121	111	205	127	165	163	210	157	166
À ácidos (E)	mg/L CaCO ₃	75	111	61	52	16	28	21	32	42	32
Ef. Rem.	%	0,0	8,1	45,6	74,8	87,2	82,9	87,0	84,5	73,1	80,9
À bicarbonato (A)	mg/L CaCO ₃	443	381	260	171	291	244	389	433	540	761
À bicarbonato (E)	mg/L CaCO ₃	443	874	848	862	839	829	875	1013	961	1219
Ef. Rem.	%	0,0	-129,5	-226,9	-403,2	-188,2	-239,8	-124,9	-133,6	-78,0	-60,3

TABELA 8.3.1: Resultados da Terceira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E). (continuação)

Parâmetros	Semana →	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5
	Unidade \ Data →	25/10/02	28/10/02	01/11/02	04/11/02	08/11/02	11/11/02	15/11/02	18/11/02	22/11/02	25/11/02
DQO											
bruta (A)	mg/L	2460	1810	2150	1700	1460	1450	1360	1375	1410	1660
bruta (E)	mg/L	370	590	530	600	620	575	615	645	625	515
Ef. Rem.	%	85,0	67,4	75,3	64,7	57,5	60,3	54,8	53,1	55,7	69,0
filtrada (A)	mg/L	1705	1510	1760	1600	1275	1360	1210	1325	1350	1540
filtrada (E)	mg/L	335	550	485	545	550	540	545	605	590	490
Ef. Rem.	%	80,4	63,6	72,4	65,9	56,9	60,3	55,0	54,3	56,3	68,2
pH											
(A)	--	7,34	7,59	7,6	7,75	7,57	7,25	7,42	7,48	7,40	7,34
(E)	--	7,1	7,28	7,26	7,25	7,33	7,21	7,23	7,22	7,21	7,21
Alcalinidade											
Total (A)	mg/L CaCO ₃	808	1521	1465	1399	1414	1137	1400	1346	1256	588
Total (E)	mg/L CaCO ₃	1251	1717	1673	1679	1663	1485	1542	1515	1490	1604
Ef. Rem.	%	-54,8	-12,9	-14,2	-20,0	-17,6	-30,6	-10,1	-12,6	-18,6	-172,8
Parcial (A)	mg/L CaCO ₃	488	1372	1128	1175	1156	980	1121	1150	1130	347
Parcial (A)	mg/L CaCO ₃	1172	1532	1340	1330	1443	1283	1281	1251	1263	1358
Ef. Rem.	%	-140,2	-11,7	-18,8	-13,2	-24,8	-30,9	-14,3	-8,8	-11,8	-291,4
Intermediária (A)	mg/L CaCO ₃	320	149	337	224	258	157	279	196	126	241
Intermediária (E)	mg/L CaCO ₃	79	185	333	349	220	202	261	264	227	246
Ef. Rem.	%	75,3	-24,2	1,2	-55,8	14,7	-28,7	6,5	-34,7	-80,2	-2,1
À ácidos (A)	mg/L CaCO ₃	218	135	247	85	116	148	103	103	116	207
À ácidos (E)	mg/L CaCO ₃	34	42	32	52	34	36	49	36	49	45
Ef. Rem.	%	84,5	68,6	87,1	39,7	70,9	75,7	52,1	65,1	57,6	78,2
À bicarbonato (A)	mg/L CaCO ₃	590	1386	1218	1314	1298	989	1297	1243	1140	381
À bicarbonato (E)	mg/L CaCO ₃	1217	1675	1641	1627	1629	1449	1493	1479	1441	1559
Ef. Rem.	%	-106,3	-20,8	-34,7	-23,9	-25,6	-46,5	-15,1	-19,0	-26,4	-308,8

TABELA 8.3.1: Resultados da Terceira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E). (continuação)

Parâmetros	Semana →	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5
	Unidade \ Data →	29/11/02	02/12/02	06/12/02	09/12/02	13/12/02	16/12/02	20/12/02	24/12/02
DQO									
bruta (A)	mg/L	1440	1560	1750	1860	3670	5060	4870	5260
bruta (E)	mg/L	335	330	360	405	790	1010	1010	1130
Ef. Rem.	%	76,7	78,8	79,4	78,2	78,5	80,0	79,3	78,5
filtrada (A)	mg/L	1330	1490	1590	1740	3420	4555	4490	4890
filtrada (E)	mg/L	295	270	325	360	710	890	930	990
Ef. Rem.	%	77,8	81,9	79,6	79,3	79,2	80,5	79,3	79,8
pH									
(A)	--	6,93	7,1	7,48	7,46	7,64	7,59	7,43	7,57
(E)	--	7	6,97	7,22	7,36	7,53	7,56	7,44	7,5
Alcalinidade									
Total (A)	mg/L CaCO ₃	591	583	1141	1216	2517	2746	2922	3078
Total (E)	mg/L CaCO ₃	870	832	1177	1309	2412	2817	3021	3078
Ef. Rem.	%	-47,2	-42,7	-3,2	-7,6	4,2	-2,6	-3,4	0,0
Parcial (A)	mg/L CaCO ₃	378	372	708	728	1756	1814	1878	1959
Parcial (A)	mg/L CaCO ₃	790	752	1006	1077	2074	2409	2649	2637
Ef. Rem.	%	-109,0	-102,2	-42,1	-47,9	-18,1	-32,8	-41,1	-34,6
Intermediária (A)	mg/L CaCO ₃	213	211	433	488	761	932	1044	1119
Intermediária (E)	mg/L CaCO ₃	80	80	171	232	338	408	372	441
Ef. Rem.	%	62,4	62,1	60,5	52,5	55,6	56,2	64,4	60,6
À ácidos (A)	mg/L CaCO ₃	202	211	279	368	700	948	1055	1301
À ácidos (E)	mg/L CaCO ₃	30	25	34	40	85	101	99	95
Ef. Rem.	%	85,0	88,0	87,8	89,1	87,8	89,4	90,6	92,7
À bicarbonato (A)	mg/L CaCO ₃	389	372	862	848	1817	1798	1867	1777
À bicarbonato (E)	mg/L CaCO ₃	840	807	1143	1269	2327	2716	2922	2983
Ef. Rem.	%	-115,7	-116,8	-32,6	-49,7	-28,0	-51,1	-56,5	-67,9

TABELA 8.3.2: Resultados da Terceira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E).

Parâmetros	Semana → 0 (partida) 0,5 1 1,5 2 2,5 3 3,5 4 4,5										
	Unidade \ Data →	20/09/02	23/09/02	27/09/02	30/09/02	04/10/02	07/10/02	11/10/02	14/10/02	18/10/02	21/10/02
DBO											
bruta (A)	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
bruta (E)	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eh*											
(A)	mV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(E)	mV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coliformes											
Totais (A)	NMP/100mL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totais (E)	NMP/100mL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fecais (A)	NMP/100mL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fecais (E)	NMP/100mL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio											
Total (A)	mg NH ₃ /L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total (E)	mg NH ₃ /L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Orgânico (A)	mg NH ₃ /L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Orgânico (E)	mg NH ₃ /L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amoniacal (A)	mg NH ₃ /L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amoniacal (E)	mg NH ₃ /L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gás											
Nitrogênio e outros	%	-	7,1	-	13,5	-	9	-	9,8	20,5	31,7
Metano	%	-	72,1	-	66,1	-	66,4	-	65,6	64,3	58,2
Gás Carbônico	%	-	20,8	-	20,4	-	24,6	-	24,6	15,2	10,1
Volume de gás	L/semana	0	-	48	-	65	-	70	-	65	-

* Problemas no fornecimento de material para medida do parâmetro.

TABELA 8.3.2: Resultados da Terceira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E). (continuação)

Parâmetros	Semana →	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5
	Unidade \ Data →	25/10/02	28/10/02	01/11/02	04/11/02	08/11/02	11/11/02	15/11/02	18/11/02	22/11/02	25/11/02
DBO											
bruta (A)	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
bruta (E)	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eh*											
(A)	mV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(E)	mV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coliformes											
Totais (A)	NMP/100mL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totais (E)	NMP/100mL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fecais (A)	NMP/100mL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fecais (E)	NMP/100mL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio											
Total (A)	mg NH ₃ /L	-	-	-	-	-	-	-	244	-	-
Total (E)	mg NH ₃ /L	-	-	-	-	-	-	-	234	-	-
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-	4,1	-	-
Orgânico (A)	mg NH ₃ /L	-	-	-	-	-	-	-	199	-	-
Orgânico (E)	mg NH ₃ /L	-	-	-	-	-	-	-	220	-	-
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-	-10,6	-	-
Amoniacal (A)	mg NH ₃ /L	-	-	-	-	-	-	-	45	-	-
Amoniacal (E)	mg NH ₃ /L	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-	68,9	-	-
Gás											
Nitrogênio e outros	%	7,9	-	12,5	19	9,1	6,5	-	15,7	-	7,9
Metano	%	75,3	-	72,3	68,3	71,6	74,9	-	66,2	-	75,3
Gás Carbônico	%	16,8	-	15,2	12,3	19,3	18,6	-	18,1	-	16,8
Volume de gás	L/semana	-	48	-	50	-	51	-	44	-	-

* Problemas no fornecimento de material para medida do parâmetro.

TABELA 8.3.2: Resultados da Terceira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E). (continuação)

Parâmetros	Semana →	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5
	Unidade \ Data →	29/11/02	02/12/02	06/12/02	09/12/02	13/12/02	16/12/02	20/12/02	24/12/02
DBO									
bruta (A)	mg/L	-	-	-	-	-	4.800	-	-
bruta (E)	mg/L	-	-	-	-	-	420	-	-
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	-	91,3	-	-
Eh*									
(A)	mV	-	-	-	-	-	-193	-	-192
(E)	mV	-	-	-	-	-	-190	-	-197
Coliformes									
Totais (A)	NMP/100mL	-	-	-	-	3,54E+04	3,94E+04	4,69E+04	2,28E+04
Totais (E)	NMP/100mL	-	-	-	-	1,50E+04	3,45E+04	1,10E+04	7,66E+03
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	57,6	12,4	76,5	66,4
Fecais (A)	NMP/100mL	-	-	-	-	1,57E+03	3,99E+03	1,07E+03	2,64E+03
Fecais (E)	NMP/100mL	-	-	-	-	4,95E+03	1,32E+03	1,04E+03	1,61E+03
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	-215,3	66,9	2,8	39,0
Nitrogênio									
Total (A)		-	-	-	-	303	354	376	394
Total (E)		-	-	-	-	266	329	348	359
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	12,2	7,1	7,4	8,9
Orgânico (A)		-	-	-	-	272	332	325	335
Orgânico (E)		-	-	-	-	246	296	334	337
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	9,6	10,8	-2,8	-0,6
Amoniacal (A)		-	-	-	-	31	22	51	59
Amoniacal (E)		-	-	-	-	20	33	14	22
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	35,5	-50,0	72,5	62,7
Gás									
Nitrogênio e outros	%	28,4	6,3	10	3,7	27,5	4,9	4,5	5,3
Metano	%	57,5	75,9	79,2	83,2	57,2	79,4	77,4	77,2
Gás Carbônico	%	14,1	17,8	10,8	13,1	15,34	15,7	18,1	17,5
Volume de gás	L/semana		55		68		181		228

* Problemas no fornecimento de material para medida do parâmetro.

TABELA 8.3.3: Resultados da Terceira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E).

Parâmetros	Semana → 0 (partida) 0,5 1 1,5 2 2,5 3 3,5 4 4,5										
	Unidade \ Data →	20/09/02	23/09/02	27/09/02	30/09/02	04/10/02	07/10/02	11/10/02	14/10/02	18/10/02	21/10/02
Ácidos Voláteis (Titulação)											
Totais (A)	mg/L Ac. Acet.	106	172	158	290	180	234	231	297	223	236
Totais (E)	mg/L Ac. Acet.	106	158	86	73	23	40	30	46	60	45
Ef. Rem.	%	0,0	8,1	45,6	74,8	87,2	82,9	87,0	84,5	73,1	80,9
Ácidos Voláteis (Cromatografia)											
Ácidos Voláteis Totais (A)	mg/L	-	-	251,9	-	326,4	-	174,6	-	211,9	-
Ácidos Voláteis Totais (E)	mg/L	-	-	13,5	-	9,8	-	12,7	-	61,3	-
Ef. Rem.	%	-	-	94,6	-	97,0	-	92,7	-	71,1	-
Ac. Acético (A)	mg/L	-	-	145,8	-	197,4	-	154,8	-	170,4	-
Ac. Acético (E)	mg/L	-	-	8,2	-	9,1	-	11,4	-	25,6	-
Ef. Rem.	%	-	-	94,4	-	95,4	-	92,6	-	85,0	-
Ac. Propiônico (A)	mg/L	-	-	104,8	-	124,2	-	17,4	-	36,6	-
Ac. Propiônico (E)	mg/L	-	-	1,6	-	0,7	-	0,8	-	24,3	-
Ef. Rem.	%	-	-	98,5	-	99,4	-	95,4	-	33,6	-
Ac. Isobutírico (A)	mg/L	-	-	0,5	-	0,9	-	1,1	-	1,1	-
Ac. Isobutírico (E)	mg/L	-	-	1	-	0	-	0,5	-	3,4	-
Ef. Rem.	%	-	-	-100,0	-	100,0	-	54,5	-	-209,1	-
Ac. Butírico (A)	mg/L	-	-	0,3	-	2	-	0,6	-	1,6	-
Ac. Butírico (E)	mg/L	-	-	0	-	0	-	0	-	1,3	-
Ef. Rem.	%	-	-	100,0	-	100,0	-	100,0	-	18,8	-
Ac. Isovalérico (A)	mg/L	-	-	0,4	-	1,7	-	0,6	-	1,4	-
Ac. Isovalérico (E)	mg/L	-	-	2,2	-	0	-	0	-	4,8	-
Ef. Rem.	%	-	-	-450,0	-	100,0	-	100,0	-	-242,9	-
Ac. Valérico (A)	mg/L	-	-	0	-	0,1	-	0	-	0,2	-
Ac. Valérico (E)	mg/L	-	-	0	-	0	-	0	-	1,4	-
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	100,0	-	-	-	-600,0	-
Ac. Capróico (A)	mg/L	-	-	0	-	0	-	0,1	-	0,6	-
Ac. Capróico (E)	mg/L	-	-	0,5	-	0,1	-	0	-	0,5	-
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	-	-	100,0	-	16,7	-

TABELA 8.3.3: Resultados da Terceira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E). (continuação)

Parâmetros	Semana →	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5
	Unidade \ Data →	25/10/02	28/10/02	01/11/02	04/11/02	08/11/02	11/11/02	15/11/02	18/11/02	22/11/02	25/11/02
Ácidos Voláteis (Titulação)											
Totais (A)	mg/L Ac. Acet.	309	191	350	121	165	210	146	146	165	293
Totais (E)	mg/L Ac. Acet.	48	60	45	73	48	51	70	51	70	64
Ef. Rem.	%	84,5	68,6	87,1	39,7	70,9	75,7	52,1	65,1	57,6	78,2
Ácidos Voláteis (Cromatografia)											
Ácidos Voláteis Totais (A)	mg/L	431,7	162	394	146	134	146	129	118	192	167
Ácidos Voláteis Totais (E)	mg/L	11	12	0	0	0	0	0	0	0	0
Ef. Rem.	%	97,5	92,6	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Ac. Acético (A)	mg/L	216,1	110	224	139	116	124	115	111	122	123
Ac. Acético (E)	mg/L	6,4	12	0	0	0	0	0	0	0	0
Ef. Rem.	%	97,0	89,1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Ac. Propiônico (A)	mg/L	206,5	52	169	7	18	22	14	7	69	44
Ac. Propiônico (E)	mg/L	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ef. Rem.	%	98,5	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Ac. Isobutírico (A)	mg/L	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ac. Isobutírico (E)	mg/L	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ef. Rem.	%	46,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ac. Butírico (A)	mg/L	4,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ac. Butírico (E)	mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ef. Rem.	%	100,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ac. Isovalérico (A)	mg/L	3,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ac. Isovalérico (E)	mg/L	0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ef. Rem.	%	79,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ac. Valérico (A)	mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ac. Valérico (E)	mg/L	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ac. Capróico (A)	mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ac. Capróico (E)	mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

TABELA 8.3.3: Resultados da Terceira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E). (continuação)

Parâmetros	Semana →	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5
	Unidade \ Data →	29/11/02	02/12/02	06/12/02	09/12/02	13/12/02	16/12/02	20/12/02	24/12/02
Ácidos Voláteis (Titulação)									
Totais (A)	mg/L Ac. Acet.	286	299	395	522	992	1344	1495	1844
Totais (E)	mg/L Ac. Acet.	43	36	48	57	121	143	140	134
Ef. Rem.	%	85,0	88,0	87,8	89,1	87,8	89,4	90,6	92,7
Ácidos Voláteis (Cromatografia)									
Ácidos Voláteis Totais (A)	mg/L	185	195	360	416	2650	2358	2773	1762
Ácidos Voláteis Totais (E)	mg/L	0	11	0	0	0	0	0	0
Ef. Rem.	%	100,0	94,4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Ac. Acético (A)	mg/L	143	139	177	212	1055	1028	1131	710
Ac. Acético (E)	mg/L	0	11	0	0	0	0	0	0
Ef. Rem.	%	100,0	92,1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Ac. Propiônico (A)	mg/L	42	54	114	127	729	611	734	461
Ac. Propiônico (E)	mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0
Ef. Rem.	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Ac. Isobutírico (A)	mg/L	0	0	0	0	126	103	126	78
Ac. Isobutírico (E)	mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	100,0	100,0	100,0	100,0
Ac. Butírico (A)	mg/L	0	0	30	33	250	198	268	184
Ac. Butírico (E)	mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0
Ef. Rem.	%	-	-	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Ac. Isovalérico (A)	mg/L	0	0	0	0	88	71	93	55
Ac. Isovalérico (E)	mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	100,0	100,0	100,0	100,0
Ac. Valérico (A)	mg/L	0	0	21	23	209	169	233	150
Ac. Valérico (E)	mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0
Ef. Rem.	%	-	-	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Ac. Capróico (A)	mg/L	0	0	19	21	193	179	189	123
Ac. Capróico (E)	mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0
Ef. Rem.	%	-	-	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

TABELA 8.3.4: Resultados da Terceira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E).

Parâmetros	Semana → 0 (partida) 0,5 1 1,5 2 2,5 3 3,5 4 4,5										
	Data → 20/09/02 23/09/02 27/09/02 30/09/02 04/10/02 07/10/02 11/10/02 14/10/02 18/10/02 21/10/02										
	Unidade										
Sólidos											
Sólidos totais (A)	mg/L	2322	1765	1974	2116	1948	1753	1519	2470	2386	3027
Sólidos totais (E)	mg/L	2322	1520	1179	1313	1201	1059	1303	1592	1494	1814
Ef. Rem.	%	0,0	13,9	40,3	37,9	38,3	39,6	14,2	35,5	37,4	40,1
Sólidos totais fixos (A)	mg/L	466	656	881	773	817	698	802	1055	1123	1523
Sólidos totais fixos (E)	mg/L	466	939	562	868	759	724	910	1002	1029	1326
Ef. Rem.	%	0,0	-43,1	36,2	-12,2	7,1	-3,7	-13,4	5,0	8,4	12,9
Sólidos totais voláteis (A)	mg/L	1857	1109	1093	1342	1131	1055	716	1415	1262	1505
Sólidos totais voláteis (E)	mg/L	1857	581	617	445	442	335	393	590	466	488
Ef. Rem.	%	0,0	47,6	43,6	66,8	60,9	68,2	45,2	58,3	63,1	67,6
Sólidos suspensos totais (A)	mg/L	364	34	125	444	127	132	54	430	251	500
Sólidos suspensos totais (E)	mg/L	364	57	49	53	39	49	35	36	52	49
Ef. Rem.	%	0,0	-67,6	61,1	88,2	69,6	63,2	34,6	91,6	79,3	90,2
Sólidos suspensos fixos (A)	mg/L	12	2	6	25	14	12	4	33	33	72
Sólidos suspensos fixos (E)	mg/L	12	5	5	12	10	5	5	3	9	9
Ef. Rem.	%	0,0	-150,0	11,1	52,0	28,6	56,7	-16,7	92,0	71,7	87,5
Sólidos suspensos voláteis (A)	mg/L	352	32	119	419	113	120	50	396	218	428
Sólidos suspensos voláteis (E)	mg/L	352	52	43	41	29	43	31	33	43	40
Ef. Rem.	%	0,0	-62,5	63,6	90,3	74,6	63,9	38,7	91,6	80,4	90,7
Sólidos dissolvidos totais (A)	mg/L	1958	1731	1849	1671	1821	1621	1465	2040	2135	2527
Sólidos dissolvidos totais (E)	mg/L	1958	1463	1130	1260	1162	1010	1267	1556	1442	1765
Ef. Rem.	%	0,0	15,5	38,9	24,6	36,2	37,7	13,5	23,7	32,4	30,2
Sólidos dissolvidos fixos (A)	mg/L	454	654	875	748	803	686	798	1022	1090	1451
Sólidos dissolvidos fixos (E)	mg/L	454	934	557	856	749	719	905	999	1020	1317
Ef. Rem.	%	0,0	-42,8	36,4	-14,4	6,7	-4,8	-13,4	2,2	6,5	9,2
Sólidos dissolvidos voláteis (A)	mg/L	1505	1077	974	923	1018	935	666	1019	1044	1077
Sólidos dissolvidos voláteis (E)	mg/L	1505	529	573	404	413	292	362	557	423	448
Ef. Rem.	%	0,0	50,9	41,2	56,2	59,4	68,8	45,7	45,3	59,5	58,4

TABELA 8.3.4: Resultados da Terceira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E). (continuação)

Parâmetros	Semana →	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5
	Data →	25/10/02	28/10/02	01/11/02	04/11/02	08/11/02	11/11/02	15/11/02	18/11/02	22/11/02	25/11/02
	Unidade										
Sólidos											
Sólidos totais (A)	mg/L	3824	3564	4081	3031	3196	2695	3140	3164	3167	2363
Sólidos totais (E)	mg/L	1934	2632	2595	2565	2710	2254	2587	2525	2607	1888
Ef. Rem.	%	49,4	26,1	36,4	15,4	15,2	16,4	17,6	20,2	17,7	20,1
Sólidos totais fixos (A)	mg/L	1346	1839	2389	1971	1632	1394	1716	1702	1683	1211
Sólidos totais fixos (E)	mg/L	1180	1575	1924	2052	1724	1469	1760	1787	1757	1297
Ef. Rem.	%	12,3	14,3	19,4	-4,1	-5,6	-5,4	-2,6	-5,0	-4,4	-7,1
Sólidos totais voláteis (A)	mg/L	2478	1725	1693	1060	1564	1301	1423	1462	1483	1152
Sólidos totais voláteis (E)	mg/L	754	1057	670	513	986	785	827	738	850	591
Ef. Rem.	%	69,6	38,7	60,4	51,6	37,0	39,7	41,9	49,5	42,7	48,7
Sólidos suspensos totais (A)	mg/L	582	287	463	75	124	67	97	73	98	71
Sólidos suspensos totais (E)	mg/L	37	33	29	40	32	39	41	43	39	40
Ef. Rem.	%	93,7	88,6	93,7	47,0	74,2	41,6	57,2	41,3	60,2	43,7
Sólidos suspensos fixos (A)	mg/L	56	94	222	14	28	11	25	13	22	13
Sólidos suspensos fixos (E)	mg/L	3	4	5	3	7	3	8	5	7	6
Ef. Rem.	%	95,2	95,8	97,6	80,8	76,2	75,0	68,4	57,9	68,2	53,8
Sólidos suspensos voláteis (A)	mg/L	526	193	241	62	96	57	71	60	76	58
Sólidos suspensos voláteis (E)	mg/L	34	29	24	37	25	37	33	37	32	34
Ef. Rem.	%	93,5	85,1	90,1	39,4	73,6	35,3	53,3	37,8	57,9	41,4
Sólidos dissolvidos totais (A)	mg/L	3242	3277	3618	2956	3072	2628	3043	3092	3069	2292
Sólidos dissolvidos totais (E)	mg/L	1897	2600	2565	2525	2678	2214	2545	2482	2568	1847
Ef. Rem.	%	41,5	20,7	29,1	14,6	12,8	15,7	16,4	19,7	16,3	19,4
Sólidos dissolvidos fixos (A)	mg/L	1290	1745	2167	1957	1604	1383	1691	1690	1662	1198
Sólidos dissolvidos fixos (E)	mg/L	1177	1571	1919	2049	1717	1466	1752	1782	1750	1291
Ef. Rem.	%	8,8	9,9	11,4	-4,7	-7,1	-6,0	-3,6	-5,4	-5,3	-7,8
Sólidos dissolvidos voláteis (A)	mg/L	1952	1532	1451	998	1468	1245	1352	1402	1407	1094
Sólidos dissolvidos voláteis (E)	mg/L	720	1029	646	476	961	748	793	701	818	557
Ef. Rem.	%	63,1	32,9	55,5	52,4	34,6	39,9	41,3	50,0	41,9	49,1

TABELA 8.3.4: Resultados da Terceira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E). (continuação)

Parâmetros	Semana →	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5
	Data →	29/11/02	02/12/02	06/12/02	09/12/02	13/12/02	16/12/02	20/12/02	24/12/02
	Unidade								
Sólidos									
Sólidos totais (A)	mg/L	1961	2058	2539	2840	5363	6188	6637	6404
Sólidos totais (E)	mg/L	1528	1412	1922	2386	3739	4549	4842	4653
Ef. Rem.	%	22,1	31,4	24,3	16,0	30,3	26,5	27,1	27,3
Sólidos totais fixos (A)	mg/L	975	979	1285	1322	2626	3350	3494	3689
Sólidos totais fixos (E)	mg/L	1067	947	1180	1329	2532	3152	3262	3287
Ef. Rem.	%	-9,4	3,2	8,1	-0,5	3,6	5,9	6,6	10,9
Sólidos totais voláteis (A)	mg/L	986	1079	1254	1517	2736	2838	3144	2715
Sólidos totais voláteis (E)	mg/L	461	465	741	1057	1207	1397	1580	1366
Ef. Rem.	%	53,3	56,9	40,9	30,3	55,9	50,8	49,7	49,7
Sólidos suspensos totais (A)	mg/L	57	51	82	100	202	236	327	369
Sólidos suspensos totais (E)	mg/L	41	54	48	48	101	110	61	105
Ef. Rem.	%	29,1	-5,2	41,8	51,7	49,9	53,4	81,5	71,5
Sólidos suspensos fixos (A)	mg/L	9	5	21	39	52	80	94	137
Sólidos suspensos fixos (E)	mg/L	6	16	16	18	32	36	15	31
Ef. Rem.	%	30,8	-200,0	25,7	53,5	37,5	55,0	83,7	77,4
Sólidos suspensos voláteis (A)	mg/L	49	46	61	61	150	156	233	231
Sólidos suspensos voláteis (E)	mg/L	35	38	32	30	69	74	45	74
Ef. Rem.	%	28,8	17,4	47,4	50,5	54,2	52,6	80,6	68,0
Sólidos dissolvidos totais (A)	mg/L	1904	2006	2457	2740	5161	5952	6310	6035
Sólidos dissolvidos totais (E)	mg/L	1487	1358	1874	2338	3638	4439	4781	4548
Ef. Rem.	%	21,9	32,3	23,7	14,7	29,5	25,4	24,2	24,6
Sólidos dissolvidos fixos (A)	mg/L	966	973	1264	1283	2574	3270	3400	3552
Sólidos dissolvidos fixos (E)	mg/L	1061	931	1165	1311	2499	3116	3247	3256
Ef. Rem.	%	-9,8	4,4	7,8	-2,2	2,9	4,7	4,5	8,3
Sólidos dissolvidos voláteis (A)	mg/L	938	1033	1193	1456	2586	2682	2910	2484
Sólidos dissolvidos voláteis (E)	mg/L	426	427	709	1027	1138	1323	1535	1292
Ef. Rem.	%	54,5	58,7	40,5	29,5	56,0	50,7	47,3	48,0

TABELA 8.3.5: Resultados da Terceira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E).

Parâmetros	Unidade	Semana →	0 (partida)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
		Data →	20/09/02	23/09/02	27/09/02	30/09/02	04/10/02	07/10/02	11/10/02	14/10/02	18/10/02	21/10/02
Metais												
Zinco (A)	mg/L		0,09	0,28	-	0,34	-	0,29	-	0,31	0,41	0,63
Zinco (E)	mg/L		0,09	> 0,01	-	0,09	-	0,06	-	0,05	0,02	0,01
Ef. Rem.	%		0,0	100,0	-	73,5	-	79,3	-	83,9	95,1	98,4
Chumbo (A)	mg/L		> 0,01	0,09	-	> 0,01	-	> 0,01	-	> 0,01	> 0,01	> 0,01
Chumbo (E)	mg/L		> 0,01	0,14	-	> 0,01	-	> 0,01	-	> 0,01	> 0,01	> 0,01
Ef. Rem.	%		-	-55,6	-	-	-	-	-	-	-	-
Cádmio (A)	mg/L		> 0,01	> 0,01	-	> 0,01	-	> 0,01	-	> 0,01	> 0,01	> 0,01
Cádmio (E)	mg/L		> 0,01	> 0,01	-	> 0,01	-	> 0,01	-	> 0,01	> 0,01	> 0,01
Ef. Rem.	%		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Níquel (A)	mg/L		> 0,01	> 0,01	-	> 0,01	-	> 0,01	-	> 0,01	> 0,01	> 0,01
Níquel (E)	mg/L		> 0,01	> 0,01	-	> 0,01	-	> 0,01	-	> 0,01	> 0,01	> 0,01
Ef. Rem.	%		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ferro (A)	mg/L		0,30	0,28	-	0,15	-	0,16	-	0,95	0,82	3,45
Ferro (E)	mg/L		0,30	0,51	-	0,25	-	0,18	-	0,12	0,04	> 0,01
Ef. Rem.	%		0,0	-82,1	-	-66,7	-	-12,5	-	87,4	95,1	100,0
Manganês (A)	mg/L		0,10	> 0,01	-	> 0,01	-	0,12	-	> 0,01	0,01	0,05
Manganês (E)	mg/L		0,10	0,07	-	0,03	-	0,20	-	0,06	0,04	0,05
Ef. Rem.	%		0,0	-	-	-	-	-66,7	-	-	-300,0	0,0
Cobre (A)	mg/L		> 0,01	> 0,01	-	> 0,01	-	> 0,01	-	> 0,01	> 0,01	> 0,01
Cobre (E)	mg/L		> 0,01	> 0,01	-	0,01	-	> 0,01	-	> 0,01	> 0,01	> 0,01
Ef. Rem.	%		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cromo (A)	mg/L		> 0,01	> 0,01	-	> 0,01	-	> 0,01	-	> 0,01	> 0,01	> 0,01
Cromo (E)	mg/L		> 0,01	> 0,01	-	> 0,01	-	> 0,01	-	> 0,01	> 0,01	> 0,01
Ef. Rem.	%		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

TABELA 8.3.5: Resultados da Terceira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E). (continuação)

Parâmetros	Semana →											
		5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	
	Data →	25/10/02	28/10/02	01/11/02	04/11/02	08/11/02	11/11/02	15/11/02	18/11/02	22/11/02	25/11/02	
Unidade												
Metais												
Zinco (A)	mg/L	0,45	0,41	0,51	0,29	0,24	0,28	0,15	0,33	0,27	0,41	
Zinco (E)	mg/L	0,03	0,07	0,10	0,06	0,02	0,05	0,10	0,04	0,02	0,01	
Ef. Rem.	%	93,3	82,9	80,4	79,3	91,7	82,1	33,3	87,9	92,6	97,6	
Chumbo (A)	mg/L	> 0,01	> 0,01	> 0,01	> 0,01	> 0,01	> 0,01	> 0,01	> 0,01	>0,01	>0,01	
Chumbo (E)	mg/L	> 0,01	> 0,01	> 0,01	> 0,01	> 0,01	> 0,01	> 0,01	> 0,01	>0,01	>0,01	
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cádmio (A)	mg/L	> 0,01	> 0,01	> 0,01	> 0,01	> 0,01	> 0,01	> 0,01	> 0,01	>0,01	>0,01	
Cádmio (E)	mg/L	> 0,01	> 0,01	> 0,01	> 0,01	> 0,01	> 0,01	> 0,01	> 0,01	>0,01	>0,01	
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Níquel (A)	mg/L	> 0,01	> 0,01	0,04	0,05	> 0,01	> 0,01	0,02	0,02	0,02	>0,01	
Níquel (E)	mg/L	> 0,01	> 0,01	0,03	0,02	> 0,01	> 0,01	0,02	0,02	0,02	0,06	
Ef. Rem.	%	-	-	25,0	60,0	-	-	0	0	0	-	
Ferro (A)	mg/L	6,47	4,05	20,57	1,10	1,23	1,08	1,73	1,40	1,55	6,45	
Ferro (E)	mg/L	> 0,01	0,04	0,17	0,39	0,33	0,40	0,60	0,44	0,48	0,58	
Ef. Rem.	%	100,0	99,0	99,2	64,5	73,2	63,0	65,3	68,6	69,0	91,0	
Manganês (A)	mg/L	0,14	0,08	0,13	0,02	0,01	0,01	0,04	0,03	0,03	0,33	
Manganês (E)	mg/L	0,05	0,06	0,05	0,04	0,05	0,04	0,06	0,05	0,04	0,10	
Ef. Rem.	%	64,3	25,0	61,5	-100,0	-400,0	-300,0	-50,0	-66,7	-33,3	69,7	
Cobre (A)	mg/L	0,01	> 0,01	0,02	0,01	> 0,01	> 0,01	> 0,01	> 0,01	>0,01	>0,01	
Cobre (E)	mg/L	> 0,01	> 0,01	0,01	> 0,01	> 0,01	> 0,01	> 0,01	> 0,01	>0,01	>0,01	
Ef. Rem.	%	100,0	-	50,0	100,0	-	-	-	-	-	-	
Cromo (A)	mg/L	0,03	> 0,01	0,05	0,02	0,02	0,05	> 0,01	> 0,01	>0,01	>0,01	
Cromo (E)	mg/L	> 0,01	> 0,01	0,02	0,03	0,06	> 0,01	> 0,01	> 0,01	>0,01	>0,01	
Ef. Rem.	%	100,0	-	60,0	-50,0	-200,0	100,0	-	-	-	-	

TABELA 8.3.5: Resultados da Terceira Etapa. Amostras afluentes (A) e efluentes (E). (continuação)

Parâmetros	Semana →	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5
	Data →	29/11/02	02/12/02	06/12/02	09/12/02	13/12/02	16/12/02	20/12/02	24/12/02
	Unidade								
Metais									
Zinco (A)	mg/L	0,24	0,36	0,27	0,31	0,35	0,16	0,59	0,20
Zinco (E)	mg/L	0,08	0,03	0,17	0,09	0,10	0,04	0,08	0,05
Ef. Rem.	%	66,7	91,7	37,0	71,0	71,4	75,0	86,4	75,0
Chumbo (A)	mg/L	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	2,95	>0,01	>0,01	>0,01
Chumbo (E)	mg/L	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	100,0	-	-	-
Cádmio (A)	mg/L	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01
Cádmio (E)	mg/L	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-	-
Níquel (A)	mg/L	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	0,06	0,10	0,13	0,06
Níquel (E)	mg/L	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	0,03	0,03	0,04	0,13
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	50,0	70,0	69,2	-116,7
Ferro (A)	mg/L	4,32	5,38	13,41	14,81	17,80	20,20	24,20	21,20
Ferro (E)	mg/L	1,40	2,52	5,23	5,68	9,10	6,46	5,30	9,30
Ef. Rem.	%	67,6	53,2	61,0	61,7	48,9	68,0	78,1	56,1
Manganês (A)	mg/L	0,27	0,30	0,64	0,65	1,31	1,51	1,53	1,53
Manganês (E)	mg/L	0,19	0,23	0,41	0,58	0,98	0,57	0,39	0,15
Ef. Rem.	%	29,6	23,3	35,9	10,8	25,2	62,3	74,5	90,2
Cobre (A)	mg/L	>0,01	0,03	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01
Cobre (E)	mg/L	>0,01	0,01	>0,01	>0,01	>0,01	0,06	>0,01	>0,01
Ef. Rem.	%	-	66,7	-	-	-	-	-	-
Cromo (A)	mg/L	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01
Cromo (E)	mg/L	>0,01	>0,01	0,02	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01	>0,01
Ef. Rem.	%	-	-	-	-	-	-	-	-

TABELA 8.3.6: Resultados do Primeiro Perfil da Terceira Etapa (Sem adição de percolado ao substrato).

Data: 11/10/2002

Parâmetros	Unidade	Amostrador					
		1 – (Entrada)	2 – (Interm.)	3 – (Interm.)	4 – (Interm.)	5 – (Interm.)	6 – (Saída)
DQO							
Bruta	mg/L	1350	770	570	280	210	200
Eficiência do Trecho	%	0,00	42,96	14,81	21,48	5,19	0,74
Eficiência Acumulada	%	0,00	42,96	57,78	79,26	84,44	85,19
Filtrada	mg/L	1300	720	540	190	170	150
Eficiência do Trecho	%	0,00	44,62	13,85	26,92	1,54	1,54
Eficiência Acumulada	%	0,00	44,62	58,46	85,38	86,92	88,46
pH	-	6,67	6,72	6,79	6,86	6,87	6,86
Alcalinidade Total							
Total (até pH = 4,3)	mg/L CaCO ₃	552	774	848	903	991	896
Parcial (até pH = 5,75)	mg/L CaCO ₃	378	617	700	840	893	848
À ácidos voláteis	mg/L CaCO ₃	163	128	88	32	28	21
À bicarbonato	mg/L CaCO ₃	389	646	760	871	963	875
Ácidos Voláteis (Titulação)							
Totais	mg Ac. Acet./L	231	182	125	46	40	30
Ácidos Voláteis (Cromatografia)*							
Totais	mg/L	174,6	426,5	278,9	48,2	9,2	12,7
Ac. Acético	mg/L	154,8	217,5	125,0	17,8	6,6	11,4
Ac. Propiônico	mg/L	17,4	129,5	93,8	21,9	1,6	0,8
Ac. Isobutírico	mg/L	1,1	19,9	16,2	3,7	0,6	0,5
Ac. Butírico	mg/L	0,6	20,5	11,8	0,0	0,0	0,0
Ac. Isovalérico	mg/L	0,6	34,0	27,6	4,1	0,4	0,0
Ac. Valérico	mg/L	0,0	5,1	4,4	0,7	0,0	0,0
Ac. Capróico	mg/L	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0

TABELA 8.3.7: Resultados do Segundo Perfil da Terceira Etapa (Com 40% da carga orgânica aplicada composta por percolado).

Data: 18/11/2002

Parâmetros	Unidade	Amostrador					
		1 – (Entrada)	2 – (Interm.)	3 – (Interm.)	4 – (Interm.)	5 – (Interm.)	6 – (Saída)
DQO							
Bruta	mg/L	1375	920	890	720	650	645
Eficiência do Trecho	%	0,0	33,1	2,2	12,4	5,1	0,4
Eficiência Acumulada	%	0,0	33,1	35,3	47,6	52,7	53,1
Filtrada	mg/L	1325	810	765	645	570	605
Eficiência do Trecho	%	0,0	38,9	3,4	9,1	5,7	-2,6
Eficiência Acumulada	%	0,0	38,9	42,3	51,3	57,0	54,3
pH	-	7.48	7.30	7.30	7.23	7.26	7.22
Alcalinidade							
Total (até pH = 4,30)	mg/L CaCO ₃	1346	1552	1564	1558	1582	1515
Parcial (até pH = 5,75)	mg/L CaCO ₃	1150	1273	1289	1313	1329	1251
Intermediária (de pH 5,75 a 4,30)	mg/L CaCO ₃	196	279	275	245	253	264
À ácidos voláteis	mg/L CaCO ₃	103	59	54	49	47	36
À bicarbonato	mg/L CaCO ₃	1243	1493	1510	1509	1535	1479
Ácidos Voláteis (Titulação)							
Totais	mg Ac. Acet./L	146	83	76	70	66	51
Ácidos Voláteis (Cromatografia)*							
Totais	mg/L	118	40	61	38	21	ND
Ac. Acético	mg/L	111	40	58	37	21	ND
Ac. Propiônico	mg/L	7	ND	3	1	ND	ND
Ac. Isobutírico	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ac. Butírico	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ac. Isovalérico	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ac. Valérico	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ac. Capróico	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND

TABELA 8.3.8: Resultados do Terceiro Perfil da Terceira Etapa (Com 100% da carga orgânica aplicada composta por percolado).

Data: 17/12/2002

Parâmetros	Unidade	Amostrador					
		1 – (Entrada)	2 – (Interm.)	3 – (Interm.)	4 – (Interm.)	5 – (Interm.)	6 – (Saída)
DQO							
Bruta	mg/L	5060	2855	2155	1345	1040	1010
Eficiência do Trecho	%	0,0	43,6	13,8	16,0	6,0	0,6
Eficiência Acumulada	%	0,0	43,6	57,4	73,4	79,4	80,0
Filtrada	mg/L	4555	2575	1960	1145	900	890
Eficiência do Trecho	%	0,0	43,5	13,5	17,9	5,4	0,2
Eficiência Acumulada	%	0,0	43,5	57,0	74,9	80,2	80,5
DBO							
Bruta	mg/L	4800	2800	2800	1600	1200	420
Ef. Rem.	%	0,0	41,7	41,7	66,7	75,0	91,3
pH	-	7,59	7,56	7,51	7,58	7,57	7,56
Eh	mV	-193	-202	-203	-189	-188	-190
Alcalinidade Total							
Total (até pH = 4,30)	mg/L CaCO ₃	2746	2862	2736	2842	2684	2817
Parcial (até pH = 5,75)	mg/L CaCO ₃	1814	2246	2140	2459	2367	2409
Intermediária (de pH 5,75 a 4,30)	mg/L CaCO ₃	932	616	596	383	317	408
À ácidos voláteis	mg/L CaCO ₃	948	471	337	118	96	101
À bicarbonato	mg/L CaCO ₃	1798	2391	2399	2724	2588	2716
Ácidos Voláteis (Titulação)							
Totais	mg Ac. Acet./L	1344	668	478	167	136	143
Ácidos Voláteis (Cromatografia)*							
Totais	mg/L	2359	1245	829	176	ND	ND
Ac. Acético	mg/L	1028	573	466	133	ND	ND
Ac. Propiônico	mg/L	611	381	208	44	ND	ND
Ac. Isobutírico	mg/L	103	65	42	ND	ND	ND
Ac. Butírico	mg/L	198	69	34	ND	ND	ND
Ac. Isovalérico	mg/L	71	54	41	ND	ND	ND
Ac. Valérico	mg/L	169	80	38	ND	ND	ND
Ac. Capróico	mg/L	179	24	ND	ND	ND	ND

ND = Não Detectado.

TABELA 8.3.9: Resultados do Terceiro Perfil da Terceira Etapa (Com 100% da carga orgânica aplicada composta por percolado).

Data: 17/12/2002

Parâmetros	Unidade	Amostrador					
		1 – (Entrada)	2 – (Interm.)	3 – (Interm.)	4 – (Interm.)	5 – (Interm.)	6 – (Saída)
Sólidos							
Sólidos totais	mg/L	6188	5799	5365	4833	4346	4549
Ef. Rem.	%	0,0	6,3	13,3	21,9	29,8	26,5
Sólidos totais fixos	mg/L	3350	3371	3126	3112	3028	3152
Ef. Rem.	%	0,0	-0,6	6,7	7,1	9,6	5,9
Sólidos totais voláteis	mg/L	2838	2427	2239	1720	1318	1397
Ef. Rem.	%	0,0	14,4	21,1	39,4	53,6	50,8
Sólidos suspensos totais	mg/L	236	228	210	154	146	110
Ef. Rem.	%	0,0	3,4	11,2	34,7	38,1	53,4
Sólidos suspensos fixos	mg/L	80	79	66	54	44	36
Ef. Rem.	%	0,0	1,3	17,3	32,5	45,0	55,0
Sólidos suspensos voláteis	mg/L	156	149	144	100	102	74
Ef. Rem.	%	0,0	4,4	8,0	35,9	34,6	52,6
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	5952	5571	5155	4679	4200	4439
Ef. Rem.	%	0,0	6,4	13,4	21,4	29,4	25,4
Sólidos dissolvidos fixos	mg/L	3270	3292	3060	3058	2984	3116
Ef. Rem.	%	0,0	-0,7	6,4	6,5	8,7	4,7
Sólidos dissolvidos voláteis	mg/L	2682	2278	2095	1620	1216	1323
Ef. Rem.	%	0,0	15,0	21,9	39,6	54,7	50,7

TABELA 8.3.10: Resultados do Terceiro Perfil da Terceira Etapa (Com 100% da carga orgânica aplicada composta por percolado).

Data: 17/12/2002

Parâmetros	Unidade	Amostrador					
		1 – (Entrada)	2 – (Interm.)	3 – (Interm.)	4 – (Interm.)	5 – (Interm.)	6 – (Saída)
Nitrogênio							
Total	mg NH ₃ /L	354	344	329	343	316	329
Ef. Rem.	%	0,0	2,8	7,1	3,1	10,7	7,1
Amoniacal	mg NH ₃ /L	332	313	303	298	277	296
Ef. Rem.	%	0,0	5,7	8,7	10,2	16,6	10,8
Orgânico	mg NH ₃ /L	22	31	26	45	39	33
Ef. Rem.	%	0,0	-40,9	-18,2	-104,5	-77,3	-50,0
Metais							
Zinco	mg/L	0,16	0,14	0,21	0,11	0,17	0,04
Ef. Rem. de Zinco	%	0,0	12,5	-31,3	31,3	-6,3	75,0
Chumbo	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cádmio	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Níquel	mg/L	0,10	0,06	0,04	0,00	0,05	0,03
Ferro	mg/L	20,20	14,90	11,60	10,00	6,46	6,73
Ef. Rem. de Ferro	%	0,0	26,2	42,6	50,5	68,0	66,7
Manganês	mg/L	1,51	0,89	0,83	0,59	0,57	0,17
Ef. Rem. de Manganês	%	0,0	41,1	45,0	60,9	62,3	88,7
Cobre	mg/L	0,00	0,00	0,06	0,00	0,06	0,00
Cromo	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

TABELA 8.3.11: Resultados do Quarto Perfil da Terceira Etapa (Com 100% da carga orgânica aplicada composta por percolado).

Data: 24/12/2002

Parâmetros	Unidade	Amostrador					
		1 – (Entrada)	2 – (Interm.)	3 – (Interm.)	4 – (Interm.)	5 – (Interm.)	6 – (Saída)
DQO							
Bruta	mg/L	5260	2600	1920	1270	1110	1130
Eficiência do Trecho	%	0,0	50,6	12,9	12,4	3,0	-0,4
Eficiência Acumulada	%	0,0	50,6	63,5	75,9	78,9	78,5
Filtrada	mg/L	4890	2310	1770	1050	960	990
Eficiência do Trecho	%	0,0	52,8	11,0	14,7	1,8	-0,6
Eficiência Acumulada	%	0,0	52,8	63,8	78,5	80,4	79,8
pH	-	7.57	7.53	7.54	7.52	7.50	7.50
Eh	mV	-192	-197	-206	-202	-190	-197
Alcalinidade Total							
Total (até pH = 4,3)	mg/L CaCO ₃	3078	3175	3159	3171	3066	3078
Parcial (até pH = 5,75)	mg/L CaCO ₃	1959	2521	2720	2748	2622	2637
Intermediária (de pH 5,75 a 4,30)	mg/L CaCO ₃	1119	654	439	423	444	441
À ácidos voláteis	mg/L CaCO ₃	1301	516	341	108	95	95
À bicarbonato	mg/L CaCO ₃	1777	2659	2818	3063	2971	2983
Ácidos Voláteis (Titulação)							
Totais	mg Ac. Acet./L	1844	731	483	153	134	134
Ácidos Voláteis (Cromatografia)*							
Totais	mg/L	1762	615	401	ND	ND	ND
Ac. Acético	mg/L	710	318	260	ND	ND	ND
Ac. Propiônico	mg/L	461	205	122	ND	ND	ND
Ac. Isobutírico	mg/L	78	23	13	ND	ND	ND
Ac. Butírico	mg/L	184	25	ND	ND	ND	ND
Ac. Isovalérico	mg/L	55	21	6	ND	ND	ND
Ac. Valérico	mg/L	150	23	ND	ND	ND	ND
Ac. Capróico	mg/L	123	ND	ND	ND	ND	ND

ND = Não detectado.

TABELA 8.3.12: Resultados do Quarto Perfil da Terceira Etapa (Com 100% da carga orgânica aplicada composta por percolado).

Data: 24/12/2002

Parâmetros	Unidade	Amostrador					
		1 – (Entrada)	2 – (Interm.)	3 – (Interm.)	4 – (Interm.)	5 – (Interm.)	6 – (Saída)
Sólidos							
Sólidos totais	mg/L	6404	5598	5528	5219	4599	4653
Ef. Rem.	%	0,0	12,6	13,7	18,5	28,2	27,3
Sólidos totais fixos	mg/L	3689	3414	3344	3394	3057	3287
Ef. Rem.	%	0,0	7,5	9,4	8,0	17,1	10,9
Sólidos totais voláteis	mg/L	2715	2184	2184	1825	1542	1366
Ef. Rem.	%	0,0	19,6	19,6	32,8	43,2	49,7
Sólidos suspensos totais	mg/L	369	260	170	166	126	105
Ef. Rem.	%	0,0	29,5	54,0	54,9	65,8	71,5
Sólidos suspensos fixos	mg/L	137	84	56	53	34	31
Ef. Rem.	%	0,0	39,0	59,1	61,2	75,2	77,4
Sólidos suspensos voláteis	mg/L	231	176	114	113	92	74
Ef. Rem.	%	0,0	23,8	50,9	51,2	60,2	68,0
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	6035	5338	5358	5053	4473	4548
Ef. Rem.	%	0,0	11,6	11,2	16,3	25,9	24,6
Sólidos dissolvidos fixos	mg/L	3552	3330	3288	3341	3023	3256
Ef. Rem.	%	0,0	6,2	7,4	5,9	14,9	8,3
Sólidos dissolvidos voláteis	mg/L	2484	2007	2070	1712	1450	1292
Ef. Rem.	%	0,0	19,2	16,6	31,1	41,6	48,0

TABELA 8.3.13: Resultados do Quarto Perfil da Terceira Etapa (Com 100% da carga orgânica aplicada composta por percolado).

Data: 24/12/2002

Parâmetros	Unidade	Amostrador					
		1 – (Entrada)	2 – (Interm.)	3 – (Interm.)	4 – (Interm.)	5 – (Interm.)	6 – (Saída)
Nitrogênio							
Total	mg NH ₃ /L	394	366	336	371	374	359
Ef. Rem.	%	0,0	7,1	14,7	5,8	5,1	8,9
Amoniacal	mg NH ₃ /L	335	336	327	331	338	337
Ef. Rem.	%	0,0	-0,3	2,4	1,2	-0,9	-0,6
Orgânico	mg NH ₃ /L	59	30	9	40	36	22
Ef. Rem.	%	0,0	49,2	84,7	32,2	39,0	62,7
Metais							
Zinco	mg/L	0,20	0,16	0,09	0,09	0,10	0,05
Ef. Rem. de Zinco	%	0,0	20,0	55,0	55,0	50,0	75,0
Chumbo	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cádmio	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Níquel	mg/L	0,06	0,08	0,06	0,00	0,05	0,13
Ferro	mg/L	21,20	14,60	11,60	8,80	6,11	9,30
Ef. Rem. de Ferro	%	0,0	31,1	45,3	58,5	71,2	56,1
Manganês	mg/L	1,53	0,92	0,77	0,40	0,40	0,15
Ef. Rem. de Manganês	%	0,0	39,9	49,7	73,9	73,9	90,2
Cobre	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Cromo	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA; AWWA; WPCF (1998) **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20th edition. Washington. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation . Washington-DC, USA.
- AMOKRANE, A.; COMEL, C.; VERON, J. (1997) **Landfill leachates pretreatment by coagulation-floculation**. *Water Research*, vol. 31, No. 11, pp. 2775-2782.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987). NBR 10.004 – **Resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, ABNT.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1992). NBR 8419 – **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, ABNT.
- BAE, B.; JUNG, E. S.; KIM, Y. R.; SHIN, H. S. (1999) **Treatment of landfill leachate using activated sludge process and electron-beam radiation**. *Water Research*, vol. 33, no. 11, pp. 2669-2673.
- BOLAÑOS ROJAS, M. L. (2001) **Tratamento de fenol em reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF) sob condições mesofílicas**. São Carlos, 2001. 111p+Anexos. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- BIDONE, F.R.A.; POVINELLI, J. (1999) **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos, EESC/USP.

- BOHDZIEWICZ, J.; BODZEK, M.; GÓRSKA, J. (2001) **Application of pressure-driven membrane techniques to biological treatment of landfill leachate.** *Process Biochemistry*, 36, pp. 641-646.
- CABRAL, A.K.A. (1995) **Caracterização hidrodinâmica de um reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF).** São Carlos, 1995. 86p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- CABRAL, A.K.A. (2000) **Avaliação do desempenho e estabilidade de um Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo (RAHLF), submetido ao aumento progressivo na concentração de matéria orgânica afluyente e a cargas de choque orgânicas.** São Carlos, 2000. 124p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- CASTRO, M. C. A. A. de (2001) **Avaliação de um sistema australiano de lagoas no tratamento conjunto de esgoto sanitário e líquidos percolados gerados em aterro sanitário.** São Carlos, 2001. 214p + anexos, Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- CETESB (1997) **Aterro sanitário (apostilas ambientais).** São Paulo 40p.
- CHERNICHARO, C. A. de L. (1997) **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Reatores anaeróbios.** Belo Horizonte, UFMG.
- CHIANESE, A.; RANAURO, R.; VERDONE, N. (1998) **Treatment of landfill leachate by reverse osmosis.** *Water Research*, vol. 33, No. 3, pp. 647-652.
- CHRISTENSEN, T. H.; COSSU, R.; STEGMANN, R. (1992) **Landfilling of waste: Leachate.** Chapman & Hall, Great Britain.
- CLARETO, C.R.(1997) **Tratamento dos líquidos percolados gerados em aterros sanitários utilizando reator anaeróbio compartimentado.** São Carlos, 1997. 119p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

- DIAMADOPOULOS, E. (1994) **Characterization and treatment of recirculation-stabilized leachate.** *Water Research*, v.28, p.2439-2445.
- GOMES, L.P. (1989) **Estudo da caracterização física e da biodegradabilidade dos resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários.** São Carlos, 1989. 167p Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- INANC, B.; CALLI, B.; SAATCI, A. (2000) **Characterization and anaerobic treatment of the sanitary landfill leachate in Istanbul.** *Water Science and Technology*, vol. 41, no. 3, pp. 223-230.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2002) **Pesquisa nacional de saneamento básico.** www.ibge.gov.br (set/2002)
- KENNEDY, K. J.; LENTZ, E. M. (2000) **Treatment of landfill leachate using sequencing batch and continuous flow upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors.** *Water Research*, v.34, p.3640-3656.
- KETTUNEN, R. H.; HOILIJOKI, T. H.; RINTALA, J. A. (1996) **Anaerobic and sequential anaerobic-aerobic treatments of municipal landfill leachate at low temperatures.** *Bioresearch Technology*, 58, pp. 31-40.
- LEVENSPIEL, O. (2000) **Engenharia das reações químicas.** Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, tradução da terceira edição americana, 563p.
- LIMA, C. A. de A. (2001) **Tratamento de esgoto sanitário em reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF): escala piloto.** São Carlos, 2001. 158p Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- LIN, C.; CHANG, F.; CHANG, C. (2000) **Co-digestion of leachate with septage using a UASB reactor.** *Bioresource Technology*, 73, pp.175-178.

- MORAES, E. de M.; ADORNO, M. A.T.; ZAIAT, M.; FORESTI, E. (2000) **Determinação de ácidos voláteis por cromatografia gasosa em efluentes de reatores anaeróbios tratando resíduos líquidos e sólidos.** VI Oficina e Seminário Latino-Americano de Digestão Anaeróbia, Recife. Vol. 2 pp 235-238.
- PINTO, A. R.; PAULA Jr (2000) **Biodegradabilidade anaeróbia de líquidos percolados gerados em aterros de resíduos sólidos urbanos.** VI Oficina e Seminário Latino-Americano de Digestão Anaeróbia, Recife. Vol. 2 pp 163-166.
- RIBEIRO, R. (2001) **Influência do tipo de substrato na dinâmica do processo de formação do biofilme em matrizes de espuma de poliuretano.** São Carlos, 2001. 193p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SARTI, A. (1998) **Avaliação do desempenho do Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo (RAHLF), no tratamento de substrato sintético simulando esgoto doméstico.** São Carlos, 1998. 113p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SCHALCH, V. (1984) **Produção e características do chorume em processo de decomposição do lixo urbano.** São Carlos, 1984. 103p Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SCHALCH, V. (1992) **Análise Comparativa do comportamento dos aterros sanitários e correlação dos parâmetros do processo de digestão anaeróbia.** São Carlos, 1992. 219p Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SLETTEN, R. S.; BENJAMIN, M. M.; HORNG, J. J.; FERGUSON, J. F. (1995) **Physical-chemical treatment of landfill leachate for metals removal.** *Water Research*, vol. 29, No. 10, pp. 2376-2386.

- TCHOBANOGLIOUS, G., THEISEN, H., VIGIL, S. A. (1993) **Integrated solid waste management: Engineering principles and management issues**. E.U.A., McGraw-Hill.
- TELH, M. (2001) **Avaliação do uso de reator anaeróbio horizontal de leito fixo no tratamento de vinhaça sob condições termofílicas**. São Carlos, 2001. 63p Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- TIMUR, H.; OZTURK, I.; ALTINBAS, M.; ARIKAN, O.; TUYLUOGLU, B. S. (2000) **Anaerobic treatability of leachate: a comparative evaluation for three different reactor systems**. *Water science and Technology*, vol. 42, No. 1-2, pp 287-292.
- USING leachate on the windrows (1996). E.U.A., Biocycle. June 58-59.
- ZAIAT, M., CABRAL, A.K.A., FORESTI, E. (1994) **Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo para Tratamento de Águas Residuárias: Concepção e Avaliação Preliminar de Desempenho**. *Revista Brasileira de Engenharia – Caderno de Engenharia Química*, vol. 11, pp. 33-42.
- ZAIAT, M. (1996) **Desenvolvimento de reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF) para tratamento de águas residuárias**. São Carlos, 1996. 157p Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ZOUBOULIS, A. I.; LOUKIDOU, M. X.; CHRISTODOULOU, K. (2001) **Enzymatic treatment of sanitary landfill leachate**. *Chemosphere*, 44, pp.1103-1108.