

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

**FILTROS AERÓBIOS PERCOLADORES APLICADOS AO TRATAMENTO  
DE LIXIVIADOS DE ATERROS SANITÁRIOS ANTIGOS**

**SÉRGIO LUIS DA SILVA COTRIM**

*Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia.*

*Porto Alegre, junho de 1997.*

## APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação do Prof. Francisco Ricardo Andrade Bidone, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

A pesquisa faz parte do Programa de Incentivo Acadêmico às Demandas Municipais, convênio firmado entre a Prefeitura Municipal de Porto Alegre e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, neste caso representados pela Divisão de Destino Final (DDF) do Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU) e pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), visando incentivar pesquisas acadêmicas que venham a suprir as carências de informações técnicas para solução dos problemas do Município, atendendo ao tema proposto pelo DMLU : “Estudo de alternativas para tratamento de chorume de aterro sanitário”, que está protocolada com o nº 23078036449/95-14 na UFRGS.

### AGRADECIMENTOS:

Agradeço a todos que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho. Em especial, desejo agradecer:

- ao prof. Francisco Ricardo Bidone, pela orientação firme e segura durante a realização da pesquisa;
- ao Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU), em especial aos técnicos do Divisão de Destino Final (DDF), da prefeitura de Porto Alegre/RS, pelas facilidades concedidas durante o desenvolvimento do experimento;
- aos técnicos do Laboratório de Tecnologias Ambientais do IPH, pelo apoio a realização dos procedimentos analíticos;
- ao incentivo dos colegas do curso;
- ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos que viabilizou o meu programa de mestrado.

## RESUMO

No presente trabalho estudou-se, em escala de laboratório, o tratamento de lixiviado de aterro sanitário antigo, com a utilização de filtros percoladores aeróbios precedidos de pré-filtros.

Tanto nos pré-filtros quanto nos filtros, foram testados diferentes meios suporte, buscando-se alternativas para a fixação da biomassa ativa. O recheio dos pré-filtros (cada unidade) foi constituído de brita granítica 01, anéis PALL 1" e cacos de tijolos maciços de granulometria semelhante à da brita granítica 01.

Nos filtros percoladores (cada unidade), utilizou-se areia regular, carvão ativado, argila nodulizada, brita granítica 00, cacos de tijolos maciços com granulometria semelhante à da brita granítica 00 e aparas de couro curtido "wet blue".

As taxas de aplicação de lixiviado foram de 28,4 cm/dia para os pré-filtros e 16 cm/dia para os filtros biológicos, que correspondem às taxas de aplicação superficial e volumétrica da ordem de 0,284 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia e 0,16 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia; 95,5 gDBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>.dia e 28,7 gDBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>.dia respectivamente.

O sistema foi operado com esgoto bruto durante os 45 dias iniciais da experimentação, objetivando-se a formação prévia de biofilme ativo; após este período o sistema recebeu lixiviado proveniente do Aterro Sanitário Zona Norte, de Porto Alegre/RS, por mais 120 dias.

Os resultados mostraram que os pré-filtros tiveram pequena interferência no processo, o que pode ter sido devido à idade antiga do aterro estudado, originando um lixiviado pouco concentrado e praticamente destituído de sólidos em suspensão, principalmente os sedimentáveis. Relativamente aos filtros biológicos, resultaram altas eficiências na remoção da carga orgânica e nitrogênio amoniacal, com significativos níveis de nitrificação, notadamente nos filtros de carvão ativado e aparas de couro curtido "Wet blue", o que recomenda estas últimas como excelente alternativa de baixo custo para meio suporte de filtros. Para as demais unidades estudadas, as eficiências observadas em termos dos principais parâmetros analisados, situaram-se em patamares inferiores aos filtros com carvão ativado e aparas de couro, com médias que não diferiram entre si do ponto de vista estatístico.

## ABSTRACT

This study deals with the treatment of a leachate from an old sanitary landfill using pre-filters and percolating filters on a laboratory scale. Different support materials have been used for both, filters and pre-filters, testing alternatives for the active biomass fixation. The contents of each pre-filter contains granit crushed stone 01, PALL 1" rings and brickstone pieces in the same granulometry as the granit crushed stone. In each of the percolating filters are regular sand, activated coal, expanded clay, granit crushed stone 00, brickstone pieces 00 and treated leather left overs of the type "wet blue".

The application rates of the leachates were 28.4 cm/day for the pre-filters and 16 cm/day for the percolating filters. This application has a rate wich equals a surface application of  $0.16 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{day}$  and  $0.284 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{day}$  and a volumetric application of  $95.5 \text{ g BOD}_5/\text{m}^3.\text{day}$  and  $28.7 \text{ gBOD}_5/\text{m}^3.\text{day}$  for pre-filters and percolating filters respectively.

The system has been operated with untreated domestic waste water during the 45 first days of experimentation in order to build an active biofilm. At the next stage the system received the leachates from the sanitary landfill of the North Zone of Porto Alegre for more than 120 days.

The results showed that the pre-filters have had a small interference during the process, probably due to the fact that the leachate, originated from an old sanitary landfill, was not enough concentrated and contained few solids in suspension. Concerning the percolating filters, high efficiency in the organic mass and ammonia removal was noted. Significant high levels of nitrification were noted for the filters with activated coal and leather left overs, wich represent an excelent low cost support material for the filters. For the other materials studied the efficiency was not so high but stastically similar.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	1
2.	OBJETIVOS .....	3
2.1	Objetivo geral .....	3
2.2	Objetivos específicos.....	3
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
3.1	Problemática do lixo urbano.....	4
3.2	Classificação e caracterização do lixo urbano .....	4
3.3	Composição física do lixo urbano.....	5
3.4	Aterro sanitário como tecnologia de disposição final de lixo urbano .....	6
3.4.1	Microbiologia e bioquímica da digestão anaeróbia em aterros sanitários.....	7
3.4.1.1	Fases metabólicas da digestão anaeróbia .....	7
3.4.1.2	Bactérias participantes do processo.....	10
3.4.1.3	Degradação da matéria orgânica em aterro sanitário.....	11
3.4.2	Geração e caracterização de lixiviado .....	14
3.4.2.1	Geração de lixiviado .....	14
3.4.2.2	Caracterização de lixiviado .....	15
3.5	Operações e processos utilizados para o tratamento de lixiviado .....	18
3.5.1	Introdução.....	18
3.5.2	Tratamento biológico de lixiviados .....	18
3.5.2.1	Lodos ativados .....	19
3.5.2.2	Lagoas aeradas .....	22
3.5.2.3	Bio-discos (RBC) .....	23
3.5.2.4	Digestão anaeróbia .....	24
3.5.3	Tratamentos físico-químicos de lixiviados.....	27
3.5.4	Biorremediação de lixões por recirculação de lixiviados.....	31
3.5.4.1	Biorremediação do Aterro Sanitário Zona Norte (Porto Alegre,RS).....	33
3.6	O processo aeróbio de leito fixo como proposta alternativa de solução no tratamento de lixiviados de aterros sanitários .....	35
3.6.1	Filtros biológicos aeróbios convencionais de leito fixo .....	35
3.6.2	Infiltração rápida em filtro fixo de areia .....	37

	3.6.3 Sistema de tratamento de lixiviados proposto na presente pesquisa .....	38
4.	MATERIAL E MÉTODOS.....	40
	4.1 Montagem do experimento .....	40
	4.2 Escolha dos materiais de enchimento dos filtros .....	43
	4.3 Caracterização dos materiais.....	43
	4.3.1 Granulometria .....	44
	4.3.2 Peso específico aparente.....	44
	4.3.3 Tempo de detenção .....	44
	4.3.4 Tempo de percolação .....	45
	4.4 Procedência, caracterização e conservação dos afluentes.....	45
	4.5 Determinação dos parâmetros físico-químicos das amostras líquidas .....	48
	4.6 Taxas de aplicação.....	49
	4.6.1 Composição dos sistemas de tratamento .....	50
	4.7 Aclimação do sistema com esgoto bruto.....	52
	4.8 Tratamento do lixiviado com o sistema aclimatado.....	52
	4.9 Análise estatística dos dados .....	52
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
	5.1 Granulometria.....	54
	5.2 Tempo de detenção.....	57
	5.3 Tempo de percolação.....	61
	5.4 Demanda química de oxigênio (DQO).....	64
	5.5 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO <sub>5</sub> ).....	70
	5.6 Potencial hidrogeniônico (pH).....	73
	5.7 Alcalinidade.....	74
	5.8 NTK, amônia e nitrato .....	75
	5.9 Metais .....	79
	5.10 Sólidos (totais, fixos e voláteis).....	81
	5.11 Coliformes (totais e fecais).....	84
	5.12 Geração de moscas ( <i>psychoda</i> ) nos filtros.....	84
	5.13 Turbidez/cor .....	85
	5.14 Análise estatística.....	87
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	89
7	BIBLIOGRAFIA .....	92

8	ANEXO A .....	98
9	ANEXO B .....	118

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Composição média do lixo urbano de duas cidades do Brasil.....	6
Tabela 3.2 - Participação das precipitação pluviométrica na geração de lixiviados (aproximada) .....	13
Tabela 3.3 - Comparação dos principais parâmetros entre as macro fases de degradação anaeróbia em aterro sanitário .....	17
Tabela 3.4 - Resultados obtidos com tratamento de lixiviados por lodos ativados.....	20
Tabela 3.5 - Resultados de tratamento de lixiviados por lodos ativados.....	21
Tabela 3.6 - Resultados de tratamento, em escala real, de lixiviados por lodos ativados .....	21
Tabela 3.7 - Coeficientes cinéticos para lodos ativados utilizados em sistemas de tratamento de lixiviados de aterros sanitários.....	22
Tabela 3.8 - Resultados de tratamento de lixiviados por lagoas aeradas.....	23
Tabela 3.9 - Resultados de tratamento de lixiviados com bio-discos.....	24
Tabela 3.10 - Resultados do estudo preliminar para tratamento anaeróbios (reator de mistura completa) de lixiviados sem controle de temperatura (experimento 1) .....	25
Tabela 3.11 - Resultados para tratamento anaeróbios (reator de mistura completa) de lixiviados sem controle de temperatura (experimento 2) .....	25
Tabela 3.12 - Resultado de tratamento anaeróbio (reator de mistura completa) de lixiviados com controle de temperatura (experimento 3).....	26
Tabela 3.13 - Condições experimentais e resultados do reator híbrido de manta de lodo e filtro (RHMLF), reator de fluxo ascendente .....	26
Tabela 3.14 - Parâmetros básicos para dimensionamento de filtros anaeróbios .....	27
Tabela 3.15 - Resultados de tratamentos físico-químicos aplicados a lixiviados .....	28
Tabela 3.16 - Resumo dos resultados dos tratamentos físico-químicos em nível de bancada ...	29
Tabela 3.17 - Resultados do tratamento de lixiviados por precipitação química.....	29
Tabela 3.18 - Resultados do tratamento de lixiviados por carvão ativado e resinas trocaadoras de íons.....	30
Tabela 3.19 - Resultados de tratamento de lixiviados por oxidação química .....	30
Tabela 3.20 - Resultados de tratamento por osmose reversa .....	31
Tabela 3.21 - Parâmetros físico químicos do Aterro Sanitário Zona Norte .....	34
Tabela 4.1 - Peso específico aparente dos materiais .....	44

Tabela 4.2 - Variação de alguns parâmetros do esgoto sanitário bruto e lixiviado afluentes .....	46
Tabela 4.3 - Parâmetros físico-químicos analisados .....	49
Tabela 4.4 - Taxas de aplicação utilizadas no experimento .....	50
Tabela 4.5 - Composição dos sistemas de tratamento, materiais dos leitos suporte e altura útil dos filtros.....	51
Tabela 4.6 - Composição dos fatores e níveis controlados nos pré-filtros .....	53
Tabela 4.7 - Composição dos fatores e níveis controlados nos filtros percoladores.....	53
Tabela 5.1 - Resultados da análise estatística dos filtros percoladores, para lixiviado.....	88
Tabela A.1 - Parâmetros físico-químicos do afluente e efluente dos filtros (14/08/96) .....	A1
Tabela A.2 - Parâmetros físico-químicos do afluente e efluente dos filtros (21/08/96) .....	A1
Tabela A.3 - Parâmetros físico-químicos do afluente e efluente dos filtros (30/08/96).....	A2
Tabela A.4 - Parâmetros físico-químicos do afluente e efluente dos filtros (11/09/96) .....	A3
Tabela A.5 - Parâmetros físico-químicos do afluente e efluente dos filtros (25/09/96) .....	A4
Tabela A.6 - Parâmetros físico-químicos do afluente e efluente dos filtros (10/10/96) .....	A5
Tabela A.7 - Parâmetros físico-químicos do afluente e efluente dos filtros (17/10/96) .....	A6
Tabela A.8 - Parâmetros físico-químicos do afluente e efluente dos filtros (24/10/96) .....	A7
Tabela A.9 - Parâmetros físico-químicos do afluente e efluente dos filtros (31/10/96).....	A8
Tabela A.10 - Parâmetros físico-químicos do afluente e efluente dos filtros (07/11/96) .....	A8
Tabela A.11 - Parâmetros físico-químicos do afluente e efluente dos filtros (13/11/96) .....	A9
Tabela A.12 - Parâmetros físico-químicos do afluente e efluente dos filtros (22/11/96) .....	A9
Tabela A.13 - Parâmetros físico-químicos do afluente e efluente dos filtros (27/11/96) .....	A10
Tabela A.14 - Parâmetros físico-químicos do afluente e efluente dos filtros (05/12/96) .....	A11
Tabela A.15 - Parâmetros físico-químicos do afluente e efluente dos filtros (17/01/97) .....	A12
Tabela A.16 - Parâmetros físico-químicos do afluente e efluente dos filtros (28/01/97) .....	A13
Tabela A.17 - Eficiência na remoção de DQO total.....	A14
Tabela A.18 - Eficiência na remoção de DQO filtrada.....	A15
Tabela A.19 - Eficiência na remoção de DBO <sub>5</sub> .....	A16
Tabela A.20 - Eficiência na remoção de amônia.....	A16
Tabela A.21 - Eficiência na remoção de alcalinidade .....	A17
Tabela A.21 - Eficiência na remoção de ferro.....	A17

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Estágios metabólicos da degradação anaeróbia .....	9
Figura 3.2 - Variação da composição do gás de aterros sanitários .....	13
Figura 3.3 - Variação da composição do lixiviado de aterros sanitários .....	13
Figura 4.1 - Vista geral do sistema montado .....	41
Figura 4.2 - Sistema misturador eletromecânico com controlador de velocidade .....	42
Figura 4.3 - Detalhe do reservatório superior, pré-filtros e filtro percolador .....	42
Figura 4.4 - Ponto de coleta de esgoto sanitário bruto, calha Parshall (ETE Arvoredo-DMAE) .....	47
Figura 4.5 - Ponto de coleta de lixiviado, poço de monitoramento ambiental PMR <sub>2</sub> do Aterro Sanitário Zona Norte (DMLU).....	47
Figura 4.6 - Detalhe da coleta de lixiviado no Aterro Sanitário Zona Norte (DMLU).....	48
Figura 4.7 - Perfil do sistema de filtros biológicos (pré-filtros, filtros percoladores).....	51
Figura 5.1 - Curva granulométrica da brita granítica 01 .....	55
Figura 5.2 - Curva granulométrica da brita granítica 00 (filtro percolado B5).....	55
Figura 5.3 - Curva granulométrica dos cacos de tijolos 01 .....	55
Figura 5.4 - Curva granulométrica dos cacos de tijolos 00 .....	56
Figura 5.5 - Curva granulométrica da argila nodulizada quebrada.....	56
Figura 5.6 - Curva granulométrica da areia regular .....	56
Figura 5.7 - Curva granulométrica do carvão ativado de casca de côco .....	57
Figura 5.8 - Tempo de detenção do pré-filtro A1 (brita granítica 01) .....	58
Figura 5.9 - Tempo de detenção do pré-filtro A2 (brita granítica 01) .....	58
Figura 5.10 - Tempo de detenção do pré-filtro A4 (anéis PALL 1") .....	59
Figura 5.11 - Tempo de detenção do pré-filtro A5 (cacos de tijolos 01) .....	59
Figura 5.12 - Tempo de detenção do pré-filtro A6 (cacos de tijolos 01) .....	59
Figura 5.13 - Tempo de detenção do filtro B3 (argila nodulizada quebrada).....	60
Figura 5.14 - Tempo de detenção do filtro B4 (areia regular).....	60
Figura 5.15 - Tempo de detenção do filtro B5 (brita granítica 00).....	60
Figura 5.16 - Tempo de detenção do filtro B6 (cacos de tijolos 00) .....	61
Figura 5.17 - Tempo de percolação do filtro B1 (carvão ativado) .....	62
Figura 5.18 - Tempo de percolação do filtro B2 (aparas de couro curtido "wet blue").....	62
Figura 5.19 - Tempo de percolação do filtro B3 (argila nodulizada quebrada).....	63

Figura 5.20 - Tempo de percolação do filtro B4 (areia regular).....	63
Figura 5.21 - Tempo de percolação do filtro B5 (brita granítica 00).....	63
Figura 5.22 - Tempo de percolação do filtro B6 (cacos de tijolos 00).....	64
Figura 5.23 - Variação da DQO <sub>total</sub> nos pré-filtros.....	66
Figura 5.24 - Variação da DQO <sub>total</sub> nos filtros percolados.....	66
Figura 5.25 - Remoção da DQO <sub>total</sub> nos pré-filtros.....	66
Figura 5.26 - Remoção da DQO <sub>total</sub> nos filtros percolados.....	67
Figura 5.27 - Variação da DQO <sub>filtrada</sub> nos pré-filtros.....	68
Figura 5.28 - Variação da DQO <sub>filtrada</sub> nos filtros percolados.....	69
Figura 5.29 - Remoção da DQO <sub>filtrada</sub> nos pré-filtros.....	69
Figura 5.30 - Remoção da DQO <sub>filtrada</sub> nos filtros percolados.....	69
Figura 5.31 - Variação da DBO <sub>5 total</sub> nos pré-filtros.....	71
Figura 5.32 - Variação da DBO <sub>5 total</sub> nos filtros percoladores.....	72
Figura 5.33 - Remoção da DBO <sub>5 total</sub> nos pré-filtros.....	72
Figura 5.34 - Remoção da DBO <sub>5 total</sub> nos filtros percolados.....	72
Figura 5.35 - Variação do pH nos pré-filtros.....	73
Figura 5.36 - Variação do pH nos filtros percolados.....	73
Figura 5.37 - Variação da alcalinidade nos pré-filtros.....	74
Figura 5.38 - Variação da alcalinidade nos filtros percolados.....	74
Figura 5.39 - Remoção da alcalinidade nos pré-filtros.....	75
Figura 5.40 - Remoção da alcalinidade nos filtros percolados.....	75
Figura 5.41 - Variação da amônia nos pré-filtros.....	77
Figura 5.42 - Variação da amônia nos filtros percolados.....	77
Figura 5.43 - Remoção da amônia nos pré-filtros.....	78
Figura 5.44 - Remoção da amônia nos filtros percolados.....	78
Figura 5.45 - Variação da concentração de nitrato nos pré-filtros.....	78
Figura 5.46 - Variação da concentração de nitrato nos filtros percoladores.....	79
Figura 5.47 - Variação da concentração de Cr(III) no efluente do filtro B2 (aparas de couro curtido).....	81
Figura 5.48 - Curva exponencial da concentração de Cr(III) no efluente do filtro B2 (aparas de couro curtido).....	81
Figura 5.49 - Variação dos sólidos voláteis nos pré-filtros.....	83
Figura 5.50 - Variação dos sólidos voláteis nos filtros percolados.....	83

Figura 5.51 - Remoção dos sólidos voláteis nos pré-filtros.....	83
Figura 5.52 - Remoção dos sólidos voláteis nos filtros percolados .....	84
Figura 5.53 - Variação da turbidez nos pré-filtros .....	86
Figura 5.54 - Variação da turbidez nos filtros percoladores.....	86
Figura 5.55 - Variação da cor nos efluentes dos filtros .....	87

### LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

<b>A1</b>	Pré-filtro de brita granítica 01 DN 150 mm (h=50 cm)
<b>A2</b>	Pré-filtro de brita granítica 01 DN 150 mm (h=50 cm)
<b>A3</b>	Pré-filtro de anéis PALL 1" DN 150 mm (h=50 cm)
<b>A4</b>	Pré-filtro de anéis PALL 1" DN 150 mm (h=50 cm)
<b>A5</b>	Pré-filtro de cacos de tijolos maciços 01 DN 150 mm (h=50 cm)
<b>A6</b>	Pré-filtro de cacos de tijolos maciços 01 DN 150 mm (h=50 cm)
<b>B0</b>	Filtro percolador de areia regular DN 90 mm (h=100 cm)
<b>B1</b>	Filtro percolador de carvão ativado DN 200 mm (h=90 cm)
<b>B2</b>	Filtro percolador de aparas de couro curtido "wet blue" DN 200 mm (h=90 cm)
<b>B3</b>	Filtro percolador de argila nodulizada DN 200 mm (h=90 cm)
<b>B4</b>	Filtro percolador de areia regular DN 200 mm (h=90 cm)
<b>B5</b>	Filtro percolador de brita granítica 00 DN 200 mm (h=90 cm)
<b>B6</b>	Filtro percolador de cacos de tijolos maciços 00 DN 200 mm (h=90cm)
<b>As</b>	Área superficial
<b>b</b>	Coefficiente de respiração endógena de microrganismos
<b>BOD</b>	Biochemical oxygen demand
<b>COD</b>	Chemical oxygen demand
<b>C.u.</b>	Coefficiente de uniformidade
<b>DBO</b>	Demanda bioquímica de oxigênio
<b>DDF</b>	Divisão de Destino Final
<b>DMAE</b>	Departamento Municipal de Água e Esgoto
<b>DMLU</b>	Departamento Municipal de Limpeza Urbana
<b>DN</b>	Diâmetro nominal
<b>DQO</b>	Demanda química de oxigênio
<b>EBE</b>	Estação de bombeamento de esgoto
<b>ETE</b>	Estação de tratamento de esgoto
<b>gl</b>	Graus de liberdade
<b>K</b>	Máxima taxa de utilização de substrato por unidade de massa de microrganismos

<b>K<sub>s</sub></b>	Concentração de substrato
<b>L<sub>d</sub></b>	Limite de decisão
<b>n<sub>c</sub></b>	Média do número de observações
<b>IPH</b>	Instituto de Pesquisa Hidráulicas
<b>MQ</b>	Fonte de variação dentro dos grupos
<b>NMP</b>	Número mais provável
<b>NTK</b>	Nitrogênio total Kjehdal
<b>PMR</b>	Ponto de monitoramento
<b>RBC</b>	Rotating biological contactors
<b>RHMLF</b>	Reator híbrido de manto de lodo e filtro
<b>RSB</b>	Reator sequencial em batelada
<b>SS</b>	Sólidos em suspensão
<b>SVT</b>	Sólidos voláteis totais
<b>SSV</b>	Sólidos suspensos voláteis
<b>S<sub>x</sub></b>	Desvio padrão da média
<b>TAS</b>	Taxa de aplicação superficial
<b>TAV</b>	Taxa de aplicação volumétrica
<b>UFRGS</b>	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
<b>UNT</b>	Unidade nefelométrica de turbidez
<b>v</b>	Volume
<b>y</b>	Coefficiente de crescimento de microrganismos

## 1. INTRODUÇÃO

O constante crescimento das populações urbanas, a forte industrialização, a melhoria no poder aquisitivo do povo brasileiro nos últimos anos e a decorrente elevação dos patamares de consumo, vêm instrumentalizando a acelerada geração de grandes volumes de resíduos sólidos, principalmente nas regiões metropolitanas das grandes cidades brasileiras.

Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul, não foge à regra. Produz hoje 900 t/dia de resíduos sólidos domésticos, e não dispõe de áreas suficientemente adequadas ao destino final desses resíduos, tanto do ponto de vista de extensão quanto do ambiental. Isto decorre principalmente da utilização da tecnologia conhecida por aterro sanitário como solução para o lixo urbano. Nela, o lixo é disposto sobre o solo ou em trincheiras, em camadas intercaladas por cobertura de solo, com a ocorrência natural de um processo biológico anaeróbio de fermentação, cognominado de digestão anaeróbia.

A prática da disposição de lixo urbano em aterros sanitários é viável técnica e economicamente, sendo difundida em várias partes do mundo. Os Estados Unidos da América tinham, em 1995, aproximadamente 75 % de seus resíduos sólidos urbanos dispostos em aterros sanitários, o que representa mais de 120 milhões de toneladas por ano (EPA, 1995).

Sendo bem executado e operado, o aterro sanitário é uma boa solução para os países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil. Traz contra si, no entanto, o problema da geração do chorume, líquido perdido pela massa orgânica do lixo durante o processo de degradação da matéria orgânica. Este líquido, em contato com a água de chuva, que percola a massa de aterro, gera o lixiviado, tóxico, com altas concentrações de DQO e DBO, e principalmente amônia, o que exige um tratamento adequado antes de ser encaminhado a um receptor, evitando-se assim que efeitos indesejados decorrentes de sua disposição "in natura" propaguem-se pelo ambiente.

As tecnologias utilizadas para o tratamento de lixiviados, estão inseridas naquelas caracterizadas por tratamento secundário, que pressupõem o fornecimento de oxigênio dissolvido à massa líquida, ou natural ou eletromecanicamente. Enquadram-se aqui as lagoas de estabilização e os lodos ativados, entre outros.

Atualmente, tem evoluído no Rio Grande do Sul uma proposta de tratamento de líquido percolado que contempla unidades primárias, reatores anaeróbios, seguidas de filtros

rápidos de areia; é o caso das estações de tratamento de lixiviado do Aterro São Giacomio, em Caxias do Sul, e do Aterro Zona Norte, em Porto Alegre.

Os resultados obtidos na estação do Aterro São Giacomio, única em operação no momento, mostram uma baixa eficiência em termos de remoção de carga orgânica e nitrogênio amoniacal no tratamento primário; nenhuma menção é feita à eficiência dos filtros rápidos de areia (ARRUDA et ali, 1996). Pode-se inferir, no entanto, que para as concentrações de DQO mostradas pelos autores referidos, 1386 mg/L e 944 mg/L , afluente e efluente dos reatores anaeróbios, respectivamente, resultará, aplicada nos filtros rápidos, uma baixa carga orgânica aplicada e quase que inteiramente solúvel, o que permite antever-se uma provável baixa eficiência na performance dessas unidades.

Nesta pesquisa, visando-se chegar a uma proposta alternativa de baixo custo no tratamento secundário de lixiviados fracamente concentrados, observou-se a eficiência de filtros percoladores, submetidos à taxas de aplicação de lixiviado que conferem aos mesmos características de filtros biológicos de baixa taxa, viabilizando-se assim a formação de biomassa ativa, capaz de levar o líquido parcialmente estabilizado no tratamento primário, aos estágios finais de estabilização. A utilização de recheios de filtros de materiais distintos para a fixação da biomassa, permitiu a avaliação precisa das eficiências que podem ser esperadas para cada material testado, e mostrou, dentre esses materiais estudados, que são os comumente usados em filtros biológicos, a excepcional alternativa de baixo custo que são as aparas de couro curtido " Wet Blue" , quando utilizadas como meio suporte no tratamento de lixiviado de aterros sanitários.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Este trabalho tem por objetivo geral, estudar o tratamento biológico do lixiviado de aterros sanitários antigos, com baixa concentração de matéria orgânica e com altas concentrações de nitrogênio amoniacal, através da utilização de filtros biológicos de baixa taxa, com diferentes meios suportes.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Avaliar a eficiência dos sistemas;
- Definir a adequabilidade dos materiais utilizados como leito suporte;
- Avaliar a adequação da taxa de aplicação utilizada para as diferentes unidades e diferentes tipos de materiais de leito suporte;
- Avaliar a utilidade do emprego de unidades de pré-filtração, quando o lixiviado é fracamente concentrado e provém de aterro antigo.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. A problemática do lixo urbano**

O lixo disposto inadequadamente, sem qualquer tratamento, pode poluir o solo, as águas (subterrânea e superficial) e o ar.

Por conter substâncias de alto teor energético e por oferecer disponibilidade simultânea de água, alimento e abrigo, o lixo é um excelente nicho ecológico para inúmeras espécies de microrganismos e animais desenvolverem-se.

Pode-se classificar em dois grandes grupos os seres que habitam o lixo: os macrovetores, como por exemplo ratos, baratas, moscas e mesmo animais de maior porte como cães, aves, suínos e eqüinos; e, os microvetores, onde estão os vermes, bactérias, fungos, actinomicetos e vírus, sendo estes últimos os de maior importância epidemiológica por serem patogênicos e, portanto, nocivos ao homem.

A parte orgânica do lixo, ao se degradar biologicamente, produz um líquido de cor negra (chorume), que é diluído e arrastado pelas águas pluviais que se infiltram na massa. Este líquido que lixivia dos aterros tem altas concentrações de DQO, DBO e  $\text{NH}_4^+$  e metais traços dissolvidos devido ao seu baixo pH; é o denominado lixiviado.

Substâncias de origem industrial, como por exemplo detergentes não biodegradáveis e resíduos tóxicos (pesticidas, herbicidas), também são carregados e servem para compor o lixiviado.

Quando este líquido lixiviado chega aos mananciais hídricos, promove a redução no oxigênio dissolvido, o aumento na concentração de metais pesados, gosto, cor e odores indesejáveis, bem como promove condições ambientais para o desenvolvimento de microrganismos patogênicos (LIMA, 1995).

#### **3.2. Classificação e caracterização do lixo urbano**

O lixo urbano é classificado como CLASSE II (não inertes) segundo a NBR 10004, e pode apresentar as seguintes propriedades: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.

O lixo ou resíduo sólido, de acordo com a nomenclatura atualmente adotada, também pode ser classificado em função de sua origem, conforme segue:

**Resíduo domiciliar:** é o denominado lixo domiciliar, constituído de restos de alimentação, embalagens diversas, varreduras, folhagens e outros materiais descartados pela população; inclui-se aqui o material procedente de diversos estabelecimentos comerciais, como escritórios, lojas, super-mercados, restaurantes, empresas e outros. É constituído, principalmente, por papéis, papelão, plásticos, caixas, etc.;

**Resíduo industrial:** é o procedente de diversas áreas do setor industrial, e portanto, de constituição muito variada; encontra-se aqui um espectro grande de resíduos reconhecidamente tóxicos e perigosos;

**Resíduos de serviços saúde:** é constituído por resíduos das mais diferentes áreas dos estabelecimentos hospitalares: refeitórios, cozinha, centro cirúrgico, administração, limpeza e outros. Fazem parte também desses dejetos os resíduos provenientes de farmácias, postos de saúde, clínicas veterinárias e clínicas médicas;

**Resíduo especial:** é o lixo constituído por resíduos e materiais produzidos esporadicamente, como os oriundos da limpeza de jardins, restos de podas, animais mortos e entulhos;

**Resíduos de feiras, varrição e outros:** são resíduos de varrição regular das ruas, conservação da limpeza de núcleos comerciais, limpeza de feiras, constituindo-se principalmente de papéis, cigarros, invólucros, restos de capinas, areia, ciscos e folhas (MANDELLI et alli, 1991).

**Resíduo radioativo:** são principalmente as fontes de material radioativo existentes em hospitais, cujo gerenciamento está a encargo do Conselho Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

### **3.3. Composição física do lixo urbano**

Em função dos objetivos a que se propõe o presente trabalho, será dada ênfase aos resíduos sólidos urbanos.

Os principais materiais que compõe o lixo urbano são: plásticos, papéis, metais, vidros e matéria orgânica putrescível.

As características do lixo não são constantes, dependendo da cultura e grau de desenvolvimento da sociedade que o produz.

**Tabela 3.1** - Composição média do lixo de duas cidades do Brasil

Componentes	Porto Alegre,RS (1994)(*) (%)	São Carlos,SP (1989)(**) (%)
Matéria orgânica	58,6	56,7
Papéis	21,3	21,3
Plásticos	8,4	8,5
Vidros	1,3	1,4
Metais	4,4	5,4
Outros	6,0	6,7

Fontes : (\*) DMLU

(\*\*) MANDELLI et alli (1991)

### 3.4. Aterro sanitário como tecnologia de disposição final de lixo urbano

O objetivo fundamental no tratamento de resíduos sólidos pelo método do aterro sanitário, é atingir um máximo de eficiência com um mínimo de alterações ambientais. Portanto, em qualquer método utilizado para execução de um aterro, devem ser observadas condições ideais de compactação, cobertura, impermeabilização de fundo e drenagem. A compactação promove um aproveitamento racional da área disposta e a cobertura, juntamente com a impermeabilização de fundo, promovem o isolamento da matéria orgânica do ar atmosférico e do lençol freático; as drenagens superficial e subterrânea promovem o isolamento da área e a capacidade de drenagem do lixiviado.

Na execução de um aterro, são intercaladas camadas de argila, levemente compactadas, com camadas de lixo, havendo o cuidado de recobrir o lixo com argila diariamente (GANDOLLA et alli, 1995)

Há três maneiras básicas de se executar um aterro sanitário:

**Aterro em trincheira:** consiste no preenchimento de trincheira escavada no solo e selamento, podendo coincidir com o relevo original da área ou constituir elevação da topografia original, permitindo ganhos de volume para disposição. É a metodologia mais adequada e empregada para a disposição de quantidades de resíduos que não excedam 10 toneladas por dia.

**Aterro em meia encosta:** é uma técnica que permite boa integração paisagística do aterro com o relevo local. Propicia a drenagem do percolado por escoamento livre, sem o

emprego de elevatórias. Pode ser adotado no caso de camadas de solos superficiais de baixa permeabilidade, com pequenas espessuras.

**Aterro superficial:** apresenta desvantagens em relação aos aspectos de integração paisagística do aterro com a área, mas vantagens no que se refere às condições operacionais e de monitoramento. A drenagem do percolado verifica-se em regime livre e em geral não sendo, necessárias estações elevatórias, minimizando problemas com a obstrução de drenos. A maior vantagem deste tipo de aterro é fato de dispensar a remoção de camadas de solo originais, propiciando maiores espessuras entre a base do aterro e o nível freático, aumentando-se a segurança do sistema. Os investimentos e custos operacionais são menores do que os verificados para as outras alternativas referidas, uma vez que os movimentos de terra são, em geral, menores.

### **3.4.1. Microbiologia e bioquímica da digestão anaeróbia em aterros sanitários**

Digestão anaeróbia é o processo de estabilização da matéria orgânica através de atividade microbiana na ausência de oxigênio atmosférico, com produção dos gases metano e carbônico no final da degradação.

#### **3.4.1.1. Fases metabólicas da digestão anaeróbia**

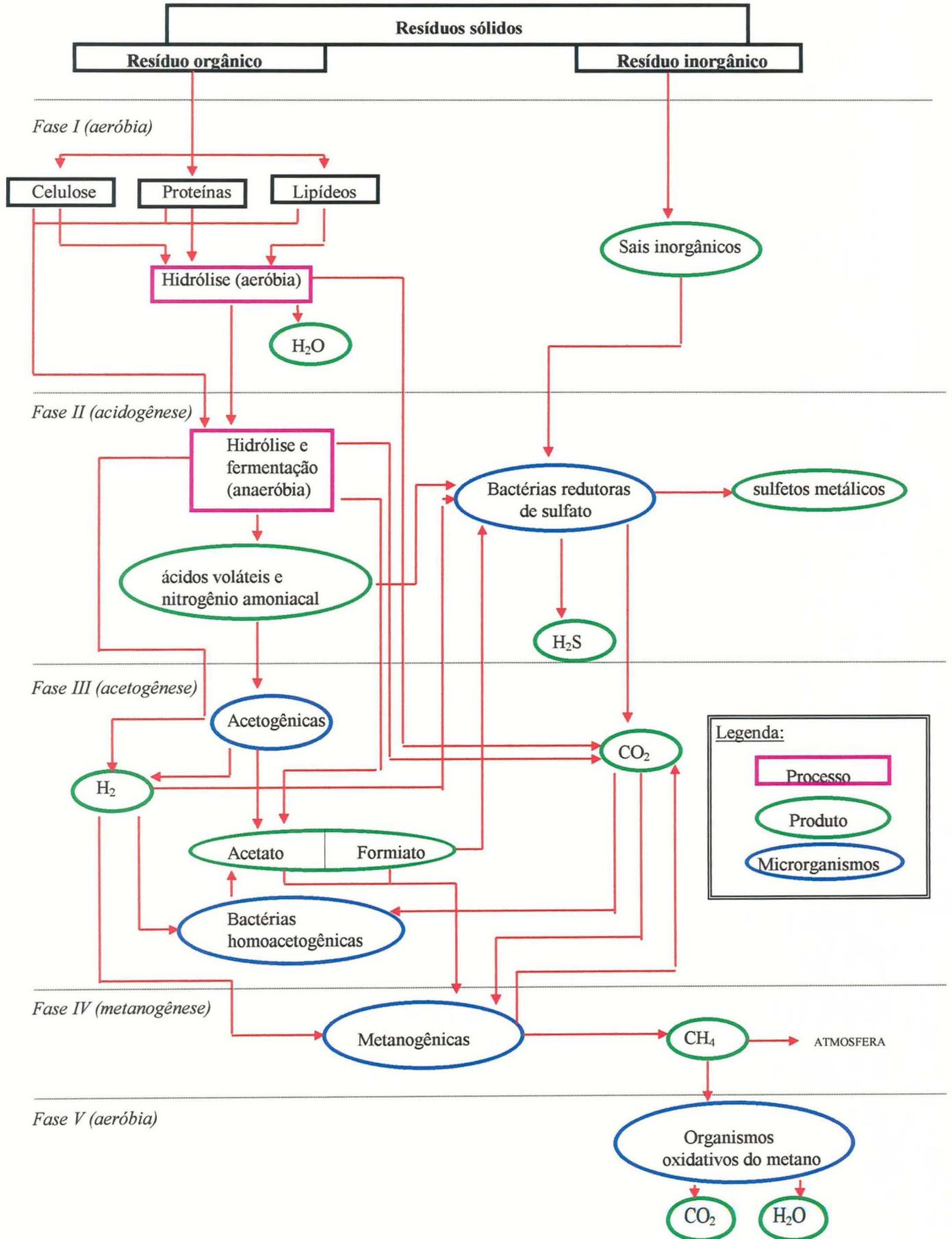
No atual nível de conhecimento sobre o fenômeno da digestão anaeróbia, é de aceitação mundial considerar que o processo desenvolve-se em pelo menos quatro estágios metabólicos.

No primeiro estágio, os compostos orgânicos complexos são hidrolisados através de enzimas produzidas por bactérias fermentativas, resultando compostos mais simples.

No segundo estágio ocorre a acidogênese, que é a formação de ácidos orgânicos de cadeia longa e baixo peso molecular, acetato,  $H_2$  e  $CO_2$ , através de bactérias fermentativas.

No terceiro estágio ocorre a acetogênese, quando os ácidos orgânicos são convertidos em  $H_2$  e acetato por bactérias acetogênicas, e parte do  $H_2$  e  $CO_2$  são convertidos em acetato por bactérias homoacetogênicas.

No quarto estágio ocorre a metanogênese, que é a formação de gás metano ( $\text{CH}_4$ ) através da redução do  $\text{CO}_2$  e da descarboxilação do acetato. Este processo ocorre devido a atividade de bactérias metanogênicas acetoclásticas e metanogênicas consumidoras de  $\text{CO}_2$ .



**Figura 3.1** - Estágios metabólicos da degradação de resíduos sólidos em aterros sanitários (HMOS, 1995)

### 3.4.1.2. Bactérias participantes do processo

De acordo com PELCZAR et alli (1991), bactérias fermentativas são responsáveis pela produção de enzimas que liberadas no meio, hidrolisam compostos de cadeia complexa (celulose, hemicelulose, pectina, etc...) e os transformam em compostos moleculares de cadeia simples. Estes últimos são o etanol, acetatos, propionatos, butiratos entre outros.

Estas bactérias participam dos dois primeiros estágios da degradação anaeróbia.

As bactérias acetogênicas produtoras de  $H_2$  fermentam ácidos voláteis de cadeia maior que a do metanol, transformando-os em hidrogênio e acetato.

Poucas espécies deste grupo foram isoladas, mas verificou-se a influência exercida pelo  $H_2$ , revelando o estreito relacionamento existente entre as bactérias produtoras e consumidoras de  $H_2$ . A consequência disso é o balanço do  $H_2$  no ambiente desses microrganismos.

As bactérias acetogênicas consumidoras de  $H_2$  (homoacetogênicas) fermentam um amplo espectro de compostos, de um único carbono, a ácido acético que é precursor do metano ( $CH_4$ ). Igualmente, pouco se conhece sobre este grupo; no entanto, sabe-se que o metabolismo destas bactérias tem uma alta eficiência termodinâmica como consequência da não formação de  $H_2$  e  $CO_2$ , durante o crescimento de compostos orgânicos de cadeia longa.

As bactérias metanogênicas formam um grupo especial na degradação anaeróbia, constituído por várias espécies e com diferentes formas celulares. Este grupo é essencialmente anaeróbio e somente se utiliza de substrato específico, com exceção das *Methanohotrix* que conseguem sobreviver em meio aeróbio.

As metanogênicas estão incluídas no reino *archaeobacteria*, que agrega organismos que não possuem a maioria das características celulares básicas comuns aos indivíduos do grupo *eubacteria*.

O metano é produzido através de dois grupos de bactérias metanogênicas: um deles usa como substrato o acetato (metanogênicas acetoclásticas), e o outro usa como substratos  $CO_2$  e  $H_2$  (metanogênicas consumidoras de  $CO_2$ ), processo conhecido como homoacetogênese.

Bactérias redutoras de sulfato, frequentemente associadas com as bactérias metanogênicas em meios anaeróbios, produzem acetato e  $H_2$ , que serão utilizados pelas metanogênicas, e reduzem sulfato a sulfeto. Essa interação ainda permanece desconhecida e

este grupo representa papel importante no processo, podendo agir como bactérias acetogênicas favorecendo a metanogênese ou como bactérias competitivas (consomem o mesmo substrato), inibindo o processo através da redução de sulfato a sulfeto.

### **3.4.1.3. Degradação da matéria orgânica em aterro sanitário**

Segundo estudos efetuados por POHLAND (1985), a degradação da matéria orgânica em aterros sanitários (como digestor anaeróbio) acontece em cinco fases. Deve-se ressaltar que nenhum aterro apresenta um única fase distinta ou uma sequência perfeitamente ordenada de fases. O que se constata é a presença de um conjunto de diferentes fases e idades associadas às várias seções ou células do aterro. Igualmente, observa-se que a taxa de desenvolvimento através dessas fases pode variar dependendo das condições físicas, químicas e bacteriológicas desenvolvidas em cada seção em função do tempo de disposição.

#### **FASE I - ajustamento inicial (aeróbio):**

- Disposição dos resíduos, acúmulos de umidade;
- Subsidência inicial, cobertura da área;
- Início do processo de estabilização.

#### **FASE II - transição:**

- Formação de chorume;
- Transição da fase aeróbia para anaeróbia;
- Estabelecimento das condições de oxi-redução;
- Aparecimento de ácidos voláteis.

#### **FASE III - formação de ácidos:**

- Predominância de ácidos voláteis de cadeia longa;
- Decréscimo do pH com conseqüente mobilização e possível complexação de espécies metabólicas;
- Liberação de nutrientes como o nitrogênio e o fósforo, que serão utilizados como suporte no crescimento da biomassa;
- Detecção do H<sub>2</sub> que pode afetar a natureza de alguns compostos intermediários formados.

#### **FASE IV - metanogênica:**

- Conversão de produtos que apareceram na fase intermediária em CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, em excesso;

- Retorno do pH a nível de tampão, controlado pelos ácidos voláteis;
- Potencial redox nos valores mais baixos;
- Precipitação e complexação de metais;
- Drástica redução de DQO (medida no lixiviado) com aumento na produção de gás.

**FASE V - maturação final:**

- Estabilização da atividade biológica, com relativa inatividade;
- Baixa concentração de nutrientes e paralisação na produção de gás;
- Predominância de condições ambientais naturais;
- Aumento do valor do potencial redox com o aparecimento de  $O_2$ , devido à redução da pressão de metano e a penetração de ar atmosférico, e espécies oxidadas;
- Conversão lenta de materiais orgânicos resistentes aos microrganismos em substâncias húmicas complexadas com metais reativos.

Apresenta-se a seguir nas figura 3.2 e 3.3, a variação de alguns parâmetros, nos gases e lixivados, da degradação anaeróbia em aterros sanitários.

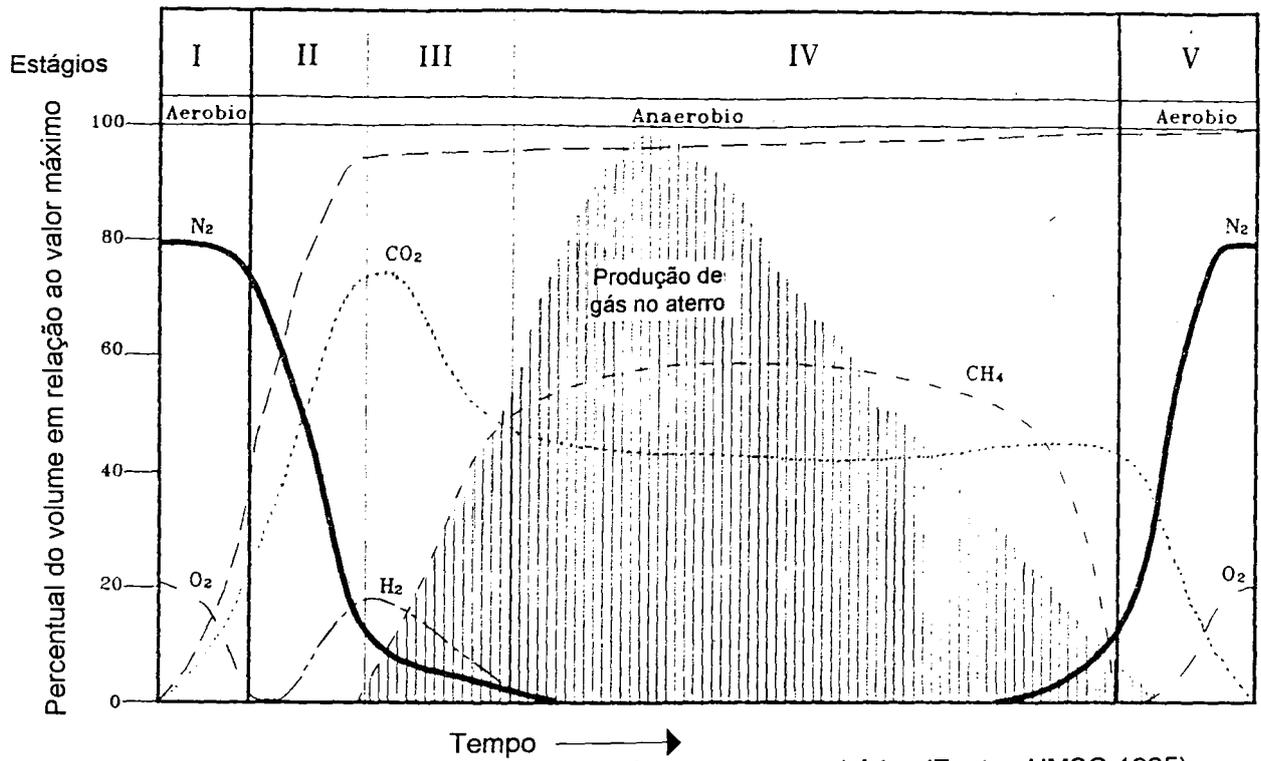


Figura 3.2 - Variação na composição do gás de aterros sanitários (Fonte : HMSO 1995)

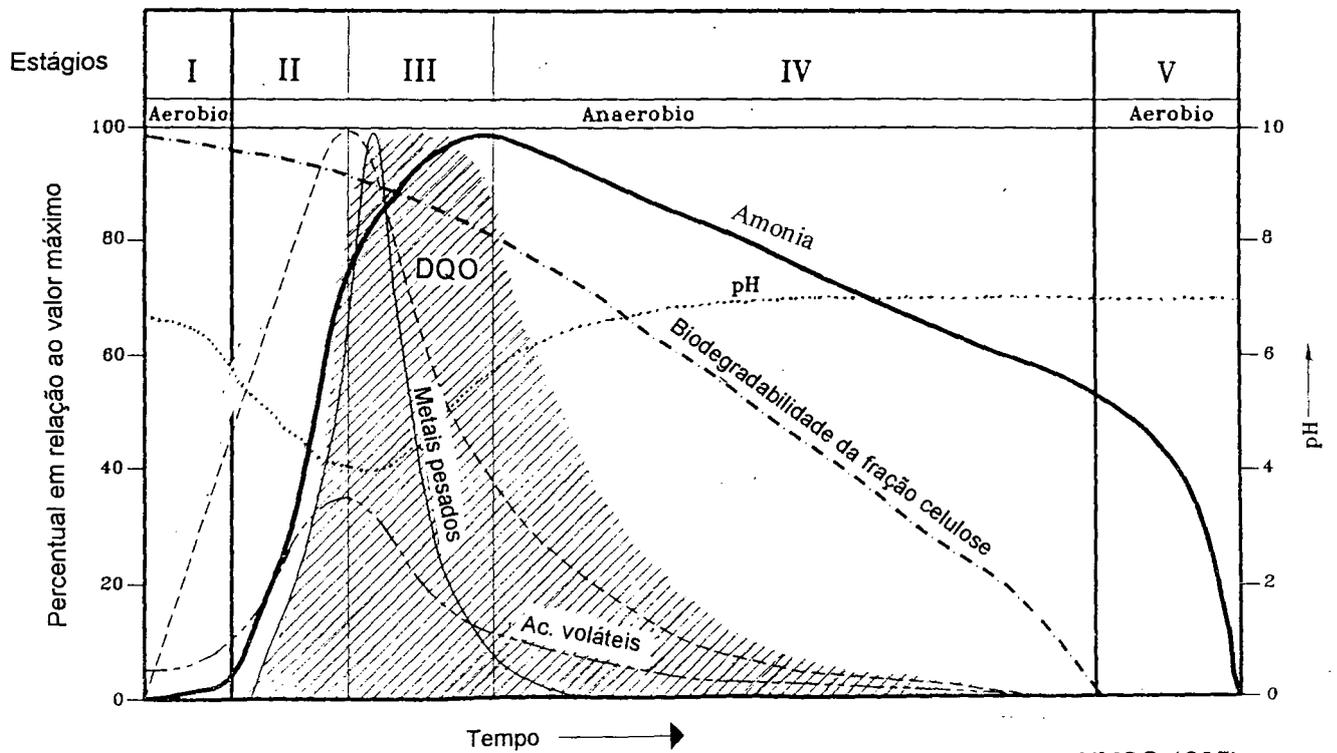


Figura 3.3 - Variação na composição do lixiviado de aterros sanitários (Fonte: HMSO 1995)

### 3.4.2. Geração e caracterização de lixiviado

#### 3.4.2.1. Geração de lixiviado

No Brasil, o lixo urbano é composto principalmente por matéria orgânica (aproximadamente 60 %) e nesta há em torno de 50% de água.

Em decorrência da degradação anaeróbia da matéria orgânica, há a formação de chorume, constituído de uma grande carga orgânica e de alto poder impactante para a natureza.

O lixiviado é o resultado da percolação da água de chuva pelo aterro e de sua mistura com o chorume; assim, a água é o veículo de transporte do chorume, diluído, para fora da célula do aterro.

O volume de lixiviado gerado é influenciado pelos seguintes fatores:

- Clima local (regime de precipitações pluviométricas, temperatura, velocidade e direção dos ventos, umidade relativa do ar);
- Tipo de cobertura dos resíduos (material, periodicidade);
- Umidade dos resíduos na sua chegada ao aterro.

A partir do momento em que os resíduos estejam saturados em água, o volume de lixiviado pode ser estimado, grosseiramente, da seguinte forma:

**Tabela 3.2** - Participação da precipitação pluviométrica na geração de lixiviados (aproximada)

Estágio construtivo	Clima seco	Clima úmido
Aterro em construção	0-40 % da precipitação	30-70 % da precipitação
Aterro selado	0-20 % da precipitação	0-40 % da precipitação

Fonte : GANDOLLA et alli (1995)

A produção de lixiviados pode ser prevista com maior precisão quando baseado em dados meteorológicos da região em questão, calculando-se o balanço hídrico do aterro, como segue:

$$L = P_i \pm \Delta U_w + B \quad (1)$$

**L** ≡ volume de lixiviado formado;

**P<sub>i</sub>** ≡ fração da água pluvial que infiltra nos resíduos;

**ΔU<sub>w</sub>** = variação da umidade dos resíduos;

**B** = produção ou consumo de líquido pelas atividades microbianas.

No caso de aterro em construção, tem-se:

**P<sub>i</sub>** = P (precipitação média mensal dos últimos 10 anos).

Considera-se que um volume de precipitação que infiltra, correspondente a 40 % do volume do aterro, sirva para saturar o mesmo e toda a precipitação posterior será transformada em lixiviado, considerando-se insignificante a produção ou consumo de líquidos pelos microrganismos (B=0).

No caso de aterro selado, tem-se:

$$P_i = P + J + R^* - R - ET \pm \Delta U_s \quad (2)$$

onde:

**P** ≡ precipitação média mensal dos últimos 10 anos;

**J** ≡ quota de uma eventual irrigação ou recirculação;

**R\*** ≡ quota de contribuição superficial a partir de terrenos externos ao aterro;

**R** ≡ quota da precipitação que esco superficialmente sobre o aterro;

**ET** ≡ quota perdida por evapotranspiração da cobertura do aterro;

**ΔU<sub>s</sub>** = variação da umidade do terreno de cobertura (GANDOLLA et alli, 1995).

### 3.4.2.2. Caracterização de lixiviado

A evolução dos processo biológicos que ocorrem no interior do aterro, bem como a sua idade e composição dos resíduos dispostos, influenciam nas características do lixiviado. Os principais parâmetros utilizados na caracterização dos lixiviados são os que seguem:

- DQO e DBO<sub>5</sub>, sendo que, uma fração considerável da DQO inicial é constituída de ácidos graxos voláteis, cuja concentração é um bom indicador do estágio da degradação biológica;

- A relação  $DBO_5/DQO$ , que indica o percentual da matéria orgânica que é biodegradável, e que diminui a medida em que o aterro evolui: inicialmente tem-se 0,5 a 0,8 ; que passam a 0,07 a 0,08 depois de alguns anos.

- A concentração de metais (Fe, Mn, Zn, Mg, Cu, Pb, Cd), elevada em aterros novos, devido ao ambiente ácido que favorece a solubilização dos íons metálicos. Esta concentração tende a diminuir com o tempo, na medida em que o pH aumenta;

- O fósforo, presente em concentrações tão modestas que em certos casos há a necessidade de correção na sua concentração para viabilizar-se o tratamento biológico do lixiviado;

- A concentração de enxofre, que embora presente nos resíduos, só é emitido em quantidades pequenas, pois se fixa no aterro sob a forma de sulfetos insolúveis, principalmente de ferro (GANDOLLA et alli, 1995).

- A concentração de nitrogênio apresenta-se nas formas de N amoniacal (com predominância do  $NH_4^+$ ), N orgânico,  $NO_2^-$  (nitrito) e  $NO_3^-$  (nitrato). Estes podem contribuir com uma parcela pequena do N total, mas se o aterro está em decomposição anaeróbia, provavelmente suas concentrações serão baixas. (DANTAS, 1988);

- A alcalinidade é a capacidade de uma solução em neutralizar ácidos, devido, principalmente, à presença de íons bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. Na digestão anaeróbia, o maior contribuinte para a alcalinidade é o dióxido de carbono, gerado ao longo do processo. A dissolução do dióxido de carbono, na fase líquida, confere elevada capacidade de tamponamento do sistema, em função da relação entre as concentração de íons bicarbonatos e ácidos orgânicos voláteis. Outras espécies químicas presentes, nos lixiviados, contribuem para o incremento da capacidade de tamponamento do meio. Entre essas espécies estão os compostos nitrogenados, os quais são degradados à formas amoniacais, estabelecendo equilíbrio fortemente resistente a alteração de pH (ARRUDA, 1995);

- O pH, no lixiviado, é um parâmetro que está associado à decomposição biológica de matéria orgânica e que sofre flutuações ao longo do processo de estabilização. Em processos de biodegradação anaeróbia, o desenvolvimento dos microrganismos está diretamente relacionado às faixas predominantes de pH para o desenvolvimento das bactérias metanogênicas que situa-se entre 6,7 e 7,4. Desta forma, em sistemas de conversão da matéria orgânica como aterro sanitário, pode-se esperar que, nas fases iniciais do processo de

degradação, o pH apresente valores menores em função da produção de ácidos voláteis pelas bactérias hidrolíticas fermentativas, e que estes valores aumentem gradativamente com o tempo, devido ao consumo destes ácidos pelas bactérias metanogênicas. (ARRUDA, 1995);

- Para aterros jovens, a concentração de sólidos voláteis no lixiviado é extremamente alta, sendo a sua maior parcela de matéria orgânica biodegradável. Com a estabilização da matéria orgânica no aterro, há uma redução na concentração de sólidos com a predominância de sólidos fixos e sendo a parcela orgânica, sólidos voláteis, de difícil biodegradabilidade;

- Ácidos orgânicos voláteis são excelentes indicadores do grau de degradabilidade e do andamento de processos anaeróbios, pois eles são gerados na fase acidogênica e consumidos na fase metanogênica. Os principais ácidos encontrados em degradação anaeróbia são: acético, propiônico, butírico, iso-butírico, valérico, iso-valérico.

Através da caracterização do lixiviado, pode-se ainda dividir a degradação anaeróbia em duas macro fases, as quais possibilitam determinar a idade do aterro em termos de degradação biológica:

- a) Fase ácida : geração de ácidos graxos voláteis (aterro jovem);
- b) Fase metanogênica : geração do gás metano ( $\text{CH}_4$ ), levemente alcalina (aterro velho).

**Tabela 3.3** - Comparação dos principais parâmetros entre as macro fases de degradação anaeróbia em aterro sanitário

Parâmetro	Fase ácida	Fase metanogênica
pH	4,5 - 7,5	7,5 - 9,0
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> / L)	4000 - 40000	20 - 550
DQO (mg O <sub>2</sub> / L)	6000 - 60000	500 - 4500
SO <sub>4</sub> (mg / L)	70 - 1750	10 - 420
Ca (mg / L)	10 - 2500	20 - 600
Mg (mg / L)	50 - 1150	40 - 350
Fe (mg / L)	20 - 2100	3 - 280
Mn (mg / L)	0,30 - 65,00	0,03 - 45
Zn (mg / L)	0,1 - 120	0,03 - 4,0
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg / L)	30 - 3000	30 - 3000
N <sub>org</sub> (mg / L)	10 - 4250	10 - 4250
P (mg / L)	0,10 - 30	0,1 - 30

Fonte: GANDOLLA et alli (1995)

### **3.5. Operações e processos utilizados para o tratamento de lixiviados**

#### **3.5.1. Introdução**

Os lixiviados de aterros sanitários, que inicialmente apresentam altas cargas poluentes, caracterizadas por altas DBO, DQO,  $\text{NH}_4^+$  e baixo pH, tem grande variabilidade em seus constituintes no tempo.

A determinação do melhor sistema de tratamento para lixiviados não é uma tarefa simples, pois a princípio todas as operação e processos de tratamento de águas residuárias podem ser a eles aplicados; no entanto, as eficiências variam, processo a processo e de lixiviado para lixiviado. Importantes fatores direcionam a seleção do tratamento mais adequado, sendo eles: as características do lixiviado, a possibilidade de tratamento conjunto com efluentes domésticos, as variáveis ambientais, os custos e disponibilidade de área para implantar a estação de tratamento, entre outros.

Resulta assim que o tratamento do lixiviado não deve ser abordado de uma maneira isolada, e sim fazendo parte de uma proposta de gerenciamento amplo do aterro sanitário onde, em função do rigor que se deseja no controle desse efluente, além da própria estação de tratamento, poderão ser previstos dispositivos adequados à retenção em bacias de equalização / detenção e recirculação para as células de aterro, extremamente importante em situações de temperaturas elevadas que reduzem a umidade natural dos resíduos e comprometem a sua degradação.

#### **3.5.2. Tratamento biológico de lixiviados**

O tratamento biológico de águas residuárias é baseado no contato do efluente, de altas cargas orgânicas, com uma cultura de microrganismos que se desenvolve ao utilizar a matéria orgânica como substrato.

Os métodos para otimização do processo biológico incluem o controle dos níveis de oxigênio dissolvido, a adição de nutrientes, o aumento da concentração de microrganismos e a manutenção das condições ambientais ótimas ( pH, temperatura e mistura).

No processo biológico aeróbio, a matéria orgânica é decomposta a dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e água em presença do oxigênio disponível, que é essencial para a decomposição aeróbia, funcionando como acceptor final dos elétrons liberados durante o processo oxidativo.

No processo de tratamento anaeróbio, a matéria orgânica bruta é transformada em matéria mais simples originando como subprodutos  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ , na ausência de oxigênio livre no meio.

O tratamento biológico não altera e tampouco destrói matéria inorgânica; no entanto, uma pequena parcela desta matéria pode ser removida por precipitação e até mesmo adsorvida pelas células microbianas, como é o caso de macro e micronutrientes e concentrações limitadas de metais pesados.

Vários estudos abordando o uso de tratamento biológico para atenuação dos poluentes de lixiviados de aterros sanitários foram desenvolvidos. Dentre eles, QASIM & CHIANG (1994) citam:

- Lodos ativados;
- Lagoas aeradas;
- Bio-discos;
- Digestão anaeróbia.

### **3.5.2.1. Lodos ativados**

No processo de lodos ativados, microrganismos são misturados com a água residuária e o crescimento microbiano se dá pela assimilação da matéria orgânica dissolvida (ou suspensa) presente no afluente. Os microrganismos crescem na presença de oxigênio dissolvido na água e são misturados por agitação mecânica. Nesse processo há a formação de flocos, ou colônias de microrganismos, o lodo ativado propriamente dito.

Este processo é composto geralmente por reator de mistura completa e clarificador secundário (decantador), para reter o lodo ativado que sai do reator com o afluente tratado. O sistema de lodos ativados tem duas concepções básicas: fluxo contínuo e sistema sequencial em batelada (RSB).

O sistema de fluxo contínuo consiste basicamente em um reator de mistura completa seguido de um decantador, com a recirculação de lodo através de bombeamento. Parte do lodo é descartada, o que permite o controle da biomassa ativa no reator.

O sistema em batelada (RSB) consiste em um único tanque que funciona ora como reator de mistura completa e ora como decantador, de acordo com a regra operativa imposta.

COOK & FOREE (1974), utilizando cinco sistemas de lodos ativados, em escala de bancada, com injeção de ar pelo fundo e utilizando lodo ativado já aclimatado com lixiviado,

obtiveram os resultados constantes da tabela 3.4. Os coeficientes cinéticos usados no processo, obtidos em estudo preliminar com lixiviado de aterro sanitário, foram os seguintes:

$$y = 0,40 \text{ mg SSV/mg DQO}$$

$$b = 0,05 \text{ dia}^{-1}$$

$$K = 0,60 \text{ mg DQO/dia mg SSV}$$

$$K_s = 175 \text{ mg DQO/L}$$

**Tabela 3.4 - Resultados obtidos com tratamento de lixiviados por lodos ativados.**

Parâmetros	Lixiviado	Unid. 1	Unid. 2	Unid. 3	Unid. 4	Unid. 5
Adição no lixiviado	-	-	Lodo ativ.	Lodo ativ./ Nutrientes	Nutrientes	-
Tempo de detenção hidráulica (dias)	-	10	10	10	10	5
Carga (g DQO/m <sup>3</sup> dia)	-	1550	1550	1550	1550	3100
DQO <sub>total</sub> (mg O <sub>2</sub> / L)	15800	360	340	290	310	8450
Remoção de DQO <sub>total</sub> (%)	-	97,6	97,8	98,1	98,0	46,5
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> / L)	7100	26	23	11	10	3400
Remoção de DBO <sub>5</sub> (%)	-	99,6	99,7	99,8	99,9	52,1
SS (mg/L)	550	5950	7370	7270	7070	4490
SSV (mg/L)	310	4410	4930	4470	5020	3270
Remoção SSV (%)	57,1	74,3	66,8	65,7	70,9	73,0
Relação DBO <sub>5</sub> /DQO	0,450	0,072	0,067	0,038	0,032	0,402

Fonte : COOK & FOREE (1974).

**BOYLE & HAM (1974) utilizaram três reatores aeróbios, em escala de bancada, para estudar o tratamento aeróbio do lixiviado. As unidades "A" e "D" operaram por vários meses, usando sempre cinco dias como tempo de detenção hidráulico; a unidade "C" simulou um sistema de aeração prolongada, com ciclo de 23 h de aeração por 1 h de descanso.**

Para temperaturas entre 23 e 25 °C durante o estudo, obtiveram os seguintes resultados:

**Tabela 3.5** - Resultados do tratamento de lixiviados por lodos ativados

Parâmetros	Unidade "A"		Unidade "C"	Unidade "D"
	Exper. 1	Exper. 2		
Tempo de Detenção (dias)	5	5	1	5
DBO <sub>afluente</sub> (mg O <sub>2</sub> / L)	1550	2900	8000	7010
Carga (Kg DBO/m <sup>3</sup> dia)	0,304	0,576	5,28	1,392
DBO <sub>efluente</sub> (mg O <sub>2</sub> / L)	160	200	7800	1400
Remoção de DBO (%)	90	93	2,5	80
DQO <sub>afluente</sub> (mg O <sub>2</sub> / L)	2700	6200	9200	8800
Carga (Kg DQO/m <sup>3</sup> dia)	0,544	1,04	6,08	1,744
DQO <sub>efluente</sub> (mg O <sub>2</sub> / L)	830	430	6720	2310
Remoção de DQO (%)	80	93	30	74
Relação DBO/DQO afluente	0,574	0,467	0,869	0,796
Relação DBO/DQO efluente	0,193	0,465	1,161	0,606

Fonte : BOYLE & HAM (1974)

KEENAN et alli (1984), monitorando e operando uma estação de tratamento de lixiviados completa, com tratamento físico-químico e biológico por lodos ativados em escala real, com recirculação de lodo, obtiveram resultados muito significativos. A concentração de SSV variou de 6000 a 12000 mg/L e a relação alimento/microrganismos (F/M) variou de 0,12 a 0,32 dia<sup>-1</sup> para um tempo médio de detenção hidráulico de 6,6 h. A seguir apresenta-se a tabela 3.6 de resultados dos principais parâmetros analisados.

**Tabela 3.6** - Resultados de tratamento, em escala real, de lixiviados por lodos ativados

Parâmetros	Operação em paralelo		Operação em série	
	Afluente	Remoção (%)	Afluente	Remoção (%)
Tempo de Detenção (dias)	1,9	-	2,0	-
DQO (mg O <sub>2</sub> / L)	18488	94,9	18505	94,6
DBO (mg O <sub>2</sub> / L)	12468	99,1	8143	94,3
Relação DBO/DQO	0,674	-	0,440	-
Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	5479	87,5	5262	71,6
Sulfato (mg/L)	645	-	178	-
Fosfato (mg/L)	2,15	-	1,39	-
N T K (mg/L - N)	748	86,4	-	-
SS (mg/L)	686	97,4	1655	71,1
SD (mg/L)	13563	58,0	13091	44,7
Vazão (m <sup>3</sup> /dia)	79,92	-	38,04	-

Fonte : KEENAN et alli (1984)

QASIM & CHIANG (1994), sugerem os seguintes coeficientes cinéticos, para uso com sucesso no projeto de unidades de lodo ativado destinadas ao tratamento de lixiviados de aterros sanitários.

**Tabela 3.7** - Coeficientes cinéticos para lodos ativados utilizados em sistemas de tratamento de lixiviados de aterros sanitários

Parâmetro afluente/ concentração (mg/L)	k (d <sup>-1</sup> )	K <sub>s</sub> (mg/L)	Y (mg/mg)	k <sub>d</sub> (d <sup>-1</sup> )	θ <sub>c</sub> (d)	Temperatura ambiente (°C)
DBO <sub>5</sub> -36000	0,75	200	0,33	0,0025	6,5	23-25
DQO-15800	0,60	175	0,40	0,05	-	22-24
DBO <sub>5</sub> -13640	0,77	20,4	0,39	0,022	3,6	23-25
	0,71	29,5	0,63	0,075	-	16
	0,46	14,6	0,50	0,028	-	9
	0,29	11,8	0,43	0,008	7,5	5
	1,16	81,8	0,49	0,009	1,8	22-23
DBO <sub>5</sub> -8090	1,12	63,8	0,51	0,018	1,8	15
	0,51	34,6	0,51	0,006	4,0	10
	0,34	34,0	0,55	0,002	5,4	5
DBO <sub>5</sub> -1000	4,5	99	0,59	0,040	0,42	22-23
DBO <sub>5</sub> -365	1,8	182	0,59	0,115	-	21-25
DBO <sub>5</sub> -3000	-	-	0,44	-	1-20	10
DBO <sub>5</sub> -2000	0,46	180	0,50	0,100	2-10	25

Fonte: QASIM & CHIANG (1994)

#### 3.4.2.2. Lagoas aeradas

As lagoas aeradas são semelhantes às lagoas de estabilização, com a diferença de que são providas de equipamentos de aeração mecânica, cuja principal finalidade é introduzir oxigênio na massa líquida. Sua profundidade varia de 3,0 a 5,0 m. O sistema funciona como um tanque de aeração, no qual a aeração artificial substitui a oxigenação natural através de algas e da aeração superficial.

A área requerida por este sistema é menor do que a requerida pelas lagoas de estabilização, devido a sua maior profundidade e ao tempo de retenção necessário para estabilização da matéria orgânica, que também é menor.

As lagoas aeradas mecanicamente podem ser classificadas em três tipos:

- Facultativa;
- Aeróbia com mistura completa;

- Aeração prolongada (MENDONÇA, 1990).

A seguir, apresenta-se os resultados de um experimento com tanques aerados, desenvolvido na cidade de Braunschweig, na Alemanha, em 1972, durante a estação de inverno.

**Tabela 3.8** - Resultados de tratamento de lixiviados por lagoas aeradas.

Parâmetros	Tanque 1	Tanque 2
Adição no lixiviado	-	Fósforo
Tempo de detenção hidráulica(dias)	13-4,7	12,6-12,5
Carga (Kg DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> dia)	0,50-0,16	0,41-0,90
Carga (Kg SSo /m <sup>3</sup> dia)	0,07-0,02	0,11-0,064
DBO <sub>5</sub> <i>aflluente</i> filtrada (mg O <sub>2</sub> / L)	6500-750	5170-11253
DQO <sub>aflluente</sub> filtrada(mg O <sub>2</sub> / L)	11500-4000	8140-16660
DBO <sub>5</sub> <i>efluente</i> filtrada (mg O <sub>2</sub> / L)	60-20	<25
DQO <sub>efluente</sub> filtrada (mg O <sub>2</sub> / L)	3500-20	560-2500
Remoção DBO <sub>5</sub> filtrada (%)	85-99,5	99,8-99,9
Remoção DQO filtrada (%)	40,0-60,0	93,7-85,0

### 3.5.2.3. Bio-discos (RBC)

O sistema consiste de uma série de discos ligeiramente espaçados, montados num eixo horizontal. Os discos giram vagarosamente e mantém, em cada instante, cerca da metade da área superficial imersa e a restante exposta ao ar. A medida que os discos giram, a parte exposta aera uma película líquida em contato com o bio-filme aderido ao disco. Com a passagem dos microrganismos aderidos à superfície dos discos pelo líquido, estes absorvem uma nova quantidade de matéria orgânica, utilizada como substrato.

Quando a camada biológica atinge uma espessura excessiva, ela se desprende dos discos e é mantida no meio líquido em suspensão, aumentando a eficiência do sistema (VON SPERLING, 1995).

SPENGL & DZOMBAK (1991) utilizaram bio-discos no tratamento de lixiviados de aterros velhos, com baixa DBO e alta carga de amônia. O sistema foi intensamente investigado em escala de bancada, tendo sido usados três reatores rotatórios biológicos de contato (RBC);

cada reator foi composto por três estágios de dois bio-discos. A oxidação da amônia foi completa e se obteve uma remoção máxima da DQO de 38 %.

Em estudos com bio-discos de estágio aeróbio simples seguido de unidade anaeróbia, a possibilidade de desnitrificação foi demonstrada pela redução do nitrato produzido pela oxidação da amônia. A seguir apresenta-se a tabela de resultados.

**Tabela 3.9 - Resultados do tratamento de lixiviados com bio-discos**

Parâmetros	RBC 1	RBC 2	RBC 3A	RBC 3B
Nº de estágios aeróbios	3	3	3	3
Nº de estágios anaeróbios	1	-	-	-
Carga hidráulica (L/m <sup>2</sup> .dia)	7,9	17,1	23,8	49,2
Tempo de detenção hidráulica (p/ estágio)	0,77	0,35	0,25	0,12
Carga de DBO <sub>5</sub> (g/m <sup>2</sup> .dia)	0,21	0,44	0,62	1,3
Carga de DQO (g/m <sup>2</sup> .dia)	2,8	6,1	8,5	18,4
Carga de amônia (g/m <sup>2</sup> .dia)	1,2	2,6	3,7	7,3
DBO <sub>5</sub> afluyente (mg O <sub>2</sub> /L) média	26	26	26	26
DBO <sub>5</sub> efluente (mg O <sub>2</sub> /L)	9	5	6	12
Remoção DBO <sub>5</sub> (%)	65	81	77	54
DQO afluyente (mg O <sub>2</sub> /L) média	360	360	360	375
DQO efluente (mg O <sub>2</sub> /L)	225	230	240	270
Remoção DQO (%)	37,5	36,1	33,3	28,0
Amônia afluyente (mg /L) média	154	154	154	154
Amônia efluente (mg /L) média	4	4	4	-
Remoção Amônia (%)	98	98	98	-
Nitrato afluyente (mg/L)	15	15	15	15
Nitrato efluente (mg/L)	70	140	150	140

Fonte: SPENGL & DZOMBAK (1991)

#### 3.5.2.4. Digestão anaeróbia

BOYLE & HAM (1974) estudaram processos anaeróbios para tratamento de lixiviados. Utilizaram reatores anaeróbios em escala de bancada em três fases distintas, onde foram feitos estudos com e sem controle de temperatura. A seguir, apresentam-se as tabelas 3.10, 3.11 e 3.12 mostram os resultados obtidos.

**Tabela 3.10** - Resultados do estudo preliminar para tratamento anaeróbio (reator de mistura completa) de lixiviados, sem controle de temperatura (experimento 1)

Parâmetros	Unid. Y	Unid. Z
	DTH = 10 dias	DTH = 10 dias
DQO afluente (mg O <sub>2</sub> /L)	10600	10600
DQO efluente (mg O <sub>2</sub> /L)	700	560
Remoção DQO (%)	93,4	94,5
DBO afluente (mg O <sub>2</sub> /L)	8400	8400
DBO efluente (mg O <sub>2</sub> /L)	150	95
Remoção DBO (%)	98,0	98,8
Relação DBO/DQO afluente	0,792	0,792
Relação DBO/DQO efluente	0,214	0,170
SSV afluente (mg/L)	4400	4400
SSV efluente (mg/L)	2120	1645
Remoção SSV (%)	52,0	62,5
Gás produção (m <sup>3</sup> /Kg <sub>(SSV)</sub> )	1,94	1,45

Fonte: BOYLE & HAM (1974).

**Tabela 3.11** - Resultados para tratamento anaeróbio (reator de mistura completa) de lixiviados sem controle de temperatura (experimento 2)

Parâmetros	Unidades experimentais						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Diluição do lixiviado afluente (%)	50	10	100	20	100	40	50
Tempo de detenção hidráulico	5	5	10	10	20	20	12,5
Temperatura °C	21-23	21-23	21-23	21-23	21-23	21-23	21-23
Carga de DQO (Kg/m <sup>3</sup> .dia)	2,16	0,432	2,16	0,432	1,072	0,432	0,864
Carga de SSV (Kg/m <sup>3</sup> .dia)	0,64	0,128	0,64	0,128	0,32	0,128	0,256
DQO afluente (mg O <sub>2</sub> /L)	11200	2240	22400	4480	22400	8960	11200
DQO efluente (mg O <sub>2</sub> /L)	967	225	1775	380	1540	630	450
Remoção DQO (%)	91,4	90,0	92,1	91,5	93,1	93,0	96,0
DBO afluente (mg O <sub>2</sub> /L)	9100	1820	18200	3640	18200	7385	9100
DBO efluente (mg O <sub>2</sub> /L)	655	165	1675	220	790	225	195
Remoção DBO (%)	92,8	90,0	90,8	93,9	95,7	96,9	97,5
Relação DBO/DQO afluente	0,812	0,812	0,812	0,812	0,812	0,812	0,812
Relação DBO/DQO efluente	0,677	0,734	0,944	0,579	0,513	0,357	0,433
SSV afluente (mg/L)	3300	660	6600	1320	6600	2640	3300
SSV efluente (mg/L)	990	380	1770	495	1565	765	1020
Remoção SSV (%)	70	42,4	73,2	62,5	76,3	71,0	69,1
Gás produção (m <sup>3</sup> /Kg <sub>(SSV)</sub> ) <sub>1atm/0°C</sub>	1,50	-	1,24	1,51	1,36	1,29	1,61
Gás produção (m <sup>3</sup> /Kg <sub>(DQO)</sub> ) <sub>1atm/0°C</sub>	0,31	0,33	0,27	0,28	0,30	0,26	0,32

Fonte: BOYLE & HAM (1974).

**Tabela 3.12** - Resultados para tratamento anaeróbio (reator de mistura completa) de lixiviados com controle de temperatura (experimento 3)

Parâmetros	Unidades experimentais			
	1	2	3	1a
Tempo de detenção hidráulico	12,5	20	12,5	12,5
Temperatura °C	23,1	23,1	15,1	10,8
Carga de DQO (Kg/m <sup>3</sup> .dia)	0,667	0,418	0,667	0,667
Carga de DBO (Kg/m <sup>3</sup> .dia)	0,500	0,312	0,500	0,500
Carga de SSV (Kg/m <sup>3</sup> .dia)	0,344	0,215	0,344	0,344
DQO afluente (mg O <sub>2</sub> /L)	8556	8556	8360	8300
DQO efluente (mg O <sub>2</sub> /L)	1095	1080	2220	6475
Remoção DQO (%)	87,2	87,4	73,4	22,0
DBO afluente (mg O <sub>2</sub> /L)	6380	6380	5760	6400
DBO efluente (mg O <sub>2</sub> /L)	193	196	908	4306
Remoção DBO (%)	97,0	96,9	84,2	26,6
Relação DBO/DQO afluente	0,746	0,746	0,746	0,746
Relação DBO/DQO efluente	0,176	0,181	0,408	0,665
SVT afluente (mg/L)	4222	4222	4361	4306
SVT efluente (mg/L)	1346	1380	2023	3750
Remoção SVT (%)	68,1	67,3	53,6	13,0
Gás produção (m <sup>3</sup> /Kg(DQO)) <sub>1atm/0°C</sub>	0,36	0,33	0,35	0,16

Fonte: BOYLE & HAM (1974)

MORAES (1993) realizou, a nível de bancada, um experimento utilizando reator anaeróbio de fluxo ascendente híbrido de manto de lodo e filtro (RHMLF) para tratamento de lixiviados do aterro Bandeirantes, em São Paulo. Obteve os seguintes resultados:

**Tabela 3.13** - Condição experimentais e resultados do reator híbrido de manta de lodo e filtro (RHMLF), reator anaeróbio de fluxo ascendente

PARÂMETROS	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5
Vazão (L/s)	1,76	2,28	2,77	4,06	8,61
Tempo de detenção hidráulica (dias)	5,70	4,40	3,63	2,47	1,23
Taxa aplicada (Kg DQO/m <sup>3</sup> .dia)	3,51	2,76	4,79	6,91	11,23
Taxa aplicada (Kg DBO/m <sup>3</sup> .dia)	2,32	1,82	3,16	4,56	7,41
DQO afluente	13780	16965	17412	12111	19975
DQO efluente	6090	8200	7050	4122	7432
DQO remoção (%)	55,8	51,7	59,5	66,0	62,8
DBO afluente	9092	11195	11481	7990	13180
DBO efluente	3480	4672	4038	2349	4138
DBO remoção (%)	61,7	58,3	64,8	70,6	68,6

Fonte : MORAES (1993)

De acordo com o autor, este tipo de tratamento é viável como pré tratamento, devendo haver um tratamento em sequência para obtenção de um efluente final em condições de lançamento ao ambiente.

QASIM & CHIANG (1994) apresentam um resumo de alguns trabalhos de tratamento anaeróbio de lixiviados e recomendações para o dimensionamento de filtros anaeróbios.

**Tabela 3.14 - Parâmetros básicos para dimensionamento de filtros anaeróbios**

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
Tempo de detenção hidráulica (mínimo) (dias)	4,9
Tempo de detenção hidráulica (média) (dias)	7,4
Reator anaeróbio	
Volume (m <sup>3</sup> )	2813
Diâmetro (m)	18,3
Profundidade (m)	10,7
Carga DBO (Kg / m <sup>3</sup> .dia)	7,1
Média	
Profundidade (m)	6,1
Volume (m <sup>3</sup> )	215
Área superficial (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	114,8
Máxima pressão de gás (m.c.a.)	0,305

Fonte: QASIM & CHIANG (1974).

### 3.5.3. Tratamentos físico-químico de lixiviados

Os tratamentos físicos baseiam-se na aplicação de forças físicas sobre o efluente, no intuito de promover a separação de contaminantes da água.

Os tratamentos químicos se baseiam no contato de produtos químicos com o afluente, proporcionando a sua alteração química e conseqüentemente a remoção de alguns contaminantes. É de se observar que processos químicos são usados, em geral, em conjunto com operações físicas; chamam-se tratamentos físico-químicos.

Os tratamentos físicos mais comuns são: evaporação natural, floculação e sedimentação, filtração e osmose reversa ou ultrafiltração.

Os tratamentos químicos mais comuns são: coagulação e precipitação, carvão ativado, troca iônica e oxidação química.

COOK & FOREE (1974) estudaram vários tratamentos físico-químicos para lixiviados de características diversas. Segundo os autores, o pH é o fator limitante na eficiência do

tratamento, já que para cada composto químico há uma faixa de pH ideal para promover a remoção dos poluentes.

Esses tratamentos conseguiram remover apenas parte de DQO e DBO, àquela parcela que estava na forma suspensa; as solúveis não foram removidas. A seguir, apresenta-se a tabela 3.15 dos tratamentos físico-químicos que se mostraram mais eficientes no estudo.

**Tabela 3.15 - Resultados de tratamentos físico-químicos aplicados a lixiviados**

Parâmetros	Valores para dosagem em grupo*					
	1	2	3	4	5	6
DQO efluente (mg/L)	14900	14800	15100	15100	15400	3290
Remoção DQO (%)**	12,9	13,3	11,5	11,5	9,8	80,7
SST (mg/L)	79	111	150	156	58	0
SSV (mg/L)	49	71	75	77	36	0
Remoção SST (%)	85,6	79,6	72,5	71,4	89,5	100,0
pH (antes)***	11,0	8,0	8,0	8,0	11,0	11,0
pH (depois)****	10,8	6,5	6,2	7,2	10,7	-
Cor	330	100	150	250	330	0
Remoção da cor (%)	26,7	77,8	66,7	55,6	26,7	100,0

Fonte : COOK & FOREE (1974)

\* Adição e dosagem dos grupos

1.  $\text{Ca(OH)}_2 = 2700 \text{ mg/L}$

2.  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{ H}_2\text{O} = 600 \text{ mg/L}$  ;  $\text{Ca(OH)}_2 = 1640 \text{ mg/L}$

3.  $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{ H}_2\text{O} = 1000 \text{ mg/L}$  ;  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 = 1450 \text{ mg/L}$  ;  $\text{Ca(OH)}_2 = 1640 \text{ mg/L}$

4. Polímero = 15 mg/L ;  $\text{Ca(OH)}_2 = 1000 \text{ mg/L}$

5.  $\text{NaOH} = 2660 \text{ mg/L}$

6.  $\text{Ca(OH)}_2 = 2760 \text{ mg/L}$  ; coluna de carvão ativado = 15 min. tempo de residência

\*\* Remoção referenciada a uma DQO média de 17000 mg  $\text{O}_2/\text{L}$

\*\*\* pH medido após o lançamento do produto químico e antes da coagulação/floculação

\*\*\*\* pH medido após a coagulação/floculação e sedimentação

COOK & FOREE (1974) utilizaram carvão ativado vegetal (casca de côco) para polimento final de um sistema de lodos ativados, obtendo remoções de 46,8% a 69,7 % na DQO, para um tempo de residência de 15 minutos.

DANTAS (1988) fez alguns ensaios para tratamento físico-químico de lixiviados gerados em célula de aterro a nível de bancada, obtendo resultados, como segue:

Tabela 3.16 - Resumo dos resultados dos tratamentos físico-químicos em nível de bancada

Parâmetros	Lixívia Bruta	Tratamentos físico-químicos			
		CAL 4000mg/l	CAL 4000mg/l c/ aeração	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> 2000mg/l	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> 2000mg/l C/ CAL 4000mg/l
pH	5,5 - 5,6	6,9	8,2	5,5	6,9
Acidez (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	1500-2000	800	0	2200	700
Alcalinidade (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	2600-3400	3600	3100	2800	4000
DBO (mgO <sub>2</sub> /l)	14000-15000	-	-	-	-
Matéria Orgânica (mgO <sub>2</sub> /l)	1000-1400	1200	950	800	1400

Fonte : DANTAS (1988)

QASIM & CHIANG (1994) apresentaram um resumo dos principais tratamentos físico-químicos utilizados, a nível internacional, com sucesso no tratamento de lixiviados.

Tabela 3.17 - Resultados do tratamento de lixiviados por precipitação química

DQO afluente (mg/L)	DBO/DQO	DQO/COT	Sistema de tratamento	Remoção DQO (%)	Dosagem
9100	0,75	-	Cloreto férrico	16	1000 mg/L
9100	0,75	-	Sulfato de alumínio	5	1000 mg/L
10800	0,74	-	Cal	4	1840 mg/L
558	0,27	-	Cal no tratamento de efluente anaeróbio	8	2700 mg/L
366	0,11	-	Cal no tratamento de efluente anaeróbio seguido de polimento por lago aerada	29	1400 mg/L
4800	0,66	2,73	Sulfato de alumínio e cal	40	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> = 2250 mg/L CaO = 800 mg/L
			Ferrosulfato	13	FeSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O = 2500 mg/L
3400	0,81	-	Cal	0	1000 mg/L
1240	0,66	2,78	Cal e aeração	8	210 ml saturado
1234	0,68	2,88	Ferro e aeração	0	FeCl <sub>3</sub> (200 mg/L) / L lixiviado
1234	0,68	2,88	Sulfato de alumínio e aeração	11	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> = 180 mg/L
5033	0,60	-	Cal	24	1350 mg/L
12923	0,57	-	Cal	26	1200 mg/L
2000	0,36	-	Sulfato de alumínio	31	2700 mg/L
2820	0,65	2,89	Cal	26	450 mg/L
2000	-	0,10	Sulfato de alumínio e polímero catiônico	45	sulfato de alum = 200 mg/L polímero = 330 mg/L

Fonte : QASIM &amp; CHIANG (1994).

**Tabela 3.18 - Resultados do tratamento de lixiviados por carvão ativado e resinas trocadoras de íons**

DQO afluente (mg/L)	DBO/DQO	DQO/COT	Sistema de tratamento	Remoção DQO (%)	Dosagem
330	0,07	2,57	Carvão ativado no tratamento de efluente de lagoa aerada	70	-
3290	0,45	3,45	Carvão ativado no tratamento de efluente pré-tratado com cal	81	Tempo de resid. = 15 min.
4920	0,75	-	Carvão ativado	34	16000 mg/L
7213	0,75	-	Coluna de carvão ativado	59	Tempo de resid. = 45 min. (após 3 passagens)
5500	0,66	2,73	Carvão ativado	60	160000 mg/L
184	0,18	1,50	Carvão ativado no tratamento de efluente de lodos ativados	91	10000 mg/L
120	0,18	1,50	Troca iônica no tratamento de efluente de lodos ativados	58	Resina catiônica/ aniônica=5000 mg/L
2000	0,36	-	Coluna de carvão ativado no tratamento de lixiviados.	71	-
			Carvão ativado tratando lixiviado pré-tratado com sulfato de alum.	94	-
632	0,65	2,89	Coluna de carvão ativado no tratamento de lixiviados.	70	-
346	<0,1	2,55	Carvão ativado no tratamento de efluente de lagoa aerada	70	-
527	<0,1	2,70	Coluna de troca iônica no tratamento de efluente de lagoa aerada	50	-
932	-	2,90	Carvão ativado no tratamento de efluente de filtro anaeróbio.	50	-
522	<0,1	2,70	Carvão ativado no tratamento de efluente aerado de filtro anaeróbio	70	-
2000	<0,1	-	PAC, 119mg/L TOC/g carvão	85	-

Fonte : QASIM & CHIANG (1994)

**Tabela 3.19 - Resultados do tratamento de lixiviados por oxidação química**

DQO afluente (mg/L)	DBO/DQO	DQO/COT	Sistema de tratamento	Remoção DQO (%)	Dosagem
330	0,07	2,57	Cloração	33	65 ml /L amostra
1500	0,75	-	Cloração com cálcio Ca(ClO) <sub>2</sub> Hypoclorídrico	8	8000 mg/L
7162	0,75	-	Ozonização	37	4 hr, 7700 mg O <sub>3</sub> /L.hr
4800	0,66	2,73	Cloração	22	Cl <sub>2</sub> = 2000 mg/L
139	0,04	2,10	Ozonização	22	4 hr, 34 mg O <sub>3</sub> /L.hr
1250	-	2,90	Ozonização de efluente de filtro anaeróbio	37	3 hr, 600 mg O <sub>3</sub> /L.hr
627	-	2,50	Ozonização de efluente de lagoa aerada	48	3 hr, 400 mg O <sub>3</sub> /L.hr

Fonte : QASIM & CHIANG (1994)

**Tabela 3.20** - Resultados do tratamento de lixiviados por osmose reversa

DQO afluente (mg/L)	DBO/DQO	DQO/COT	Sistema de tratamento	Remoção DQO (%)	Dosagem
53300	0,65	2,89	Osmose reversa de lixiviado com pH 5,5, por membrana de celulose acetato	56	permeabilidade 50 %
533000	0,65	2,89	Osmose reversa de lixiviado com pH 8, por membrana de celulose acetato	89	permeabilidade 50 %
900	-	2,90	Osmose reversa de efluente de filtro anaeróbio	89	permeabilidade 77 %
536	-	2,50	Osmose reversa de efluente de lagoa aerada, membrana de celulose acetato	95	permeabilidade 50 %

Fonte : QASIM & CHIANG (1994)

#### 3.5.4. Biorremediação de lixões por recirculação de lixiviados

LIMA (1995) propôs a biorremediação de lixões com a utilização da técnica de recirculação de lixiviado, que compreende três estágios para tratamento do líquido:

**Tratamento preliminar:** que compõe da drenagem e captação dos líquidos sem alteração das suas características físico-químicas;

**Tratamento secundário:** que constitui a redução da carga orgânica presente no líquido, expressa em termos de DQO e SV. Esta redução é consequência da ação das bactérias acetogênicas e metanogênicas, no processo anaeróbio. Julga-se que a denominação mais adequada para este estágio seria tratamento primário, uma vez que o processo aqui envolvido é o anaeróbio, adequado à degradação de matéria orgânica não solúvel.

O processo envolve dois importantes dispositivos da bioengenharia: aterramento em células e reatores anaeróbios. Inicialmente, na fase acetogênica, o chorume é drenado da célula e introduzido em dois reatores anóxicos, físico-químicos, e em seguida, no terceiro reator, o biológico, que consiste de um vaso de fluxo misto, descendente /ascendente, preenchido com meio poroso onde os microrganismos são fixados.

Na fase acetogênica com recirculação de percolado, durante cinco dias o líquido é recirculado através dos três reatores para produzir o inóculo com características acetogênicas. Com a partida do sistema, a matéria orgânica é rapidamente convertida em ácidos voláteis. O ácido acético representa a maior porção de todos os ácidos presentes. O pH decresce para a faixa de 4 a 6,5. O Eh (potencial redox) decresce, situando-se entre -100 e -350 mV.

Nesse meio anóxico singular, os metais pesados presentes na massa são solubilizados. A duração dessa fase é de aproximadamente 180 dias, correspondendo a 20 inoculações acetogênicas necessárias para transformar grande parcela da matéria orgânica em ácidos voláteis de cadeias menores que a glicose. Quando a carga orgânica estiver suficientemente alta (DQO entre 40.000 e 100.000 mg/L), função da concentração de ácidos, bactérias metanogênicas são introduzidas no reator biológico.

Na fase metanogênica com recirculação de percolado, o líquido resultante da fase acetogênica é recirculado através dos três reatores, agora com características metanogênicas, para preparar o inóculo metanogênico. Após o período de detenção de cinco dias, o líquido é injetado no aterro celular e dá início a fase metanogênica. A carga orgânica com alta concentração de ácidos é assim reduzida pelo consumo dos microrganismos e convertida em metano, dióxido de carbono e água. De modo análogo, a matéria orgânica remanescente é convertida em um composto orgânico biogênico e mais resistente a ação das espécies decompositoras. A taxa de ácidos húmicos aumenta e a relação C:N decresce para a faixa de 17:1 a 10:1. Nesta fase os metais pesados são precipitados como sulfetos metálicos. O pH aumenta para a faixa de 7,0 a 7,5; o Eh (potencial REDOX) continua decrescendo, de -350 a -600 mV.

**Tratamento terciário:** que consiste no tratamento e disposição final dos resíduos e na sua inertização. Esta fase é dividida em dois passos: o primeiro ocorre na própria célula de aterro, ou seja, tratamento "in situ" e o segundo passo fora da célula, "ex situ", na unidade de segregação. Aqui julga-se também que a denominação de tratamento terciário, não é a mais correta para caracterizar este estágio. Como a proposta do autor é a da estabilização final, ajustar-se-ia melhor a denominação tratamento secundário.

a)Primeiro passo

- lixiviação alcalinogênica;
- extração forçada e queima dos gases;
- rebaixamento da manta líquida;
- desinfecção e descarte dos líquidos;
- remoção da cobertura final;
- abertura das áreas.

b)Segundo passo

- segregação dos resíduos;
- remoção de vidros e metais;

- peneiramento;
- destinação final da fração termodegradável;
- destinação final da fração biodegradável;
- destinação final da fração inerte (LIMA,1995).

#### **3.5.4.1. Biorremediação do Aterro Sanitário Zona Norte (Porto Alegre, RS)**

A biorremediação do Aterro Zona Norte constituiu-se na adoção de medidas que evitassem que os resíduos sólidos ficassem dispostos a céu aberto e que o líquido percolado chegasse ao lençol freático.

Para tanto, o “lixão” foi dividido em nove células, cada uma circundada por uma trincheira de argila compactada. Tendo-se como condicionante a baixa permeabilidade do fundo ( $K= 10^{-7}$ ), o lixiviado de cada célula pode ser conduzido a um único ponto através de drenos periféricos com brita nº 4.

Na camada superior do “lixão” foi feita uma cobertura com argila moderadamente compactada.

**Tratamento e recirculação do lixiviado:** os drenos periféricos anelares foram dimensionados como reatores, para tratamento do percolado . Estes tiveram atribuições de filtros anaeróbios, gerando o inóculo, que foi recirculado através do aterro e pelo próprio reator. O excesso de percolado de cada célula pôde ser introduzido no dreno de uma das células posicionadas a jusante do fluxo.

Os líquidos percolados através do aterro tiveram o seu fluxo direcionado para os drenos anelares, também funcionando como filtros anaeróbios, de onde vertiam para o poço de sucção do sistema de recalque. A linha de recalque conduz o líquido previamente tratado, contendo microrganismos específicos e nutrientes adequados, para a inoculação em alguns pontos da superfície do aterro e para um poço extravasor.

O poço extravasor recebe o líquido excedente dos pontos de inoculação e de ramais dos drenos internos. A fração de excesso à capacidade de recirculação, dimensionada como sendo equivalente à geração média de percolado, extravasa em direção ao poço de recalque da cal, adjacente, ou outra posicionada a jusante da célula de referência. A unidade que trata o efluente final, denominada sistema de polimento, apresenta uma bacia de equalização e seu efluente é submetido a um tratamento físico-químico (ESCOSTEGUY et allí, 1991)

**Tabela 5.21 - Parâmetros físico-químicos do lixiviado do Aterro Sanitário Zona Norte - Porto Alegre,RS**

Parâmetro	Unidade	PONTOS DE AMOSTRAGEM							
		PMR1 13/12/95	PMR2 13/12/95	PMR4 13/12/95	PMR5 21/12/95	PMR6 21/12/95	PMR7 21/12/95	PMR8 21/12/95	PMR9 06/10/94
Acidez	mgCaCO <sub>3</sub> /l	330	460	690	220	290	650	95	155
Alcalinidade	mgCaCO <sub>3</sub> /l	5250	3760	5840	1800	3180	8375	2040	5236
Condutividade	µmhos/cm	12000	9500	12000	5100	9000	15000	5600	13140
DBO <sub>5</sub>	mgO <sub>2</sub> /l	360	160	80	221	640	360	148	137
DQO	mgO <sub>2</sub> /l	1312	896	1552	456	1120	2144	496	2283
DBO <sub>5</sub> /DQO		0,2744	0,1786	0,0515	0,4846	0,5714	0,1679	0,2984	0,0599
Fosfato	mgPO <sub>4</sub> /l	9,00	4,60	8,90	2,37	4,40	11,70	2,41	14,38
NTK	mgN/l	868	647	908	252	445	1433	328	1095,17
pH		7,4	7,6	7,5	8,1	8,1	7,8	8,3	8,4
Alumínio	mgAl/l	0,41	2,10	1,64	0,10	0,88	1,10	0,11	0,20
Cadmio	mgCd/l	0,010	0,015	0,010	0,005	0,010	0,020	0,005	0,011
Chumbo	mgPb/l	0,02	0,025	0,05	0,035	ND	0,035	0,005	0,1
Cobre	mgCu/l	0,015	0,020	0,025	0,005	0,015	0,030	0,010	0,032
Cromo	mgCr/l	0,040	0,100	0,050	0,035	0,060	0,150	0,050	0,030
Ferro	mgFe/l	16,9	0,76	14,1	0,91	3,6	11,9	3,6	3,4
Manganês	mgMn/l	0,26	0,58	0,4	0,13	0,3	0,4	0,1	0,087
Niquel	mgNi/l	0,13	0,07	0,17	0,08	0,015	0,2	0,09	0,214
Zinco	mgZn/l	0,09	0,14	0,14	0,11	0,16	0,6	0,1	0,18
Mercúrio	mgHg/l	0,0005	ND	0,0003	ND	0,0005	0,0015	0,0008	0,00016
Sulfeto	mgS/l	0,16	0,07	0,18	0,13	0,11	0,19	0,05	2,88
Potencial REDOX	mV	-	-	25	-35	11	-279	44	-

FONTE : Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU) - Município de Porto Alegre, RS.

ND - não detectado

### **3.6. O processo aeróbio de leito fixo como proposta alternativa de solução no tratamento de lixiviados de aterros sanitários**

#### **3.6.1. Filtros biológicos aeróbios convencionais de leito fixo**

##### **Descrição sucinta**

Os filtros biológicos aeróbios são formados por um meio suporte, fixo, com grande área superficial e espaços vazios. O filme biológico desenvolve-se na superfície do meio suporte e os espaços vazios servem para a aeração do sistema e para a passagem do afluente a ser tratado. Os organismos do meio utilizam o oxigênio e a matéria orgânica do afluente para seu metabolismo.

O processo de filtração biológica aeróbia depende da atividade de microrganismos aeróbios para oxidar a matéria orgânica complexa do afluente. Para o processo ser eficiente, o próprio ambiente ecológico deve ser mantido com o contínuo fluxo de substrato, água e oxigênio.

O sistema deve ser provido de dispositivos que permitam a uniformidade da alimentação do meio superficialmente, com uma drenagem de fundo para coleta do líquido e para melhorar a ventilação.

Se o filtro biológico for operado corretamente, o meio com o filme biológico se torna viscoso e nesta substância gelatinosa os microrganismos se desenvolvem. O biofilme produz exoenzimas, as quais promovem as reações químicas catalisadoras nos sólidos suspensos, coloidais e dissolvidos, ou remoção lenta de biofilme.

Na superfície do biofilme ocorre a degradação aeróbia, quando o filtro é provido de ventilação adequada; e alguma degradação anaeróbia ocorre próxima à superfície no interior do filme, devido a difusão de oxigênio no biofilme ser molecular e pequena. Vários fatores influenciam na degradação da matéria orgânica:

- tipo de matéria orgânica;
- tipo do meio;
- temperatura;
- presença de nutrientes;
- carga hidráulica.

### **Classificação dos sistemas de filtração biológica convencionais**

Segundo EPA (1977) os filtros biológicos podem ser classificados da seguinte forma:

a) Biofiltro de baixa taxa (ou filtro lento):

Taxa de aplicação superficial : até  $3,74 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$

Carga orgânica aplicada : até  $0,32 \text{ kg DBO}/\text{m}^3.\text{dia}$

Este sistema é uma unidade de muita confiança para cargas de choque. Precedido de tratamento primário e seguido de tratamento terciário, pode chegar a 80% de eficiência na remoção de  $\text{DBO}_5$ .

A operação é muito simples, porque a alimentação é intermitente (não mais de 5 min de intervalo entre descargas) sem recirculação. A profundidade varia entre 1,80 m a 3,0 m e pode haver nitrificação.

Os dois maiores problemas são odores e moscas do gênero *Psychoda*.

b) Biofiltro de taxa intermediária:

Taxa de aplicação superficial :  $3,74$  a  $9,4 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$

Carga orgânica aplicada :  $0,24$  -  $0,48 \text{ kg DBO}/\text{m}^3.\text{dia}$

É similar ao de alta taxa operado com recirculação. O maior problema com este tipo de filtro é o aparecimento de fluxo hidrostático não distribuído, ocorrendo o crescimento de biota localizada. Em alguns casos pode-se usar no recheio pedra de mão (75mm a 100mm); mas no entanto, o usual é o material de pequena granulometria.

c) Biofiltro de alta taxa:

Taxa de aplicação superficial :  $9,4$  a  $28,0 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$

Carga orgânica aplicada :  $0,48$  a  $0,96 \text{ kg DBO}/\text{m}^3.\text{dia}$

A profundidade normal para este tipo de filtro é de 0,90 m a 1,80 m e requer algum controle operacional. Devido as altas taxas de aplicação e à relativa baixa profundidade do leito, ocorre a formação de uma crosta, e quase não há o aparecimento de larvas de moscas.

Altas cargas em filtros de altas taxas inibem o desenvolvimento da nitrificação bacteriana. A remoção de DBO é eficiente neste sistema, eliminando-se entre 65 % a 75%.

d) Biofiltro de super taxa:

Taxa de aplicação superficial :  $28,0$  a  $47 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$

Carga orgânica aplicada : 0,80 a 1,60 kg DBO/m<sup>3</sup>.dia

Este sistema é viabilizado com o uso de meios sintéticos, que possuem uma grande área superficial ligada a uma grande quantidade de vazios e baixa densidade aparente. A sua altura varia de 3 a 12 m e pode chegar a uma taxa de 140 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia; em condições normais, trabalha entre 29 a 88 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia.

Biofiltros de baixa profundidade vão até 3 m , usando meios manufaturados.

Filtração estendida é usualmente classificada de filtração de super taxa . Este processo combina o filtro de super taxa com o controle da recirculação do lodo, similar ao processo de lodos ativados. A recirculação do lodo é para manter a alta concentração de sólidos no afluente do filtro biológico. Estes sólidos atuam de modo similar ao licor do lodo ativados. Esta combinação de biomassa em suspensão e fixa é que propicia a alta degradação (oxidação) e estabilização dos sólidos no lodo.

### **3.6.2. Infiltração rápida em leito fixo de areia**

Consiste na aplicação de águas residuárias sobre leitos de areia natural ou criados artificialmente., servindo como repositores de águas subterrâneas.

#### **Magnitude das cargas aplicadas**

As cargas hidráulicas variam entre 10 e 150 cm/semana para sistemas de carga moderada, e entre 1,5 e 2,1 m/semana para sistemas de cargas altas. O projeto deve basear-se na condutividade hidráulica saturada da capa menos permeável do perfil do leito e considerar as condições climáticas mais desfavoráveis que se podem esperar.

O funcionamento intermitente é necessário para manter as cargas de projeto e a capacidade renovadora do leito.

O mecanismo fundamental para a remoção de nitrogênio nos sistemas de infiltração rápida é a denitrificação. Nos sistemas de alta carga , a denitrificação é o único mecanismo significativo de eliminação de nitrogênio. Direcionando o ciclo de cargas hidráulica para criar alternativamente condições aeróbias/ anaeróbias, BOUWER apud METCALF-EDDY (1986) obtiveram até 80 % de eliminação de nitrogênio, como resultado combinado da adsorção da amônia e da denitrificação durante a maior parte do período de inundação.

A carga orgânica é importante porque está relacionada com o crescimento das condições anaeróbias. Para reduzir a demanda de oxigênio criada pela decomposição da matéria orgânica e do material nitrogenado, é necessário um esquema de cargas intermitente. Isto permite que o ar penetre no leito e supra de oxigênio as bactérias que oxidam a matéria orgânica e a amônia.

Os solos utilizados para a infiltração rápida têm geralmente baixa capacidade de reter sais solúveis, mas retém grandes cargas de metais pesados e fósforo (METCALF-EDDY, 1985).

### **3.6.3. Sistema de tratamento de lixiviado proposto na presente pesquisa**

A descrição sucinta realizada anteriormente, embora não esgote a questão dos filtros biológicos aeróbios, representa um importante instrumento de decisão para a montagem do experimento onde materializar-se -á a nível de bancada, a estação ou sistema de tratamento de lixiviado a ser monitorado.

DANTAS (1988) sugere o estudo de filtração biológica para tratar lixiviados, tendo em vista que os resultados de seu trabalho demonstraram a maior eficiência do processo aeróbio sobre o anaeróbio.

GANDOLLA et alli (1995) sugere a utilização de filtros de areia como polimento final de lixiviados, com o objetivo de reduzir a concentração de metais no efluente. Embora o autor não explicita com clareza a sua proposta, é razoável admitir que o mesmo conta com a formação de camada biológica na parte superior dos filtros, resultando sobre os metais os efeitos adsortivos e quelantes manifestados pela matéria orgânica.

DI BERNARDO (1993) utilizou um pré-filtro de pedregulho (11,4 a 38 mm) seguido de filtro lento de areia (tamanho efetivo = 0,25mm) para tratamento de água, à taxa de 12 a 24 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia . Obteve maior duração de carreira dos filtros e notou que a eficiência , na remoção de turbidez, aumentou a medida em que houve a aclimatação ( $\pm$  10 dias ) de um filme biológico nos leitos do pré-filtro e filtro lento. Embora o experimento tenha sido realizado com água bruta, emerge do estudo que pré-filtros, com capacidade de retenção de material em suspensão, podem determinar o aumento da eficiência no tratamento de águas em geral. É o caso dos lixiviados, que apresentam principalmente quando as células de aterro são mais jovens, grandes concentrações de sólidos em suspensão.

Segundo GHELING (1985) a infiltração de águas residuárias em leito arenoso a uma taxa de 9 cm/dia, determinou a remoção de DBO do esgoto bruto em cerca de 98%, para leito de 1,70m de profundidade e DBO foi de 69 % e 90 % para profundidades de 20 cm e 1,70m respectivamente. O leito filtrante utilizado foi areia do litoral gaúcho.

A camada superficial do leito filtrante deve ser livre de pedregulhos, a fim de propiciar uma maior área superficial para infiltração. A colocação de um leito de pedregulhos sobre o leito filtrante aumenta o tempo de infiltração do afluente.

De acordo com os trabalhos referidos neste capítulo verifica-se que os lixiviados de aterros sanitários contém altas cargas de DQO , DBO<sub>5</sub> , nitrogênio amoniacal e sólidos em suspensão. Assim, tratamentos secundários convencionais utilizando leito fixo necessitam de tratamento primário para reter e/ou degradar a parte não solúvel do material em suspensão. Ao mesmo tempo, as observações dos autores citados neste ítem, sugerem que como medida de cautela, o sistema proposto utilize pré-filtros como unidades primárias de tratamento.

Com base no exposto, optou-se pela utilização na pesquisa, de filtros biológicos aeróbios de baixa taxa (lentos ou percoladores), precedidos de pré-filtros.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

Para se alcançar os objetivos propostos na pesquisa, foram executados em nível de laboratório seis sistemas de tratamento biológico aeróbio, compostos de pré-filtração seguida de filtração lenta (ou filtros percoladores), e uma unidade convencional apenas com areia regular e sem pré-filtração, onde foram também monitorados os principais parâmetros físico-químicos e biológicos que caracterizaram os procedimentos analíticos. O experimento foi montado no Laboratório de Tecnologias Ambientais do IPH/UFRGS.

### 4.1. Montagem do experimento

Os pré-filtros foram executados em tubos de PVC (esgoto), DN 150 mm, com 50 cm de altura útil (Fig. 4.1 ; 4.2), recheados com meios suporte para formação de biomassa ativa. Tiveram seu fundo selado com uma chapa de PVC colada e possuíam um tubo dreno na parte inferior, executado em PVC (água), DN 25 mm, com furos transversais de 6 mm, para coleta do efluente (Fig. 4.3). Foram identificados pela letra "A" e numerados de 1 a 6, ficando convencionado que estes filtros estariam localizados no nível "A".

Os filtros percoladores foram executados em tubo de PVC (esgoto), DN 200 mm, com 90 cm de altura útil (Fig. 4.1 ; 4.3), recheados com meios suporte para formação de biomassa ativa. Tiveram seu fundo selado com uma chapa de madeira circular colada à parede do tubo e possuíam um dreno na parte inferior, executado em tubo de PVC (água), DN 25 mm, com furos transversais de 6 mm, para coleta do efluente. Sobre o fundo de cada filtro percolador, foi colocada uma camada de 3 cm de brita granítica 01 para evitar o entupimento dos drenos (Fig. 4.3).

Os filtros percoladores foram identificados pela letra "B" e numerados de 1 a 6, ficando convencionado que estes estariam localizados no nível "B".

O filtro convencional de areia foi confeccionado em tubo de acrílico, com diâmetro interno de 9 cm e altura útil de 100 cm. O fundo do mesmo possuía um ralo que servia de dreno para coleta do efluente. Sobre o seu fundo foram colocadas duas camadas, uma de 3 cm de brita granítica 01 e outra de 2 cm de brita granítica 00, visando evitar o possível entupimento do dreno.

Este filtro foi denominado de “B0”, estando localizado também no nível “B”. Sua finalidade principal foi verificar se ocorreriam diferenças significativas nas eficiências dos parâmetros analisados, em função da sistemática de alimentação superficial dos filtros, posto que B0 era alimentado uma vez ao dia com o volume total, enquanto nos demais, o volume era distribuído em um período de 6 a 8 horas do dia.

Cada conjunto de unidades (1 a 6) composto por um pré-filtro e um filtro percolador, era abastecido por um reservatório superior, com capacidade de 10 litros (Fig. 4.3), totalizando seis reservatórios; estes eram abastecidos por um reservatório inferior com capacidade de 100 litros. O recalque do reservatório inferior para os superiores foi feito através de bomba centrífuga com potência de 1/8 HP. O filtro B0 era abastecido uma vez ao dia por um volume adequado para que se obtivesse a mesma lâmina superficial dos filtros percoladores (16 cm).

Para evitar a sedimentação de sólidos nos reservatórios, tanto inferior como superior, foram montados dois sistemas eletro-mecânicos misturadores, formados por polias e correias acionadas por motores elétricos de 24 V (Fig. 4.2) com velocidades controladas, que promoviam a constante mistura do líquido através de pás metálicas giratórias.



Figura 4.1 - Vista geral do sistema filtrante



Figura 4.2 - Sistema misturador eletro-mecânico com controle de velocidade

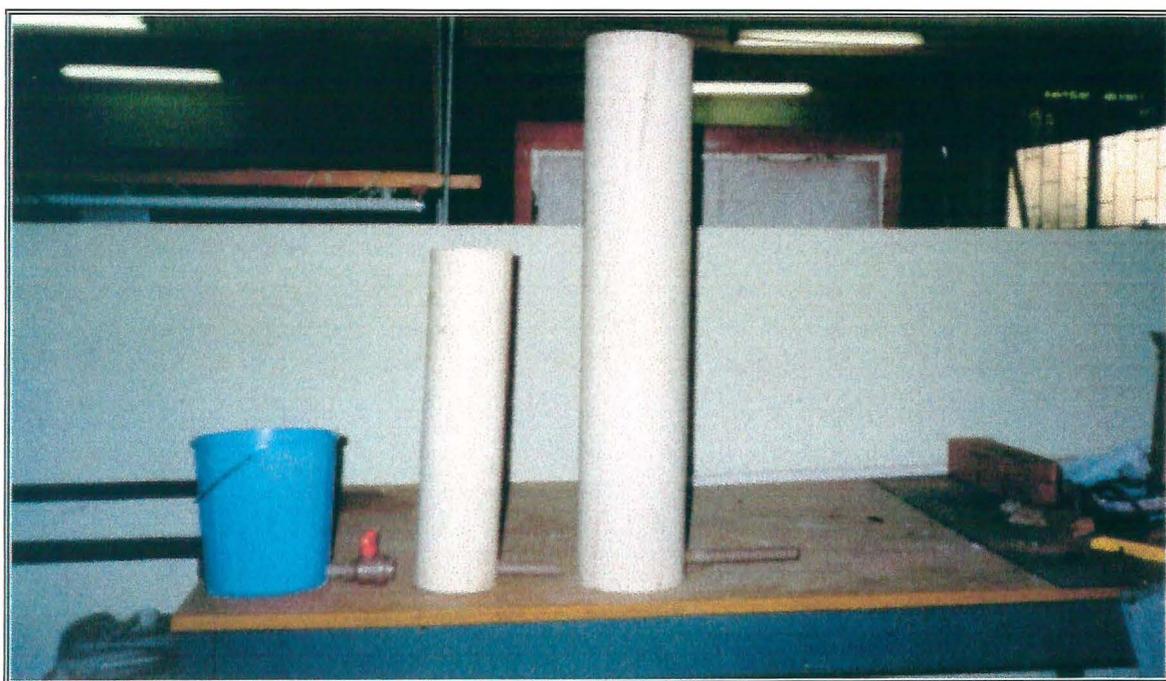


Figura 4.3 - Detalhe do reservatório superior, pré-filtro e filtro percolador

## **4.2. Escolha dos materiais para meio suporte**

Os materiais utilizados para meio suporte, tanto nos pré-filtros como nos filtros percoladores, foram em geral de baixo custo e de fácil aquisição na Região Metropolitana de Porto Alegre, sendo utilizados, também materiais já consagrados para meio suporte de filtros biológicos, como é o caso da brita e anéis PALL, e materiais alternativos ainda não estudados, para efeito de comparação em termos de eficiências, como é o caso da argila nodulizada e das paras de couro curtido "wet blue".

Os pré-filtros foram projetados com o objetivo de reter possíveis sólidos grosseiros que pudessem colmatar a parte superior dos filtros percoladores, e para proporcionar um maior contato do afluente com o ar atmosférico. Para tanto, a granulometria dos materiais de recheio foi superior a dos filtros percoladores. Elegeu-se como material padrão, a brita granítica 01 e como alternativas, cacos de tijolos maciços provenientes de olarias da Zona Sul de Porto Alegre, com granulometria semelhante a da brita 01, e anéis plásticos PALL 1", próprios para filtros biológicos.

Os filtros percoladores foram projetados com o objetivo de promover o tratamento em nível secundário mediante o uso de leitos filtrantes e ao mesmo tempo suporte para biomassa ativa. Escolheu-se os materiais com granulometria mais fina do que as utilizadas nos pré-filtros, de forma que pudessem reter por mais tempo a água residuária em seu meio, bem como evitar ao máximo perdas de biomassa. Assim, foram utilizados seis tipos de materiais: carvão ativado vegetal de casca de côco, aparas de couro curtido "wet blue" provenientes de curtumes da Região Metropolitana de Porto Alegre, argila nodulizada quebrada, areia regular usada na construção civil, brita granítica de granulometria comercial nº 00, cacos de tijolos maciços com granulometria aproximada a da brita nº 00. No filtro B0 utilizou-se areia regular, similar a utilizada no filtro B4, conforme é mostrado na tabela 4.5.

## **4.3. Caracterização dos materiais**

Os materiais utilizados para os leitos suporte, tanto nos pré-filtros como nos filtros percoladores, foram caracterizados através da granulometria e peso específico aparente; avaliou-se em cada situação o tempo de detenção e o tempo de percolação, com exceção para o carvão ativado, onde não foi realizada a análise do tempo de detenção em função de sua característica adsortiva. Para o couro curtido "wet blue" não foram realizadas as análises de

tempo de detenção e de granulometria, em razão de sua atipicidade (grande capacidade adsortiva e grãos deformáveis de tamanhos irregulares).

#### 4.3.1. Granulometria

A análise granulométrica foi realizada a partir da secagem a 105-110 °C, de uma porção de 500 g do material, e do seu peneiramento por uma sequência de malhas de diferentes aberturas. O material retido em cada peneira foi pesado e plotou-se os resultados percentuais dos materiais retidos pelo tamanho (mm) da abertura das malhas em gráfico mono-log. Do gráfico, determinou-se a  $d_{10}$  que é a malha teórica que retém 10 % do material e  $d_{60}$ , que retém 60 %, da divisão entre  $d_{60}$  e  $d_{10}$  se obtém o coeficiente de uniformidade (C.u.) (CAUDURO, 1990).

#### 4.3.2. Peso específico aparente

O peso específico aparente foi determinado pela divisão entre o peso e o volume de uma amostra de cada material, após a secagem a 105 - 110 °C (CAUDURO, 1990).

**Tabela 4.1 - Peso específico aparente dos materiais**

Material	Peso específico aparente
	Kg/m <sup>3</sup>
Brita granítica (granulometria 01)	1360
Cacos de tijolos (granulometria 01)	960
Areia regular	1640
Argila nodulizada	420
Brita granítica (granulometria 00)	1440
Cacos de tijolos (granulometria 00)	1030
Carvão ativado vegetal (casca de côco)	500

#### 4.3.3. Tempo de detenção

O tempo de detenção é um parâmetro que tem por objetivo quantificar o tempo em que um traçador fica retido no leito do filtro durante a percolação. Para sua avaliação, utilizou-se a metodologia proposta por CRAFT (1973), conforme descrito a seguir: calibrou-se uma vazão constante de água da torneira em torno de 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia para os pré-filtros e 5m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia para

os filtros percoladores. Após a calibração da vazão lançou-se, junto com a água e de uma só vez, uma solução salina saturada de cloreto de sódio (NaCl) na superfície de cada unidade, sendo 50 ml para os pré-filtros e 100 ml para os filtros percoladores. O efluente dos filtros foi monitorado continuamente através da avaliação da condutividade elétrica, utilizando-se para tanto um condutivímetro de campo.

O tempo de detenção pode ser então quantificado de duas maneiras: a primeira é a verificação do tempo que decorre desde a aplicação da solução salina até o pico máximo de condutividade (COOK, 1977); e a segunda, é conduzir o ensaio até que o valor da condutividade retorne ao valor inicial da água de torneira, considerando-se tempo de detenção como sendo aquele que decorre entre a aplicação e o centro de gravidade da figura plotada (ECKENFELDER, 1963).

Devido as características dos leitos e ao longo período de tempo que levaria até que a condutividade se restabelecesse, optou-se por considerar o tempo de detenção como sendo o tempo decorrido entre a aplicação e o pico da condutividade (COOK, 1977).

#### **4.3.4. Tempo de percolação**

O tempo de percolação de cada filtro percolador foi determinado através da aplicação de 1 litro de água da torneira na parte superior do mesmo e da avaliação do tempo necessário para se recuperar o volume aplicado, na totalidade ou parcialmente, nesta última hipótese considerando-se o momento em que cessou a percolação.

#### **4.4. Procedência, caracterização e conservação dos afluentes**

Foram utilizados dois tipos de afluentes para a avaliação da eficiência dos filtros: esgoto sanitário bruto e lixiviado, sendo que na transição, devido a grande variação da concentração dos principais parâmetros entre os afluentes, foi feita uma diluição decrescente, iniciando com partes iguais de lixiviado com água e esgoto sanitário (um terço de cada) sendo aplicado por duas semanas e continuando, daí até o final do experimento, aplicação somente de lixiviado.

O esgoto sanitário bruto utilizado inicialmente, tinha origem na calha Parshall da ETE do Arvoredo, operada pelo DMAE, em Porto Alegre (Fig. 4.4). Após a coleta, era

armazenado em bombonas de 20 litros e conservado a 4°C. As coletas eram feitas duas vezes por semana, 3ª feira e 5ª feira, sendo o volume coletado de 160 litros por semana.

O esgoto sanitário bruto da ETE do Arvoredo, proveniente de uma rede de esgoto misto, não era muito concentrado em termos de poluentes orgânicos e sólidos em suspensão; optou-se então por mudar o ponto de coleta para um poço de visita do sistema separador absoluto, junto a EBE da Ponta da Cadeia, também operado pelo DMAE, em Porto Alegre. O volume semanal coletado era de 160 litros e a conservação realizada a 4°C. As características do esgoto sanitário são constantes da tabela 4.2.

O lixiviado foi proveniente do poço de monitoramento PMR2 da célula 2 (Fig. 4.5) do Aterro Sanitário Zona Norte, operado pelo DMLU, em Porto Alegre. Este ponto foi escolhido devido ao avançado estado de estabilização do material orgânico da célula 2, e da alta concentração de amônia e NTK de seu percolado. As coletas eram feitas com o auxílio de uma moto bomba portátil à gasolina, sendo seu percolado armazenado em bombonas plásticas de 20 litros (Fig. 4.6).

As coletas eram feitas as segundas feiras e o volume semanal era de 160 litros; o lixiviado era mantido à temperatura ambiente nas bombonas, pois se verificou que as características físico-químicas do mesmo não se alteravam, em uma semana, período de aplicação, em condições anaeróbias. Isto decorre do adiantado estado de degradação anaeróbia já alcançado pelo percolado.

**Tabela 4.2** - Variação de alguns parâmetros do esgoto sanitário bruto e lixiviados afluentes

Parâmetros	unidades	Valores médios (afluente)	
		Esgoto sanitário bruto	Lixiviado
DQO <sub>total</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	438	863
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	124	178
Alcalinidade	mg CaCO <sub>3</sub> /L	135	3447
Amônia	mg/L - N	25	537
pH	-	7,4	7,74
Fósforo total	mg/L - P	3,4	2,5



Figura 4.4 - Ponto de coleta de esgoto sanitário bruto, calha Parshall (ETE Arvoredo - DMAE)

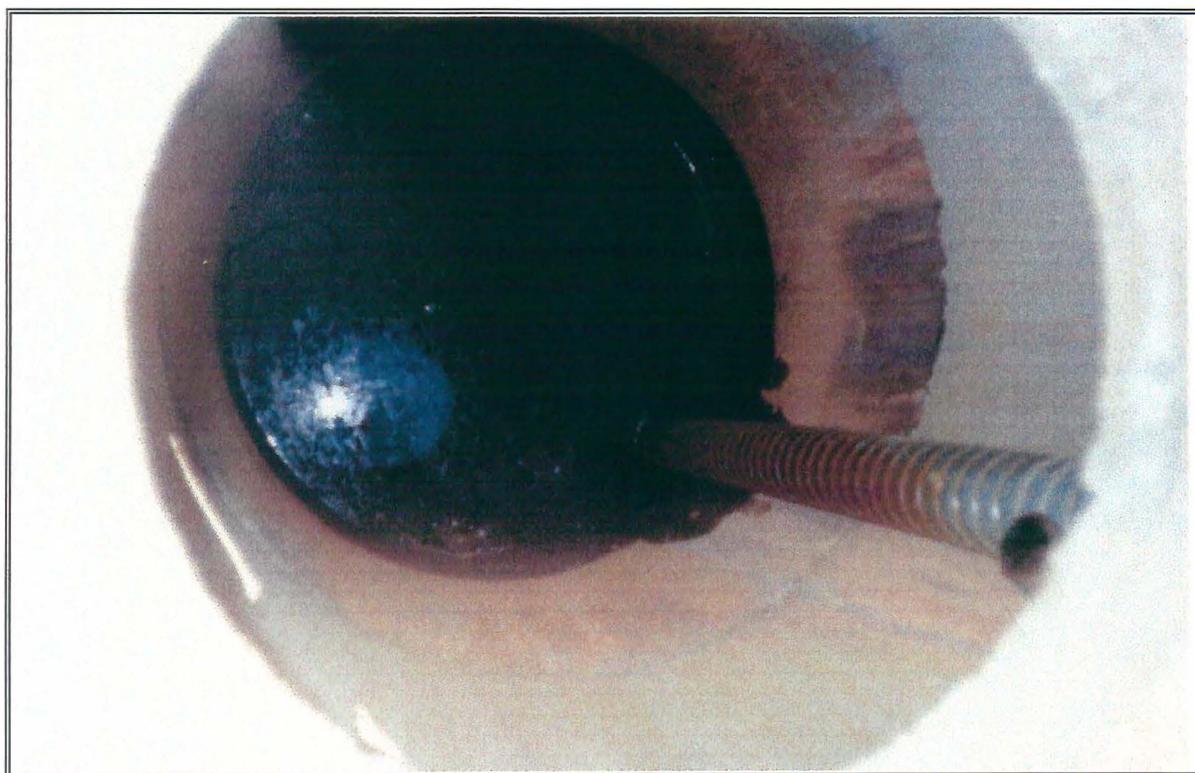


Figura 4.5 - Ponto de coleta de lixiviado, poço PMR2 de monitoramento ambiental do Aterro Sanitário Zona Norte (DMLU)



Figura 4.6 - Detalhe da coleta de lixiviado no Aterro Sanitário Zona Norte (DMLU)

#### **4.5. Determinação dos parâmetros físico-químicos das amostras líquidas**

As análises físico-químicas e biológicas foram realizadas no Laboratório de Tecnologias Ambientais do IPH e complementadas no LABORQUÍMICA, laboratório que presta serviços ao DMLU (análises dos parâmetros NTK, amônia e fósforo total), que na época da realização do experimento não havia condições de serem realizados no IPH.

Os procedimentos analíticos realizados no IPH foram subsidiados pelo Instituto e pelo Programa de Pós-Graduação; e os procedimentos realizados no LABORQUÍMICA foram subsidiados pelo DMLU, através do convênio firmado entre a UFRGS e a Prefeitura Municipal de Porto Alegre, que viabilizaram este trabalho.

A seguir apresenta-se a tabela 4.3, onde descreve os parâmetros analisados, bem como a metodologia aplicada e o local onde foram realizados os procedimentos analíticos.

Tabela 4.3 - Parâmetros físico-químicos analisados

Parâmetro	Unidade	Métodologia (*)	Laboratório
DQO	mg O <sub>2</sub> / L	titulométrico-refluxo fechado	IPH
DBO	mg O <sub>2</sub> / L	manométrico	IPH
Fósforo Total	mg / L - P	digestão c/ persulfato de K e ac. ascórbico	DMLU
Fosfato	mg / L - P	cromatografia iônica	IPH
NTK	mg / L - N	digestão, destilação do Fenato e titulação	DMLU
Amônia	mg / l - N	digestão, destilação do Fenato e titulação	DMLU
Nitrito	mg / L - N	cromatografia iônica	IPH
Nitrato	mg / L - N	cromatografia iônica	IPH
Alcalinidade	mg CaCO <sub>3</sub> /L	titulação potenciométrica até pH 4,5	IPH
Cor	mg Pt/L	colorimétrico	IPH
Turbidez	UNT	tubidímetro MICRONAL (B250)	IPH
Sulfato	mg/L - (SO <sub>4</sub> )	cromatografia iônica	IPH
Sólidos totais	mg / L	gravimétrico	IPH
Sólidos fixos	mg / L	gravimétrico	IPH
Sólidos voláteis	mg / L	gravimétrico	IPH
pH	-	eletrométrico	IPH
Temperatura	°C		IPH
Condutividade	µmhos/cm	condutivímetro	IPH
Ferro total	mg / L	EAA ar/acetileno c/ ataque ácido	IPH
Cobre total	mg / L	EAA ar/acetileno c/ ataque ácido	IPH
Cromo total	mg / L	EAA ar/acetileno c/ ataque ácido	IPH
Coliformes	NMP/100ml	Colilert	IPH

\* Metodologia de análises de acordo com APHA et alli (1992)

#### 4.6. Taxas de aplicação

As taxas de aplicação superficial e volumétrica adotadas foram semelhantes aquelas utilizadas para disposição de águas residuárias em solo arenoso por infiltração rápida e em filtros biológicos de baixa taxa.

GEHLING (1985) utilizou uma taxa superficial de 9,0 cm/dia dividida em duas aplicações diárias de 4,5 cm, com um ciclo semanal de 4 dias de aplicação por 3 dias de repouso. Concluiu que para as características do esgoto bruto estudado e para a granulometria extremamente fina dos leitos a taxa utilizada foi alta, devido ao longo tempo de infiltração: a partir do 3º dia de aplicação, o esgoto bruto demorava mais de seis horas para infiltrar.

PEREIRA LIMA (1995) utilizou uma taxa de aplicação superficial de 18,0 cm/dia para esgoto decantado, sobre leitos de areia, com um ciclo semanal de 2 dias de aplicação por 5 dias de repouso.

METCALF & EDDY (1985) indicam uma taxa superficial entre 0,3 e 6 cm/dia, para aplicação de esgoto decantado em campos de infiltração.

A taxa de aplicação volumétrica em termos de  $\text{DBO}_5$  para filtros biológicos convencionais de baixa capacidade, deve estar entre 80 a 175  $\text{g.DBO}_5/\text{m}^3$  dia e a taxa de aplicação superficial entre 1,2 a 6,0  $\text{m}^3/\text{m}^2$ .dia (1,2 a 6,0 m/dia) (SUSCHKA, 1981).

Optou-se por uma taxa de aplicação superficial de 16 cm/dia para os filtros percoladores (nível B), a qual se situa na faixa entre 9,0 e 18,0 cm/dia, com uma frequência semanal de 5 dias de aplicação por 2 dias de repouso. Apresenta-se em sequência, as taxas de aplicação, de acordo com os cálculos apresentados na página A.18 do anexo A.

**Tabela 4.4** - Taxas de aplicação utilizadas no experimento

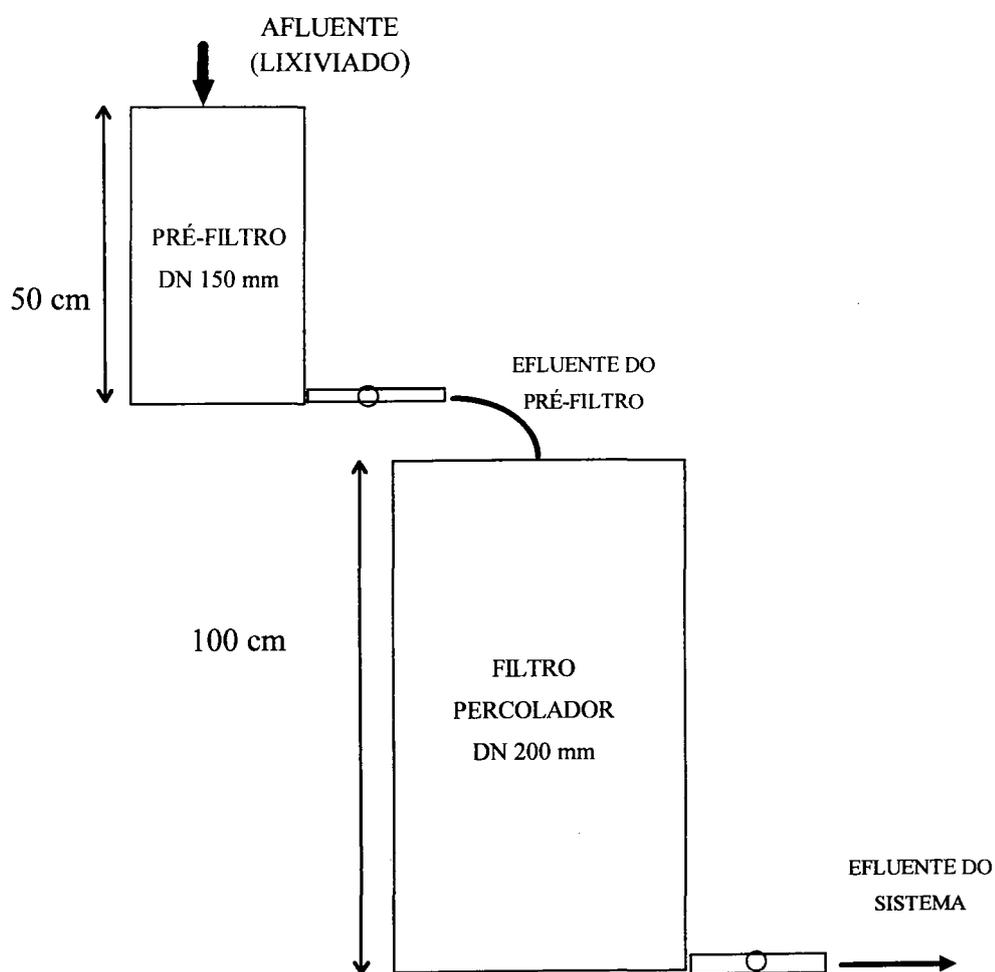
Taxas de aplicação	Unidade	Pré-filtros	Filtros percoladores (B1 a B6)	Filtro percolador (B0)
Laminar	cm	28,4	16	16
Superficial	$\text{m}^3/\text{m}^2$ .dia	0,284	0,16	0,16
Volumétrica (esgoto)	$\text{gDBO}_5/\text{m}^3$ .dia	70,5	12,3	19,4
Volumétrica (lixiviado)	$\text{gDBO}_5/\text{m}^3$ .dia	95,5	28,7	26,3

#### 4.6.1. Composição dos sistemas de tratamento

Os sistemas de filtração foram compostos de maneira que o líquido afluente fosse agitado e distribuído, em parcelas de iguais volumes, sobre os pré-filtros, sendo o efluente de cada pré-filtro o afluente do filtro percolador, correspondente a sua respectiva coluna. Não foram feitas variações na composição das colunas, cada filtro percolador foi precedido sempre do mesmo pré-filtro. A seguir apresenta-se a composição dos sistemas:

**Tabela 4.5** - Composição dos sistemas de tratamento, materiais dos leitos suporte e altura útil dos filtros

Sistemas	Pré-filtro (nível "A")		Filtro percolador (nível "B")	
	Altura (cm)	Material	Altura (cm)	Material
COLUNA 0	-	-	100	Areia regular
COLUNA 1	50	Brita granítica (granul. 01)	90	Carvão ativado (vegetal)
COLUNA 2	50	Brita granítica (granul. 01)	90	Aparas de couro "wet blue"
COLUNA 3	50	Anéis PALL 1"	90	Argila nodulizada
COLUNA 4	50	Anéis PALL 1"	90	Areia regular
COLUNA 5	50	Cacos de tijolos (granul. 01)	90	Brita granítica (granul. 00)
COLUNA 6	50	Cacos de tijolos (granul. 01)	90	Cacos de tijolos (granul. 00)



**Figura 4.7** - Perfil do sistema de filtros biológicos (pré-filtros , filtros percoladores)

#### **4.7. Aclimação do sistema com esgoto sanitário bruto**

Com o intuito de criar um filme biológico nos leitos suporte e filtrante, o sistema foi inicialmente operado com esgoto sanitário bruto, proveniente da ETE Arvoredo e EBE Ponta da Cadeia (DMAE), com uma taxa de aplicação superficial na ordem de 16 cm/dia para os filtros percoladores. Nesta fase, realizou-se o monitoramento simultâneo dos sete sistemas, a fim de se avaliar qual dos materiais era o mais eficiente para o tratamento do respectivo afluente.

Esta inoculação foi realizada em um período de 45 dias, com o monitoramento dos sistemas a partir da 3ª semana, inclusive.

De acordo com PEREIRA LIMA (1995) a aclimação se completa, em leito arenoso, por volta dos 21 dias (3 semanas), quando as concentrações de DQO e SS atingem valores estáveis no afluente..

#### **4.8. Tratamento do lixiviado com o sistema aclimatado**

Após o período de aclimação e monitoramento, quando utilizou-se esgoto sanitário bruto, o sistema foi posto em prova para o tratamento de lixiviado.

A taxa de aplicação superficial foi mantida a mesma: 16,0 cm/dia para os filtros percoladores e 28,4 cm/dia para os pré-filtros. O sistema tratando o lixiviado foi monitorado por 4 meses.

#### **4.9. Análise estatística dos dados**

Objetivando a comparação e o agrupamento dos tratamentos, tanto para os pré-filtros como para os filtros percoladores, foram realizadas análises estatísticas de grupo através da utilização da tabela One-way Anova. Para cada tipo de filtros (pré-filtros e filtros percoladores) foram considerados cinco fatores (eficiências para: DQO, DBO<sub>5</sub>, amônia, alcalinidade e ferro) analisados separadamente, sendo que para os pré-filtros considerou-se seis níveis (A1..A6) e para os filtros percoladores considerou-se sete níveis (B0..B6). Avaliou-se a significância das diferenças para 5% e 1%, utilizando-se como ferramenta estatística programas computacionais. Quando, estatisticamente comprovou-se que havia diferença entre os tratamentos, estes foram agrupados por semelhança através da comparação das médias duas a duas (RIBEIRO, 1996), e quando o limite de decisão (Ld), que é o triplo do desvio padrão das

médias ( $S_x$ ), foi maior do que a diferença entre as médias, considerou-se que os tratamentos eram significativamente diferentes. A seguir apresenta-se um esquema da composição da análise de grupo e a metodologia de cálculo para a determinação do limite de decisão a partir dos resultados da tabela One-way Anova:

**Tabela 4.6 - Composição dos fatores e níveis controlados nos pré-filtros**

Fatores	Níveis (tratamentos)					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Eficiência(%) DQO	X	X	X	X	X	X
Eficiência(%) DBO <sub>5</sub>	X	X	X	X	X	X
Eficiência(%) amônia	X	X	X	X	X	X
Eficiência(%) alcalinidade	X	X	X	X	X	X
Eficiência(%) ferro	X	X	X	X	X	X

**Tabela 4.7 - Composição dos fatores e níveis controlados nos filtros percoladores**

Fatores	Níveis (tratamentos)						
	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Eficiência(%) DQO	X	X	X	X	X	X	X
Eficiência(%) DBO <sub>5</sub>	X	X	X	X	X	X	X
Eficiência(%) amônia	X	X	X	X	X	X	X
Eficiência(%) alcalinidade	X	X	X	X	X	X	X
Eficiência(%) ferro	X	X	X	X	X	X	X

Formulação utilizada para agrupar os níveis:

Desvio padrão das médias ( $S_x$ ):

$$S_x = (MQ/n_c)^{1/2} \quad (3)$$

$$n_c = (n_1 + n_2 + \dots + n_k)/k \quad (4)$$

onde :

MQ = fonte de variação dentro dos grupos

$n_c$  = razão entre o número total de observações e o n° de níveis para cada fator

Limite de decisão (Ld):

$$Ld = 3 \cdot S_x \quad (5)$$

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Granulometria

A análise granulométrica dos materiais dos pré-filtros, mostrou similitude entre a brita granítica 01,  $d_{10}=7,3\text{mm}$  e  $d_{60}=10,5\text{mm}$  (Fig. 5.1) e o tijolo 01  $d_{10}=10,7\text{mm}$  e  $d_{60}=11,4\text{mm}$  (Fig. 5.3). Com isto, a avaliação das eficiências, para estas unidades, ficou restrita às características intrínsecas a cada material, excluindo-se o fator físico granulometria. Para os leitos de anéis PALL 1" não foram feitas as curvas granulométricas, pois o material é uniforme e de tamanho comercialmente padrão.

Para os filtros percoladores, a granulometria do tijolo 00,  $d_{10}=4,0\text{mm}$  e  $d_{60}=10,3\text{mm}$  (Fig. 5.4), não se mostrou tão semelhante a da brita 00,  $d_{10}=2,8\text{mm}$  e  $d_{60}=5,7\text{mm}$  (Fig. 5.2); no entanto, o coeficiente de uniformidade, 2,58, que indica a distribuição no tamanho dos grãos, é uma característica também observada na brita 00, com um coeficiente de uniformidade na ordem de 2,03. Isto permite que se considere a similitude entre os dois materiais.

A argila nodulizada mostrou-se uniforme: C.u.= 1,03;  $d_{10}=10,1\text{mm}$  e  $d_{60}=10,8\text{mm}$  (Fig. 5.5), tendo uma parcela de finos que possivelmente foram lixiviados nas primeiras aplicações de esgoto bruto. A sua uniformidade, portanto, a diferencia dos demais materiais, devido ao maior tamanho dos grãos.

A areia regular é o material mais fino e de maior coeficiente de uniformidade, C.u.=3,4, o que indica uma maior estratificação dos grãos na faixa compreendida entre  $d_{10}$  e  $d_{60}$  (Fig. 5.6).

O carvão ativado possui um coeficiente de uniformidade de 1,31, caracterizando um material bem uniforme, mas com grande presença de finos, que podem ter interferido no processo, durante as primeiras aplicações de afluente (Fig. 5.7).

No caso das aparas de couro curtido "wet blue", não inertes e com tamanhos (comprimento e largura) diversos, e ainda por serem deformáveis, não foi possível realizar a análise granulométrica.

São apresentadas a seguir as curvas granulométricas dos leitos suporte dos pré-filtros e filtros percoladores.

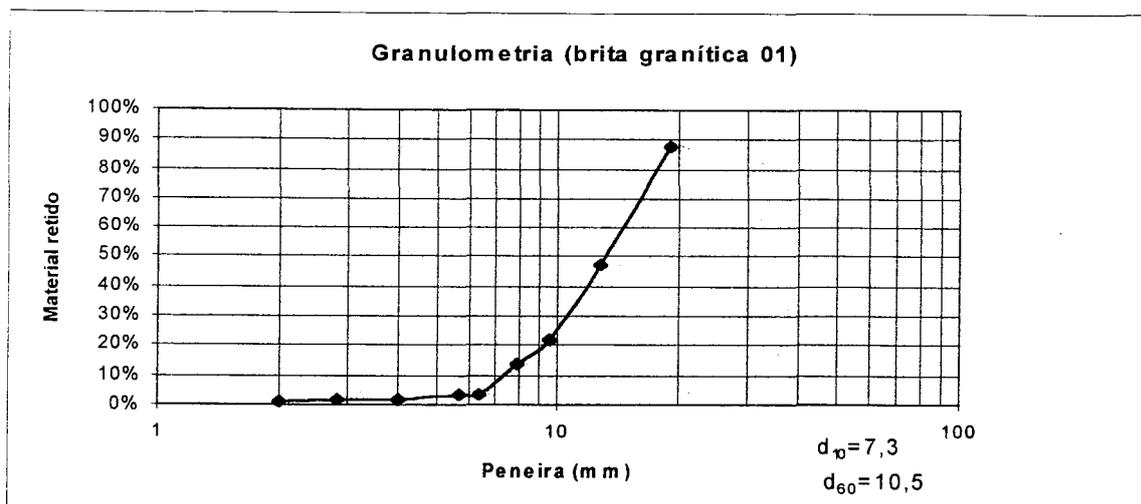


Figura 5.1 - Curva granulométrica da brita granítica 01

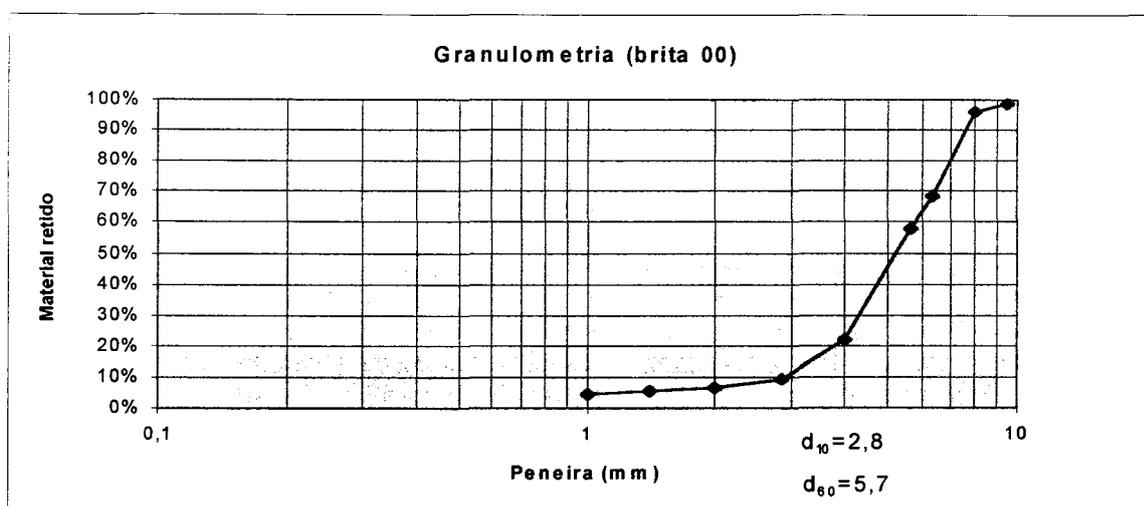


Figura 5.2 - Curva granulométrica da brita granítica 00

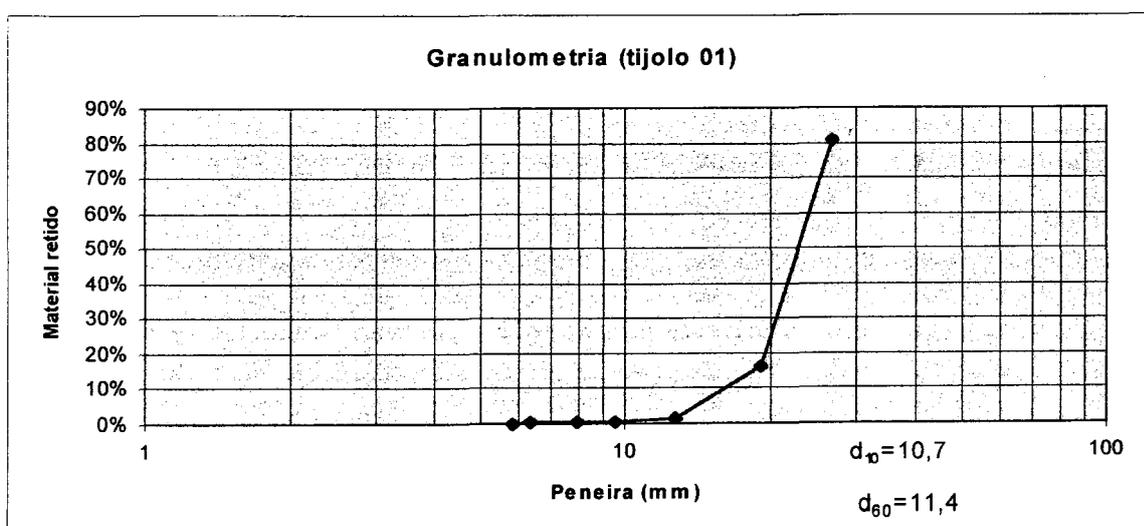


Figura 5.3 - Curva granulométrica dos cacos de tijolos 01

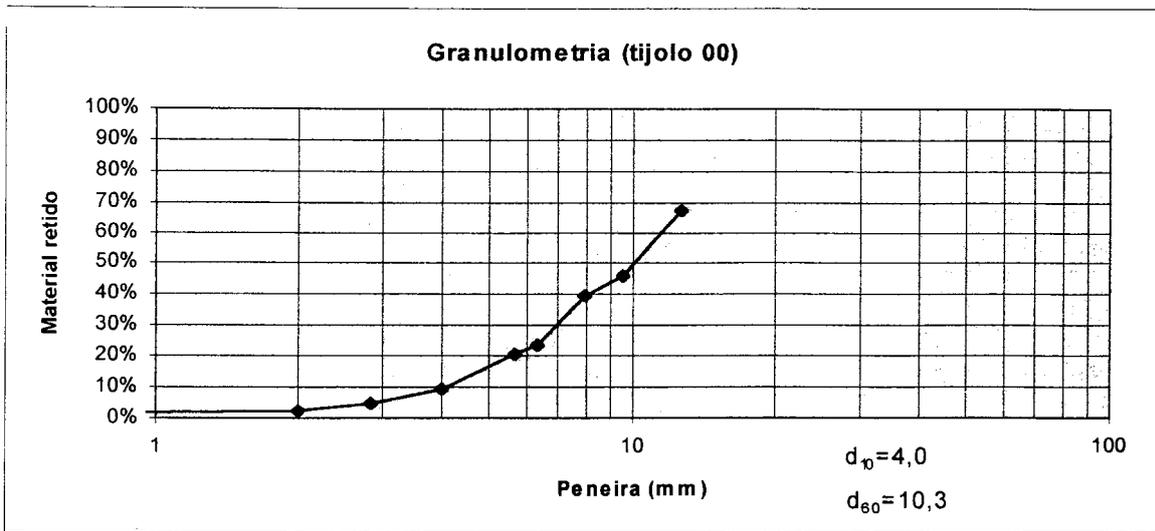


Figura 5.4 - Curva granulométrica dos cacos de tijolos 00

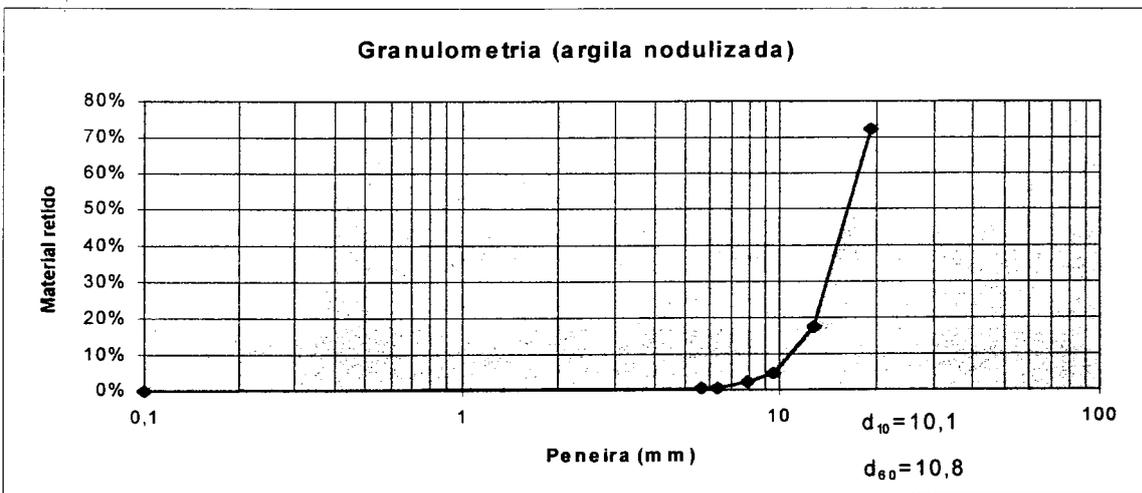


Figura 5.5 - Curva granulométrica da argila nodulizada quebrada

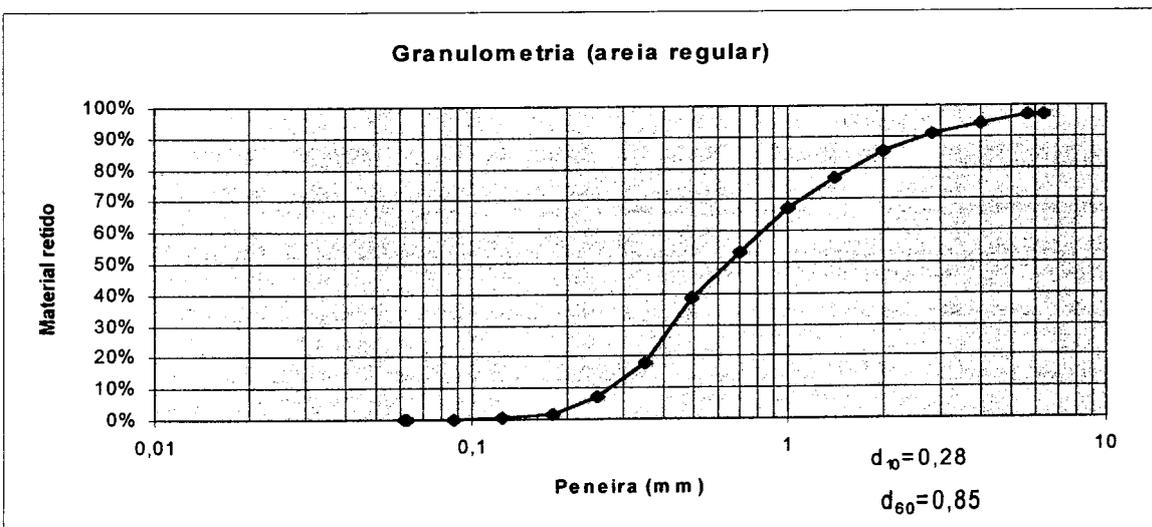


Figura 5.6 - Curva granulométrica da areia regular

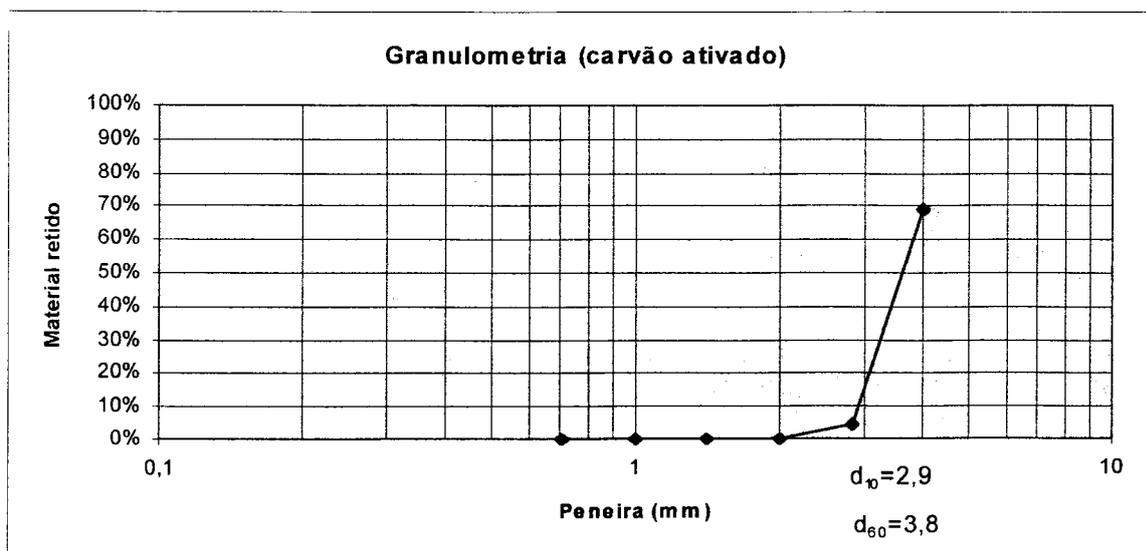


Figura 5.7 - Curva granulométrica do carvão ativado de casca de côco

## 5.2. Tempo de detenção

Os tempos de detenção foram determinados antes do sistema ser posto em operação com esgoto bruto e lixiviado. Para os pré-filtros, devido a sua maior granulometria e menor profundidade, os tempos de detenção foram baixos, sendo que para os pré-filtros A1 e A2, ambos de brita granítica 01, obteve-se um tempo de detenção de 2 minutos, apesar do ensaio ter durado mais de 30 minutos. Para o filtro A4 (anéis PALL 1") o tempo de detenção foi de 1 minuto e para os pré-filtros A5 e A6 (tijolo 01) o tempo foi de 2 minutos, igual ao tempo da brita 01.

Não houve possibilidade de se realizar o ensaio nos filtros percoladores com carvão ativado e aparas de couro "wet blue", devido as características adsorptivas destes materiais e devido a alta lixiviação de sais das aparas de couro, que interferiam na condutividade do efluente, parâmetro no qual o ensaio estava embasado.

Para a argila nodulizada, filtro B3 (Fig. 5.13), o tempo de detenção foi de 15 minutos, sendo que a curva inicia aos 5 minutos do ensaio, tempo necessário para o traçador chegar ao fundo filtro.

Para a areia regular, filtro B4 (Fig. 5.14), o tempo de detenção foi de 58 minutos. Observa-se no gráfico que o tempo de resposta do traçador é extremamente alto, 35 minutos, sete vezes maior que o tempo de resposta dos outros filtros percoladores, em torno de 5 minutos.

A brita granítica 00, filtro B5 (Fig. 5.15), apresentou uma curva com tempo de detenção de 12 minutos e um tempo de resposta para o traçador de 5 minutos.

Para o tijolo 00, filtro B6 (Fig. 5.16) com um tempo de detenção de 8,5 minutos, a curva foi muito semelhante a curva da brita 00 com um tempo de detenção de 12 minutos, sendo esta diferença atribuída ao tempo de resposta do traçador.

São apresentadas em sequência as curvas obtidas na avaliação dos tempos de detenção.

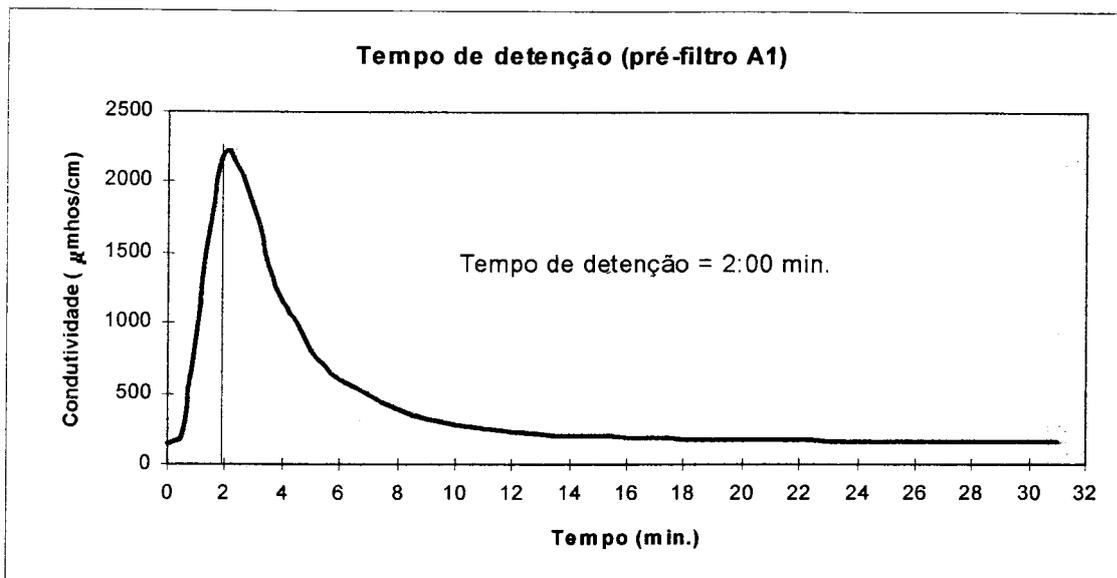


Figura 5.8 - Tempo de detenção do pré filtro A1 (brita granítica 01)

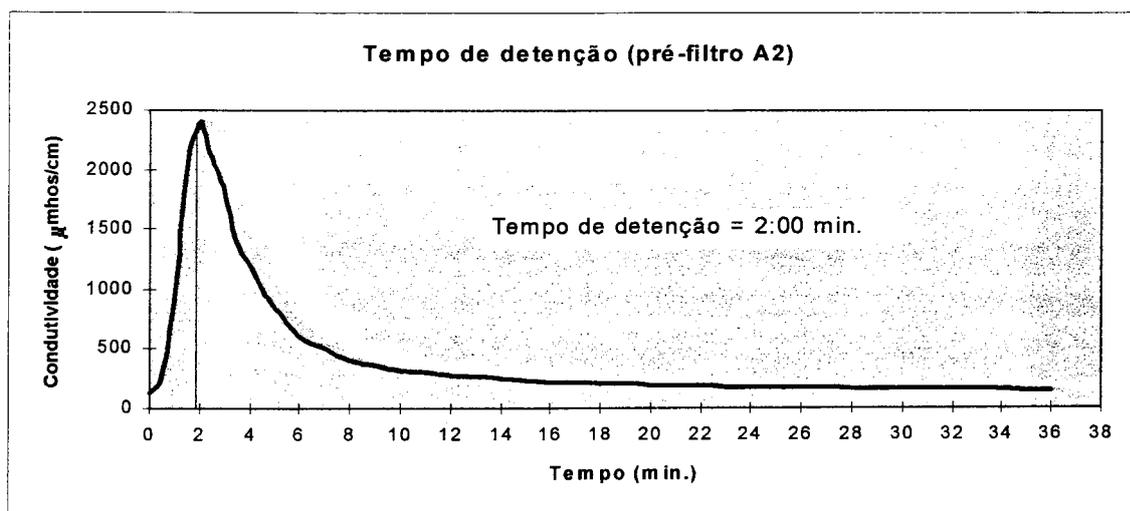


Figura 5.9 - Tempo de detenção do pré-filtro A2 (brita granítica 01)

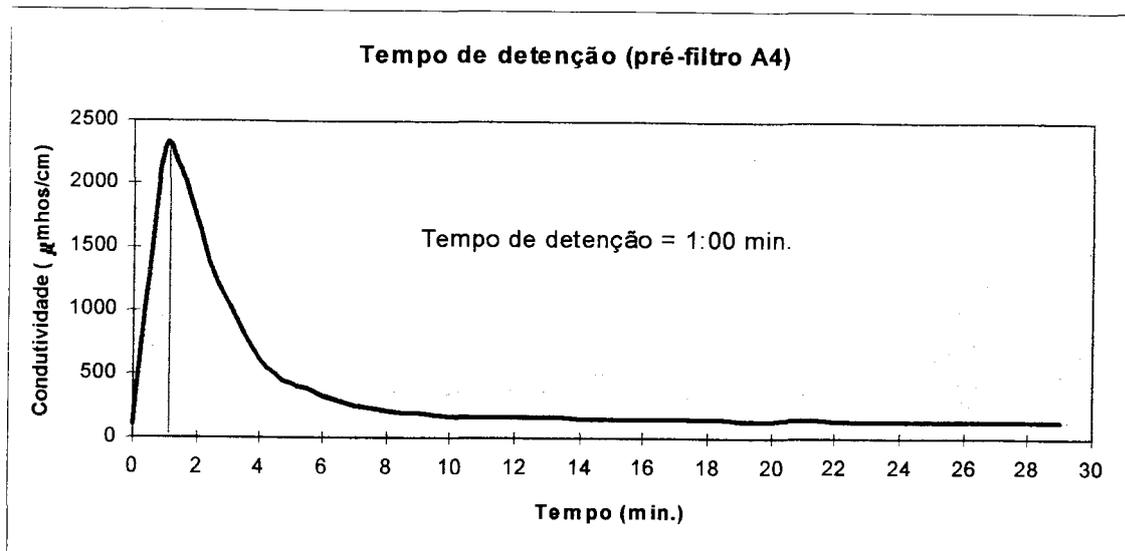


Figura 5.10 - Tempo de detenção do pré-filtro A4 (anéis PALL 1")

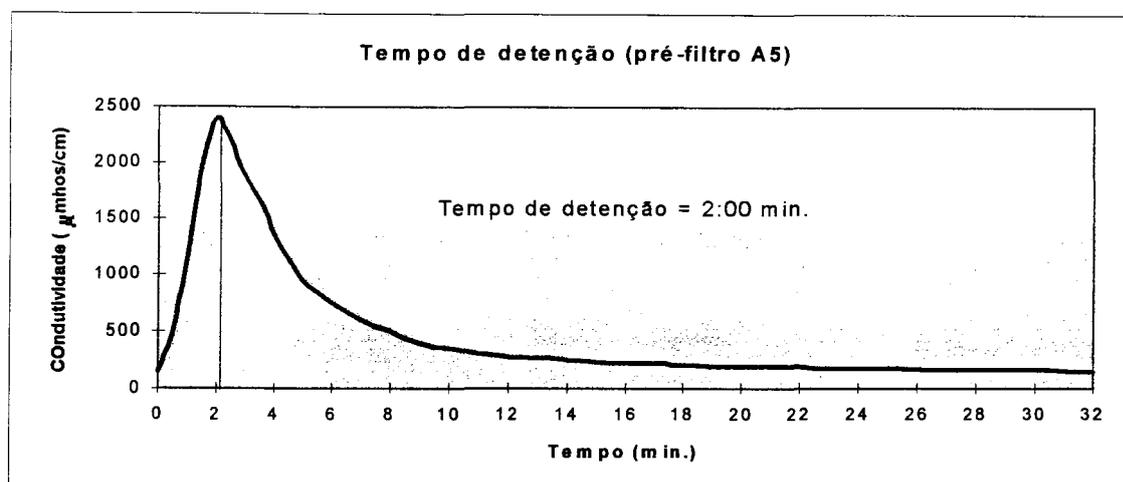


Figura 5.11 - Tempo de detenção do pré-filtro A5 (cacos de tijolos 01)

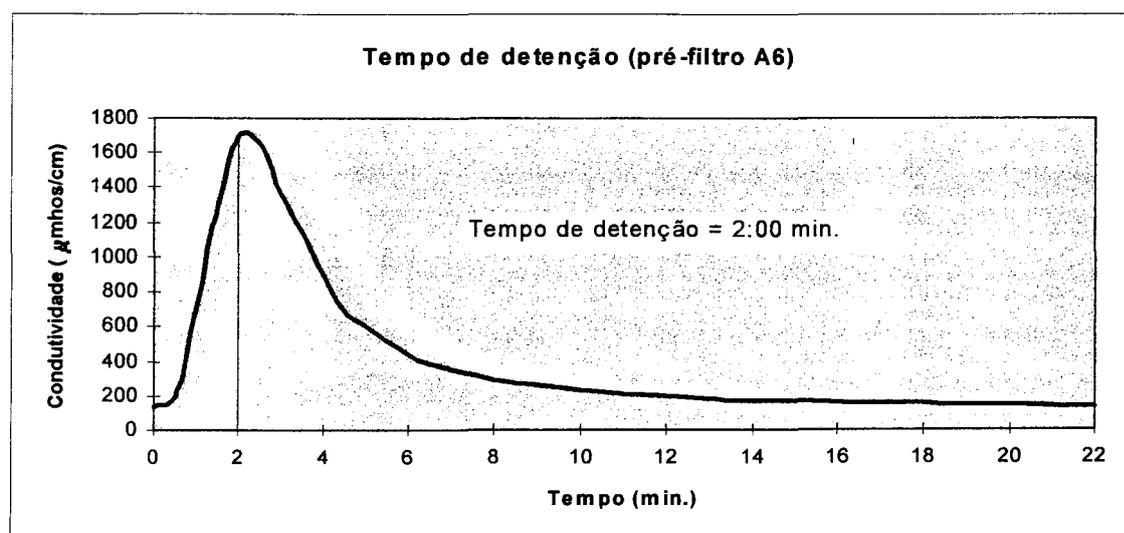


Figura 5.12 - Tempo de detenção do pré-filtro A6 (cacos de tijolos 01)

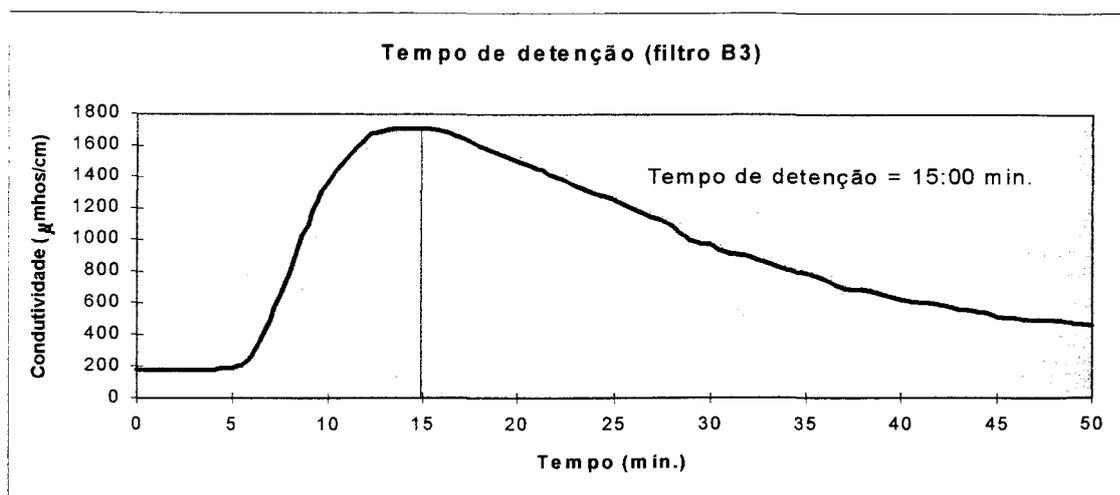


Figura 5.13 - Tempo de detenção do filtro percolador B3 (argila nodulizada quebrada)

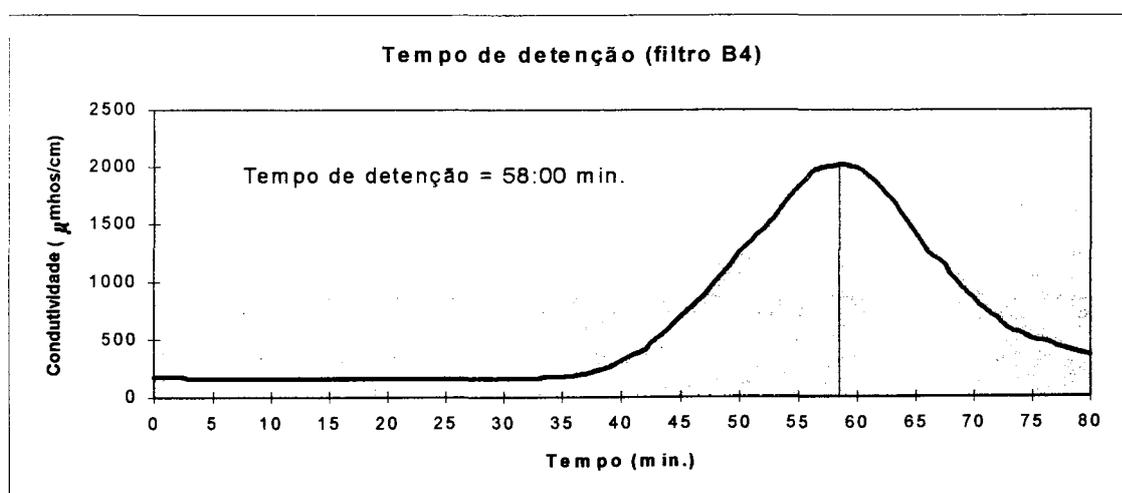


Figura 5.14 - Tempo de detenção do filtro percolador B4 (areia regular)

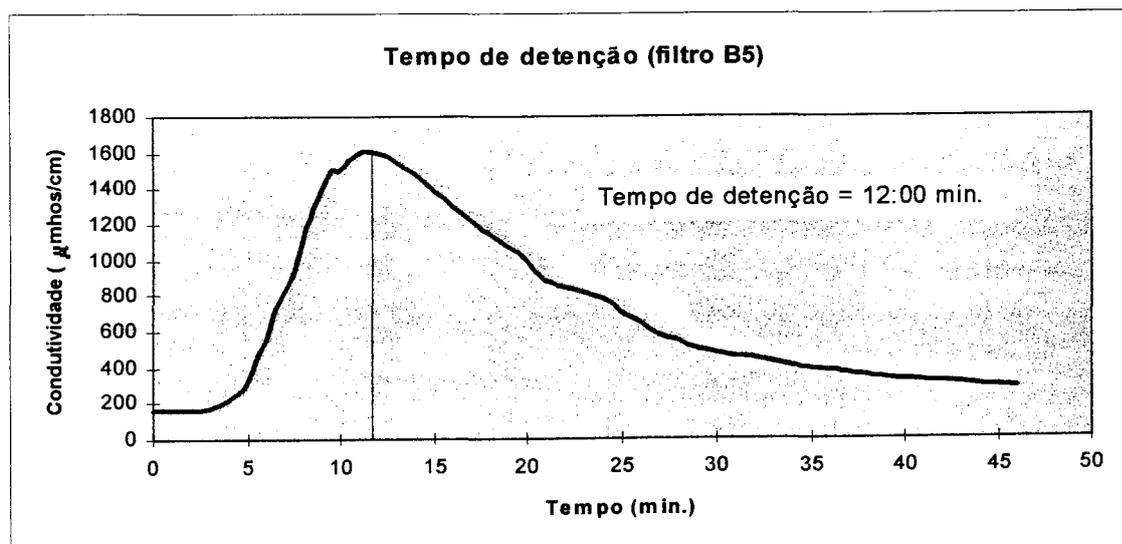


Figura 5.15 - Tempo de detenção do filtro percolador B5 (brita granítica 00)

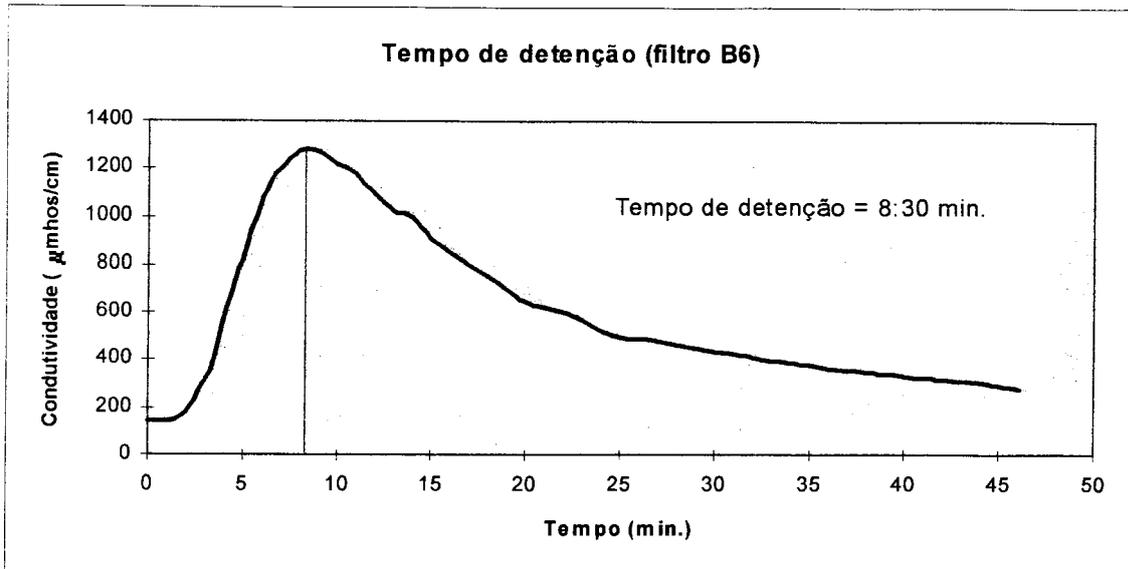


Figura 5.16 - Tempo de detenção do filtro percolador B6 (cacos de tijolos 00)

### 5.3. Tempo de percolação

O tempo de percolação foi determinado antes do sistema ser posto em operação e apenas para os filtros percoladores, pois nos pré-filtros o tempo foi muito pequeno, quase nulo.

Para o filtro de areia B0 considerou-se o mesmo tempo de percolação determinado para o filtro B4, também com recheio de areia regular.

O filtro B1 de carvão ativado apresentou um tempo de percolação de 16,57 minutos (Fig. 5.17), para restituir 100% do volume afluente.

O filtro B2 de aparas de couro curtido "wet blue" apresentou um tempo de percolação alto, 34,52 minutos (Fig. 5.18), com o gráfico tendendo a uma reta, caracterizando uma liberação gradual do líquido, ficando este mais tempo retido no leito.

A argila nodulizada (filtro B3) apresentou uma curva típica (Fig. 5.19), com um tempo de percolação de 11,83 minutos.

A areia regular, filtro B4 (Fig. 5.20), apresentou uma curva semelhante ao do filtro B2 (aparas de couro curtido "wet blue"), sendo que o tempo de percolação foi da ordem de 64 minutos para um retorno de 95% do volume aplicado. Segundo GEHLING (1985), o tempo de percolação foi superior a 5 horas, para um filtro de areia de 1,0 metro de altura e

granulometria mais fina do que a areia utilizada nesta pesquisa, para aplicação de esgoto decantado.

O filtro de brita granítica 00, filtro B5 (Fig. 5.20), apresentou um tempo de percolação, para restituição de 100% do volume afluente, de 10,1 minutos.

O tempo de percolação dos cacos de tijolos 00, filtro B6 (Fig. 5.22), foi de 6,5 minutos, o menor entre os filtros percoladores, mas tendo a forma da curva semelhante a dos filtros B1, B3 e B5.

Observou-se que os tempos de percolação apresentaram valores bem próximos dos tempos de detenção, para os filtros percoladores B3, B4, B5 e B6. Tal constatação induz a se utilizar apenas o tempo de percolação para caracterizar o tempo para os leitos suporte.

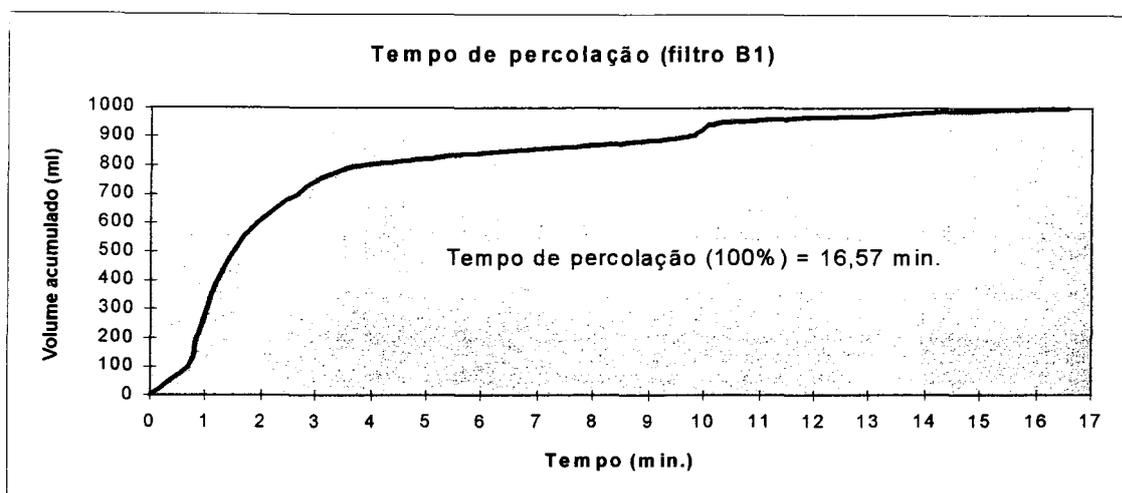


Figura 5.17 - Tempo de percolação do filtro B1 (carvão ativado)

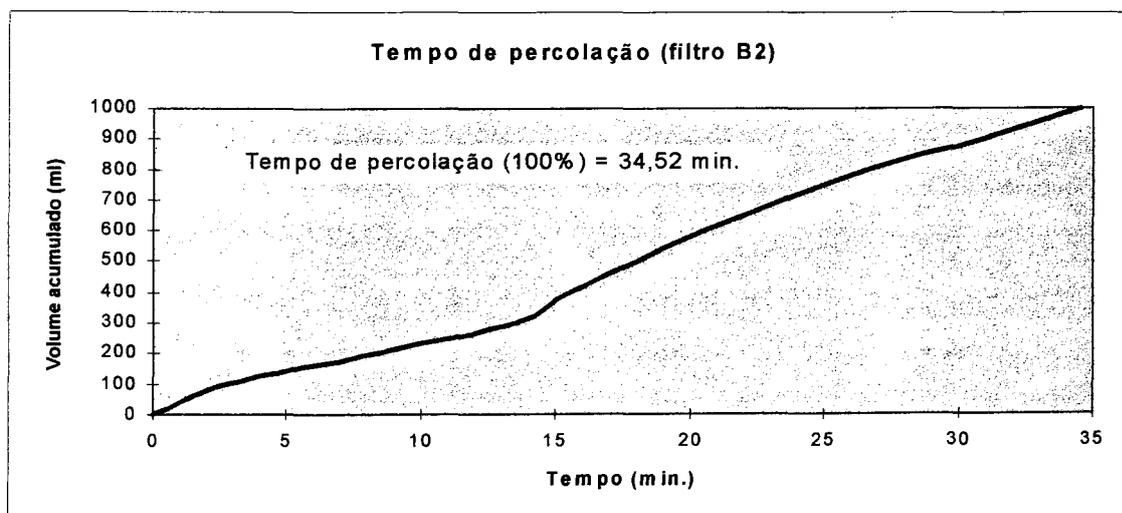


Figura 5.18 - Tempo de percolação do filtro B2 (aparas de couro curtido "wet blue")

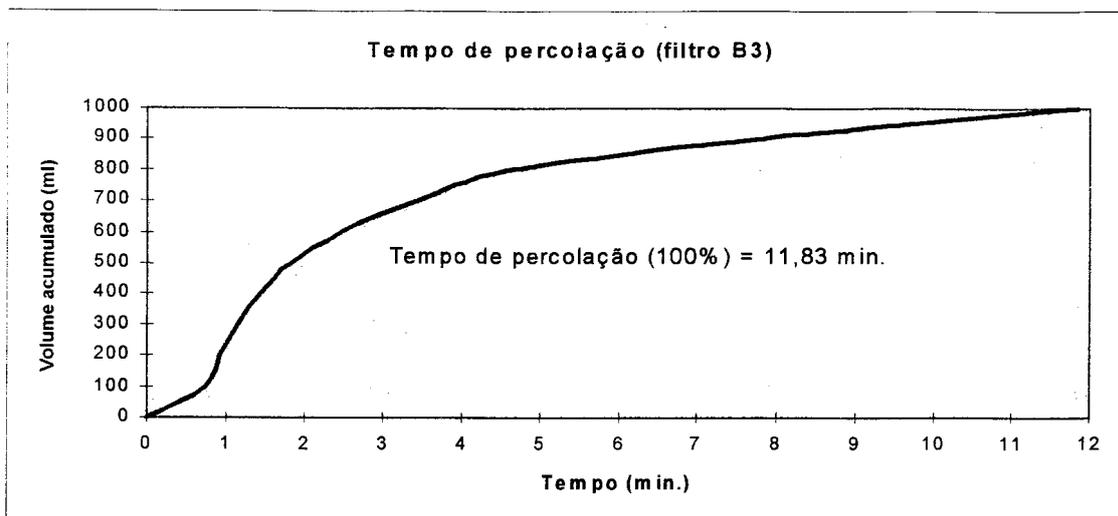


Figura 5.19 - Tempo de percolação do filtro B3 (argila nodulizada quebrada)

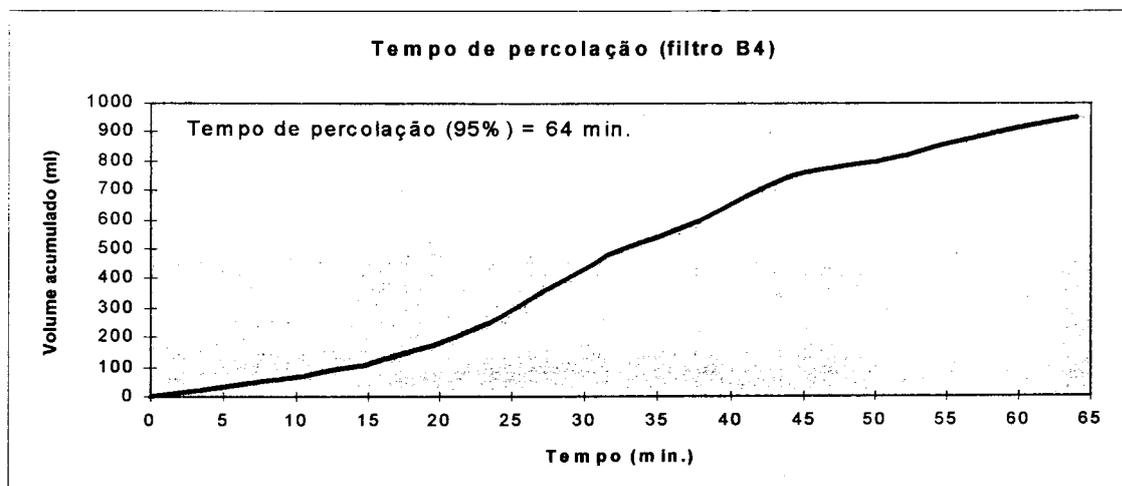


Figura 5.20 - Tempo de percolação do filtro B4 (areia regular)

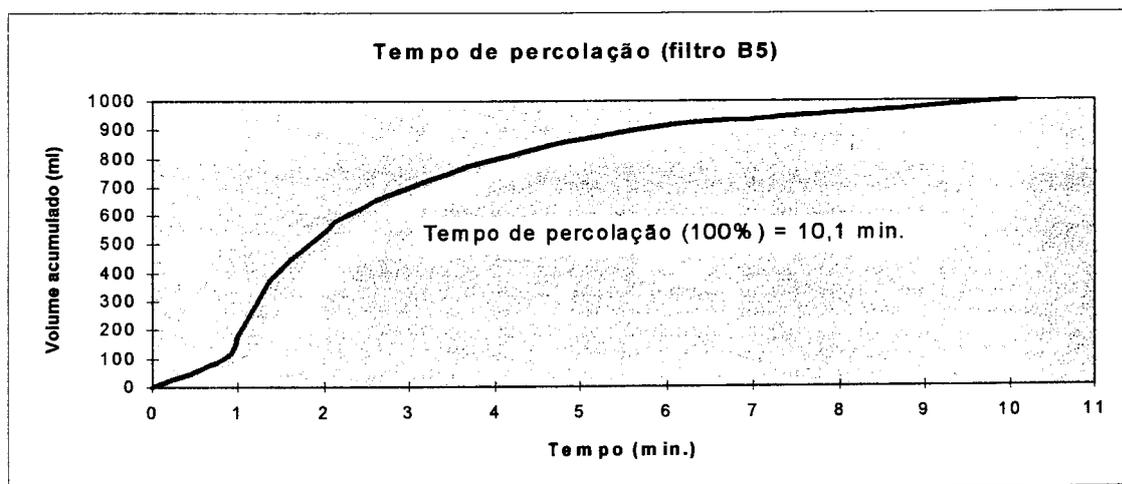


Figura 5.21 - Tempo de percolação do filtro B5 (brita granítica 00)

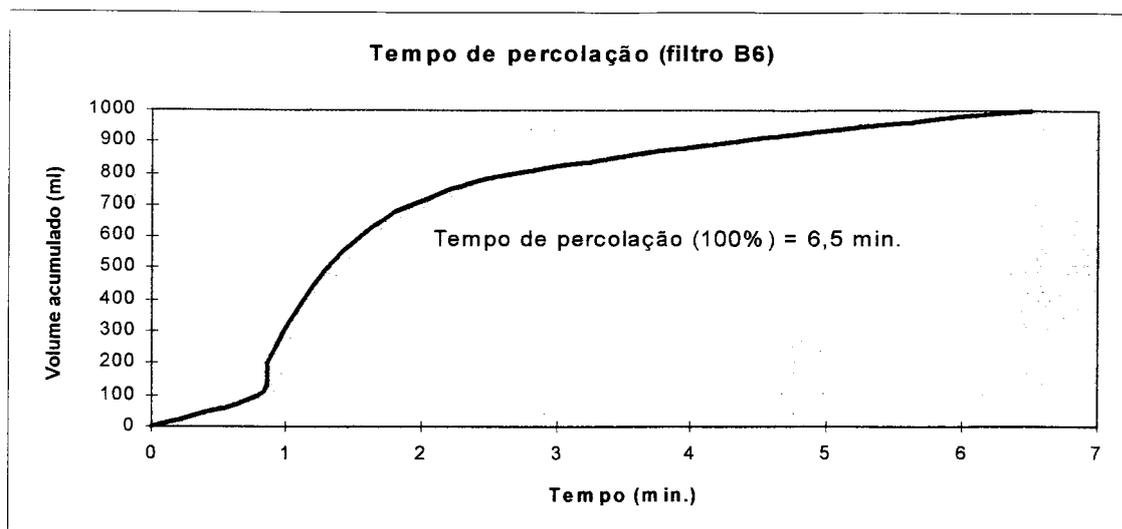


Figura 5.22 - Tempo de percolação do filtro B6 (cacos de tijolos 00)

#### 5.4. Demanda química de oxigênio (DQO)

A avaliação da  $DQO_{total}$  foi dividida em duas fases: a primeira, na qual o afluente utilizado foi esgoto bruto, fase de aclimatação, com um valor médio afluente em torno de  $400\text{ mg O}_2/\text{L}$ ; e uma segunda, com a aplicação de lixiviado, onde o valor médio ficou em torno de  $613\text{ mgO}_2/\text{L}$ .

Para os pré-filtros, o melhor tratamento na aplicação de esgoto bruto (Fig. 5.23, 5.25), a uma taxa de  $28,4\text{ cm}/\text{dia}$ , foram as unidades A1 e A2, ambos de brita granítica 01, com uma eficiência média de 44%, ficando os outros filtros com eficiência em torno de 37%.

Para os filtros percoladores, o melhor tratamento, durante a aplicação de esgoto bruto, com uma taxa de aplicação superficial de  $16\text{ cm}/\text{dia}$  (Fig. 5.24, 5.26), foi o filtro B0 de areia com um eficiência de 87%, seguido pelo B4 de areia com 77%, B1 de carvão ativado com 74%, B5 "brita granítica 00" com 54%, B2 de aparas de couro e B3 de argila nodulizada ambos com 50% e finalmente B6 de tijolos 00 com 40%.

Evidencia-se que para esgoto bruto, os filtros de areia se mostraram os mais eficientes, seguidos pelos filtros de carvão ativado, brita granítica e cacos de tijolos.

Para os pré-filtros, com aplicação de lixiviado, os melhores tratamentos foram os dos filtros A1 e A2, ambos com meio suporte de brita granítica 01, com eficiência média de

16,5%. Não se considerou os outros pré-filtros, devido a grande geração de  $DQO_{total}$  (eficiência negativas) (Fig. 5.23, 5.25).

Para os filtros percoladores, com aplicação de lixiviado (Fig. 5.24, 5.26), os melhores tratamentos foram dos filtros B1, de carvão ativado, com eficiência de 68% para  $DQO_{total}$ , com um tempo de percolação de 16,57 minutos (Fig. 5.17); e B2 de aparas de couro curtido, com eficiência de 65%. para um tempo de percolação de 34,52 minutos (Fig. 5.18). COOK & FOREE (1974) obtiveram remoções máxima de DQO na ordem de 69%, para polimento final com carvão ativado com tempo de detenção de 15 minutos, do efluente de um sistema de lodos ativados tratando lixiviado. Fica evidente a excelente performance dos filtros B1 e B2 na presente pesquisa, onde os resultados se mostraram semelhantes à referência citada.

Ficaram B0, B3, B4 e B6 em uma faixa de eficiência entre 18 a 20 % ; e B5 com geração de DQO (-1%) na média.

Fica evidente o choque ocorrido na eficiência na remoção de  $DQO_{total}$  dos filtros percoladores com a aplicação de lixiviado (Fig. 5.26), pois a partir da segunda semana de aplicação houve uma queda generalizada na eficiência de remoção de  $DQO_{total}$ , com uma possível perda do biofilme que não se aclimatou ao novo afluente; no entanto, os filtros B1 e B2 (Fig. 5.26) conseguiram manter as eficiências semelhantes às encontradas com esgoto bruto, notando-se até uma tendência crescente na eficiência destes dois filtros, sem se notar um choque na transição do esgoto para lixiviado.

DIAS (1984), tratando esgoto com filtros biológicos aeróbios, a uma TAS de  $2m^3/m^2.dia$ , obteve uma eficiência máxima de 77%. Extrapolando-se os resultados encontrados para uma TAS de  $0,16m^3/m^2.dia$ , aplicada aos filtros percoladores, estimou-se a eficiência esperada em 85%. Os resultados encontrados no presente experimento revelaram que os filtros de areia, tratando esgoto bruto, apresentaram eficiências semelhantes às referidas; no entanto, os filtros cuja granulometria dos leitos suporte se assemelhavam mais aos filtros biológicos do trabalho mencionado, apresentaram eficiências abaixo do esperado.

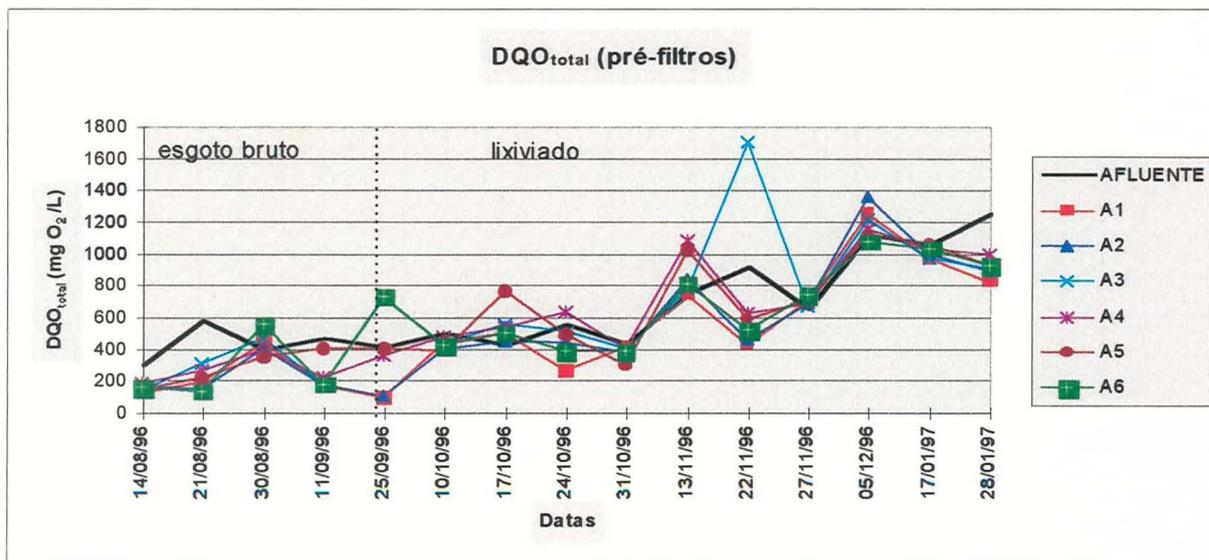


Figura 5.23 - Variação da DQO<sub>total</sub> nos pré-filtros

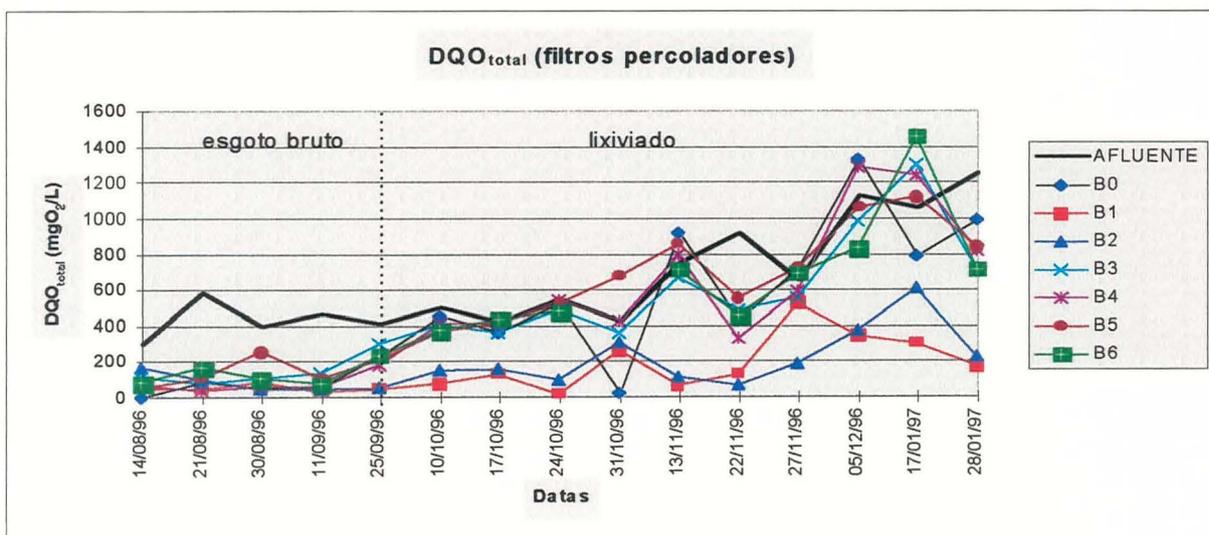


Figura 5.24 - Variação da DQO<sub>total</sub> nos filtros percoladores

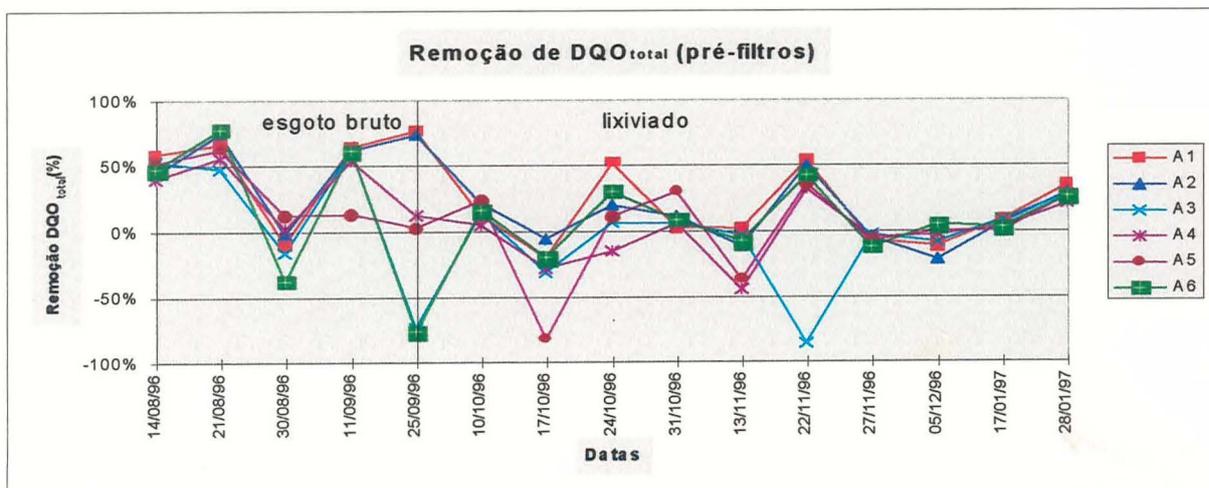


Figura 5.25 - Remoção da DQO<sub>total</sub> nos pré-filtros

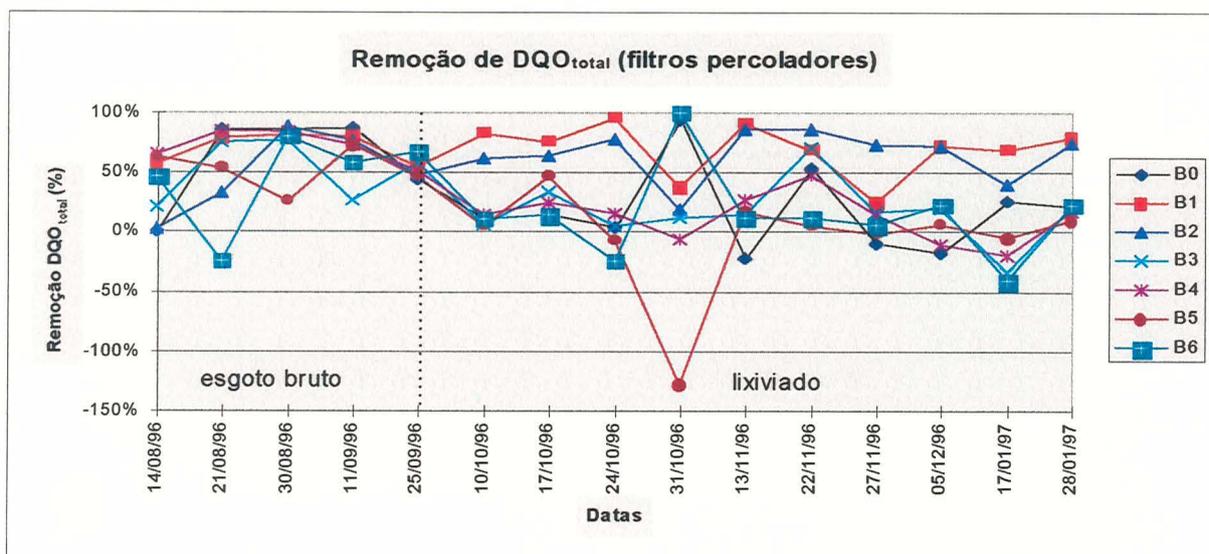


Figura 5.26 - Remoção da  $DQO_{total}$  nos filtros percoladores

Os resultados obtidos nas análises de  $DQO_{filtrada}$  revelaram a dificuldade em se trabalhar com lixiviado. Devido às altas concentrações nos principais poluentes, as análises laboratoriais, em alguns casos, sofreram interferências e seus resultados ficaram inconsistentes frente a comparação com os demais parâmetros analisados. É o caso observado na  $DQO_{filtrada}$ , que em algumas análises resultou em valores superiores aos da  $DQO_{total}$ , constatação absurda que induz ao não aproveitamento dos resultados. No entanto, ECKENFELDER (1970) aborda a questão da interferência da alta concentração de cloretos na determinação da DQO, o que pode explicar o fenômeno observado, pois o lixiviado utilizado neste experimento possuía concentrações de cloretos em valores altos, comprovados em função da cristalização dos reagentes na digestão da DQO, observada várias vezes durante o desenvolvimento das análises feitas no laboratório do IPH.

Como os cloretos estavam presentes tanto para  $DQO_{total}$  como para  $DQO_{filtrada}$ , optou-se por não se excluir nenhum resultado. Visto que a interferência dos cloretos tenha ocorrido de forma diferente da  $DQO_{total}$  para a  $DQO_{filtrada}$ , presumiu-se e aceitou-se que a interferência ocorreu na mesma amplitude tanto nas análises filtradas como nas totais. Os resultados finais, apresentados em sequência, ficaram válidos para avaliação das eficiências relativas dos tratamentos e não para valores absolutos de DQO, tanto filtrada como total.

Para os pré-filtros, tratando esgoto bruto, não houve grande variação entre os tratamentos na eficiência da  $DQO_{filtrada}$ , ficando os pré-filtros A5 e A6, ambos de tijolos 01, com eficiência média de 47%, seguidos dos pré-filtro A1 e A2, de brita granítica 01, com

eficiência média de 42%; e finalmente, pelos pré-filtros A3 e A4 de anéis PALL 1", com eficiência média de 29 % (Fig. 5.27, 5.29).

Para os filtros percoladores, tratando esgoto bruto, a maior eficiência na remoção de  $DQO_{filtrada}$  foi conseguida pelo filtro B0, de areia regular, com 93% (média), seguido pelos demais; B3 com eficiência média de 80%, B1 com 63%, B5 com 57%, B6 com 49%, B2 com 47% e por B4 com 39% (Fig.5.28, 5.30). Nota-se uma grande disparidade entre as eficiências dos filtros B0 e B4, ambos recheados com areia regular; no entanto, deve-se ressaltar que o regime de aplicação superficial é diferenciado, tendo o filtro B0 uma única aplicação diária e o B4 uma aplicação intermitente. Os estudos com infiltração rápida de esgoto sanitário em leitos de areia se referem à aplicações únicas diárias do volume total (GHELING, 1985). Pode-se, então, atribuir tal diferença nas eficiências à forma de aplicação superficial.

Os resultados das eficiências dos pré-filtros na remoção de  $DQO_{filtrada}$ , tratando lixiviado, não foram satisfatórios, sendo os valores menores que 2% e em alguns casos, negativos. Já para os filtros percoladores, salientaram-se os filtros B1 e B2 com eficiências médias na ordem de 82% e 66%. Os demais filtros tiveram eficiências médias inferiores a 11%, tendo os filtros B0 e B5 valores negativos.

Nota-se nos gráficos que houve uma queda brusca nas eficiências, na transição do esgoto para o lixiviado, recuperando-se a valores razoáveis positivos e novamente decaindo a valores negativos. Excluem-se desta observação os filtros B1 e B2 que mantiveram as eficiências constantes (Fig. 5.29, 5.30).

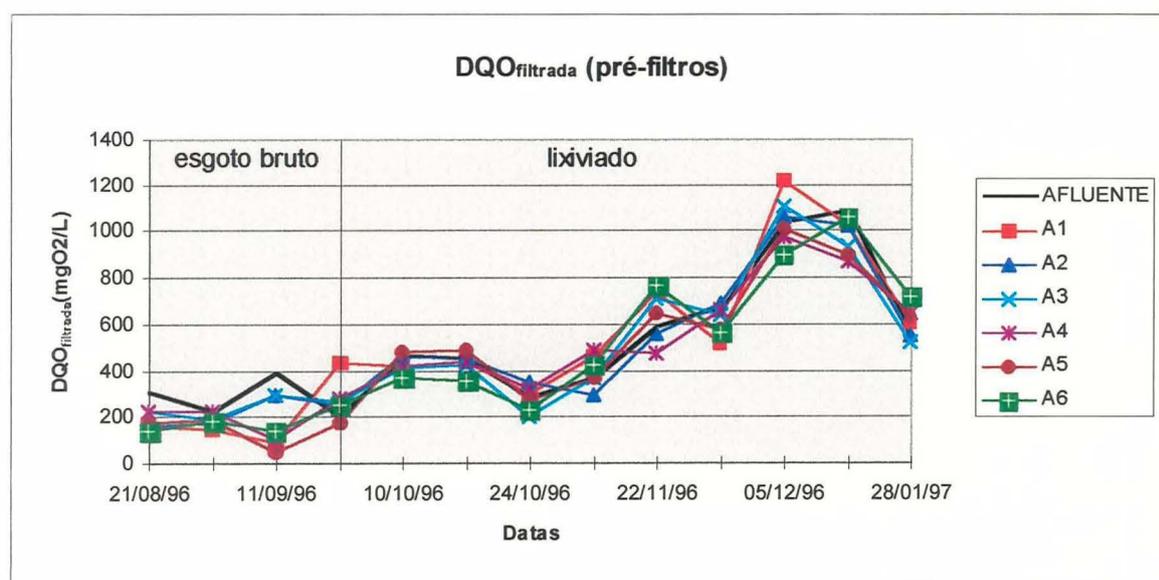


Figura 5.27 - Variação da  $DQO_{filtrada}$  nos pré-filtros

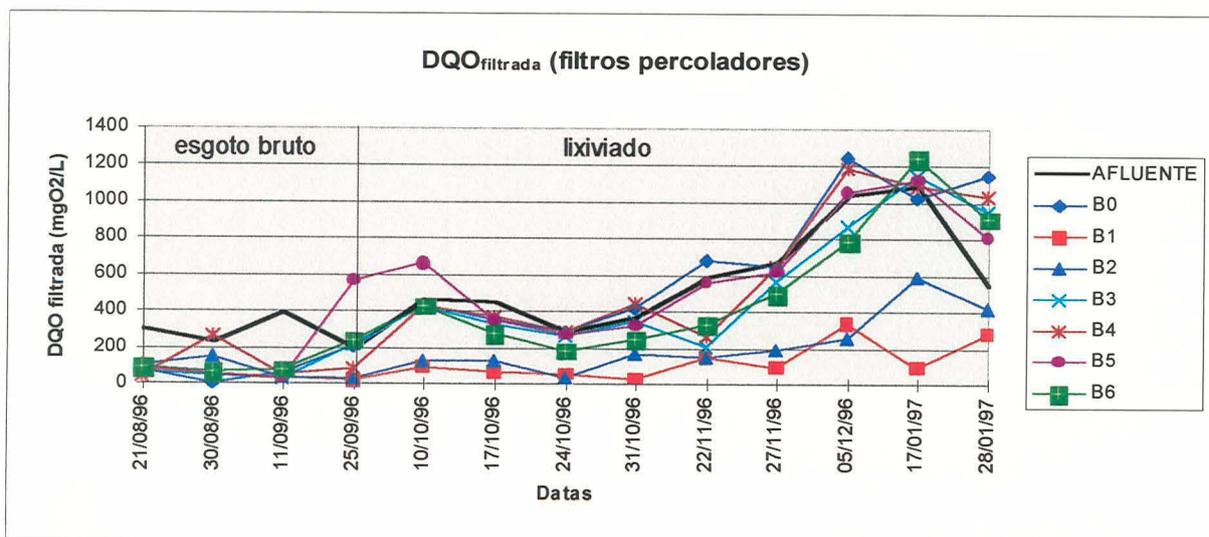


Figura 5.28 - Variação da DQO<sub>filtrada</sub> nos filtros percoladores

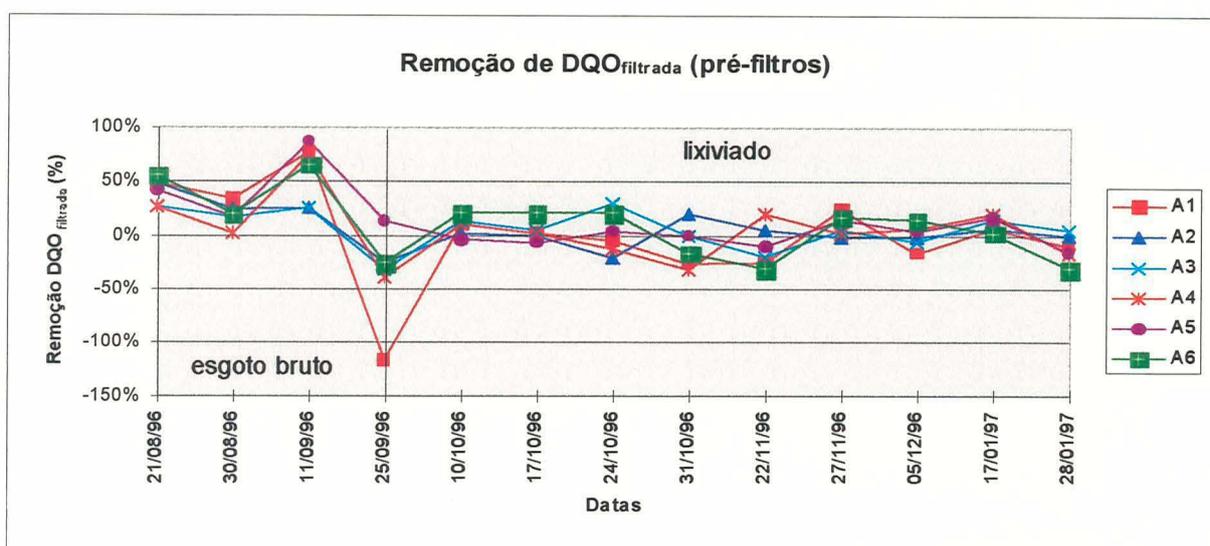


Figura 5.29 - Remoção da DQO<sub>filtrada</sub> nos pré-filtros

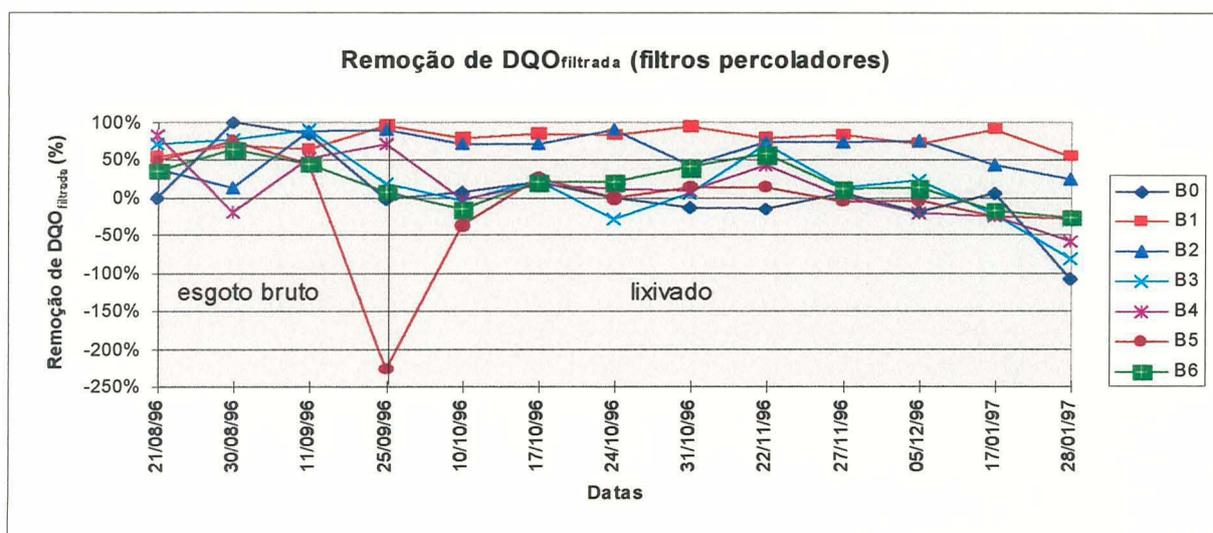


Figura 5.30 - Remoção da DQO<sub>filtrada</sub> nos filtros percoladores

### 5.5. Demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>)

Para os pré-filtros com aplicação de esgoto bruto (Fig. 5.31, 5.33), considerando a última análise (11/09/96) da 1ª fase, os pré-filtros A1 e A2, de brita granítica 01, obtiveram os melhores resultados, na eficiência do processo, representados pelo valor médio de 78%, seguidos do A3, A4, A5 e A6, com a média de 73%. Novamente, a brita granítica 01 se mostrou ligeiramente superior também para a eficiência na DBO<sub>5</sub>.

Para os filtros percoladores com aplicação de esgoto bruto, considerando-se também a última análise da 1ª fase em 11/09/96, as melhores eficiências foram dos filtros B2 de couro curtido “wet blue” e B3, de argila nodulizada, ambos com 100%, seguidos de B4 com 98%, B0 e B6 ambos com 89%, B1 com 80% e B5 com eficiência negativa de -5% (Fig. 5.32, 5.34).

Neste caso, tem-se o couro curtido (B2) e a argila nodulizada (B3) com os melhores resultados, não desconsiderando no entanto os filtros B0 e B4, com areia, que também apresentaram eficiências altas em termos de remoção de DBO<sub>5</sub>. Estes resultados, com destaque para os leitos de areia na remoção de DBO<sub>5</sub>, estão de acordo com IMHOFF(1986), que estima a eficiência de 90%, para leitos de areia de 1,0 m, operando para uma taxa de aplicação superficial entre 3,0 e 7,3 cm/dia, e uma granulometria da areia com d<sub>10</sub> entre 0,2 e 0,5 mm. A taxa superficial utilizada nesta pesquisa é o dobro da sugerida anteriormente, e a granulometria da areia regular apresenta d<sub>10</sub> da ordem de 0,28, sendo os resultados bastante otimistas para a aplicação de lixiviado.

Para os pré-filtros com aplicação de lixiviado, o melhor tratamento foi observado nos filtros A3 e A4, ambos com anéis PALL (17,5%). Houve uma redução gradativa na eficiência destes com uma grande geração de DBO<sub>5</sub> no dia 5/12/96, que pode ser explicada pela perda do biofilme formado quando da aplicação de esgoto; a partir daí observou-se a recuperação na eficiência (Fig. 5.31, 5.33).

Para os filtros percoladores com aplicação de lixiviado o melhor tratamento foi o do filtro B2 com eficiência de 95%, seguido do B1 com 79% e B4 com 61%; os demais filtros tiveram eficiências abaixo de 30%. Neste caso também houve um choque devido a troca de afluente, caracterizado pela redução nas eficiências, com geração de DBO<sub>5</sub> nos mesmos, explicada pela perda de biofilme dos leitos; em B1 e B2 não se observou alteração significativa de eficiências (Fig. 5.32, 5.34).

Segundo POVINELLI (1981), a análise de DBO (método de Winkler) pode ser inibida pela presença de metais em concentrações altas no efluente. De acordo com o autor, a presença de cromo trivalente Cr(III) em concentrações da ordem de 50 mg/L, pode inibir o ensaio de DBO em até 54 %, em relação ao valor esperado sem a presença do metal.

Com isso, os resultados favoráveis do filtro B2 (couro curtido "wet blue"), em relação a eficiência na remoção de  $DBO_5$ , podem estar encobertos pela interferência do Cr(III) no efluente do mesmo, lixiviado das aparas de couro curtido.

A inibição da  $DBO_5$  no percentual de 54% referido para uma eficiência no filtro B2 de 80 %, produz uma eficiência real de 70 %, reduzindo-se a eficiência esperada em 12,5 %.

No presente trabalho, não se levou em conta a possível toxicidade na DBO, pois a pesquisa era direcionada ao tratamento de lixiviado, e os resultados de POVINELLI (1981) estão embasados em esgoto sanitário; soma-se a isto o fato de que o método utilizado para determinar a DBO foi o manométrico sem a adição de semente, usando-se os microrganismos que se desenvolveram no próprio filtro, nas condições inóspitas do meio, e presumivelmente aclimatados às altas concentrações de Cr(III), sulfato e sais detectados no efluente do filtro B2

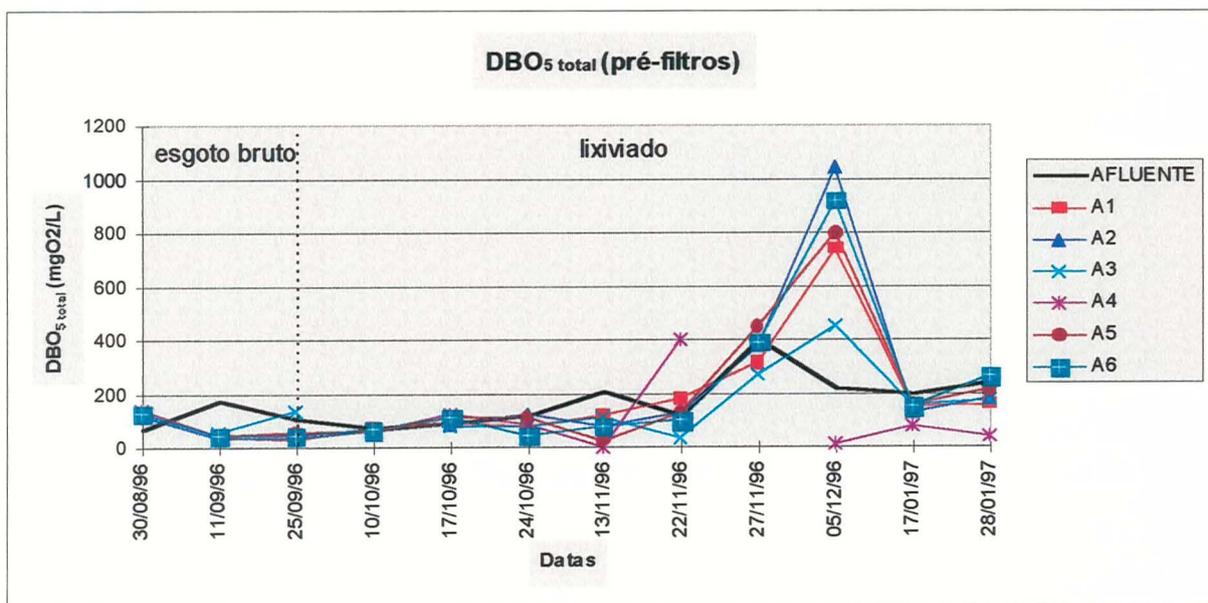


Figura 5.31 - Variação da  $DBO_5$  total nos pré-filtros

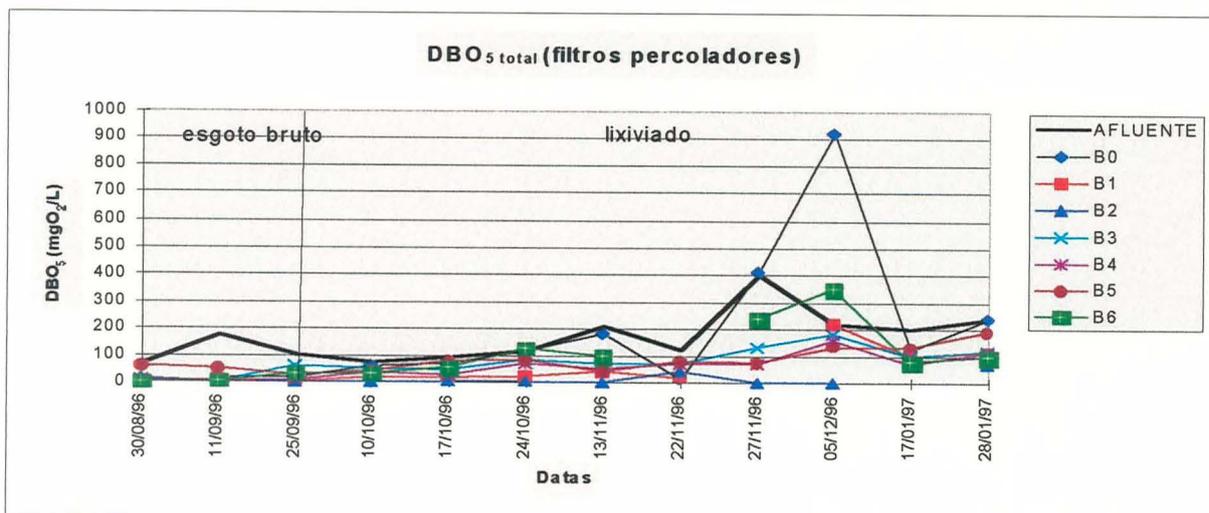


Figura 5.32 - Variação da DBO<sub>5</sub> total nos filtros percoladores

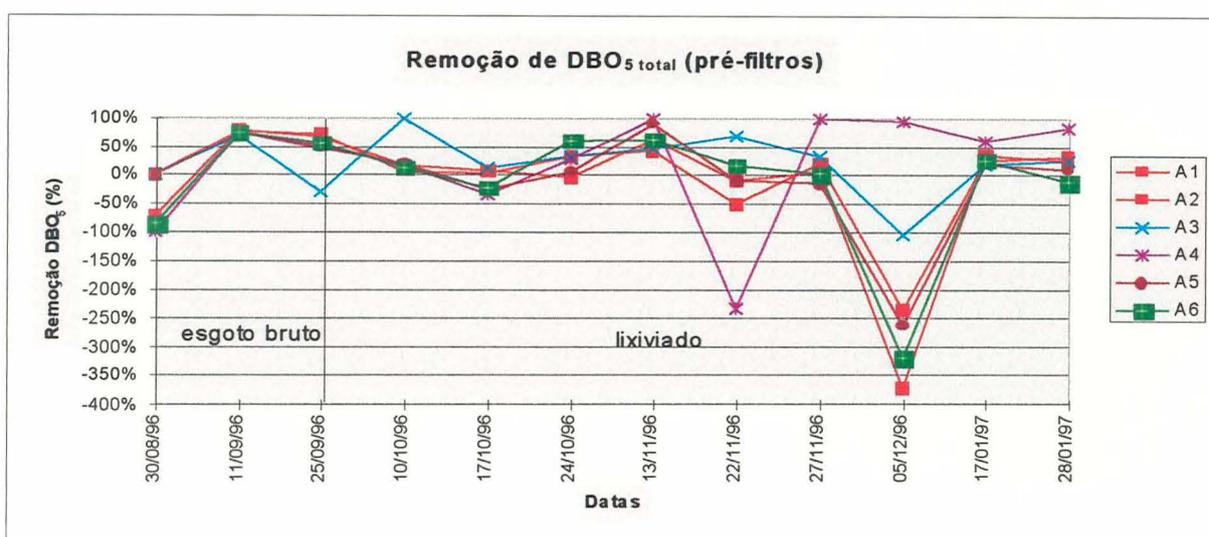


Figura 5.33 - Remoção da DBO<sub>5</sub> total nos pré-filtros

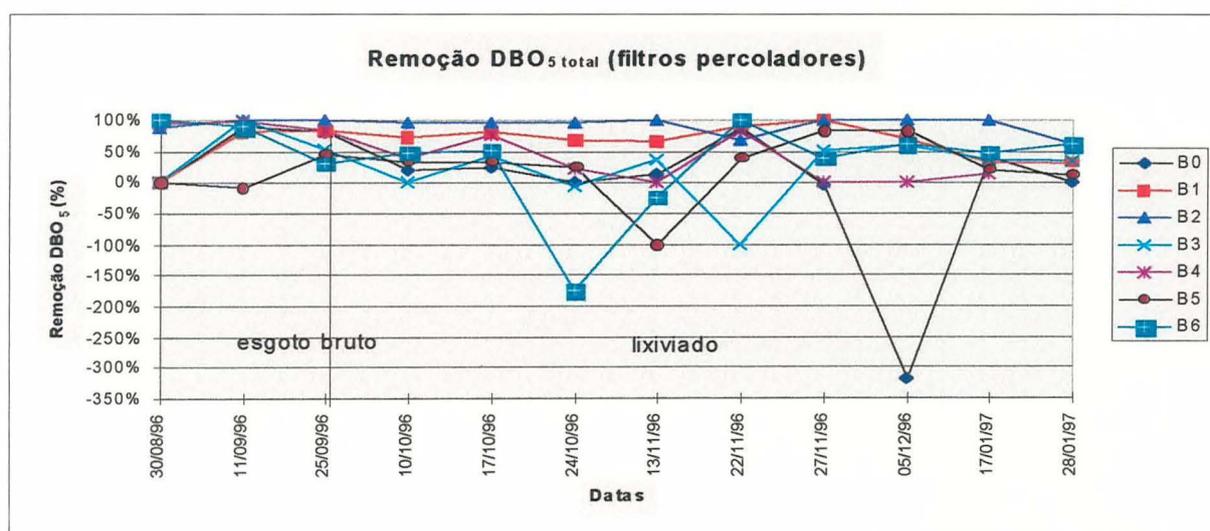


Figura 5.34 - Remoção da DBO<sub>5</sub> total nos filtros percoladores

## 5.6. Potencial hidrogeniônico (pH)

Para os pré-filtros, o pH manteve-se constante ao longo do tempo, apresentando em média um valor ligeiramente inferior ao do afluente, tanto para esgoto como para lixiviado (Fig.5.35).

Para os filtros percoladores, o pH médio manteve-se sempre abaixo do pH do afluente, observando-se uma redução em todos os filtros. O filtro B2 foi o que mais reduziu o pH, tanto no esgoto como no lixiviado, chegando próximo de 2,0. As características do couro curtido propiciaram um lixiviado rico em sulfato, o que pode ser uma das causas do baixo pH no efluente do filtro B2. Após 3 meses de aplicação de lixiviado o pH do filtro B2 começou a se elevar (fig. 5.36), devido a redução da lixiviação de sulfato, bem como a alta alcalinidade do afluente (Fig. 5.38).

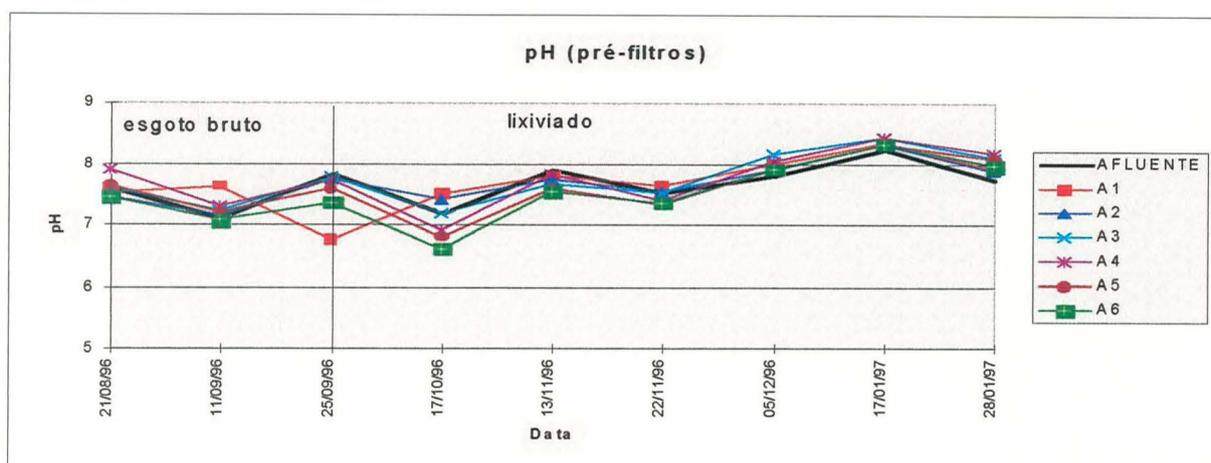


Figura 5.35 - Variação do pH nos pré-filtros

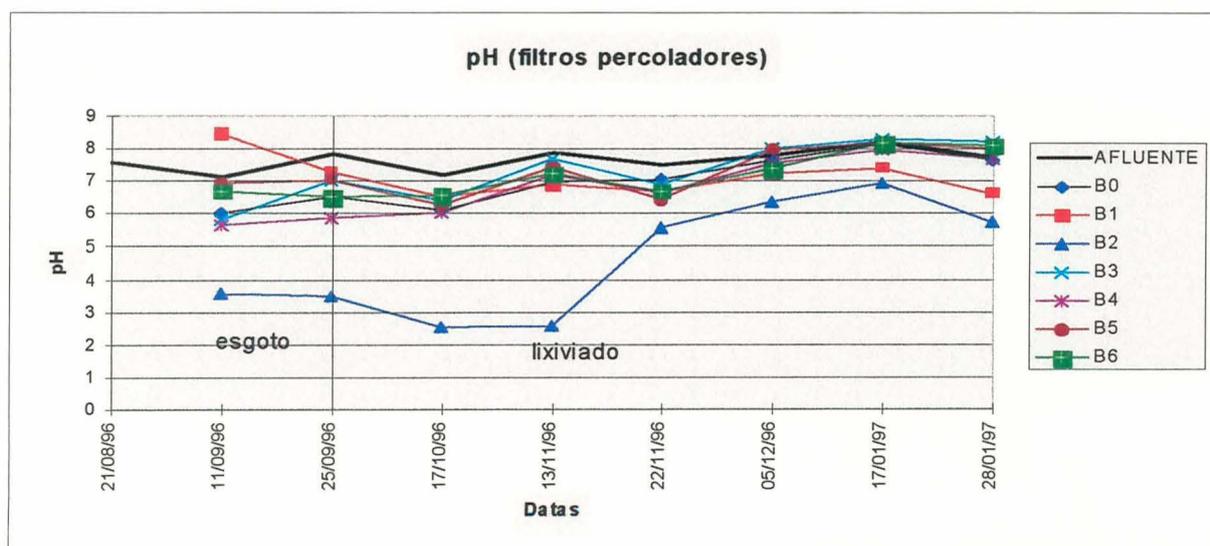


Figura 5.36 - Variação do pH nos filtros percoladores

## 5.7. Alcalinidade

Para o esgoto bruto a alcalinidade foi típica, entre 100 e 200 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ , e para o lixiviado, situou-se na faixa de 1000 a 5000 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ .

Não houve redução significativa da alcalinidade nos pré-filtros (Fig. 5.38), mas nos filtros percoladores a redução foi expressiva, tanto para o esgoto como para o lixiviado (Fig. 5.40).

O filtro B2 não apresentou alcalinidade no início das aplicações, pois seu pH situava-se em torno de 2,5; no entanto a partir de 22/11/96, o seu efluente começou a apresentar traços de alcalinidade (2 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ), com uma tendência crescente, isto devido ao aumento do pH, decorrente da alta alcalinidade do lixiviado afluente ( $> 3000$  mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ) (Fig. 5.38).

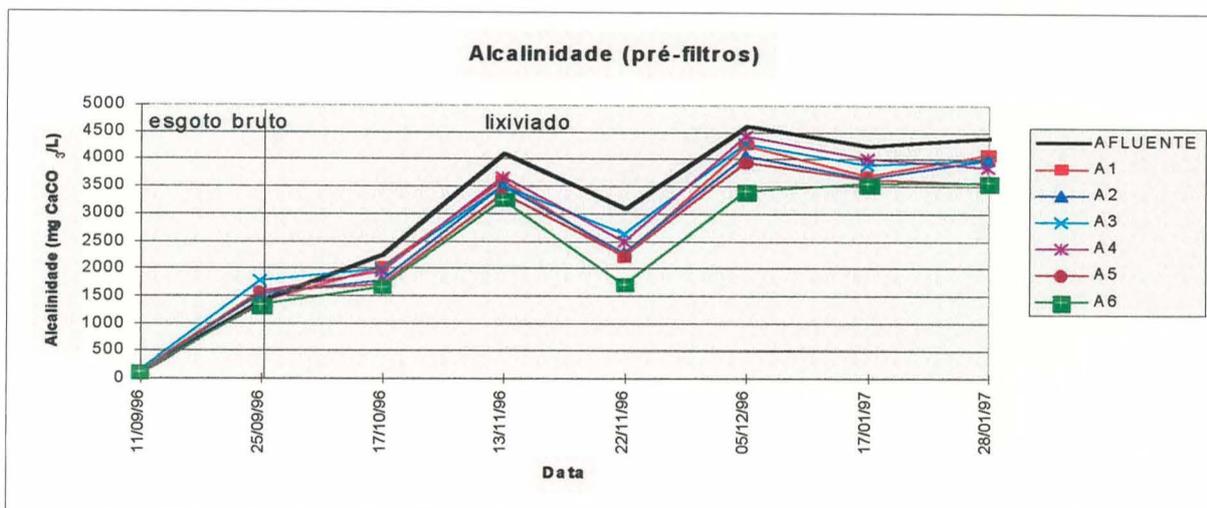


Figura 5.37 - Variação da alcalinidade nos pré-filtros

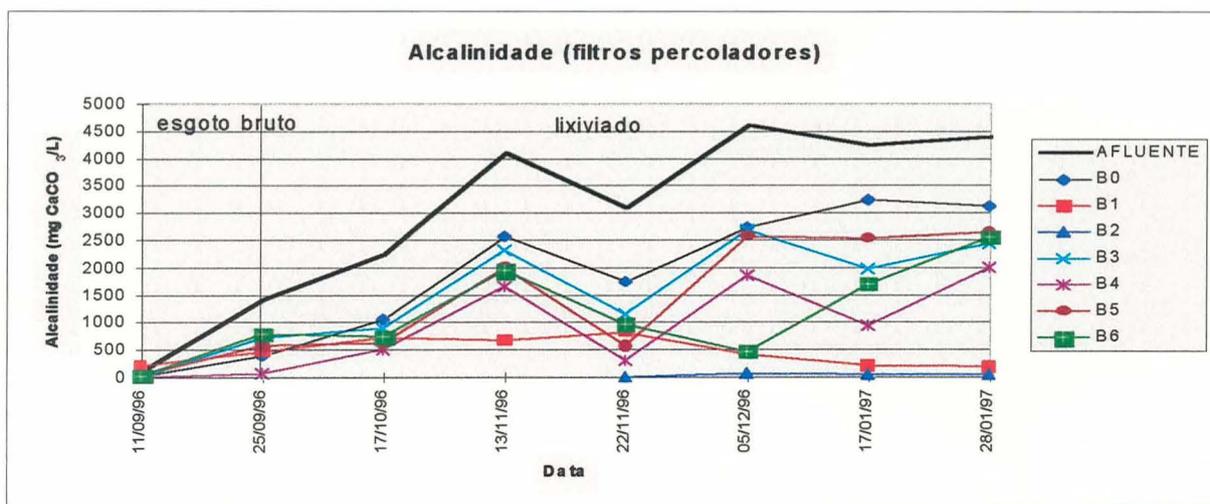


Figura 5.38 - Variação da alcalinidade nos filtros percoladores

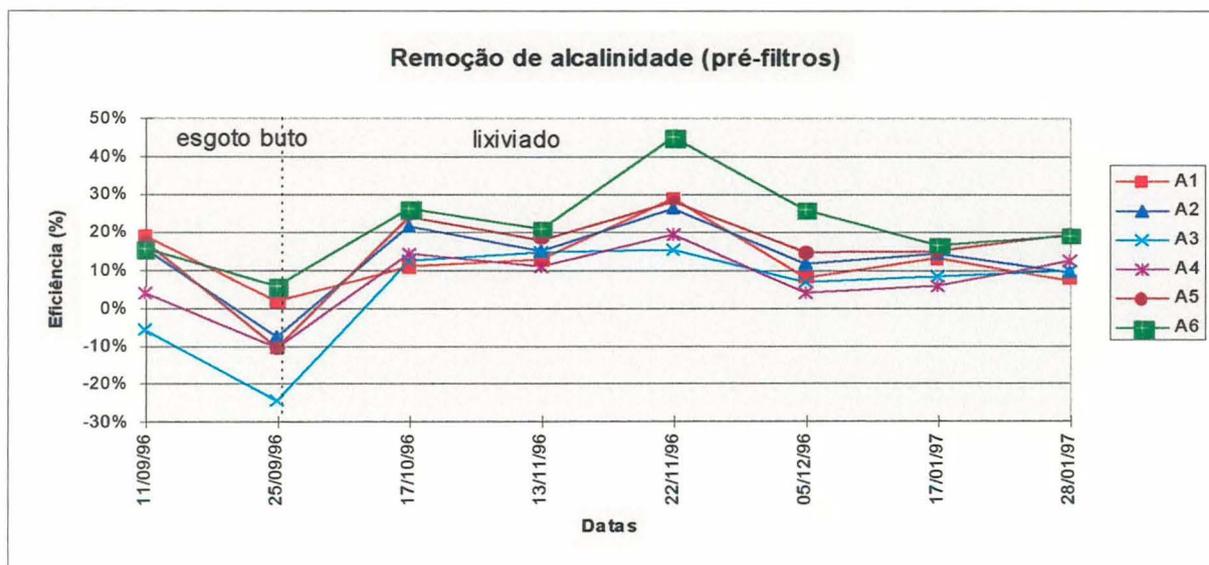


Figura 5.39 - Remoção da alcalinidade nos pré-filtros

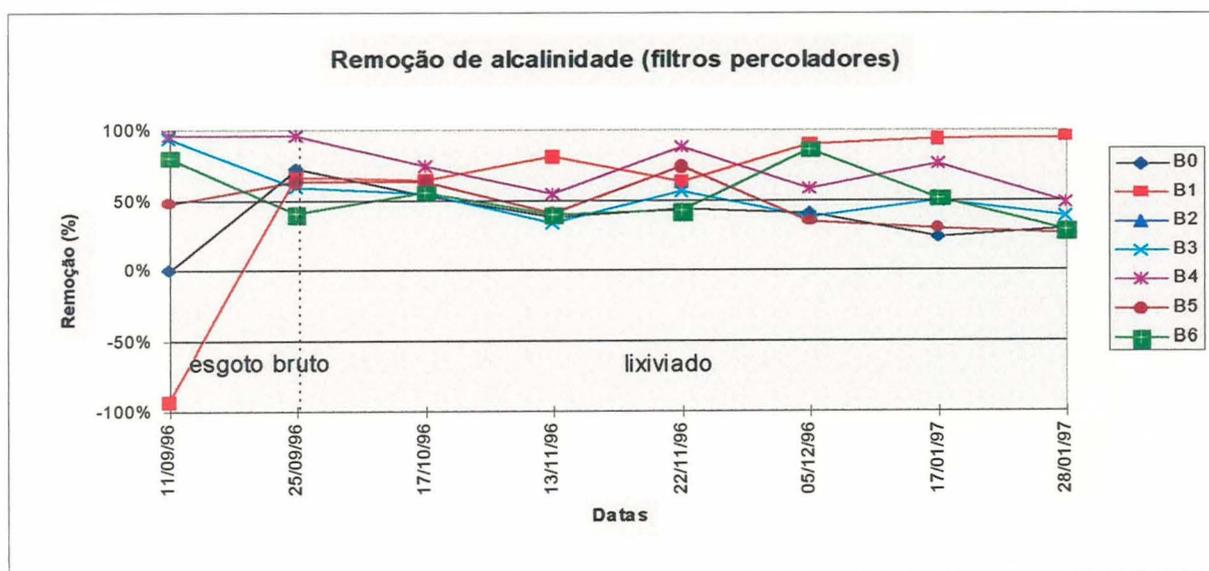


Figura 5.40 - Remoção da alcalinidade nos filtros percoladores

### 5.8. NTK, amônia e nitrato

Foram feitas seis campanhas de análises das fases do nitrogênio (amônia, NTK, nitrito e nitrato). Para o esgoto bruto, foi feita uma campanha no dia 11/09/96, quando se detectou no afluente uma concentração de NTK de 36 mg/L, nitrogênio amoniacal de 25 mg/L e não se detectou nitrito e nitrato. Estes valores são característicos do esgoto sanitário. Devido as características anaeróbias do lixiviado, constatou-se nas análises laboratoriais, feitas pelo laboratório contratado pelo DMLU, a baixa concentração de nitrogênio orgânico, quase nula, e que o NTK pode ser considerado unicamente como amoniacal.

Para os pré-filtros tratando esgoto bruto, a eficiência média na remoção tanto de NTK e de amônia ficou em torno de 20% (Fig. 5.41, 5.43). Já, os filtros percoladores mostraram uma eficiência média em torno de 75% para a amônia e 70% para NTK.

Os melhores tratamentos para amônia nos pré-filtros, tanto para o esgoto como para o lixiviado, foram conseguidos pelos filtros A5 e A6 (ambos de cacos de tijolos), com eficiência média do grupo para o esgoto de 28% e para o lixiviado de 16% (Fig. 5.41, 5.43).

Na transição da aplicação de esgoto bruto para lixiviado, houve uma redução nas eficiências de remoção de amônia da maioria dos filtros, com exceção para os filtros B1 e B2 que mantiveram uma eficiência constante e crescente similar as encontradas no esgoto.

Para os filtros percoladores, o melhor tratamento para esgoto bruto foi conseguido pelo filtro B4 de areia, com eficiência na remoção de amônia em torno de 97%, seguido pelos filtros B0 e B1 ambos com eficiência de 82%, ficando os demais filtros, B2, B3, B5 e B6, com eficiências em torno de 57 % (Fig. 5.42, 5.44).

Para os filtros percoladores tratando lixiviado, houve uma queda nas eficiências, recuperada em duas semanas e com tendências crescentes. O melhor tratamento conseguiu-se no filtro B2, com eficiência maior que 90%, seguido pelo B1 com 89% e ficando os demais filtros percoladores B0, B3, B4, B5 e B6 com a média de 50 % de eficiência (Fig. 5.42, 5.44). SPENGL & DZOMBAK (1991) obtiveram uma oxidação quase total da amônia com remoção de 98% (Tabela 3.9), no tratamento de lixiviado de aterros antigos com bio-discos, com uma concentração de nitratos no efluente na ordem de 150 mg/L-N. No presente experimento, os filtros B1 e B2 apresentaram eficiências um pouco inferiores, observando-se o fato de que o tempo de detenção hidráulica nos bio-discos era superior ao dos filtros percoladores.

O filtro B1, no início da aplicação de lixiviado, apresentou alta remoção de amônia (Fig. 5.44) com baixa produção de nitrato (Fig. 5.46), configurando o fenômeno físico-químico da adsorção pelo carvão ativado; no entanto, com o transcorrer do experimento, a eficiência de remoção manteve-se constante e a concentração de nitrato no efluente cresceu consideravelmente, caracterizando remoção biológica em detrimento da capacidade adsorviva. O filtro B2 apresentou eficiência similar a do filtro B1 (Fig. 5.44); no entanto, o efluente sempre apresentou altas concentrações de nitratos (Fig. 46), caracterizando assim, a ação de biomassa ativa sobre o substrato. Para os demais filtros pode-se caracterizar o efeito biológico na remoção de amônia através das concentrações de nitratos no seus efluentes.

Os filtros biológicos apresentam características anaeróbias na parte mais interna do biofilme e a medida em que aumenta a sua profundidade, com isso pode-se considerar uma perda de nitrogênio em forma de gás ( $N_2$ ) devido a denitrificação (METCALFF & EDDY, 1985). Isto explica o não fechamento do balanço de massa de nitrogênio, podendo-se ainda considerar até 30 % de perda adicional do nitrogênio como sendo incorporada à massa do biofilme.

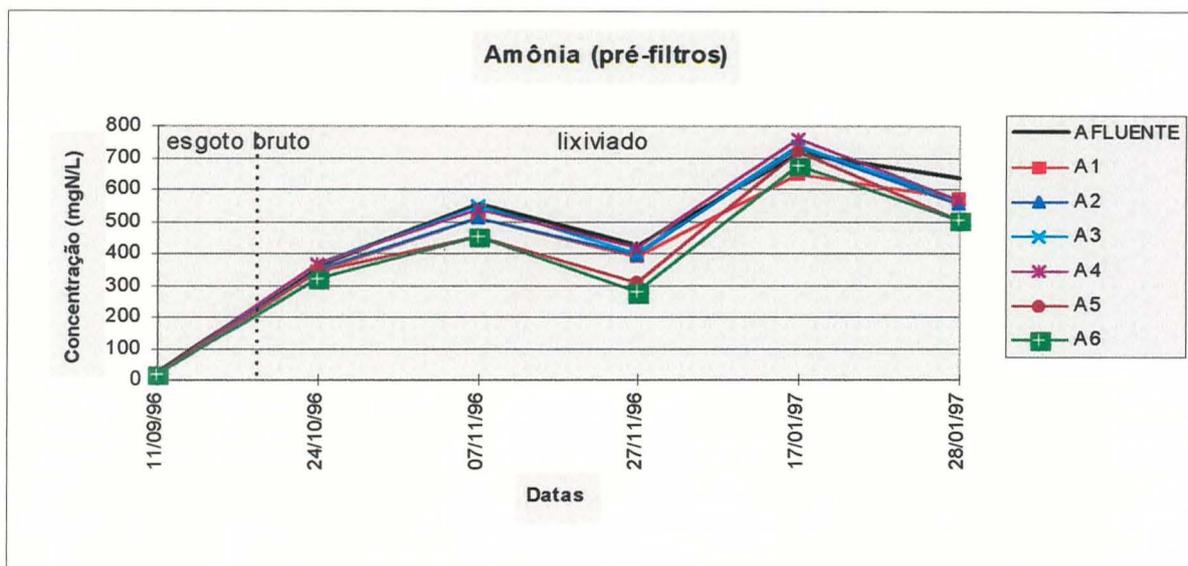


Figura 5.41 - Variação da amônia nos pré-filtros

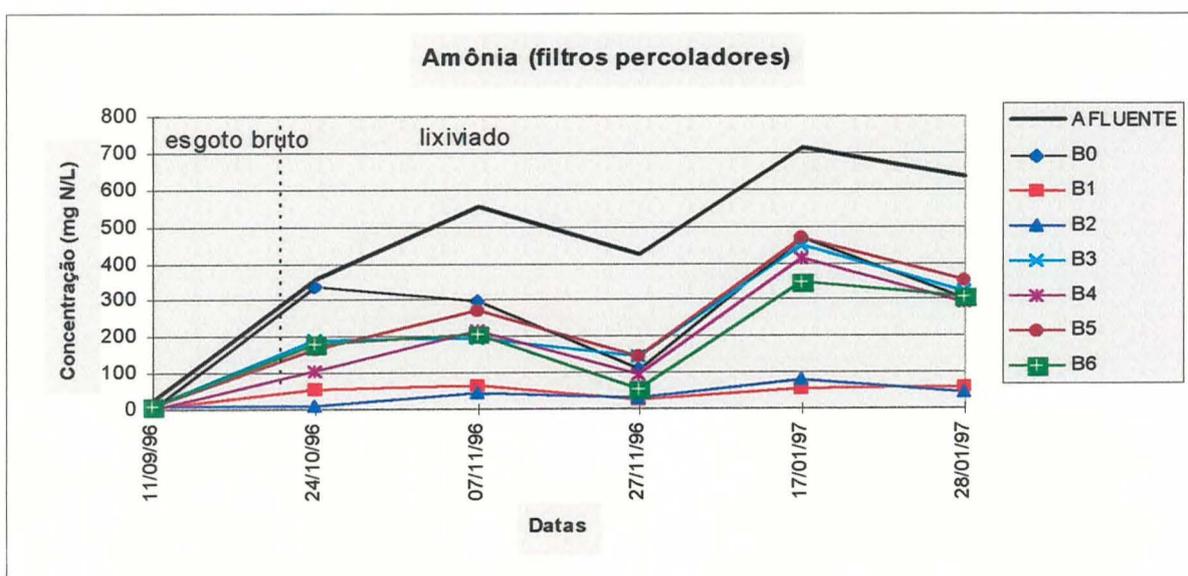


Figura 5.42 - Variação da amônia nos filtros percoladores

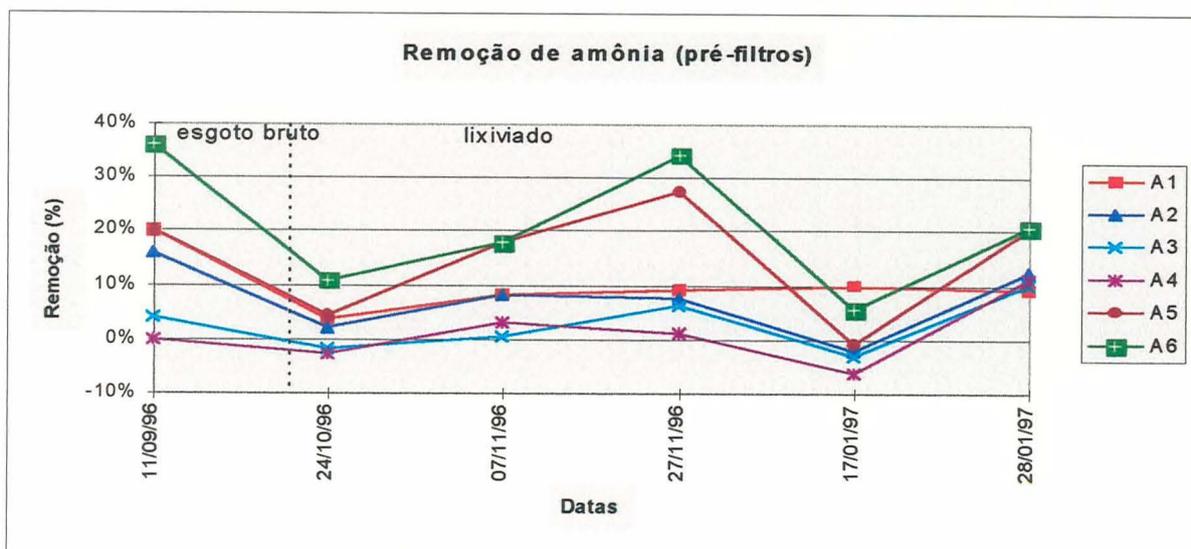


Figura 5.43 - Remoção da amônia nos pré- filtros

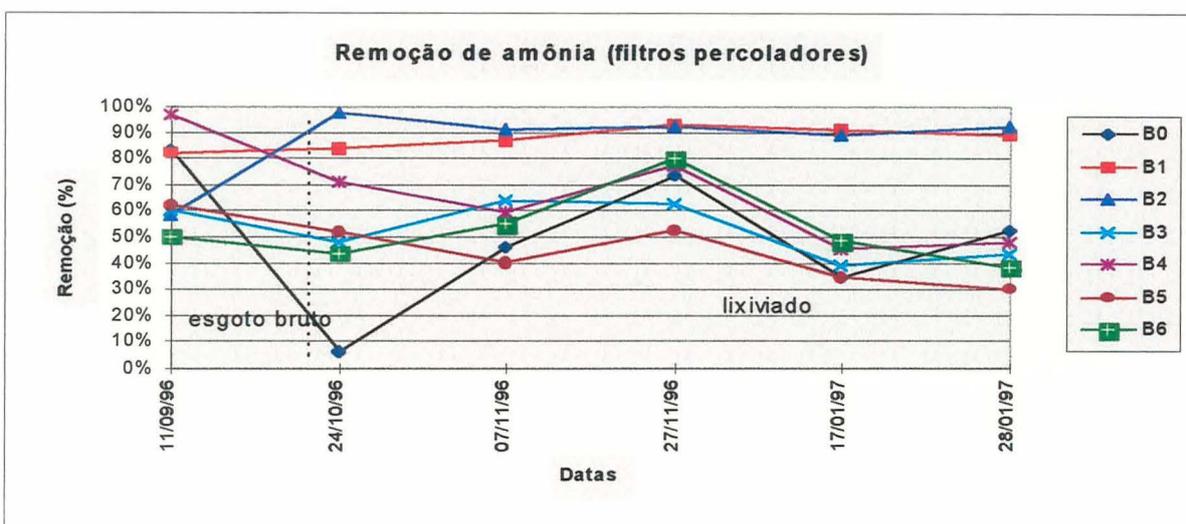


Figura 5.44 - Remoção da amônia nos filtros percoladores

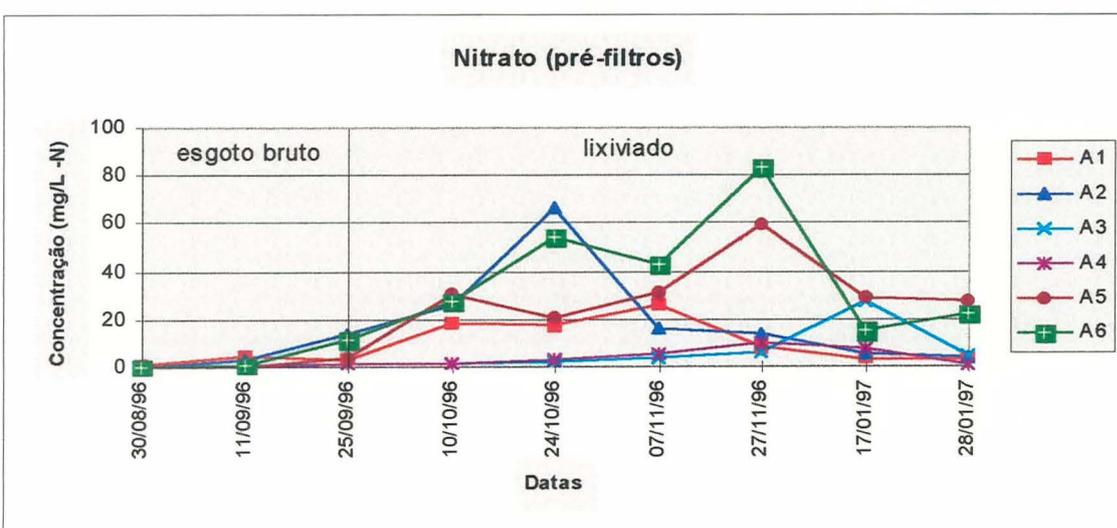


Figura 5.45 - Variação da concentração de nitrato nos pré-filtros

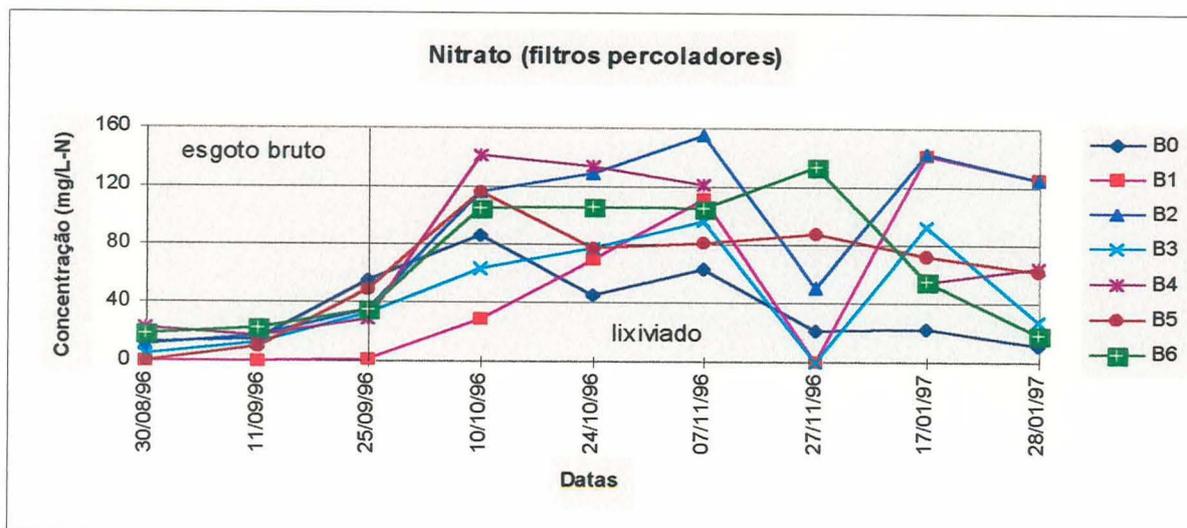


Figura 5.46 - Variação da concentração de nitrato nos filtros percoladores

### 5.9. Metais

Elegeu-se os metais pesados ferro, cobre e cromo para interpretar-se as eficiências dos sistemas, por serem estes metais os mais representativos do lixiviado. O cromo trivalente não detectado no esgoto bruto e lixiviado afluentes, serviu para o monitoramento da lixiviação das aparas de couro curtido "wet blue" do filtro B2, e permitiu que se avaliassem as características tóxicas destas.

Na primeira análise de metais feita no esgoto bruto (11/09/96), o ferro apresentou uma concentração na ordem de 2,4 mg/l; já para o lixiviado, a concentração subiu para um valor ao redor de 12 mg/L. A eficiência dos pré-filtros na atenuação de ferro com a aplicação de esgoto, foi de 75 % para A5 e A6, ambos de tijolos 01, seguidos pelos filtros A3 e A4, de anéis PALL 1", com eficiência média de 60 % e pelos filtros A1 e A2, de brita granítica 01, com eficiência de 48% (Tabela A.17). Esta baixa eficiência dos filtros de brita granítica 01 pode ser explicado pela perda de argila, rica em ferro, presente nos vazios da brita.

Para o lixiviado, houve uma redução na eficiência média dos pré-filtros relativamente a aplicação de esgoto bruto: os filtros A1, A2, A5 e A6 apresentaram eficiência média de 26%; A3 e A4 não apresentaram eficiências satisfatórias, em média 8%.

Para os filtros percoladores, no tratamento de esgoto, as eficiências se mantiveram altas para os filtros B0, B1, B3, B4 e B6, no entorno de 100% ; B2 apresentou uma eficiência de

67% e para B5 houve um grande aumento na concentração de ferro, provavelmente devido a lixiviação da argila remanescente nos vazios da brita granítica 00, apesar da pré-lavagem com água da torneira feita em todos os filtros para remoção de impurezas (Tabela A.17).

No tratamento de lixiviado houve uma leve redução na eficiência dos filtros percoladores e não se constatou a lixiviação de ferro do filtro B5. O filtro com maior eficiência média foi o B4 com 97%, seguido pelo B2 com 91%, B0 com 89% e B1 com 81 %; sendo os filtros B3 com 72%, B5 com 56% e B6 com 64%.

O cromo trivalente apenas foi detectado no efluente do filtro B2, de aparas de couro curtido "wet blue"; onde o monitoramento do metal foi realizado a partir da lavagem inicial das aparas com água deionizada, em 24/07/96. A primeira análise resultou em uma concentração com valores altos, no início do experimento, 50 mg/L (Fig. 5.45), decaindo ao transcorrer do tempo até chegar a valores inferiores a 0,5 mg/L, a partir do dia 17/01/97. Caracterizou-se uma curva exponencial representado pela figura 5.48, onde se determinou a equação  $y=66,323.E^{-0,0283.D}$ , que explica a variação da concentração de Cr (III) no efluente do filtro B2 em função do tempo de aplicação em dias (D).

Através do modelo exponencial e dos volumes diários aplicados ao filtro B2 pode-se estimar a carga total de Cr (III) lixiviada até o dia 28/01/97, como sendo de 7000 mg. Como o peso de aparas aposto no filtro foi no entorno de 3,00 kg, pode-se, então estimar que a provável lixiviação máxima de Cr(III) foi de 2300 mg/kg de aparas. BIDONE (1995) constatou uma lixiviação máxima de aparas de couro "wet blue" como sendo de 2900 mg/kg de aparas em ensaio de lixiviação realizado em meio ácido (pH=2,5). Neste caso, a concentração total inicial de Cr(III) nas aparas de couro curtido (curtumes da cidade de Franca, SP) era de 27000 mg/Kg, para um peso de 0,600 kg, correspondente a uma carga total de 16200 mg de Cr(III). Considerando-se a concentração de cromo para as aparas utilizadas neste experimento, de 26500 mg/Kg (conforme análises do material, média de três observações), verificou-se que houve a lixiviação total estimada de apenas 7000 mg, ficando ainda retida nas aparas, uma carga de 72500 mg de Cr (III).

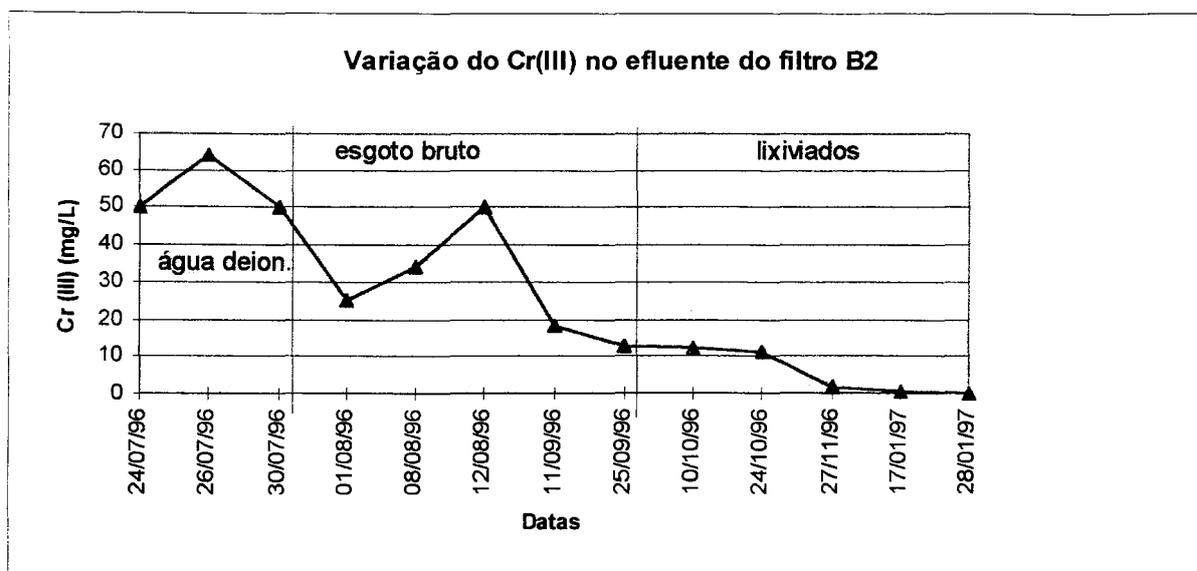


Figura 5.47 - Variação da concentração do Cr (III) no efluente do filtro B2 (aparas de couro curtido)

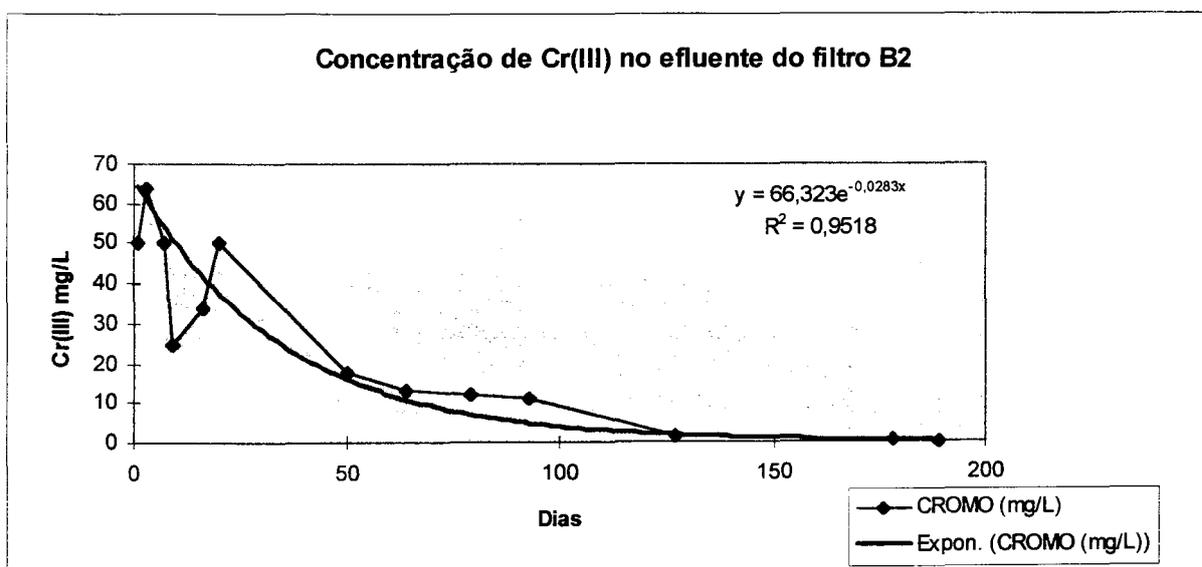


Figura 5.48 - Curva exponencial da concentração de Cr (III) no efluente do filtro B2 (aparas de couro curtido).

### 5.10. Sólidos (totais, fixos e voláteis)

As análises de sólidos totais, fixos e voláteis iniciaram a partir da aplicação de lixiviado no dia 25/09/96 e não obteve resultados para o esgoto bruto.

Os resultados mostraram uma tendência crescente dos sólidos totais no lixiviado afluente aplicado, sendo o valor inicial da ordem de 1988 mg/L e o final em 5000 mg/L em, 28/01/96.

A discussão dos resultados está embasada apenas nas análises de sólidos totais voláteis, considerada como sendo a fração orgânica do lixiviado. Para os pré-filtros, notou-se uma geração de sólidos voláteis no dia 24/10/96 (Fig. 5.49, 5.51) com eficiências negativas para todos os seis pré tratamentos, ratificando os resultados de DQO e DBO, onde também houve eficiências negativas na transição do esgoto para o lixiviado, reforçando ainda mais a hipótese de troca de biomassa ativa em função do tipo de substrato aplicado. Nas análises realizadas após o dia 24/10/96, não se detectou, de forma expressiva, geração e remoção de sólidos voláteis, mantendo-se os valores na ordem de grandeza do afluente.

Dentre os filtros percoladores, o filtro B1, de carvão ativado, mostrou eficiências positivas em termos de remoção de sólidos voláteis, até o dia 13/11/96, sendo 47% a eficiência máxima observada. A partir desta data, o efluente do mesmo começou a apresentar geração de sólidos voláteis, caracterizada por eficiências negativas (Fig. 5.50, 5.52).

O filtro percolador B2 apresentou, em todas as análises, eficiências negativas. No início com -120% e ao final com -61%, caracterizando uma geração decrescente de sólidos voláteis (Fig. 5.50, 5.52). Esta perda de matéria orgânica pode ser explicada por um pequeno desmantelamento das aparas, com a perda de fragmentos de couro em seu lixiviado: e também pela perda de biomassa ativa proveniente do biofilme formado quando da aplicação de esgoto bruto.

O filtro B0, de areia regular com aplicação diária instantânea, apresentou nas duas primeiras análises valores negativos, da ordem de -17% (Fig. 5.52), na terceira análise o valor foi de 5% e nas demais, nulo. Este comportamento diferente do filtro B0 reflete a perda do biofilme formado pelo esgoto bruto, e a lenta formação de nova biomassa ativa, constatado também pelas baixas eficiências do tratamento na remoção dos demais poluentes, abordados nos itens anteriores.

Os demais filtros percoladores apresentaram médias das eficiências negativas, na ordem de -20% e não se constatou tendências dos resultados.

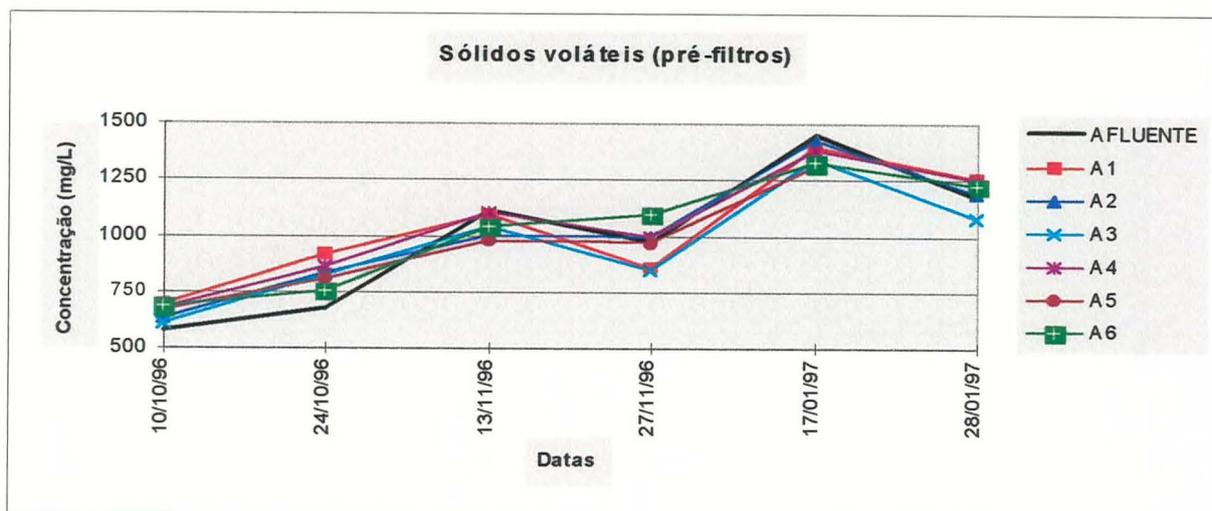


Figura 5.49 - Variação dos sólidos voláteis nos pré-filtros

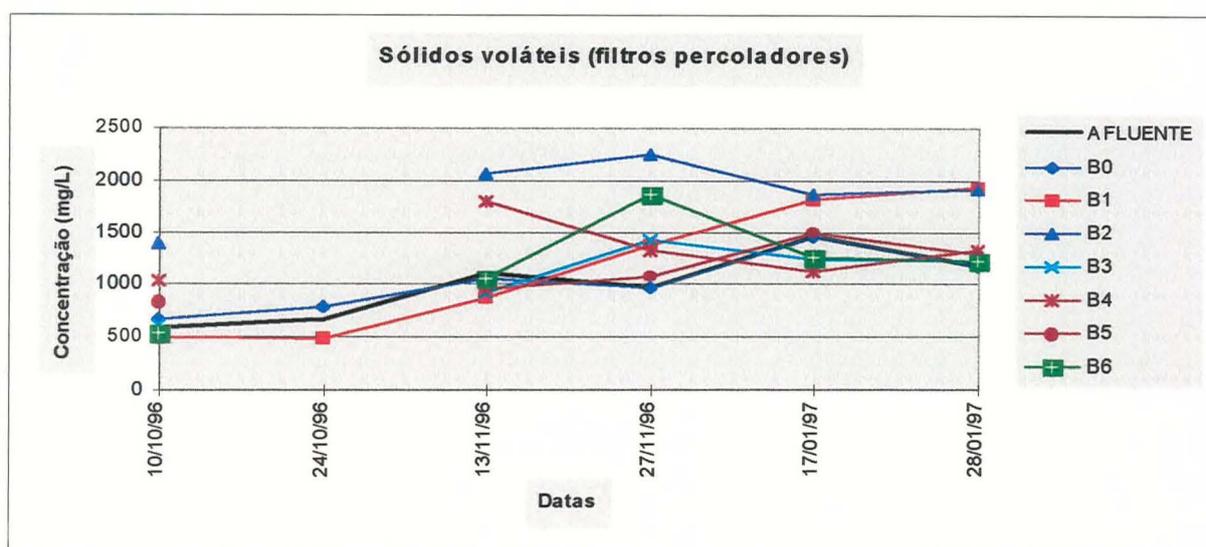


Figura 5.50 - Variação dos sólidos voláteis nos filtros percoladores

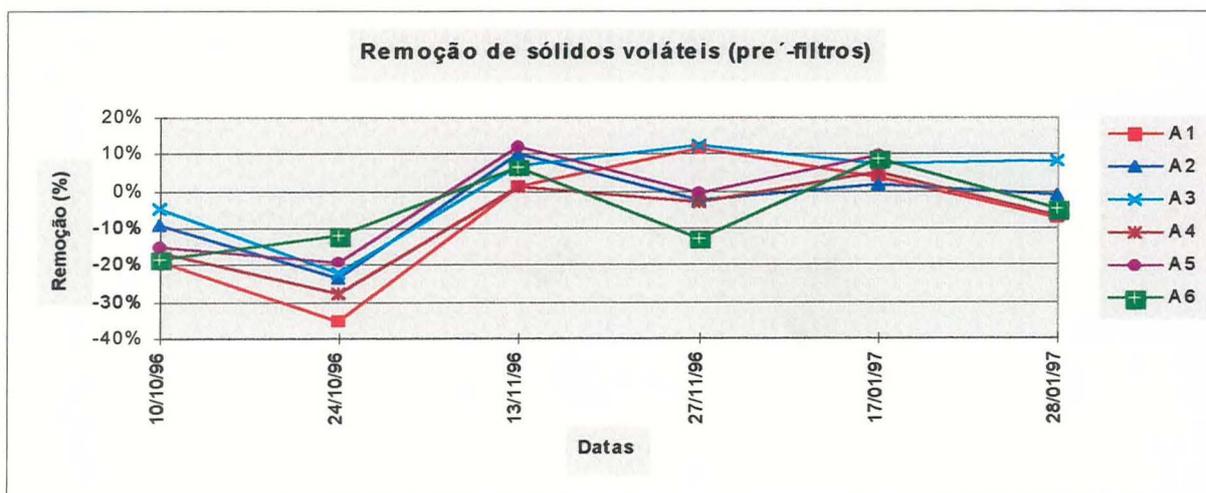


Figura 5.51 - Remoção dos sólidos voláteis nos pré-filtros

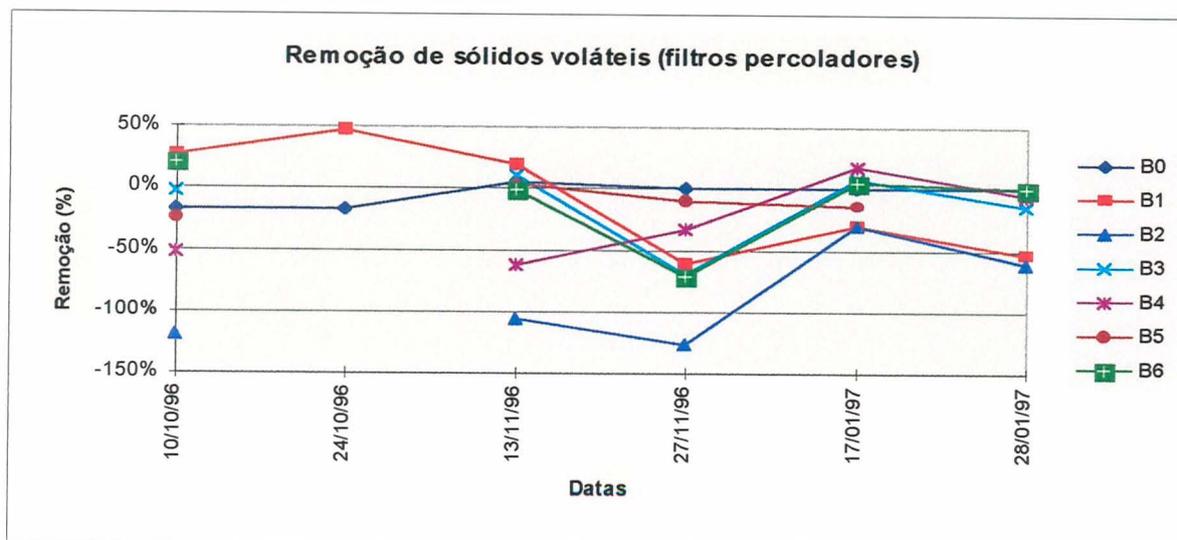


Figura 5.52 - Remoção de sólidos voláteis nos filtros percoladores

### 5.11. Coliformes (totais e fecais)

O exame de coliformes revelou apenas a presença de coliformes totais no lixiviado afluente na ordem de 262 NMP/100ml, não se detectando os fecais. No efluente do pré-filtro A4 observou-se uma grande concentração de coliformes totais, 24140 NMP/100ml; e coliformes fecais foram observados nos efluentes dos pré-filtros A5 e A6, ambos de brita granítica 01, com 10 NMP/100ml, sendo este valor inexpressivo.

Nos efluentes dos filtros percoladores B1, B2, B3 e B4 detectou-se grande concentração de coliformes totais, sendo o filtro B3 o único a apresentar coliformes fecais, e na ordem de 10 NMP/100ml.

O exame de coliformes totais e fecais foi realizada em uma única campanha, no dia 17/01/97, e os resultados globais estão apresentados na tabela A.15 do Anexo A. Presume-se que estes resultados não estão influenciados pela aplicação de esgoto bruto, devido ao longo período entre a análise e o fim da aplicação de esgoto.

### 5.12. Geração de moscas (*psychoda*) nos filtros

Segundo SCHUSKA (1981) um dos principais inconvenientes dos filtros biológicos de baixa taxa, é o desenvolvimento de moscas (*psychoda*) no interior dos filtros, devido as condições de baixo fluxo hidráulico e da disponibilidade de alimento para a proliferação dos insetos.

Nesta pesquisa, os filtros começaram a operar no outono, com esgoto bruto; ficou favorecido com isso o aparecimento de moscas na superfície dos filtros e de larvas no efluente.

Com a alteração do afluente para lixiviado houve uma perda considerável do bio-filme, constatada nas análises físico-químicas; conseqüentemente, limitado o substrato, ficou prejudicado o desenvolvimento de insetos e, conseqüentemente, ocorreu a redução tanto de larvas como de moscas. Com a chegada do verão e com a aclimação de um novo biofilme, se observou novamente o aparecimento de larvas no efluente dos filtros.

### **5.13. Turbidez/Cor**

As análises de turbidez e cor foram realizadas apenas para a fase 2 do experimento, a partir da aplicação de lixiviado.

Notou-se que, na fase de transição de esgoto para lixiviado, houve um aumento na turbidez dos efluentes dos pré-filtros em relação ao afluente, estabilizando-se e mantendo valores no entorno do afluente a partir de 17/10/96 (Fig. 5.53). Nas análises seguintes, não se observou mais esta grande disparidade; ficando os efluentes dos pré-filtros em valores próximos ao afluente. Os filtros percoladores, B0 e B4, ambos de areia, obtiveram as melhores eficiências: 57% e 84%, respectivamente. Fica evidente a influência da pequena granulometria da areia na remoção de turbidez, os demais filtros percoladores apresentaram eficiências menores que 47% (Fig. 5.54).

As análises apresentaram resultados favoráveis para remoção da cor apenas para os filtros B1 e B2, com eficiências na ordem de 80% (Tabelas A.14, A.15, A.16), resultando uma eficiência 20 % menor ao encontrada por COOK & FOREE (1974) que obtiveram 100% na remoção de cor de lixiviado em coluna de carvão ativado com um tempo de detenção de 15 minutos. Os demais filtros não apresentaram resultados satisfatórios, podendo-se considerar sem efeito sobre este parâmetro.

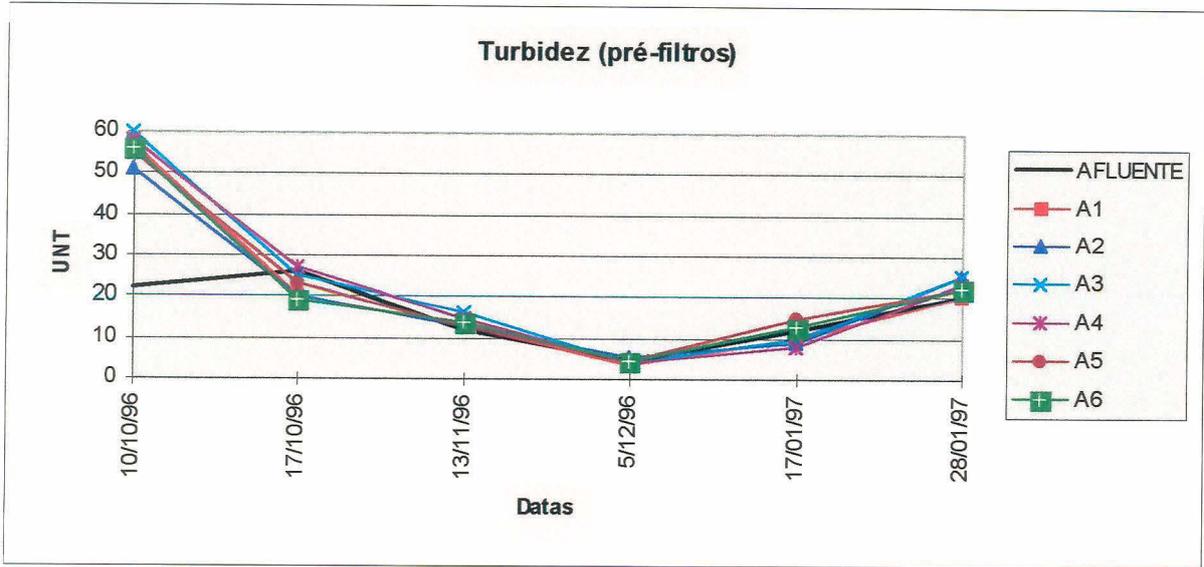


Figura 5.53 - Variação da turbidez nos pré-filtros

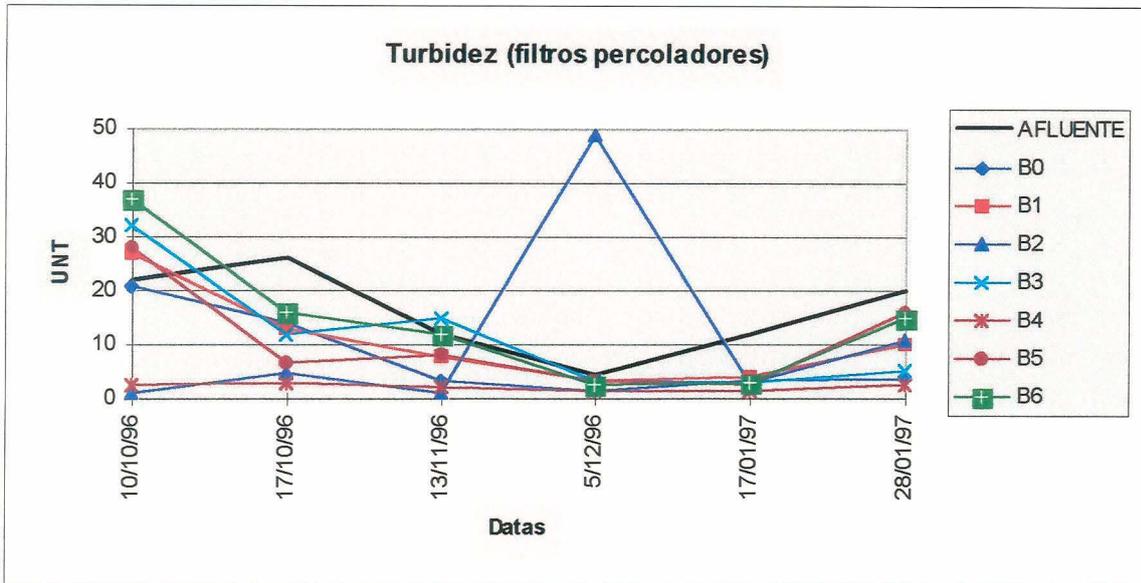


Figura 5.54 - Variação da turbidez nos filtros percoladores

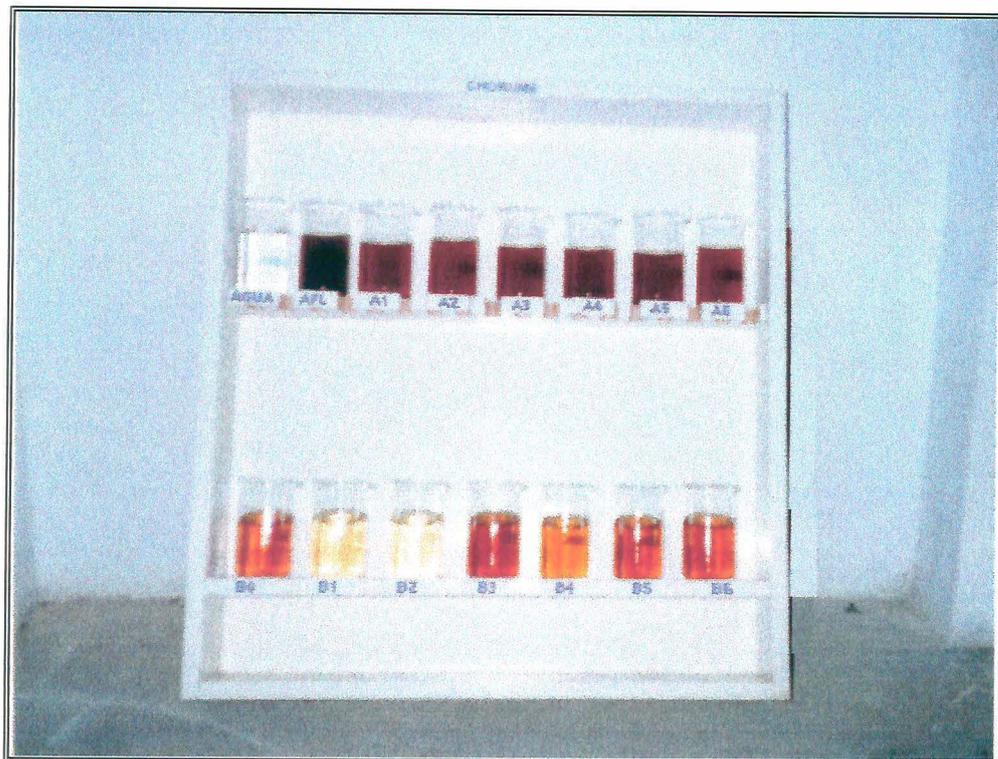


Figura 5.55 - Variação da cor nos efluentes dos filtros

#### 5.14. Análise estatística

Foram realizadas análises estatísticas de grupo para os resultados da aplicação de lixiviado, visando identificar os tratamentos semelhantes em termos de eficiência na remoção dos principais poluentes, que são:  $DQO_{total}$ ,  $DBO_5$ , nitrogênio amoniacal e ferro. Os resultados obtidos das análises estatísticas levadas a efeito com a utilização da tabela ANOVA e da comparação entre as médias dos tratamentos, estão materializadas nas planilhas B1 a B10 do Anexo B.

Os resultados para o parâmetro  $DQO_{total}$  revelaram que os pré-filtros não apresentaram diferença significativa a um nível de 5%, mas os filtros percoladores apresentaram diferença nos tratamentos em nível de significância de 5% e 1%; portanto uma diferença altamente significativa. A partir da conclusão anterior, agrupou-se os tratamentos que não apresentaram diferença entre as médias, como segue: filtros B1 e B2 com eficiência média na remoção de  $DQO$  de 65% ; e filtros B0, B3, B4, B5 e B6 com a eficiência média do grupo em 15%.

Os resultados para o parâmetros  $DBO_5$  revelaram que não há diferença significativa entre os pré-filtros e também entre os filtros percoladores, a um nível de significância de 5%.

Os resultados da análise de grupo para a amônia, nos pré-filtros, revelaram que há diferença entre os tratamentos a um nível de significância de 5 % , mas não há diferença a um nível de 1%; portanto, a diferença entre os tratamentos é provavelmente significativa. A análise das média mostrou a semelhança entre os tratamentos dos pré-filtros A1, A2, A3, A4 com uma eficiência média do grupo de 5% ; para o grupo A5 e A6, a eficiência média ficou próxima de 16 %.

Para os filtros percoladores, tratando amônia, os resultados demonstraram que há diferença altamente significativa, a níveis de significância de 5% e 1%. Através da análise das médias foi possível agrupar os filtros B1 e B2, ambos com eficiência média de 90%; e para o outro grupo formado pelos filtros B0, B3, B4, B5 e B6 a eficiência média ficou próxima de 50%.

Os resultados estatísticos para ferro, demonstraram que não há diferença entre as eficiências dos pré-filtros, a um nível de significância de 5%.

Para os filtros percoladores, os resultados demonstraram que há diferença, e se conclui que é altamente significativa em níveis de 5% e 1%, resultando a partir da análise comparativa entre as médias, o agrupamento entre os filtros B0, B1, B2 e B4 com um eficiência média na remoção de ferro de 90%; o outro grupo composto pelos filtros B3, B5 e B6 mostrou a eficiência média de 66%. A seguir apresenta-se a tabela 5.1 com os resultados da análise estatística dos filtros percoladores.

**Tabela 5.1 - Resultados da análise estatística dos filtros percoladores, para lixiviado**

Parâmetro (Fatores)	Filtros percoladores			
	Grupo 1	Eficiência média	Grupo 2	Eficiência média
DQO <sub>total</sub>	B1 ; B2	65%	B0;B3;B4;B5;B6	15%
DBO <sub>5</sub>	B1;B2;B3;B4;B5;B6	41%	-	-
Amônia	B1 ; B2	90%	B0;B3;B4;B5;B6	50%
Ferro	B0;B1;B2;B4	90%	B3;B5;B6	66%

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 6.1. Conclusões

Os resultados obtidos durante o desenvolvimento da pesquisa, permitem emitir-se as seguintes conclusões:

1) Para os filtros percoladores, tratando lixiviado, os filtros B1, de carvão ativado, e B2, de aparas de couro curtido "wet blue", mostraram-se semelhantes na avaliação estatística, para todos os parâmetros analisados e apresentaram as eficiências mais altas do experimento, obtendo-se para a DQO 68% e 64%, para a DBO<sub>5</sub> 79% e 95%, e para amônia 89% e 92%, respectivamente. Os filtros B3, B5 e B6 ficaram em um segundo grupo, com eficiências médias bem inferiores ao primeiro grupo, para os parâmetros analisados; e os demais filtros, B0 e B4, ambos de areia regular, para alguns parâmetros enquadraram-se no primeiro grupo, e para outros no segundo, com eficiências médias variáveis em função do poluente analisado. Para a amônia, no segundo grupo, obtiveram os melhores resultados os filtros B0, com eficiência de 43%, B3 com 51%, B4 com 60%, B5 com 42% e B6 com 53%. O filtro B4 de areia regular com aplicação intermitente, obteve uma eficiência ligeiramente superior ao filtro B0, com aplicação única diária.

2) Os melhores resultados foram obtidos com o carvão ativado e as aparas de couro curtido "wet blue", ambos em um mesmo grupo, ficando os demais materiais dos filtros percoladores, tais como areia regular, brita granítica, cacos de tijolos e argila nodulizada, em um segundo grupo. Conclui-se que a escolha do material mais adequado para confecção de filtros percoladores, em escala real, recai sobre uma análise econômica, visto que as eficiências dos materiais de um mesmo grupo podem ser consideradas iguais.

Os resultados favoráveis obtidos com o carvão ativado e as aparas de couro curtido "wet blue" podem estar ligados ao caráter adsorptivo destes materiais. Comprovou-se, no entanto, que no caso da amônia a remoção foi biológica, pois observou-se a presença de altas concentrações de nitratos no efluente dos filtros, bem como uma redução considerável na

alcalinidade, ambos fatores característicos da nitrificação biológica (METCALF & EDDY, 1985).

3) As aparas de couro curtido "wet blue" mostraram ser um excelente recheio para filtros biológicos aeróbios (percoladores), pois apresentaram altas eficiências na remoção de DQO (total e filtrada), DBO<sub>5</sub> (total), NTK e amônia, proporcionando razoável atenuação nas concentrações de metais, principalmente o ferro. O pH inicial próximo de 2 e final no entorno de 6, conferiu um caráter ácido ao filtro; e as concentrações iniciais altas de Cr(III) (50 mg/L) e sulfatos (>300 mg/L) no líquido efluente do filtro, parecem não ter interferido no processo, visto que as eficiências obtidas foram compatíveis com as do carvão ativado, tendo-se observado ainda, ao longo do experimento, que a remoção não era devida apenas à capacidade adsortiva das aparas, mas também à remoção biológica. Os inconvenientes maiores deste material, são a lixiviação de Cr(III) e sulfatos; no caso presente, comprovou-se que a partir de um momento determinado da experimentação, esses parâmetros tiveram suas concentrações reduzidas a valores de Cr(III) e sulfato(SO<sub>4</sub><sup>-</sup>) da ordem de 0,5 mg/L e 250 mg/L, respectivamente.

4) As taxas de aplicação superficial e volumétrica, utilizadas nos pré-filtros, 0,284 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia e 95,5 gDBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>.dia, respectivamente, mostraram-se inadequadas devido à baixa eficiência observada nas unidades de pré-filtração. No entanto estas taxas são baixas para filtros biológicos convencionais tratando esgoto sanitário, onde se pode chegar a valores da ordem de 3,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia e 320 gDBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>.dia. Esta baixa eficiência pode ser explicada pela característica do afluente tratado cuja parte orgânica era dificilmente biodegradável e pelos baixos tempos de detenção apresentados pelos pré-filtros, condições insuficientes para que os microrganismos pudessem agir sobre o substrato.

As taxas de aplicação superficial e volumétrica, utilizadas nos filtros percoladores, 0,16m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia e 28,7 gDBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>.dia, resultaram adequadas aos filtros B1 e B2, podendo, inclusive, serem duplicadas, pois a aplicação diária durava entre 4 e 6 horas, ficando 18 a 20 horas em repouso. Para os filtros B0, B3, B4, B5 e B6, as taxas aplicadas não foram adequadas, obtendo-se para a amônia os melhores resultados.

5) O período de aclimatação do sistema com esgoto bruto não mostrou resultados satisfatórios, pois em todos os filtros, com excessão para B1 e B2, imediatamente após a aplicação de lixiviado, houve uma queda nas eficiências e uma perda de material orgânico, comprovados pelo aumento da DQO, DBO e sólidos totais voláteis no efluente. Tal fenômeno pode ser explicado pela aclimatação de um novo biofilme adequado ao novo substrato afluente, com liberação da biomassa anterior.

6) Os resultados obtidos para os sistemas no tratamento de lixiviado, que é o enfoque principal da pesquisa, demonstraram a baixa eficiência dos pré-filtros, que em vários casos até promoveram eficiências negativas, liberação de cargas poluentes no efluente das unidades.

## **6.2. Recomendações**

As conclusões finais do estudo sugerem as seguintes recomendações:

1) O prosseguimento da pesquisa utilizando-se outras taxas de aplicação, superficial e volumétrica, para definir a taxa de aplicação ótima;

2) Que sejam realizados estudos da influência do tempo de detenção sobre a eficiência dos filtros biológicos;

3) Estudos específicos da influência do ar forçado nos leitos dos filtros percoladores;

4) Estudar a influência da granulometria nos tempos de detenção e percolação;

5) Estudar o tratamento de lixiviados de aterros jovens através de filtros percoladores;

6) Aprofundar os estudos na utilização das aparas de couro curtido "wet blue" no tratamanto de efluentes industriais e domésticos.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- ARRUDA, A. C. S. ; TEIXEIRA, C. E. et al. 1995. Estudo do comportamento de parâmetros físico-químicos relacionados ao processo de estabilização de resíduos sólidos urbanos no sistema de remediação de São Giacomo. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 18. , Salvador. Anais... Salvador : ABES. 10 p.
- APHA-AWWA-WPCF, American Public Health Association, American Water Works Association e Water Pollution Control Federation. 1992. Standart methods for the examination of water and wastewater. 18 ed.
- BIDONE, F. R. A. 1995. A vermicompostagem dos resíduos sólidos de curture, brutos e previamente lixiviados, utilizando composto de lixo orgânico urbano como substrato. Escola de Engenharia de São Carlos. SHS-EESC. 184 p. Tese (Doutorado)
- BISHOP, P. L.; ZHANG, T. C.; FU, Y. C. 1995. Effects of biofilm structure, microbial distributions and mass transport on biodegradation processes. Water Science and Tecnology, v. 31 n. 1, p. 143-152.
- BOYLE, W. C. ; HAM, R. K. 1974. Biological treatability of landfill leachate. . Research Journal Water Polution Control Federation, v. 46, n.5, p. 860-872.
- CASTILHOS JUNIOR, A. B. 1993. Estudos da evolução bio-física-química de resíduos urbanos em aterro sanitário: resultados experimentais e modelação. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 17. , Natal. Anais... : Rio de Janeiro. ABES. p. 226-242.
- CAUDURO, F. A. ; DORFMAN, R.; SANTALÓ, J. B. 1990. Manual de ensaios de laboratório e de campo para irrigação e drenagem. Porto Alegre : PRONI : IPH s.d. 216 p.
- CETESB . 1993. Resíduos sólidos Industriais . 2. ed. São Paulo. 233 p.
- COOK, E. N. ; FOREE, E. G. 1974. Aerobic biostabilization of sanitary landfill leachate. Research Journal Water Polution Control Federation, v. 46, n.2, p. 380-392.

- COOK, E. E. ; KATZEBERGER, S. M. 1977. Effect of residence time on fixed film reactors performance. Journal Water Pollution Control Federation. Washington. 49(8): p. 1889-1895.
- CRAFT, T. ; IGOLS, R. 1973. Flow through time in trickling filters. Water And Sewage Works, Chicago, 120: p. 78-79.
- DAIGGER, G. T.; HEINEMANN, T. A., et all. 1994 . Practical experience with combined carbon oxidation and nitrification in plastic media trickling filters. Water Science and Tecnology, Oxford, v. 29 , n. 10/11, p. 189-196.
- DANTAS, D. C. 1988. A problemática do tratamento de lixívias de aterros sanitários. Porto Alegre: Curso de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. 149 f. Dissertação (Mestrado).
- DEE, A.; JAMES, N. et al. 1994. Pre or post-denitrification at biological filters worms Acase study. Water Science and Tecnology , Oxford, v. 29 , n. 10/11, p. 145-.155.
- DI BERNARDO, L. 1993 . Métodos e técnicas de tratamneto de água. Rio de Janeiro : ABES. v. 2.
- DIAS, S. M. F. . 1984 . Novos aspéctos na operação de filtros biológicos. Porto Alegre: Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. 177 p. Dissertação (mestrado).
- EGREJA FILHO, F. B. ; PEREIRA NETO, J. T.. 1995.. Metais pesados na compostagem: uma contribuição ao estado da arte. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 18. , Salvador. Anais... Salvador : ABES.
- ECKENFELDER, W. W., BARNHART, E. L. 1963. Performance of high rate trickling filters using selected media. Journal Water Pollution Control Federation. Washington, 35 (12): p. 1535-1551.
- EPA. 1977. Wastewater treatment facilities for sewerred small communities. Cincinnati (EPA-625/1-77-009).

- ESCOSTEGUY, P. A. V. et al. 1991 . Projeto de recuperação ambiental do lixão da zona Norte de Porto Alegre. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 16. , 1991, Goiania. Anais. Rio de Janeiro. : ABES. p. 4-20.
- GANDOLLA, M. ; ACAIA, C. ; FICHER, C. . 1995 . Técnicas, exploração e gestão dos aterros sanitários. In : TRATAMENTO BIOLÓGICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: curso. Belo Horizonte. 90 p.
- GARCIA JUNIOR, A. D.; GRANDIN, S. R.; ALEM SOBRINHO, P. 1995. Avaliação da adição de produtos biotecnológicos em sistemas de lagoas aeradas tratando percolado de aterro sanitário, em escala de laboratório. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 18. , Salvador. Anais... Salvador : ABES. 15 p.
- GEHLING, G. R. . 1985. Disposição de esgotos domésticos por infiltração em solos arenosos. Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. UFRGS. 177 p. Dissertação (Mestrado).
- GONÇALVES, R. F. 1995. Estágio atual de desenvolvimento da tecnologia dos biofiltros aerados submersos para o tratamento de águas residuárias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 18. Salvador. Anais... Salvador: ABES. 6 p.
- HMSO. 1995. Landfill design, construction and operational practice. In : WASTE MANAGEMENT PAPER 26B. London. 289 p.
- IMHOFF, K. 1966. Manual de tratamento de águas residuárias. São Paulo: Ed. Edgard Blucher . 235 p.
- KEENAN, J. D. ; STEINER, R. L.; FUNGAROLI, A. A. 1984. Landfill leachate treatment. . Research Journal Water Pollution Control Federation, v. 56, n.1, p. 27-33.
- KLEIBER, B.; ROUDON, G. et al. 1994. Assessment of aerated biofiltration at industrial scale. Water Science and Technology ,v. 31 n. 1, p. 197-208.
- LIMA, L. M. Q. .1995.Lixo tratamento e biorremediação. 3. ed. re. ampl. São Paulo. Hemus. 265 p.

- MAGDALNIUK, S.; BLOCK, J. C. et al. 1995. Biodegradação of naphtalene in montmorillonite polyacriamide suspensions. Water Science and Tecnology, v. 31 n. 1, p.85-94.
- MANDELLI, S. M. C. ; LIMA, L. M. Q.; OJIMA, M. K. 1991. Tratamento de Resíduos Sólidos. Caxias do Sul, Universidade de Caxias do Sul. 291p.
- MELCER, H.; PARKER, W. J. , RITTMANN, B. 1995. Modeling of volatile organic contaminants in trickling filters systems. Water Science and Tecnology, v. 31 n. 1, p. 95-104.
- MENDONÇA, S. R. 1990. Lagoas de estabilização e aeradas mecanicamente: novos conceitos. João Pessoa. 388 p.
- METCALF & EDDY, INC. 1985. Ingeniería sanitaria: evacuacion y reutilizacion de aguas residuales. 2a ed., Barcelona. Editora Labor, S. A. 969 p.
- MORAES, V. A. ; GOMES, J. A. 1993. Tratamento de líquidos percolados de aterros sanitários em reator anaeróbio híbrido. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 17. , Natal Anais... : ABES. p. 342-354.
- NEDER, K. D.; SAMPAIO, S. P. et al. 1995. Reator anaeróbio compartimentado seguido de filtro intermitente. ETE Torto, uma solução de baixo custo. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 18. , Salvador. Anais... Salvador : ABES.10 p.
- NISHIDOME, K.; KUSUDA, T. et al. 1994. Determination of oxygen transfer rate a to rotation biological cantactor by microeletrode measurement. Water Science and Tecnology , v. 29 , n. 10/11, p. 471-477.
- PARKER,D. ; KRUGEL, S. ; McCONNELL, H. 1994. Critical process design issues in the selection of TF/SC process for a large secondary treatment plant. Water Science and Tecnology, Oxford, v. 29 , n. 10/11, p. 209-215.
- PAULA JUNIOR, D. R. ; BONI, N. R.; SCHALCH, V. 1995. Avaliação de impacto ambiental de aterro de resíduos sólidos industriais: estudo de caso. In CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 18. Salvador. Anais... Salvador: ABES. 12 p.

PELCZAR; REID; CHAN. (1981) Microbiologia. São Paulo: McGRAW - Hill do Brasil. v. 1.

PEREIRA LIMA, M. R. et al. 1995. Remoção de nutrientes de águas residuárias através de infiltração rápida em solo arenoso. Estudo em modelo reduzido. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 18. , Salvador. Anais... Salvador : ABES. 8p.

PEREIRA NETO, J. T.; CUNHA, W. G. 1995. Influência da inoculação de compostos orgânicos maturados no período de compostagem de resíduos orgânicos. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 18. , Salvador. Anais... Salvador : ABES.

PIERRE, C. V. ; QUEZADÓRIA, R. A. 1995. Análise de viabilidade econômica do aproveitamento de biogás gerado em um reator anaeróbio. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 18. , Salvador. Anais... Salvador : ABES.

POHLAND, F. G. ; DERTIEN, J. T. ; GHOSH, S. B. 1983. Leachate and gas quality changes during landfill stabilization of municipal refuse. In: Proceedings of third international symposium on anaerobic digestion. Boston, Massachusetts.

POVINELLI, J. 1981. A influência da toxidez provocada por metais pesados sobre a DBO. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 11. Fortaleza. Anais... ABES. 18 p.

QASIM, S. R. ; CHIANG, W. 1974. Sanitary landfill leachate: generation, control and treatment. Lancaster: Technomic. 339 p.

RIBEIRO, J. L. D. 1996. Projetos de experimentos na otimização de produtos e processo. Porto Alegre, UFRGS, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 189 p. (Notas de Aula).

ROBINSON, H. D. ; MARIS, P. J. 1995. The treatment of leachates from domestic waste in landfill sites. . Research Journal Water Pollution Control Federation, v. 57, n.1, p. 30-38.

SPENGEL, D. B. ; DZOMBAK, D. A. 1991. Treatment of landfill leachate with rotating biological contactors: bench scale experiments. Research Journal Water Pollution Control Federation, v. 63, n.7, p. 971-981.

- SPIEGEL, M. 1974. Estatística. São Paulo. McGraw-Hill do Brasil. 580 p.
- SUSCHKA, J. 1981. Filtros biológicos. Porto Alegre: UFRGS/UNESCO. 65 f.  
(Projeto PNUD/UNESCO/BRA/75/007. Publicação n. 19).
- SUSCHKA, J. ;CORREA, A. 1981. Efeitos da temperatura na remoção do substrato com filtros biológicos. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. 28f. [Trabalho apresentado no XI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Fortaleza, 1981]
- TCHOBANOGLIOUS, G. ; THEISEN, H. ; VIRGIL, S. 1993. Integrated solid waste management: engineering principles and management issues. McGraw-Hill. 978 p.
- ULOTH, V. C. ; MAVINIC, D. S. 1977. Aerobic bio-treatment of a high-strength leachate. Journal of the Environmental Engineering Division, p. 647-661.
- VON SPERLING, M. 1995. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte. 240 p.
- WANNER, O.; GUJER, W. 1984. Competition in biofilms. Water Science and Technology , v. 17 , n. 2-3, p. 27-44.
- WATANABE, Y. ; OKABE, S. et al. 1995. Simultaneous removal of organic materials and nitrogen by micro-aerobic biofilms. Water Science and Technology , v. 31 n. 1, p. 195-203.

**ANEXO A**

**Tabela A.1 - Parâmetros físico-químicos do afluente e efluentes dos filtros**

**Data da coleta : 14/08/96**

**Afluente : esgoto bruto**

**Origem do afluente : ETE Arvoredo (calha Parshall)**

Parâmetros	Unidade	Afluente	Efluente dos Filtros												
			Pré-filtros						Filtros percoladores						
			A1	A2	A3	A4	A5	A6	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
DQO total	(mg O <sub>2</sub> /L)	302	126	170	142	183	146	159	-	54	166	112	64	54	85
Condutividade	(µmhos/cm)	470	430	440	420	410	400	440	-	550	700	440	550	450	370
Eficiência DQO total			58,3%	43,7%	53,0%	39,4%	51,7%	47,4%	-	57,1%	2,4%	21,1%	65,0%	63,0%	46,5%

**Tabela A.2 - Parâmetros físico-químicos do afluente e efluentes dos filtros**

**Data da coleta: 21/08/96**

**Tipo de amostra: esgoto bruto**

**Ponto de amostragem: ETE Arvoredo (calha Parshall)**

Parâmetros	Unidade	Afluente	Efluente dos Filtros												
			Pré-filtros						Filtros percoladores						
			A1	A2	A3	A4	A5	A6	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
DQO total	(mg O <sub>2</sub> /L)	586	197	147	308	261	221	130	79	42	99	76	39	103	163
DQO filtrada	(mg O <sub>2</sub> /L)	306	157	160	226	223	177	139	73	70	101	66	38	90	90
pH		7,6	7,53	7,45	7,6	7,9	7,63	7,45	-	-	-	-	-	-	-
Alcalinidade	(mg CaCO <sub>3</sub> /L)	145	110	123	159	147	119	94	-	-	-	-	-	-	-
Eficiência DQO total			66,4%	74,9%	47,4%	55,5%	62,3%	77,8%	86,5%	78,7%	32,7%	75,3%	85,1%	53,4%	-25,4%
Eficiência DQO filtrada			48,7%	47,7%	26,1%	27,1%	42,2%	54,6%	76,1%	55,4%	36,9%	70,8%	83,0%	49,2%	35,3%

**Tabela A.3 - Parâmetros físico-químicos do afluente e efluentes dos filtros**

Data da coleta: 30/08/96

Tipo de amostra: Esgoto bruto

Ponto de amostragem: calha PARSHALL (ETE Arvoredo)

Parâmetros	Unidade	Afluente	Efluente												
			Pré-filtros						Filtros percoladores						
			A1	A2	A3	A4	A5	A6	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
DQO total	(mg O <sub>2</sub> /L)	401	438	410	467	395	352	553	55	83	48	107	62	259	107
DQO filtrada	(mg O <sub>2</sub> /L)	226	149	173	187	221	187	180	ND	46	149	43	262	46	63
DBO5 total	(mg O <sub>2</sub> /L)	70	-	120	-	140	-	130	-	ND	15	10	10	60	ND
Nítrito	mg/L	ND	0,96	ND	ND	ND	ND	ND	14,04	0,2	ND	17,27	13,6	2,52	8,85
Nitrato	mg/L	0,33	0,41	0,32	0,28	0,42	0,31	0,31	12,21	0,56	10,74	4,74	23,06	0,43	18,71
Fosfato	mg/L	2,67	2,79	3,31	ND	3,51	3,2	3,04	ND	2,68	ND	4,5	0,58	2,3	ND
Sulfato	mg/L	50,16	56,92	59,71	54,25	52,78	53,5	52,44	51,67	25,63	277,6	59,09	54,68	57	64,43
Eficiência DQO total			-9,2%	-2,2%	-16,5%	1,5%	12,2%	-37,9%	86,3%	81,1%	88,3%	77,1%	84,3%	26,4%	80,7%
Eficiência DQO filtrada			34,1%	23,5%	17,3%	2,2%	17,3%	20,4%	-	69,1%	13,9%	77,0%	-18,6%	75,4%	65,0%
Eficiência DBO5			-	-71,4%	-	-100,0%	-	-85,7%	-	-	87,5%	-	92,9%	-	#VALOR!

ND - Não detectado

**Tabela A.4 - Parâmetros físico-químicos do afluente e efluentes dos filtros**

Data da coleta: 11/09/96

Tipo de amostra: Esgoto bruto

Ponto de amostragem: Ponta da Cadeia

Parâmetros	Unidade	Afluente	Efluente												
			Pré-filtros						Filtros percoladores						
			A1	A2	A3	A4	A5	A6	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
DQO total	(mg O <sub>2</sub> /L)	465	167	180	180	217	403	180	57	33	42	132	57	107	76
DQO filtrada	(mg O <sub>2</sub> /L)	392	88	291	291	101	51	139	57	32	32	25	47	28	76
DBO5 total	(mg O <sub>2</sub> /L)	177	40	35	55	45	47	47	20	8	ND	ND	1	51	5
pH	(mg O <sub>2</sub> /L)	7,12	7,61	7,15	7,22	7,29	7,21	7,08	6	8,47	3,58	5,8	5,62	6,92	6,68
Alcalinidade	(mg CaCO <sub>3</sub> /L)	126	102	106	133	121	104	106	12	197	-	8	5	55	21
NTK -N	mg/L	36	26	26	32	33	26	24	6,7	5	9,2	12	1,1	9	8,4
Amônia - N	mg/L	25	20	21	24	25	20	16	4,2	3,6	8,7	9,5	0,8	7,6	8
Nitrito	mg/L	ND	0,19	0,56	ND	ND	0,15	0,47	6,63	ND	ND	10,3	14,07	3,4	2,14
Nitrato	mg/L	ND	4,3	2,7	0,51	0,24	0,38	0,6	15,48	0,52	17,08	12,6	17,6	10,64	23
Fósforo total -P	mg/L	3,44	3,14	2,36	3,37	2,45	1,91	1,94	0	2,36	0,15	2,66	0,7	2,55	0,98
Sulfato	mg/L	3,44	3,14	2,36	3,37	2,45	1,91	1,94	ND	2,36	0,15	2,66	0,7	2,55	0,98
Sulfato	mg/L	29,5	31,28	31,1	30,27	33,95	33,2	34,1	32,83	16,13	143,14	52,6	33,51	32,27	35,49
Cromo	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	18	ND	ND	ND	ND
Cádmio	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Zinco	mg/L	0,24	0,35	0,19	0,14	0,34	0,12	0,17	0,21	1,41	0,05	0,12	0,1	0,06	0,13
Chumbo	mg/L	0,097	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,207	0,097	ND	ND	ND	ND	ND
Ferro	mg/L	2,4	1,3	1,2	1,2	0,7	0,6	0,6	ND	ND	0,4	ND	ND	1,5	ND
Cobre	mg/L	0,24	0,18	0,19	0,21	0,2	0,18	0,2	0,17	0,16	0,15	0,16	0,17	0,17	0,17
Níquel	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Eficiência DQO total			64,1%	61,3%	61,3%	53,3%	13,3%	61,3%	87,7%	80,2%	76,7%	26,7%	73,7%	73,4%	57,8%
Eficiência DQO filtrada			77,6%	25,8%	25,8%	74,2%	87,0%	64,5%	85,5%	63,6%	89,0%	91,4%	53,5%	45,1%	45,3%
Eficiência DBO5			77,4%	80,2%	68,9%	74,6%	73,4%	73,4%	88,7%	80,0%	-	-	97,8%	-8,5%	89,4%

ND - Não detectado

Tabela A.5- Parâmetros físico-químicos do afluente e efluentes dos filtros

Data da coleta: 25/09/96

Tipo de amostra: 1/3chorume+1/3água+1/3 esgoto

Ponto de amostragem:Aterro ZN e Ponta da Cadeia

Parâmetros	Unidade	Afluente	Efluente												
			Pré-filtros						Filtros percoladores						
			A1	A2	A3	A4	A5	A6	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
DQO total	(mg O <sub>2</sub> /L)	415	96	108	721	364	402	734	231	43	56	298	177	212	234
DQO filtrada	(mg O <sub>2</sub> /L)	200	432	251	264	277	174	251	205	18	24	214	79	568	234
DBO5 total	(mg O <sub>2</sub> /L)	105	30	35	135	50	55	45	20	5	ND	63	8	30	31
pH		7,83	6,75	7,75	7,78	7,72	7,6	7,36	6,5	7,24	3,48	7,01	5,83	7	6,51
Alcalinidade	(mg CaCO <sub>3</sub> /L)	1416	1392	1520	1763	1566	1565	1334	395	464	-	719	58	568	789
Condutividade	(mmhos/cm)	3500	3000	3200	3600	3500	3550	3100	1700	900	1000	2200	800	2000	2100
Nitrito	mg/L	ND	ND	ND	0,36	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6,12	0,3	ND	ND
Nitrato	mg/L	0,39	3,03	13,53	1,56	1,86	4,17	11,77	55,93	1,46	34,79	33,37	28,37	49,62	34,67
Fosfato	mg/L	0,21	0,21	0,29	0,36	0,21	0,25	0,3	ND	3,07	ND	0,44	ND	0,25	0,1
Sulfato	mg/L	15,49	22,29	24,93	26,3	28,21	20,4	24,48	48,03	100,76	366,96	34,24	34,98	26,24	28,26
Sólidos totais	mg/L	1988	-	-	-	-	-	-	1543	676	971	635	1206	1526	1367
Sólidos fixos	mg/L	1280	-	-	-	-	-	-	712	366	415	276	801	807	793
Sólidos voláteis	mg/L	708	-	-	-	-	-	-	831	310	556	359	405	719	574
Cromo	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	13	ND	ND	ND	ND
Cádmio	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Zinco	mg/L	0,113	0,194	0,103	0,432	0,534	0,149	0,239	1,857	0,071	0,144	0,837	0,355	0,72	0,093
Chumbo	mg/L	0,281	0,134	0,097	0,097	ND	ND	0,207	0,097	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ferro	mg/L	9,7	5,3	6,5	11,8	7,1	6,7	8,8	1,5	1,5	0,9	2,5	ND	2,8	2,3
Cobre	mg/L	0,22	0,22	0,18	0,17	0,18	0,14	0,16	0,29	0,16	0,17	0,22	0,2	0,22	0,22
Níquel	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Eficiência DQO total			76,9%	74,0%	-73,7%	12,3%	3,1%	-76,9%	44,3%	55,2%	48,1%	58,7%	51,4%	47,3%	68,1%
Eficiência DQO filtrada			-116,0%	-25,5%	-32,0%	-38,5%	13,0%	-25,5%	-2,5%	95,8%	90,4%	18,9%	71,5%	-226,4%	6,8%
Eficiência DBO5			71,4%	66,7%	-28,6%	52,4%	47,6%	57,1%	81,0%	83,3%	#VALOR!	53,3%	84,0%	45,5%	31,1%

ND - Não detectado

**Tabela A.6 - Parâmetros físico-químicos do afluente e efluentes dos filtros**

Data da coleta: 10/10/96

Tipo de amostra: chorume +água

Ponto de amostragem: Aterro ZN

Parâmetros	Unidade	Afluente	Efluente												
			Pré-filtros						Filtros percoladores						
			A1	A2	A3	A4	A5	A6	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
<b>DQO total</b>	(mg O <sub>2</sub> /L)	504	444	397	433	480	385	421	452	76	150	404	410	367	373
<b>DQO filtrada</b>	(mg O <sub>2</sub> /L)	469	421	457	408	421	482	372	434	87	126	422	428	660	428
<b>DBO5 total</b>	(mg O <sub>2</sub> /L)	75	72	62	-	63	60	66	60	20	2	50	39	40	35
<b>Nitrato</b>	mg/L	ND	ND	4,94	ND	6,23	ND	ND	ND	ND	ND	8,56	ND	ND	ND
<b>Nitrato</b>	mg/L	0,4	18,26	25,61	1,46	1,9	30,89	27,28	86,17	28,75	116,18	63,56	140,76	116,09	104,28
<b>Fosfato</b>	mg/L	0,26	0,22	2,3	0,24	0,16	0,16	0,25	0,14	3,65	ND	0,43	0,39	0,41	0,35
<b>Sulfato</b>	mg/L	19,08	16,9	19,06	16,94	16,02	18,09	18,4	27,57	58,38	604,16	22,24	16,07	19,19	17,59
<b>Sólidos totais</b>	mg/L	2320	2563	2560	2536	2376	2712	2504	2800	2319	3547	2662	3530	2947	2720
<b>Sólidos fixos</b>	mg/L	1740	1872	1928	1929	1700	2045	1816	2121	1815	2157	2038	2497	2116	2177
<b>Sólidos voláteis</b>	mg/L	580	691	632	607	676	667	688	679	504	1390	624	1033	831	543
<b>Cromo</b>	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	12,24	ND	ND	ND	ND
<b>Ferro</b>	mg/L	11,1	14,1	9,3	12,4	12,2	13,1	11,8	2,7	2,6	0,2	5,9	0,3	4,5	5,9
<b>Cobre</b>	mg/L	0,18	0,23	0,17	0,15	0,17	0,18	0,2	0,23	0,1	0,09	0,19	0,21	0,18	0,14
<b>Turbidez</b>	UNT	22	57	51	60	58	55	56	21	27	1,3	32	2,5	28	37
<b>Eficiência DQO total</b>			11,9%	21,2%	14,1%	4,8%	23,6%	16,5%	10,3%	82,9%	62,2%	6,7%	14,6%	4,7%	11,4%
<b>Eficiência DQO filtrada</b>			10,2%	2,6%	13,0%	10,2%	-2,8%	20,7%	7,5%	79,3%	72,4%	-3,4%	-1,7%	-36,9%	-15,1%
<b>Eficiência DBO5</b>			4,0%	17,3%	-	16,0%	20,0%	12,0%	20,0%	72,2%	96,8%	-	38,1%	33,3%	47,0%

ND - Não detectado

**Tabela A.7 - Parâmetros físico-químicos do afluente e efluentes dos filtros**

Data da coleta: 17/10/96

Tipo de amostra: chorume

Ponto de amostragem: Aterro ZN

Parâmetros	Unidade	Afluente	Efluente												
			Pré-filtros						Filtros percoladores						
			A1	A2	A3	A4	A5	A6	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
DQO total	(mg O <sub>2</sub> /L)	422	505	446	553	541	767	505	363	125	160	363	410	410	434
DQO filtrada	(mg O <sub>2</sub> /L)	450	438	450	426	438	486	354	354	66	126	330	366	354	282
DBO <sub>5</sub> total	(mg O <sub>2</sub> /L)	92	90	86	80	123	115	112	70	18	4	46	28	78	54
pH		7,19	7,5	7,41	7,18	6,9	6,8	6,6	6,1	6,52	2,52	6,4	6,03	6,28	6,57
Alcalinidade	(mg CaCO <sub>3</sub> /L)	2250	2007	1763	1972	1926	1705	1659	1056	719	-	905	499	626	742
Condutividade	(mmhos/cm)	4000	3900	4000	4000	4000	4000	4050	3500	2800	2700	3400	3200	3300	3200
Ac. acético	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	13,9	4,5	512,11	3,83	3,66	6,97	6,85
Ac. propiônico	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	0,87	1,52	12,59	1,24	1,57	1,72	15,94
Ac. iso-butírico	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	ND	0,34	12,33	0,94	1,29	0,19	0,97
Ac. n-butírico	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	0,72	0,78	15,16	1,59	0,65	1,73	0,62
Ac. iso-valérico	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	ND	0,21	5,42	ND	ND	ND	ND
Ac. n-valérico	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	ND	ND	7,8	ND	ND	ND	ND
Turbidez	UNT	26	20	20	25	27	23	19	14	13	0,5	12	3	6,6	16
Eficiência DQO total			-19,7%	-5,7%	-31,0%	-28,2%	-81,8%	-19,7%	14,0%	75,2%	64,1%	34,4%	24,2%	46,5%	14,1%
Eficiência DQO filtrada			2,7%	0,0%	5,3%	2,7%	-8,0%	21,3%	21,3%	84,9%	72,0%	22,5%	16,4%	27,2%	20,3%
Eficiência DBO <sub>5</sub>			2,2%	6,5%	13,0%	-33,7%	-25,0%	-21,7%	23,9%	80,0%	95,3%	42,5%	77,2%	32,2%	51,8%

ND - Não detectado

**Tabela A.8 - Parâmetros físico-químicos do afluente e efluentes dos filtros**

Data da coleta: 24/10/96

Afluente :chorume

Origem do afluente :Aterro ZN

Parâmetros	Unidade	Afluente	Efluente												
			Pré-filtros						Filtros percoladores						
			A1	A2	A3	A4	A5	A6	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
DQO total	(mg O <sub>2</sub> /L)	552	264	444	516	636	492	384	528	12	96	492	540	528	480
DQO filtrada	(mg O <sub>2</sub> /L)	286	298	346	203	322	274	227	286	48	36	262	286	274	179
DBO <sub>5</sub> total	(mg O <sub>2</sub> /L)	118	78	124	80	86	112	46	116	24	4	85	68	84	126
NTK -N	mg/L	364	353	356	370	372	350	328	339	62	11,2	200	118	174	190
Amônia - N	mg/L	358	344	350	364	367	342	319	336	56	8,4	190	106	165	179
Nitrato N	mg/L	0	9,37	13,97	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	17,91	ND	26,99	ND
Nitrato - N	mg/L	0,81	17,84	66,08	2,18	2,94	20,76	54,37	45,02	69,53	128,41	76,52	133,16	76,9	105,62
Σ (NITROGÊNIO)		364,81	380,21	436,05	372,18	374,94	370,76	382,37	384,02	131,53	139,61	294,43	251,16	277,89	295,62
Fósforo total -P	mg/L	5,07	3,88	4,18	4,9	5,78	4,74	4,74	1,87	7,8	0,63	3,19	1,91	3,06	3,14
RELAÇÃO N:P		72	98	104	76	65	78	81	205	17	222	92	131	91	94
Fosfato - P	mg/L	0,33	0,43	0,33	0,4	0,41	0,34	0,27	0,36	1,63	0,25	0,26	0,25	0,33	0,38
Sulfato	mg/L	14,63	11,6	10,43	14,92	12,42	13,65	14,89	10,14	21,24	472,99	11,4	8,55	11,47	10,26
Sólidos totais	mg/L	3004	3338	3209	3053	3039	3127	3033	3153	2743	3603	2798	3344	2890	2812
Sólidos fixos	mg/L	2328	2422	2373	2228	2176	2319	2276	2357	2258	-	-	-	-	-
Sólidos voláteis	mg/L	676	916	836	825	863	808	757	796	485	-	-	-	-	-
Cromo	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	11,09	ND	ND	ND	ND
Ferro	mg/L	8,6	6,9	8,9	10,2	15,5	11,9	8,1	2,6	2,7	0,3	4,5	0,5	2,7	5,8
Cobre	mg/L	0,1	0,13	0,12	0,09	0,12	0,12	0,12	0,17	0,09	0,1	0,17	0,19	0,16	0,13
Eficiência DQO total			52,2%	19,6%	6,5%	-15,2%	10,9%	30,4%	4,3%	95,5%	78,4%	4,7%	15,1%	-7,3%	-25,0%
Eficiência DQO filtrada			-4,2%	-21,0%	29,0%	-12,6%	4,2%	20,6%	0,0%	83,9%	89,6%	-29,1%	11,2%	0,0%	21,1%
Eficiência DBO <sub>5</sub>			33,9%	-5,1%	32,2%	27,1%	5,1%	61,0%	1,7%	69,2%	96,8%	-6,3%	20,9%	25,0%	-173,9%
Eficiência NTK			3,02%	2,20%	-1,65%	-2,20%	3,85%	9,89%	6,87%	82,44%	96,85%	45,95%	68,28%	50,29%	42,07%
Eficiência amônia			3,91%	2,23%	-1,68%	-2,51%	4,47%	10,89%	6,15%	83,72%	97,60%	47,80%	71,12%	51,75%	43,89%

ND- Não detectado

**Tabela A.9 - Parâmetros físico-químicos do afluente e efluentes dos filtros**

Data da coleta: 31/10/96

Afluente :chorume

Origem do afluente : Aterro ZN

Parâmetros	Unidade	Afluente	Efluente												
			Pré-filtros						Filtros percoladores						
			A1	A2	A3	A4	A5	A6	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
DQO total	(mg O <sub>2</sub> /L)	428	416	416	380	404	404	297	392	24	262	309	357	428	678
DQO filtrada	(mg O <sub>2</sub> /L)	367	462	296	367	486	367	427	415	24	166	344	439	320	249
Eficiência DQO total			2,8%	2,8%	11,2%	5,6%	5,6%	30,6%	8,4%	94,2%	37,0%	18,7%	11,6%	-5,9%	-128,3%
Eficiência DQO filtrada			-25,9%	19,3%	0,0%	-32,4%	0,0%	-16,3%	-13,1%	94,8%	43,9%	6,3%	9,7%	12,8%	41,7%

**Tabela A.10 - Parâmetros físico-químicos do afluente e efluentes dos filtros**

Data da coleta: 7/11/96

Afluente :chorume

Origem do afluente :Aterro ZN

Parâmetros	Unidade	Afluente	Efluente												
			Pré-filtros						Filtros percoladores						
			A1	A2	A3	A4	A5	A6	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
NTK -N	mg/L	552	507	507	549	535	454	454	297	64,4	46,2	196	216	272	204
Amônia - N	mg/L	552	507	507	549	535	454	454	297	64,4	46,2	196	216	272	204
Nitrito N	mg/L	68,67	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	56,33	54,06	ND
Nitrato - N	mg/L	2,66	26,26	15,98	3,73	5,13	31,45	43,12	62,69	110,55	154,6	96,19	120,92	81,24	105,03
Σ (Nitrogênio)		623,33	533,26	522,98	552,73	540,13	485,45	497,12	359,69	174,95	200,8	292,19	393,25	407,3	309,03
Fósforo total -P	mg/L	6,16	4,78	4,86	5,6	3,28	5,69	5,21	1,11	3,24	0,15	2,8	1,27	2,26	3,25
Fosfato - P	mg/L	0,5	0,59	0,42	0,43	0,43	0,42	0,42	0,42	1,57	ND	0,46	0,7	0,54	0,39
Relação N:P		101	112	108	99	165	85	95	324	54	1339	104	310	180	95
Sulfato	mg/L	7,8	6,69	6,32	6,08	6,88	6,26	6,29	6,82	13,52	286,43	8,65	5,65	7,88	8,52
Eficiência NTK			8,15%	8,15%	0,54%	3,08%	17,75%	17,75%	46,20%	87,30%	90,89%	64,30%	59,63%	40,09%	55,07%
Eficiência amônia			8,15%	8,15%	0,54%	3,08%	17,75%	17,75%	46,20%	87,30%	90,89%	64,30%	59,63%	40,09%	55,07%

ND- Não detectado

**Tabela A.11 - Parâmetros físico-químicos do afluente e efluentes dos filtros**

Data da coleta: 13/11/96

Afluente :chorume

Origem do afluente :Aterro ZN

Parâmetros	Unidade	Afluente	Efluente												
			Pré-filtros						Filtros percoladores						
			A1	A2	A3	A4	A5	A6	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
DQO total	(mg O <sub>2</sub> /L)	750	738	834	774	1086	1027	810	918	66	114	666	798	858	714
DBO <sub>5</sub> total	(mg O <sub>2</sub> /L)	210	120	80	110	ND	20	80	180	40	ND	70	50	40	100
pH		7,9	7,8	7,75	7,68	7,82	7,6	7,54	6,97	6,9	2,57	7,68	7,19	7,43	7,2
Alcalinidade	(mg CaCO <sub>3</sub> /L)	4106	3584	3492	3503	3654	3364	3248	2564	661	-	2308	1659	1995	1949
Condutividade	(µmhos/cm)	7500	7000	7000	8000	7200	8000	8000	7500	6000	6500	6500	7500	7500	7500
Sólidos totais	mg/L	4713	4507	4440	4401	4549	4529	4362	4513	4330	5825	4227	5195	4270	4260
Sólidos fixos	mg/L	3599	3409	3438	3361	3448	3549	3317	3450	3450	3765	3303	3404	3320	3208
Sólidos voláteis	mg/L	1114	1098	1002	1040	1101	980	1045	1063	880	2060	924	1791	950	1052
Turbidez	UNT	12	13	13	16	15	13	14	3,5	8	1	15	2,2	8,1	12
Eficiência DQO total			1,6%	-11,2%	-3,2%	-44,8%	-36,9%	-8,0%	-22,4%	91,1%	86,3%	14,0%	26,5%	16,5%	11,9%
Eficiência DBO <sub>5</sub>			42,9%	61,9%	47,6%	100,0%	90,5%	61,9%	14,3%	66,7%	100,0%	36,4%	-	-100,0%	-25,0%

**Tabela A.12 - Parâmetros físico-químicos do afluente e efluentes dos filtros**

Data da coleta: 22/11/96

Afluente :chorume

Origem do afluente :Aterro ZN

Parâmetros	Unidade	Afluente	Efluente												
			Pré-filtros						Filtros percoladores						
			A1	A2	A3	A4	A5	A6	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
DQO total	(mg O <sub>2</sub> /L)	917	426	459	1704	623	590	524	426	131	66	491	328	557	459
DQO filtrada	(mg O <sub>2</sub> /L)	589	736	560	707	471	648	766	677	147	147	206	265	560	324
DBO <sub>5</sub> total	(mg O <sub>2</sub> /L)	110	120	180	130	35	400	130	100	15	20	40	70	70	80
pH		7,52	7,63	7,54	7,52	7,4	7,33	7,35	7,06	6,68	5,57	6,9	6,62	6,43	6,67
Alcalinidade	(mg CaCO <sub>3</sub> /L)	3097	2204	2274	2622	2494	2227	1694	1740	812	2	1137	302	580	974
Condutividade	(µmhos/cm)	6500	5700	5500	5500	5500	5400	5200	5000	5000	5000	5500	5000	5800	5000
Eficiência DQO total			53,5%	49,9%	-85,8%	32,1%	35,7%	42,9%	53,5%	69,2%	85,6%	71,2%	47,4%	5,6%	12,4%
Eficiência DQO filtrada			-25,0%	4,9%	-20,0%	20,0%	-10,0%	-30,1%	-14,9%	80,0%	73,8%	70,9%	43,7%	13,6%	57,7%
Eficiência DBO <sub>5</sub>			-9,1%	-63,6%	-18,2%	68,2%	-263,6%	-18,2%	9,1%	87,5%	88,9%	69,2%	-100,0%	82,5%	38,5%

**Tabela A.13 - Parâmetros físico-químicos do afluente e efluentes dos filtros**

Data da coleta: 27/11/96

Afluente : chorume

Origem do afluente : Aterro ZN

Parâmetros	Unidade	Afluente	Efluente												
			Pré-filtros						Filtros percoladores						
			A1	A2	A3	A4	A5	A6	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
DQO total	(mg O <sub>2</sub> /L)	657	705	689	673	689	705	738	722	527	186	559	592	722	689
DQO filtrada	(mg O <sub>2</sub> /L)	675	513	692	643	659	578	561	643	89	187	561	643	610	496
DBO <sub>5</sub> total	(mg O <sub>2</sub> /L)	400	315	380	270	-	450	390	410	-	2	130	70	76	240
NTK -N	mg/L	440	386	392	398	420	308	280	112	28	29	148	95	146	56
Amônia - N	mg/L	425	386	392	398	420	308	280	112	27	29	148	95	146	56
Nitrito N	mg/L	60	42,7	40,37	70,8	157	78,2	148	38	9,7	87	ND	5	129	41
Nitrato - N	mg/L	0,47	8,3	13,8	6	10,12	59,3	83	21,4	ND	51	ND	ND	87	133
Σ (Nitrogênio)		500,47	437	446,17	474,8	587,12	445,5	511	171,4	37,7	167	148	100	362	230
Fósforo total -P	mg/L	4,5	3,6	14,4	4,2	4,2	4,5	2,48	1,1	2,89	0,3	1,54	1,49	1,42	1,86
Fosfato - P	mg/L	0,17	0,07	0,11	0,05	0,18	0,17	0,12	0,9	0,79	ND	ND	0,15	0,2	ND
RELAÇÃO N:P		26	51	131	84	23	26	21	1	4	ND	ND	10	7	ND
Sulfato	mg/L	3	5,7	3,9	3,7	2,9	6,8	3,9	3,25	3,51	59,5	ND	3,9	4,7	1,5
Sólidos totais	mg/L	3580	3604	3726	3578	3596	3731	3948	3705	4170	4941	3932	3922	3793	4626
Sólidos fixos	mg/L	2610	2744	2731	2731	2596	2756	2853	2735	2790	2691	2499	2592	2718	2757
Sólidos voláteis	mg/L	970	860	995	847	1000	975	1095	970	1380	2250	1433	1330	1075	1869
Cromo	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,74	ND	ND	ND	ND
Ferro	mg/L	13,2	4,8	7,9	8,9	9,7	7,8	5,0	0,7	0,7	0,3	3,4	0,6	2,0	1,5
Cobre	mg/L	0,09	0,13	0,13	0,1	0,11	0,11	0,13	0,08	0,08	0,08	0,13	0,13	0,15	0,15
Eficiência DQO total			-7,3%	-4,9%	-2,4%	-4,9%	-7,3%	-12,3%	-9,9%	25,2%	73,0%	16,9%	14,1%	-2,4%	6,6%
Eficiência DQO filtrada			24,0%	-2,5%	4,7%	2,4%	14,4%	16,9%	4,7%	82,7%	73,0%	12,8%	2,4%	-5,5%	11,6%
Eficiência DBO <sub>5</sub>			21,3%	5,0%	32,5%	-	-12,5%	2,5%	-2,5%	-	99,5%	51,9%	-	83,1%	38,5%
Eficiência NTK			12,27%	10,91%	9,55%	4,55%	30,00%	36,36%	74,55%	92,75%	92,60%	62,81%	77,38%	52,60%	80,00%
Eficiência amônia			9,18%	7,76%	6,35%	1,18%	27,53%	34,12%	73,65%	93,01%	92,60%	62,81%	77,38%	52,60%	80,00%

ND - Não detectado

**Tabela A.14 - Parâmetros físico-químicos do afluente e efluentes dos filtros**

Data da coleta: 5/12/96

Afluente :chorume

Origem do afluente :Aterro ZN

Parâmetros	Unidade	Afluente	Efluente												
			Pré-filtros						Filtros percoladores						
			A1	A2	A3	A4	A5	A6	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
DQO total	(mg O <sub>2</sub> /L)	1124	1252	1363	1220	1156	1124	1076	1332	343	375	981	1284	1060	837
DQO filtrada	(mg O <sub>2</sub> /L)	1040	1216	1056	1104	976	1008	896	1248	336	256	864	1184	1056	784
DBO <sub>5</sub> total	(mg O <sub>2</sub> /L)	220	740	1040	450	-	800	920	920	220	-	180	160	130	350
pH		7,81	8	7,9	8,15	8,04	7,91	7,92	7,63	7,21	6,34	8	7,56	7,96	7,37
Alcalinidade	(mg CaCO <sub>3</sub> /L)	4605	4234	4060	4292	4431	3932	3410	2726	418	58	2691	1856	2529	464
Condutividade	(μmhos/cm)	9500	7500	8750	9000	9000	8500	8200	8500	6000	5500	8000	7000	8000	6500
Turbidez	UNT	4,5	3,9	5,6	4,1	4	4,2	4,2	1,5	3,5	49	3,2	1,4	3,5	2,5
Cor	mg Pt /L	2000	1600	1800	1600	1200	1200	2000	1600	160	180	1200	1600	2000	800
Eficiência DQO total			-11,4%	-21,3%	-8,5%	-2,8%	0,0%	4,3%	-18,5%	72,6%	72,5%	19,6%	-11,1%	5,7%	22,2%
Eficiência DQO filtrada			-16,9%	-1,5%	-6,2%	6,2%	3,1%	13,8%	-20,0%	72,4%	75,8%	21,7%	-21,3%	-4,8%	12,5%
Eficiência DBO <sub>5</sub>			-236,4%	-372,7%	-104,5%	-	-263,6%	-318,2%	-318,2%	70,3%	-	60,0%	-	83,8%	62,0%

Tabela A.15 - Parâmetros físico-químicos do afluente e efluentes dos filtros

Data da coleta: 17/01/97

Afluente :chorume

Origem do afluente :Aterro ZN

Parâmetros	Unidade	Afluente	Efluente												
			Pré-filtros						Filtros percoladores						
			A1	A2	A3	A4	A5	A6	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
DQO total	(mg O <sub>2</sub> /L)	1060	969	999	969	1030	1060	1030	787	303	606	1302	1242	1121	1454
DQO filtrada	(mg O <sub>2</sub> /L)	1087	1025	1025	932	870	901	1056	1025	93	590	1150	1087	1118	1243
DBO <sub>5</sub> total	(mg O <sub>2</sub> /L)	200	150	130	160	80	160	150	120	100	ND	100	70	130	80
pH		8,23	8,35	8,33	8,43	8,44	8,33	8,32	8,13	7,38	6,94	8,29	7,95	8,19	8,19
Alcalinidade	(mg CaCO <sub>3</sub> /L)	4250	3685	3652	3902	4000	3619	3543	3239	207	54	1978	935	2532	1706
Condutividade	(µmhos/cm)	10000	10000	9000	9500	10000	10000	10500	7000	8000	8500	8000	7000	8000	8000
NTK -N	mg/L	715	644	730	736	759	720	675	468	56	81	448	414	470	347
Amônia - N	mg/L	715	644	730	736	759	720	675	468	56	81	448	414	470	347
Nitrito N	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nitrato - N	mg/L	1	3,04	5,16	27,1	7,49	29,02	14,97	22,42	141,09	142,21	91,61	53,66	72,29	55,81
Σ (Nitrogênio)		716	647,04	735,16	763,1	766,49	749,02	689,97	490,42	197,09	223,21	539,61	467,66	542,29	402,81
Fósforo total -P	mg/L		7	9,1	11	8,2	7,2	6,9	10,3	2,7	0,3	0,5	5,6	3,6	6,1
Fosfato - P	mg/L	1,42	1,42	1,21	2,2	1,28	1,04	1,1	1,01	2,28	0,27	0,96	1,12	0,75	1,39
Relação N:P		504	456	608	347	599	720	627	486	86	827	562	418	723	290
Sulfato	mg/L	8,52	8,05	9,53	8,87	9,01	8,08	9,63	7,92	8,43	10,9	10,16	6,87	7,18	7,8
Sólidos totais	mg/L	5680	5342	5415	5310	5310	5455	5408	5430	6650	6615	5479	5150	5641	5447
Sólidos fixos	mg/L	4225	3942	3985	3965	3930	4140	4081	3975	4831	4755	4244	4025	4148	4190
Sólidos voláteis	mg/L	1455	1400	1430	1345	1380	1315	1327	1455	1819	1860	1235	1125	1493	1257
Cromo	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,38	ND	ND	ND	ND
Ferro	mg/L	15,1	9,8	9,2	9,8	8,6	7,8	7,4	1,3	1	0,3	3,4	1,1	2	2,5
Cobre	mg/L	0,11	0,09	0,1	0,09	0,09	0,1	0,1	0,15	0,08	0,09	0,13	0,12	0,12	0,13
Ac. acético	mg/L	3,29	3,02	16,73	12,37	10,32	33,9	-	3,69	1,57	2,55	2,24	3,74	4,09	17,86
Ac. propiônico	mg/L	0,37	nd	0,54	0,99	ND	ND	-	0,44	ND	ND	1,1	ND	2,37	0,93
Ac. iso-bufírico	mg/L	0,98	ND	0,66	1,58	ND	ND	-	ND	ND	ND	1,73	ND	3,79	1,52
Ac. n-bufírico	mg/L	0,65	ND	ND	1,34	ND	ND	-	ND	ND	ND	3,06	ND	ND	ND
Ac. iso-valérico	mg/L	ND	ND	ND	1,75	ND	ND	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ac. n-valérico	mg/L	ND	ND	70,74	ND	ND	ND	-	ND	ND	ND	ND	ND	31,39	ND
Turbidez	UNT	12	10	9	10	8	15	13	3,5	4	3	3	1,5	2,7	3,1
Cor	mg Pt /L	1000	1000	1400	1400	1400	1400	1400	1400	200	250	1600	1200	1400	1400
Coliformes totais	NMP/100ml	262	156	231	148	24140	173	298	10	2359	12997	1464	4833	197	281
Coliformes fecais	NMP/100ml	ND	ND	ND	ND	ND	10	10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Eficiência DQO total			8,6%	5,8%	8,6%	2,8%	0,0%	2,8%	25,8%	68,7%	39,3%	-34,4%	-20,6%	-5,8%	-41,2%
Eficiência DQO filtrada			5,7%	5,7%	14,3%	20,0%	17,1%	2,9%	5,7%	90,9%	42,4%	-23,4%	-24,9%	-24,1%	-17,7%
Eficiência DBO <sub>5</sub>			25,0%	35,0%	20,0%	60,0%	20,0%	25,0%	40,0%	33,3%	100,0%	37,5%	12,5%	18,8%	46,7%
Eficiência NTK			9,93%	-2,10%	-2,94%	-6,15%	-0,70%	5,59%	34,55%	91,30%	88,90%	39,13%	45,45%	34,72%	48,59%
Eficiência amônia			9,93%	-2,10%	-2,94%	-6,15%	-0,70%	5,59%	34,55%	91,30%	88,90%	39,13%	45,45%	34,72%	48,59%

ND- Não detectado

**Tabela A.16- Parâmetros físico-químicos do afluente e efluentes dos filtros**

Data da coleta: 28/01/97

Afluente :chorume

Origem do afluente :Aterro ZN

Parâmetros	Unidade	Afluente	Efluente													
			Pré-filtros						Filtros percoladores							
			A1	A2	A3	A4	A5	A6	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	
DQO total	(mg O <sub>2</sub> /L)	1257	820	890	908	995	925	925	925	995	175	227	716	820	838	716
DQO filtrada	(mg O <sub>2</sub> /L)	552	607	552	524	648	634	717	1145	276	414	952	1034	814	910	
DBO <sub>5</sub> total	(mg O <sub>2</sub> /L)	240	160	180	175	40	215	265	240	110	70	115	110	190	100	
pH		7,72	7,91	7,88	8,1	8,17	8,09	7,98	7,63	6,61	5,71	8,23	7,69	7,99	8,09	
Alcalinidade	(mg CaCO <sub>3</sub> /L)	4402	4087	3989	3978	3858	3543	3565	3115	186	55	2426	2000	2645	2557	
Condutividade	(µmhos/cm)	11000	10000	10000	10000	10000	9000	10000	10000	8000	9000	9500	8000	9000	9000	
NTK -N	mg/L	633	574	554	568	563	504	501	302	62	44	322	294	353	308	
Amônia - N	mg/L	633	574	554	568	563	504	501	302	62	44	322	294	353	308	
Nitrito N	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
Nitrato - N	mg/L	1,64	3,02	3,46	4,42	0,93	27,7	22,1	11,27	125,18	124,19	28,05	64,27	61,49	18,48	
Σ (Nitrogênio)		634,64	577,02	557,46	572,42	563,93	531,7	523,1	313,27	187,18	168,19	350,05	358,27	414,49	326,48	
Fósforo total -P	mg/L	4,7	5,3	4,9	4,9	3,6	4,9	4,1	2,1	1,6	0,6	3,5	2,3	3,3	3,5	
Fosfato - P	mg/L	1,14	1,19	0,81	0,81	1,36	1,01	1,12	1,76	1,94	1,57	0,57	1,39	0,98	1,1	
RELAÇÃO N:P		135	109	114	117	157	109	128	149	117	280	100	156	126	93	
Sulfato	mg/L	6,81	7,42	7,49	6,66	1,22	7,03	7,75	7,13	7,1	9,28	0,79	6,95	5,97	1,53	
Sólidos totais	mg/L	5000	4948	4904	4661	4870	-	5028	4860	6655	6686	5056	5177	5162	5197	
Sólidos fixos	mg/L	3825	3690	3714	3581	3615	-	3797	3690	4720	4770	3825	3848	3877	3969	
Sólidos voláteis	mg/L	1175	1258	1190	1080	1255	-	1231	1170	1935	1916	1231	1329	1285	1228	
Cromo	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,18	ND	ND	ND	ND	
Ferro	mg/L	16,8	15	13,7	12,3	16,8	11,9	10,8	1,1	1,4	0,5	4,4	1,1	5,6	4,9	
Cobre	mg/L	0,12	0,13	0,13	0,12	0,13	0,12	0,13	0,18	0,1	0,12	0,15	0,14	0,16	0,14	
Ac. acético	mg/L	10,91	ND	21,18	6,34	15,62	14,69	9,67	ND	2,59	2,22	9,06	15,75	6,34	8,83	
Ac. propiônico	mg/L	ND	0,22	12,81	2,31	1,01	3,56	1,48	0,3	ND	0,34	0,53	7,56	2,3	1,1	
Ac. iso-butírico	mg/L	0,19	0,64	8,52	1,8	1,4	4,95	1,1	0,8	0,47	5,15	2,41	0,5	ND	0,86	
Ac. n-butírico	mg/L	0,9	ND	6,81	2,61	0,36	4,5	0,22	ND	ND	ND	ND	6,39	ND	ND	
Ac. iso-valérico	mg/L	ND	ND	2,1	ND	ND	4,88	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
Ac. n-valérico	mg/L	ND	ND	3,81	ND	0,35	0,93	ND	ND	ND	ND	0,3	ND	ND	ND	
Turbidez	UNT	20	20	25	25	23	22	22	3,7	10	11	5,2	2,5	16	15	
Cor	mg Pt /L	1000	1000	1400	1200	1200	1000	1000	1400	240	240	1600	1400	1400	1400	
Eficiência DQO total			34,8%	29,2%	27,8%	20,8%	26,4%	26,4%	20,8%	78,7%	74,5%	21,1%	17,6%	9,4%	22,6%	
Eficiência DQO filtrada			-10,0%	0,0%	5,1%	-17,4%	-14,9%	-29,9%	-107,4%	54,5%	25,0%	-81,7%	-59,6%	-28,4%	-26,9%	
Eficiência DBO <sub>5</sub>			33,3%	25,0%	27,1%	83,3%	10,4%	-10,4%	0,0%	31,3%	61,1%	34,3%	-175,0%	11,6%	62,3%	
Eficiência NTK			9,32%	12,48%	10,27%	11,06%	20,38%	20,85%	52,29%	89,20%	92,06%	43,31%	47,78%	29,96%	38,52%	
Eficiência amônia			9,32%	12,48%	10,27%	11,06%	20,38%	20,85%	52,29%	89,20%	92,06%	43,31%	47,78%	29,96%	38,52%	

ND - Não detectado

Tabela A.17 - Eficiência na remoção de DQO<sub>total</sub>

	Data	Pré-filtros						Filtros percoladores							
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	
Esgoto	14/08/96	58%	44%	53%	39%	52%	47%	-	57%	2%	21%	65%	63%	47%	
	21/08/96	66%	75%	47%	55%	62%	78%	87%	79%	33%	75%	85%	53%	-25%	
	30/08/96	-9%	-2%	-16%	1%	12%	-38%	86%	81%	88%	77%	84%	26%	81%	
	11/09/96	64%	61%	61%	53%	13%	61%	88%	80%	77%	27%	74%	73%	58%	
	<b>Média</b>	45%	44%	36%	37%	35%	37%	87%	74%	50%	50%	77%	54%	40%	
	<b>Desv. padrão</b>	31%	29%	31%	22%	22%	45%	1%	10%	34%	26%	8%	17%	40%	
Lixiviado	25/09/96	77%	74%	-74%	12%	3%	-77%	44%	55%	48%	59%	51%	47%	68%	
	10/10/96	12%	21%	14%	5%	24%	16%	10%	83%	62%	7%	15%	5%	11%	
	17/10/96	-20%	-6%	-31%	-28%	-82%	-20%	14%	75%	64%	34%	24%	47%	14%	
	24/10/96	52%	20%	7%	-15%	11%	30%	4%	95%	78%	5%	15%	-7%	-25%	
	31/10/96	3%	11%	6%	6%	31%	8%	94%	37%	19%	12%	-6%	-128%	100%	
	13/11/96	2%	-11%	-3%	-45%	-37%	-8%	-22%	91%	86%	14%	27%	16%	12%	
	22/11/96	54%	50%	-86%	32%	36%	43%	54%	69%	86%	71%	47%	6%	12%	
	27/11/96	-7%	-5%	-2%	-5%	-7%	-12%	-10%	25%	73%	17%	14%	-2%	7%	
	5/12/96	-11%	-21%	-9%	-3%	0%	4%	-19%	73%	72%	20%	-11%	6%	22%	
	17/01/97	9%	6%	9%	3%	0%	3%	26%	69%	39%	-34%	-21%	-6%	-41%	
	28/01/97	35%	29%	28%	21%	26%	26%	21%	79%	74%	21%	18%	9%	23%	
	<b>Média</b>	19%	15%	-13%	-2%	0%	1%	20%	68%	64%	20%	16%	-1%	18%	
	<b>Desv. padrão</b>	30%	27%	35%	21%	33%	31%	33%	21%	20%	27%	21%	44%	37%	

Tabela A.18 - Eficiência na remoção de DQO<sub>filtrada</sub>

	Data	Pré-filtros						Filtros percoladores							
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	
Esgoto	21/08/96	49%	48%	26%	27%	42%	55%	-	55%	37%	71%	83%	49%	35%	
	30/08/96	34%	23%	17%	2%	17%	20%	100%	69%	14%	77%	-19%	75%	65%	
	11/09/96	78%	26%	26%	74%	87%	65%	85%	64%	89%	91%	53%	45%	45%	
	Média	53%	32%	23%	35%	49%	46%	93%	63%	47%	80%	39%	57%	49%	
	Desv. padrão	18%	11%	4%	30%	29%	19%	7%	6%	31%	9%	43%	13%	12%	
Lixiviado	25/09/96	-116%	-26%	-32%	-39%	13%	-26%	-3%	96%	90%	19%	71%	-226%	7%	
	10/10/96	10%	3%	13%	10%	-3%	21%	7%	79%	72%	-3%	-2%	-37%	-15%	
	17/10/96	3%	0%	5%	3%	-8%	21%	21%	85%	72%	23%	16%	27%	20%	
	24/10/96	-4%	-21%	29%	-13%	4%	21%	0%	84%	90%	-29%	11%	0%	21%	
	31/10/96	-26%	19%	0%	-32%	0%	-16%	-13%	95%	44%	6%	10%	13%	42%	
	22/11/96	-25%	5%	-20%	20%	-10%	-30%	-15%	80%	74%	71%	44%	14%	58%	
	27/11/96	24%	-3%	5%	2%	14%	17%	5%	83%	73%	13%	2%	-6%	12%	
	5/12/96	-17%	-2%	-6%	6%	3%	14%	-20%	72%	76%	22%	-21%	-5%	13%	
	17/01/97	6%	6%	14%	20%	17%	3%	6%	91%	42%	-23%	-25%	-24%	-18%	
	28/01/97	-10%	0%	5%	-17%	-15%	-30%	-107%	55%	25%	-82%	-60%	-28%	-27%	
	Média	-16%	-2%	1%	-4%	2%	-1%	-12%	82%	66%	2%	5%	-27%	11%	
Desv. padrão	37%	12%	17%	19%	10%	21%	34%	11%	20%	38%	35%	69%	25%		

Tabela A.19 - Eficiência na remoção de DBO<sub>5</sub>

Esgoto	Data	Pré-filtros						Filtros percoladores							
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	
	30/08/96	-	-71%	-	-100%	-	-86%	-	-	88%	-	93%	-	100%	
	11/09/96	77%	80%	69%	75%	73%	73%	89%	80%	100%	100%	98%	-9%	89%	
	<b>Média</b>	77%	4%	69%	-13%	73%	-6%	89%	80%	94%	100%	95%	-9%	95%	
	<b>Desv. padrão</b>	0%	76%	0%	87%	0%	80%	0%	0%	6%	0%	2%	0%	5%	
Lixiviado	25/09/96	71%	67%	-29%	52%	48%	57%	81%	83%	100%	53%	84%	45%	31%	
	10/10/96	4%	17%	100%	16%	20%	12%	20%	72%	97%	-	38%	33%	47%	
	17/10/96	2%	7%	13%	-34%	-25%	-22%	24%	80%	95%	43%	77%	32%	52%	
	24/10/96	34%	-5%	32%	27%	5%	61%	2%	69%	97%	-6%	21%	25%	-174%	
	13/11/96	43%	62%	48%	100%	90%	62%	14%	67%	100%	36%	-	-100%	-25%	
	22/11/96	-50%	-8%	71%	-233%	-8%	17%	88%	89%	69%	-100%	83%	38%	100%	
	27/11/96	21%	5%	33%	100%	-13%	3%	-3%	100%	99%	52%	-	83%	38%	
	5/12/96	-236%	-373%	-105%	95%	-264%	-318%	-318%	70%	100%	60%	-	84%	62%	
		<b>Média</b>	-14%	-29%	20%	15%	-18%	-16%	-12%	79%	95%	20%	61%	30%	16%
		<b>Desv. padrão</b>	90%	133%	59%	104%	99%	118%	120%	11%	10%	53%	26%	54%	79%

Tabela A.20 - Eficiência na remoção de amônia

Esgoto	Data	Pré-filtros						Filtros percoladores							
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	
	11/09/96	20%	16%	4%	0%	20%	36%	83%	82%	59%	60%	97%	62%	50%	
Lixiv	24/10/96	4%	2%	-2%	-3%	4%	11%	6%	84%	98%	48%	71%	52%	44%	
	7/11/96	8%	8%	1%	3%	18%	18%	46%	87%	91%	64%	60%	40%	55%	
	27/11/96	9%	8%	6%	1%	28%	34%	74%	93%	93%	63%	77%	53%	80%	
	17/01/97	10%	-2%	-3%	-6%	-1%	6%	35%	91%	89%	39%	45%	35%	49%	
	28/01/97	9%	12%	10%	11%	20%	21%	52%	89%	92%	43%	48%	30%	39%	
		<b>Média</b>	8%	6%	3%	1%	14%	18%	43%	89%	92%	51%	60%	42%	53%
		<b>Desv. padrão</b>	2%	5%	5%	6%	10%	10%	22%	3%	3%	10%	13%	9%	14%

**Tabela A.21 - Eficiência na remoção de Alcalinidade**

esgoto	Data	Pré-filtros						Filtros percoladores						
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
	11/09/96	19%	16%	-6%	4%	17%	16%	-	-93%	-	94%	96%	47%	80%
L i x i v a d o	25/09/96	2%	-7%	-25%	-11%	-11%	6%	72%	67%	-	59%	96%	64%	41%
	17/10/96	11%	22%	12%	14%	24%	26%	53%	64%	-	54%	74%	63%	55%
	13/11/96	13%	15%	15%	11%	18%	21%	38%	82%	-	34%	55%	41%	40%
	22/11/96	29%	27%	15%	19%	28%	45%	44%	63%	-	57%	88%	74%	43%
	5/12/96	8%	12%	7%	4%	15%	26%	41%	90%	-	37%	58%	35%	86%
	17/01/97	13%	14%	8%	6%	15%	17%	24%	94%	-	49%	77%	30%	52%
	28/01/97	7%	9%	10%	12%	20%	19%	29%	95%	-	39%	48%	25%	28%
	<b>Média</b>	12%	13%	6%	8%	16%	23%	43%	79%	-	47%	71%	47%	49%
	<b>Desv. padrão</b>	8%	10%	13%	9%	12%	11%	15%	13%	-	9%	17%	18%	17%

**Tabela A.22 - Eficiência na remoção de ferro**

esgoto	Data	Pré-filtros						Filtros percoladores						
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
	11/09/96	46%	50%	50%	71%	75%	75%	100%	100%	67%	100%	100%	-150%	100%
L i x i v o	25/09/96	45%	33%	-22%	27%	31%	9%	85%	72%	86%	79%	100%	58%	74%
	10/10/96	-27%	16%	-12%	-10%	-18%	-6%	76%	82%	98%	52%	98%	66%	50%
	24/10/96	20%	-3%	-19%	-80%	-38%	6%	70%	61%	97%	56%	97%	77%	28%
	27/11/93	64%	40%	33%	27%	41%	62%	95%	85%	96%	62%	94%	74%	70%
	17/01/97	35%	39%	35%	43%	48%	51%	91%	90%	97%	65%	87%	74%	66%
	28/01/97	11%	18%	27%	0%	29%	36%	93%	91%	96%	64%	93%	53%	55%
	<b>Média</b>	25%	24%	7%	1%	15%	26%	85%	80%	95%	63%	95%	67%	57%
	<b>Desv. padrão</b>	29%	15%	25%	40%	32%	25%	9%	11%	4%	8%	4%	9%	15%

### Memória de cálculo para determinação das taxas da aplicação, de esgoto sanitário e lixiviados, sobre os filtros:

O volume diário necessário para cada filtro percolador (B1..B6), com base na aplicação diária de uma lâmina de 16 cm :

$$TAS = 0,16 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia} = 16,0 \text{ cm}/\text{dia}$$

$$As(\varnothing 200\text{mm}) = 0,2^2 \cdot \pi/4 = 0,0314 \text{ m}^2$$

$$\forall(\text{diário}) = 0,16 \cdot 0,0314 = 0,005 \text{ m}^3 = 5 \text{ litros}/\text{dia}$$

Volume diário necessário para o filtro BO:

$$DN = 90 \text{ mm} = 0,09\text{m}$$

$$TAS = 0,16 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia} = 16,0 \text{ cm}/\text{dia}$$

$$As(\varnothing 90\text{mm}) = 0,09^2 \cdot \pi/4 = 0,0064 \text{ m}^2$$

$$\forall(\text{diário}) = 0,16 \cdot 0,0064 = 0,001 \text{ m}^3 = 1 \text{ litro}/\text{dia}$$

Taxa de aplicação superficial para os pré-filtros (A1..A6):

$$DN = 150\text{mm} = 0,15\text{m}$$

$$\forall(\text{diário}) = 0,005 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$As(\varnothing 150\text{mm}) = 0,15^2 \cdot \pi/4 = 0,0176 \text{ m}^2$$

$$TAS(\varnothing 150\text{mm}) = \forall / As = 0,005/0,0176 = 0,284 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia} = 28,4 \text{ cm}/\text{dia}$$

Taxa de aplicação volumétrica ( $DBO_5$ ) aplicada aos pré-filtros (A1..A6):

$$DBO_{5(\text{média esgoto})} = 124 \text{ mgO}_2/\text{L} = 0,124 \text{ gO}_2/\text{L} = 124 \text{ gO}_2/\text{m}^3$$

$$DBO_{5(\text{média chorume})} = 168 \text{ mgO}_2/\text{L} = 0,168 \text{ gO}_2/\text{L} = 168 \text{ gO}_2/\text{m}^3$$

$$As(\varnothing 150\text{mm}) = 0,15^2 \cdot \pi/4 = 0,0176 \text{ m}^2$$

$$\text{Altura do leito (H)} = 0,5 \text{ m}$$

$$\forall(\text{pré-filtro}) = As \cdot H = 0,0176 \cdot 0,5 = 0,0088 \text{ m}^3$$

$$TAV \text{ esgoto} = \forall(\text{diário}) \cdot g(DBO_5) / \forall(\text{pré-filtro}) = 0,005 \cdot 124 / 0,0088 = 70,5 \text{ g}(DBO_5)/\text{m}^3 \cdot \text{dia}$$

$$TAV \text{ chorume} = \forall(\text{diário}) \cdot g(DBO_5) / \forall(\text{pré-filtro}) = 0,005 \cdot 168 / 0,0088 = 95,5 \text{ g}(DBO_5)/\text{m}^3 \cdot \text{dia}$$

Taxa de aplicação volumétrica ( $DBO_5$ ) aplicada aos filtros percoladores(B1..B6):

$$DBO_{5(\text{média esgoto})} = 74 \text{ mgO}_2/\text{L} = 0,074 \text{ gO}_2/\text{L} = 74 \text{ gO}_2/\text{m}^3$$

$$DBO_{5(\text{média chorume})} = 172 \text{ mgO}_2/\text{L} = 0,172 \text{ gO}_2/\text{L} = 172 \text{ gO}_2/\text{m}^3$$

$$As(\varnothing 200\text{mm}) = 0,2^2 \cdot \pi/4 = 0,0314 \text{ m}^2$$

$$\text{Altura do leito (H)} = 0,95 \text{ m}$$

$$V_{(\text{filtro perc.})} = A_s \cdot H = 0,0314 \cdot 0,95 = 0,03 \text{ m}^3$$

$$\text{TAV. esgoto} = V_{(\text{diário})} \cdot \text{DBO}_5 / V_{(\text{filtro perc.})} = 0,005.74/0,03 = 12,3 \text{ g(DBO}_5\text{)/m}^3 \cdot \text{dia}$$

$$\text{TAV chorume} = V_{(\text{diário})} \cdot \text{DBO}_5 / V_{(\text{filtro perc.})} = 0,005.172/0,03 = 28,7 \text{ g(DBO}_5\text{)/m}^3 \cdot \text{dia}$$

Carga orgânica média (DBO<sub>5</sub>) aplicada ao filtro percolador (B0):

$$\text{DBO}_{5(\text{média esgoto})} = 124 \text{ mgO}_2/\text{L} = 0,124 \text{ gO}_2/\text{L} = 124 \text{ gO}_2/\text{m}^3$$

$$\text{DBO}_{5(\text{média chorume})} = 168 \text{ mgO}_2/\text{L} = 0,168 \text{ gO}_2/\text{L} = 168 \text{ gO}_2/\text{m}^3$$

$$A_s(\varnothing 90\text{mm}) = 0,09^2 \cdot \pi/4 = 0,0064 \text{ m}^2$$

$$\text{Altura do leito (H)} = 1,0 \text{ m}$$

$$V_{(\text{filtro B0})} = A_s \cdot H = 0,0064 \cdot 1,0 = 0,0064 \text{ m}^3$$

$$\text{TAV. esgoto} = V_{(\text{diário})} \cdot \text{DBO}_5 / V_{(\text{pré-filtro})} = 0,001.124/0,0064 = 19,4 \text{ g(DBO}_5\text{)/m}^3 \cdot \text{dia}$$

$$\text{TAV. chorume} = V_{(\text{diário})} \cdot \text{DBO}_5 / V_{(\text{pré-filtro})} = 0,001.168/0,0064 = 26,3 \text{ g(DBO}_5\text{)/m}^3 \cdot \text{dia}$$



Análise estatística (5%) da eficiência de DQO<sub>total</sub> nos pré-filtros (lixiviado)

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
A1	11	205,34	18,6673	972,4736
A2	11	167,94	15,2673	788,2133
A3	11	-141,66	-12,8782	1322,7911
A4	11	-17,93	-1,6300	470,7053
A5	11	5,41	0,4918	1179,9827
A6	11	167,24	15,2036	778,4841

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F calculado</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico(5%)</i>
Entre grupos	8534,50	5	1706,90	1,8578	0,1153	2,3683
Dentro dos grupos	55126,50	60	918,78			
Total	63661,00	65				

F calculado = 1,8578

F crítico (5%) = 2,3683

F calculado < F crítico (5%)

====> Conclusão: não há diferença significativa (5%) entre os grupos.

Análise estatística (1%) da eficiência de DQO<sub>total</sub> nos filtros percoladores (lixiviado)

## RESUMO

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
B0	11	215,59	19,5991	1181,7000
B1	11	750,38	68,2164	465,0440
B2	11	701,84	63,8036	431,1941
B3	11	225,78	20,5255	777,4272
B4	11	173,02	15,7291	492,9849
B5	11	-6,35	-0,5773	2132,5757
B6	11	202,44	18,4036	1486,6273

## ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F calculado	valor-P	F crítico(1%)
Entre grupos	44787,43	6	7464,5723	7,4993	3,1655E-06	3,0712
Dentro dos grupos	69675,53	70	995,3648			
Total	114462,97	76				

$$F_{\text{calculado}} = 7,4993$$

$$F_{\text{crítico}(1\%)} = 3,0712$$

$F_{\text{calculado}} > F_{\text{crítico}(1\%)}$  ==> Conclusão: há diferença significativa (99%) entre os grupos.

1) Desvio padrão da média ( $S_x$ ):

$$MQR = 995,365$$

$$n_c = 11,000$$

$$S_x = (MQR)^{1/2} / (n_c)^{1/2} = 9,5125$$

2) Limite de decisão ( $L_d$ ):

$$L_d = 3 \cdot S_x = 28,538$$

3) Comparação entre as diferenças das médias:  $\Delta X > L_d$  (Sim) ou  $\Delta X < L_d$  (Não)

$\Delta X$	Há diferença entre as médias dos grupos?
$X_{B0} - X_{B1} = 48,6173$	Sim
$X_{B0} - X_{B2} = 44,2045$	Sim
$X_{B0} - X_{B3} = 0,9264$	Não
$X_{B0} - X_{B4} = 3,8700$	Não
$X_{B0} - X_{B5} = 20,1764$	Não
$X_{B0} - X_{B6} = 1,1955$	Não
$X_{B1} - X_{B2} = 4,4127$	Não
$X_{B1} - X_{B3} = 47,6909$	Sim
$X_{B1} - X_{B4} = 52,4873$	Sim
$X_{B1} - X_{B5} = 68,7936$	Sim
$X_{B1} - X_{B6} = 49,8127$	Sim
$X_{B2} - X_{B3} = 43,2782$	Sim
$X_{B2} - X_{B4} = 48,0745$	Sim
$X_{B2} - X_{B5} = 64,3809$	Sim
$X_{B2} - X_{B6} = 45,4000$	Sim
$X_{B3} - X_{B4} = 4,7964$	Não
$X_{B3} - X_{B5} = 21,1027$	Não
$X_{B3} - X_{B6} = 2,1218$	Não
$X_{B4} - X_{B5} = 16,3064$	Não
$X_{B4} - X_{B6} = 2,6745$	Não
$X_{B5} - X_{B6} = 18,9809$	Não

Agrupamento:

B1=B2

B0=B3=B4=B5=B6

Análise estatística (5%) da eficiência da DBO<sub>5</sub> nos pré-filtros (lixiviado)

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
A1	10	-52,67	-5,2670	7573,4973
A2	10	-168,00	-16,8000	16326,8444
A3	10	210,08	21,0080	3134,7740
A4	10	266,33	26,6330	10178,8580
A5	10	-116,58	-11,6580	8948,0541
A6	10	-113,42	-11,3420	12479,0185

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F calculado</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico(5%)</i>
Entre grupos	17240,80	5	3448,1594	0,3528	0,8782	2,3861
Dentro dos grupos	527769,42	54	9773,5077			
Total	545010,21	59				

F calculado = 0,3528

F crítico (5%) = 2,3861

F calculado < F crítico (5%)

====> Conclusão: não há diferença significativa (5%) entre os grupos.

Análise estatística (1%) da eficiência da DBO<sub>5</sub> nos filtros percoladores (lixiviado)

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
B0	10	-52,00	-5,2000	13104,8444
B1	10	1294,58	129,4580	36426,4126
B2	10	875,81	87,5810	307,1563
B3	9	209,78	23,3089	2498,2037
B4	7	313,75	44,8214	1309,2649
B5	10	270,38	27,0380	2592,0317
B6	10	289,96	28,9960	5523,6130

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F calculado</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico(1%)</i>
Entre grupos	123868,39	6	20644,7310	2,2169	0,0538	3,1243
Dentro dos grupos	549427,74	59	9312,3346			
Total	673296,13	65				

F calculado = 2,2169

F crítico (1%) = 3,1243

F calculado < F crítico (1%)

====> Conclusão: não há diferença significativa (1%) entre os grupos.

Análise estatística (5%) da eficiência da DBO<sub>5</sub> nos filtros percoladores (lixiviado)

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
B0	10	-52,00	-5,2000	13104,8444
B1	10	1294,58	129,4580	36426,4126
B2	10	875,81	87,5810	307,1563
B3	9	209,78	23,3089	2498,2037
B4	7	313,75	44,8214	1309,2649
B5	10	270,38	27,0380	2592,0317
B6	10	289,96	28,9960	5523,6130

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F calculado</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico(5%)</i>
Entre grupos	123868,386	6	20644,7310	2,2169	0,0538	2,2568
Dentro dos grupos	549427,742	59	9312,3346			
Total	673296,127	65				

F calculado = 2,2169

F crítico (5%) = 2,2568

F calculado < F crítico (5%)

====> Conclusão: não há diferença significativa (5%) entre os grupos.

## Análise estatística (5%) da eficiência da amônia nos pré-filtros (lixiviado)

## RESUMO

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
A1	5	40,49	8,0980	5,8906
A2	5	28,52	5,7040	32,2738
A3	5	12,54	2,5080	31,5257
A4	5	6,66	1,3320	42,1135
A5	5	69,43	13,8860	136,1684
A6	5	89,20	17,8400	118,1179

## ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1055,32	5	211,0642	3,4592	0,0170	2,6207
Dentro dos grupos	1464,36	24	61,0150			
Total	2519,68	29				

$$F_{\text{calculado}} = 3,4592$$

$$F_{\text{crítico (5\%)}} = 2,6207$$

$$F_{\text{calculado}} > F_{\text{crítico (5\%)}}$$

====> Conclusão: há diferença significativa (5%) entre os grupos.

1) Desvio padrão da média ( $S_x$ ):

$$MQR = 61,015$$

$$n_c = 5,000$$

$$S_x = (MQR)^{1/2} / (n_c)^{1/2} = 3,49327864$$

2) Limite de decisão ( $L_d$ ):

$$L_d = 3 \cdot S_x = 10,480$$

3) Comparação entre as diferenças das médias:  $\Delta X > L_d$  (Sim) ou  $\Delta X < L_d$  (Não)

$\Delta X$	Há diferença entre as médias dos grupos?
$X_{A1} - X_{A2} = 2,3940$	Não
$X_{A1} - X_{A3} = 5,5900$	Não
$X_{A1} - X_{A4} = 6,7660$	Não
$X_{A1} - X_{A5} = 5,7880$	Não
$X_{A1} - X_{A6} = 9,7420$	Não
$X_{A2} - X_{A3} = 3,1960$	Não
$X_{A2} - X_{A4} = 4,3720$	Não
$X_{A2} - X_{A5} = 8,1820$	Não
$X_{A2} - X_{A6} = 12,1360$	Sim
$X_{A3} - X_{A4} = 1,1760$	Não
$X_{A3} - X_{A5} = 11,3780$	Sim
$X_{A3} - X_{A6} = 15,3320$	Sim
$X_{A4} - X_{A5} = 12,5540$	Sim
$X_{A4} - X_{A6} = 16,5080$	Sim
$X_{A5} - X_{A6} = 3,9540$	Não

Agrupamento: A1=A2=A3=A4 A5=A6
--------------------------------------

### Análise estatística (1%) da eficiência da amônia nos pré-filtros (lixiviado)

#### RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
A1	5	40,49	8,098	5,89057
A2	5	28,52	5,704	32,27383
A3	5	12,54	2,508	31,52567
A4	5	6,66	1,332	42,11347
A5	5	69,43	13,886	136,16843
A6	5	89,2	17,84	118,1179

#### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1055,32	5	211,0642	3,4592	0,0170	3,8951
Dentro dos grupos	1464,36	24	61,0150			
Total	2519,68	29				

$$F_{\text{calculado}} = 3,45921945$$

$$F_{\text{crítico (1\%)}} = 3,89508159$$

$$F_{\text{calculado}} < F_{\text{crítico (1\%)}}$$

====> Conclusão: não há diferença significativa (1%) entre os grupos.

## Análise estatística (5%) da eficiência da amônia nos filtros percoladores (lixiviado)

## RESUMO

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
B0	5	212,84	42,5680	616,0896
B1	5	437,53	87,5060	21,8046
B2	5	462,04	92,4080	10,4331
B3	5	257,35	51,4700	131,3837
B4	5	301,37	60,2740	196,5785
B5	5	209,12	41,8240	102,2189
B6	5	266,08	53,2160	261,2685

## ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	12738,47	6	2123,0777	11,0926	0,0000	2,4453
Dentro dos grupos	5359,11	28	191,3967			
Total	18097,57	34				

$$F_{\text{calculado}} = 11,0926$$

$$F_{\text{crítico}(5\%)} = 2,4453$$

$F_{\text{calculado}} > F_{\text{crítico}(5\%)}$  ==> Conclusão: há diferença significativa (5%) entre os grupos.

1) Desvio padrão da média ( $S_x$ ):

$$MQR = 191,397$$

$$n_c = 5,000$$

$$S_x = (MQR)^{1/2} / (n_c)^{1/2} =$$

$$6,1870$$

2) Limite de decisão ( $L_d$ ):

$$L_d = 3 \cdot S_x =$$

$$18,561$$

3) Comparação entre as diferenças das médias:  $\Delta X > L_d$  (Sim) ou  $\Delta X < L_d$  (Não)

$\Delta X$	Há diferença entre as médias dos grupos?
$X_{B0} - X_{B1} = 44,9380$	Sim
$X_{B0} - X_{B2} = 49,8400$	Sim
$X_{B0} - X_{B3} = 8,9020$	Não
$X_{B0} - X_{B4} = 17,7060$	Não
$X_{B0} - X_{B5} = 0,7440$	Não
$X_{B0} - X_{B6} = 10,6480$	Não
$X_{B1} - X_{B2} = 4,9020$	Não
$X_{B1} - X_{B3} = 36,0360$	Sim
$X_{B1} - X_{B4} = 27,2320$	Sim
$X_{B1} - X_{B5} = 45,6820$	Sim
$X_{B1} - X_{B6} = 34,2900$	Sim
$X_{B2} - X_{B3} = 40,9380$	Sim
$X_{B2} - X_{B4} = 32,1340$	Sim
$X_{B2} - X_{B5} = 50,5840$	Sim
$X_{B2} - X_{B6} = 39,1920$	Sim
$X_{B3} - X_{B4} = 8,8040$	Não
$X_{B3} - X_{B5} = 9,6460$	Não
$X_{B3} - X_{B6} = 1,7460$	Não
$X_{B4} - X_{B5} = 18,4500$	Não
$X_{B4} - X_{B6} = 7,0580$	Não
$X_{B5} - X_{B6} = 11,3920$	Não

Agrupamento:

B1=B2

B0=B3=B4=B5=B6

## Análise estatística (1%) da eficiência da amônia nos filtros percoladores (lixiviado)

## RESUMO

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
B0	5	212,84	42,5680	616,08962
B1	5	437,53	87,5060	21,80458
B2	5	462,04	92,4080	10,43307
B3	5	257,35	51,4700	131,38365
B4	5	301,37	60,2740	196,57848
B5	5	209,12	41,8240	102,21893
B6	5	266,08	53,2160	261,26853

## ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	12738,47	6	2123,0777	11,0926	2,51E-06	3,5276
Dentro dos grupos	5359,11	28	191,3967			
Total	18097,57	34				

$$F_{\text{calculado}} = 11,0926$$

$$F_{\text{crítico}(1\%)} = 3,5276$$

$F_{\text{calculado}} > F_{\text{crítico}(1\%)}$  ==> Conclusão: há diferença significativa (1%) entre os grupos.

1) Desvio padrão da média ( $S_x$ ):

$$MQR = 191,397$$

$$n_c = 5,000$$

$$S_x = (MQR)^{1/2} / (n_c)^{1/2} =$$

$$6,1870$$

2) Limite de decisão ( $L_d$ ):

$$L_d = 3 \cdot S_x =$$

$$18,561$$

3) Comparação entre as diferenças das médias:  $\Delta X > L_d$  (Sim) ou  $\Delta X < L_d$  (Não)

	$\Delta X$	Há diferença entre as médias dos grupos?
$X_{B0} - X_{B1} =$	44,9380	Sim
$X_{B0} - X_{B2} =$	49,8400	Sim
$X_{B0} - X_{B3} =$	8,9020	Não
$X_{B0} - X_{B4} =$	17,7060	Não
$X_{B0} - X_{B5} =$	0,7440	Não
$X_{B0} - X_{B6} =$	10,6480	Não
$X_{B1} - X_{B2} =$	4,9020	Não
$X_{B1} - X_{B3} =$	36,0360	Sim
$X_{B1} - X_{B4} =$	27,2320	Sim
$X_{B1} - X_{B5} =$	45,6820	Sim
$X_{B1} - X_{B6} =$	34,2900	Sim
$X_{B2} - X_{B3} =$	40,9380	Sim
$X_{B2} - X_{B4} =$	32,1340	Sim
$X_{B2} - X_{B5} =$	50,5840	Sim
$X_{B2} - X_{B6} =$	39,1920	Sim
$X_{B3} - X_{B4} =$	8,8040	Não
$X_{B3} - X_{B5} =$	9,6460	Não
$X_{B3} - X_{B6} =$	1,7460	Não
$X_{B4} - X_{B5} =$	18,4500	Não
$X_{B4} - X_{B6} =$	7,0580	Não
$X_{B5} - X_{B6} =$	11,3920	Não

Agrupamento:

B1=B2

B0=B3=B4=B5=B6

## Análise estatística (5%) da eficiência do ferro nos pré-filtros (lixiviado)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
A1	6	148,00	24,6667	989,0667
A2	6	143,00	23,8333	278,1667
A3	6	42,00	7,0000	747,6000
A4	6	7,00	1,1667	1959,7667
A5	6	93,00	15,5000	1222,7000
A6	6	158,00	26,3333	746,6667

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico(5%)</i>
Entre grupos	3260,92	5	652,1833	0,6583	0,6576	2,5336
Dentro dos grupos	29719,83	30	990,6611			
Total	32980,75	35				

F calculado = 0,6583

F crítico (5%) = 2,5336

F calculado < F crítico (5%)

====> Conclusão: não há diferença significativa (5%) entre os grupos.

## Análise estatística (5%) da eficiência do ferro nos filtros percoladores (lixiviado)

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
B0	6	510,00	85,0000	101,2000
B1	6	511,00	85,1667	54,9667
B2	6	570,00	95,0000	20,0000
B3	6	378,00	63,0000	86,4000
B4	6	569,00	94,8333	21,3667
B5	6	402,00	67,0000	95,2000
B6	6	343,00	57,1667	286,5667

## ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico(5%)
Entre grupos	8715,33	6	1452,5556	15,2740	1,66E-08	2,3718
Dentro dos grupos	3328,50	35	95,1000			
Total	12043,83	41				

$$F_{\text{calculado}} = 15,2740$$

$$F_{\text{crítico(5%)}} = 2,3718$$

$F_{\text{calculado}} > F_{\text{crítico(5%)}}$  ==> Conclusão: há diferença significativa (5%) entre os grupos.

1) Desvio padrão da média ( $S_x$ ):

$$MQR = 95,100$$

$$n_c = 6,000$$

$$S_x = (MQR)^{1/2} / (n_c)^{1/2} = 3,9812$$

2) Limite de decisão ( $L_d$ ):

$$L_d = 3 \cdot S_x = 11,944$$

3) Comparação entre as diferenças das médias:  $\Delta X > L_d$  (Sim) ou  $\Delta X < L_d$  (Não)

$\Delta X$	Há diferença entre as médias dos grupos?
$X_{B0} - X_{B1} = 0,1667$	Não
$X_{B0} - X_{B2} = 10,0000$	Não
$X_{B0} - X_{B3} = 22,0000$	Sim
$X_{B0} - X_{B4} = 9,8333$	Não
$X_{B0} - X_{B5} = 18,0000$	Sim
$X_{B0} - X_{B6} = 27,8333$	Sim
$X_{B1} - X_{B2} = 9,8333$	Não
$X_{B1} - X_{B3} = 22,1667$	Sim
$X_{B1} - X_{B4} = 9,6667$	Não
$X_{B1} - X_{B5} = 18,1667$	Sim
$X_{B1} - X_{B6} = 28,0000$	Sim
$X_{B2} - X_{B3} = 32,0000$	Sim
$X_{B2} - X_{B4} = 0,1667$	Não
$X_{B2} - X_{B5} = 28,0000$	Sim
$X_{B2} - X_{B6} = 37,8333$	Sim
$X_{B3} - X_{B4} = 31,8333$	Sim
$X_{B3} - X_{B5} = 4,0000$	Não
$X_{B3} - X_{B6} = 5,8333$	Não
$X_{B4} - X_{B5} = 27,8333$	Sim
$X_{B4} - X_{B6} = 37,6667$	Sim
$X_{B5} - X_{B6} = 9,8333$	Não

Agrupamento: B0=B1=B2=B4 B3=B5=B6
---

## Análise estatística (1%) da eficiência do ferro nos filtros percoladores (lixiviado)

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
B0	6	510,00	85,0000	101,2000
B1	6	511,00	85,1667	54,9667
B2	6	570,00	95,0000	20,0000
B3	6	378,00	63,0000	86,4000
B4	6	569,00	94,8333	21,3667
B5	6	402,00	67,0000	95,2000
B6	6	343,00	57,1667	286,5667

## ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico (1%)
Entre grupos	8715,33	6	1452,5556	15,2740	1,66E-08	3,3679
Dentro dos grupos	3328,50	35	95,1000			
Total	12043,83	41				

$$F_{\text{calculado}} = 15,2740$$

$$F_{\text{crítico(5\%)}} = 3,3679$$

$F_{\text{calculado}} > F_{\text{crítico(5\%)}}$  ==> Conclusão: há diferença significativa (5%) entre os grupos.

1) Desvio padrão da média ( $S_x$ ):

$$\text{MQR} = 95,100$$

$$n_c = 6,000$$

$$S_x = (\text{MQR})^{1/2} / (n_c)^{1/2} = 3,9812$$

2) Limite de decisão ( $L_d$ ):

$$L_d = 3 \cdot S_x = 11,944$$

3) Comparação entre as diferenças das médias:  $\Delta X > L_d$  (Sim) ou  $\Delta X < L_d$  (Não)

$\Delta X$	Há diferença entre as médias dos grupos?
$X_{B0} - X_{B1} = 0,1667$	Não
$X_{B0} - X_{B2} = 10,0000$	Não
$X_{B0} - X_{B3} = 22,0000$	Sim
$X_{B0} - X_{B4} = 9,8333$	Não
$X_{B0} - X_{B5} = 18,0000$	Sim
$X_{B0} - X_{B6} = 27,8333$	Sim
$X_{B1} - X_{B2} = 9,8333$	Não
$X_{B1} - X_{B3} = 22,1667$	Sim
$X_{B1} - X_{B4} = 9,6667$	Não
$X_{B1} - X_{B5} = 18,1667$	Sim
$X_{B1} - X_{B6} = 28,0000$	Sim
$X_{B2} - X_{B3} = 32,0000$	Sim
$X_{B2} - X_{B4} = 0,1667$	Não
$X_{B2} - X_{B5} = 28,0000$	Sim
$X_{B2} - X_{B6} = 37,8333$	Sim
$X_{B3} - X_{B4} = 31,8333$	Sim
$X_{B3} - X_{B5} = 4,0000$	Não
$X_{B3} - X_{B6} = 5,8333$	Não
$X_{B4} - X_{B5} = 27,8333$	Sim
$X_{B4} - X_{B6} = 37,6667$	Sim
$X_{B5} - X_{B6} = 9,8333$	Não

Agrupamento: B0=B1=B2=B4 B3=B5=B6
---