UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA HIDRÁULICA E SANEAMENTO

PROPOSTA DE UM MODELO DE GESTÃO INTEGRADA DE ÁGUAS URBANAS EM ESCALA DE LOTE RESIDENCIAL: ALCANCES E LIMITAÇÕES

RICARDO CAMILO GALAVOTI

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências, Programa de Engenharia Hidráulica e Saneamento

ORIENTADOR: PROF. DR. EDUARDO MÁRIO MENDIONDO

Versão Corrigida

SÃO CARLOS – SP

2011

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

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

G147p

Galavoti, Ricardo Camilo.
Proposta de um modelo de gestão integrada de águas urbanas em escala de lote residencial: alcances e limitações. / Ricardo Camilo Galavoti ; orientador Eduardo Mário Mediondo. São Carlos, 2011.

Tese - Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento)-- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.

1. Manejo de águas pluviais. 2. Águas urbanas. 3. Reuso de água. 4. Bacia hidrográfica urbana. 5. Escala de lote domiciliar. 6. Saneamento sustentável. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Tecnólogo **RICARDO CAMILO GALAVOTI.**

Título da tese: "Proposta de um modelo de gestão integrada de águas urbanas em escala de lote residencial: alcances e limitações".

Data da defesa: 24/02/2012

Comissão Julgadora:	**Resultado:**
Prof. Dr. **Eduardo Mario Mendiondo (Orientador)** (Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)	APROVADO
Prof. Dr. **João Luiz Boccia Brandão** (Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)	APROVADO
Prof. Dr. **João Sérgio Cordeiro** (Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)	APROVADO
Prof. Dr. **José Rodolfo Scarati Martins** (Escola Politécnica/EP)	Aprovado
Prof. Dr. **Arthur Mattos** (Universidade Federal do Rio Grande do Norte/UFRN)	APROVADO

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento:
Prof. Titular **Edson Cezar Wendland**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Paulo Cesar Lima Segantine**

Ao Único Deus, Supremo e Eterno Criador (Salmo 113:1,2)

À minha esposa Wilza,

Às minhas filhas, Camila e Ana Carolina,

Aos meus pais, Vicente e Lourdes

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, ao Senhor meu Deus, Supremo e Eterno Autor de toda a Criação, pelo dom da vida e pelas realizações concedidas, sem mérito algum da parte humana, mas pela Sua imensa misericórdia.

Ao Prof. Dr. Eduardo Mario Mendiondo, pela orientação e apoio para o desenvolvimento deste trabalho.

À minha esposa Wilza, pelo auxílio indispensável, por seu amor, fidelidade, e dedicação incansáveis.

Às minhas filhas, Camila e Ana Carolina, pela oportunidade de toda uma vida para aprender a amá-las, como o Senhor Deus nos ama a todos.

A meus pais, Vicente e Lourdes, por tudo o que representam para mim.

Ao amigo e irmão Orlando Carvalho Junior, pela convivência que tivemos em São Carlos.

A todos os colegas e amigos do grupo de pesquisa do NIBH, pela convivência e pelo companheirismo na execução deste trabalho: Richard, Pedro, Fred, Tatiane, Flavia, Juliana, Melissa, Valter, Michele, Dulce, Irene, Ignazio, Guilherme, Aline, Ivie, entre outros.

Aos funcionários do Laboratório de Saneamento da EESC, em especial ao Paulo Fragiácomo, à Maria Aparecida Peres Viudes e ao Julio Cesar Trofino, pelo auxílio durante a execução das análises.

A todos os funcionários, professores e colegas do SHS/EESC/USP, e em especial, às secretárias Sá, Pavi e Rosemeire, pela atenção, paciência e solicitude dispensadas.

A CAPES e ao CNPq, pelas bolsas de estudos e auxílios concedidos.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS i
LISTA DE TABELAS vi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS xiii
LISTA DE SÍMBOLOS..... xiv
RESUMO..... 02
ABSTRACT..... 03
1_INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA 04
2_OBJETIVO GERAL..... 05
3_OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 06
4_REVISÃO DE LITERATURA..... 08
4.1_Contexto Geral..... 08
4.2_Medidas Descentralizadoras Aplicadas às Águas Urbanas..... 10
4.2.1_ Medidas Descentralizadoras Aplicadas à Gestão das Águas Pluviais Urbanas..... 10
4.2.2_Medidas Descentralizadoras Aplicadas ao Tratamento de Esgotos Sanitários..... 20
4.2.2.1_Saneamento Descentralizado com Reuso de Esgoto Doméstico..... 21
4.2.2.2_Tecnologias de Saneamento como Medidas Descentralizadoras em Bacias Urbanas – Biodigestão Anaeróbia..... 23
4.2.2.3_Tecnologia de Desinfecção de Águas Pluviais e Esgoto Sanitário Tratado Por Radiação Ultravioleta LED-DUV..... 27
4.3_Desenvolvimento e Aplicação dos Conceitos de “Detenção” e “Retenção” de Águas Urbanas em Lotes Domiciliares..... 30
4.4_Variáveis de qualidade físico-químicas e microbiológicas para as águas urbanas.... 31
4.4.1_Potencial hidrogeniônico (pH)..... 31
4.4.2_Turbidez..... 32
4.4.3_Cor..... 33
4.4.4_Condutividade..... 34
4.4.5_Oxigênio Dissolvido (OD)..... 34
4.4.6_Cloretos..... 37
4.4.7_Dureza Total..... 38
4.4.8_Fosfato Total..... 39

4.4.9_Série Nitrogenada..... 40

4.4.10_Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)..... 42

4.4.11_Demanda Química de Oxigênio (DQO)..... 45

4.4.12_ Coliformes Totais e Coliformes Fecais..... 46

4.4.13_Série de Sólidos..... 48

4.5_Elementos de Políticas Públicas..... 51

5_MATERIAIS E METODOLOGIA EXPERIMENTAL..... 53

5.1_Aproveitamento e Tratamento de Águas Pluviais..... 53

5.2_Tratamento de Esgoto Domiciliar Visando Reuso - Desenvolvimento e Utilização da Fossa Séptica Biodigestora (FSB) Modelo EMBRAPA..... 54

5.3_Apresentação dos sítios experimentais urbanos e peri-urbano..... 62

5.4_Atividades experimentais que foram desenvolvidas no Lote Experimental Peri-Urbano..... 82

5.5_Atividades experimentais que foram desenvolvidas para as águas pluviais no LAEG-1..... 83

6_RESULTADOS E DISCUSSÕES..... 83

6.1_Apresentação do conjunto global de resultados para as águas pluviais..... 83

6.2_Análise dos Resultados das Águas Pluviais - Considerações Gerais..... 90

6.3_Análise dos Resultados..... 91

6.3.1_ Variáveis físicas e químicas: pH, turbidez, cor, oxigênio dissolvido, condutividade, cloretos e dureza total..... 91

6.3.2_Análise das variáveis indicadoras de matéria orgânica: Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), e Macronutrientes: Série Nitrogenada e Fósforo..... 101

6.3.3_Análise das Variáveis Microbiológicas: Coliformes totais e Coliformes Fecais.... 110

6.3.4_Análise da Série de Sólidos..... 113

6.3.5_Análise da Série de Metais..... 124

6.3.5.1_Considerações Preliminares sobre a Análise da Série de Metais..... 125

6.3.5.2_Apresentação e Discussão dos Resultados da Série de Metais..... 127

6.4_Análise da Influência dos Parâmetros de Precipitação sobre as Variáveis de Qualidade das Águas Pluviais e Comparativa entre os Três Tipos de Cobertura..... 142

6.4.1_Análise dos Resultados – Sólidos Totais..... 143

6.4.2_Análise dos Resultados – Turbidez..... 149

6.4.3_Análise dos Resultados – Condutividade..... 153

6.4.4_Análise dos Resultados – Demanda Química de Oxigênio (DQO)..... 156

6.4.5_Análise dos Resultados – Demanda Bioquímica de Oxigênio ($DBO_{5,20}$)..... 159
6.4.6_Análise dos Resultados – Coliformes Totais..... 162
6.4.7_Análise dos Resultados – Cor..... 165
6.4.8_Análise dos Resultados – *Escherichia coli*..... 168
6.4.9_Análise dos Resultados – Dureza Total..... 171
6.5_Análise dos VMP's – Valores Máximos Permitidos – para as variáveis correlacionadas aos índices de precipitação..... 174
6.6_Análise dos Pontos 6 e 7 do SAP do Lote Experimental Peri-Urbano..... 176
6.7_Análise Estimativa das Cargas Poluentes Aplicadas e Seu Potencial de Retenção/Remoção no SAP do Lote Experimental Peri-Urbano..... 177
6.8_Desinfecção por Ultravioleta através de LED's/DUV – Breve Descrição do Desenvolvimento dos Experimentos e Seus Resultados..... 181
6.8.1_Resultados Coliformes Totais e Fecais para o Teste de Irradiância com LED / DUV – SteriledSan realizado em 26/11/2009..... 189
6.8.2_Resultados Coliformes Totais e Fecais para o Teste de Irradiância com LED / DUV – SteriledSan realizado em 03 e 04/12/2009..... 189
6.8.3_Resultados Coliformes Totais e Fecais para o Teste de Irradiância com LED / DUV – SteriledSan realizado Em 20/01/2010..... 189
6.8.4_Resultados Coliformes Totais e Fecais para o Teste de Irradiância com LED / DUV – SteriledSan realizado em 26/01/2010..... 190
6.8.5_Resultados Coliformes Totais e Fecais para o Teste de Irradiância com LED / DUV – SteriledSan realizado em 01/02/2010..... 190
6.9__APRESENTAÇÃO E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS PARA A FOSSA SÉPTICA BIODIGESTORA (FSB)..... 191
6.9.1_Análise do Perfil das Medidas do Potencial Hidrogeniônico (pH)..... 195
6.9.2_Análise do Perfil da Série de Sólidos para a FSB..... 196
6.9.3_Análise do Perfil das Séries de DBO e DQO para a FSB..... 205
6.9.3.1_Relações DBO/DQO, DQO/DBO e DQO/DBO/Sólidos para a FSB..... 210
6.9.3.2_Relações DBO/N/P e DQO/N/P para a FSB..... 212
6.9.4_Análise da Série Nitrogenada e Fósforo para a FSB..... 215
6.9.5_Análise de Coliformes Totais e Fecais para a FSB..... 224
6.9.6_Análise da Turbidez para a FSB..... 228
6.9.7_Análise dos Valores Máximos Permitidos (VMP's) de acordo com normas brasileiras e internacionais para a FSB..... 231
6.10_Proposta de um Modelo de Gestão Integrada de Águas Urbanas em Escala de Lote Residencial: Alcances e Limitações..... 233
7_CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... 237
8_ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 241

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Síntese do plano de pesquisa, relacionando objetivos, metodologias e resultados esperados.....pg.7
Figura 2 - Figura 2 - Simbiose entre bactérias e algas em lagoas de estabilização (Fonte: CETESB, 2011).....pg.36
Figura 3 - Figura 3 - Metabolismo de microrganismos heterótrofos (Fonte: CETESB, 2011).....pg. 43
Figura 4 - Detalhes construtivos do telhado verde posicionado sobre a fossa séptica biodigestora no Lote Experimental Peri-Urbano (OHNUMA JR., 2008).....pg. 55
Figura 5 - Planta do Lote Experimental Peri-Urbano (Área de terreno: 507,63 m^2), mostrando a localização do telhado verde sobre a fossa séptica biodigestora (FSB) - pg.55
Figura 6 - Esquema da fossa séptica biodigestora (FSB) e fotos das caixas (1), (2) e (3) (esquerda) e do ponto de coleta de efluente (esquerda), em seu local de instalação no Lote Experimental Peri-Urbano.....pg. 56
Figura 7 - Foto de uma fossa séptica biodigestora (FSB) em montagem: a) vista lateral e b) vista superior.....pg. 56
Figura 8 - Localização geográfica da cidade de São Carlos, mostrando o local onde se realizou a pesquisa.....pg. 57
Figura 9a - Esquema geral da Fossa Séptica Biodigestora (FSB) modelo EMBRAPA..... pg. 60
Figura 9b - Esquema da terceira e última caixa da Fossa Séptica Biodigestora (FSB) modelo EMBRAPA, mostrando a composição das camadas do filtro de areia destinado à remoção da matéria orgânica, e a saída para descarga do efluente tratado na rede coletora de esgoto.....pg. 64
Figura 10 - Sítio 1 - Lote Experimental Peri-Urbano (Área de terreno: 507, 63 m^2).....pg. 63
Figura 11 - Sítio 2-LAEG-1 (área ≈ 66 m2).....pg. 63
Figura 12 - Sítio 3-LAEG-2 (área ≈75 m2).....pg. 63
Figura 13 - Desenho esquemático dos pontos de amostragem de águas pluviais do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, elaborado em software Autocad.....pg. 67
Figura 14 - Vista geral do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano.....pg. 68
Figura 15 - Vista geral do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, com vista parcial da cobertura de zinco e parte de seus acessórios.....pg. 68
Figura 16 - Tanque de armazenamento marca Tinabrás (capacidade: 6000 litros)...pg. 69
Figura 17 - Conjunto de amostradores (capacidade total aproximada: 12,5 litros)...pg. 69
Figura 18 - Filtro VF-1 3P Technik.....pg. 70
Figura 19 - Tanque de sedimentação intermediário para captação do first-flush (capacidade: 310 litros), marca Acqualimp.....pg. 70

Figura 20 - Interligações do conjunto de amostradores, Filtro VF-1 3P Technik e tanque de sedimentação intermediário (*first-flush*).....pg. 71
Figura 21 - Interligações do Filtro VF-1 3P Technik e tanque de sedimentação intermediário (esquerda); e tanque de sedimentação intermediário com o tanque de armazenamento de 6000 litros(direita).....pg.71
Figura 22 - Esquema geral dos SAP's (Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais) utilizados nos Sítios Experimentais dos LAEG's 1 e 2 (GALAVOTI *et al*, 2007), elaborado em software Autocad.....pg. 72
Figura 23 - Amostrador de águas pluviais utilizado nos SAP's (Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais) dos três sítios experimentais (LAEG's 1 e 2 e Lote Experimental Peri-Urbano).....pg. 73
Figura 24 - Superfície de captação impermeável no LAEG-1 (Telhado Tetra Pak) - pg. 73
Figura 25 - Superfície de captação permeável no LAEG 2 – CVL (Cobertura Verde Leve).....pg. 74
Figura 26 - Composição da CVL (VECCHIA e NOLASCO, 2006).....pg. 74
Figura 27 – Vista-1 do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do LAEG-2.....pg. 75
Figura 28 – Vista-2 do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do LAEG-2.....pg. 75
Figura 29 - Vista-1 do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do LAEG-1.....pg. 76
Figura 30 - Vista-2 do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do LAEG-1.....pg. 76
Figura 31 - Tanque para retenção do *first-flush* e sedimentação de matéria mineral, com as suas conexões de entrada (A - superior) e saída (B- rebaixada).....pg. 79
Figura 32 - Etapas de construção da trincheira de infiltração nos SAP's dos LAEG's 1 e 2 da área 1 do Campus da USP em São Carlos.....pg. 80
Figura 33 - Fluxograma do caminhamento das águas pluviais advindas do telhado de zinco para o SAP do Lote Experimental Peri-Urbano.....pg. 81
Figura 34 - Fluxograma simplificado das etapas e/ou operações unitárias envolvidas nos sistemas de águas pluviais (SAP's) e na fossa séptica biodigestora (FSB) modelo EMBRAPA.
Figura 35 - Desenho esquemático do Filtro VF1 de água de chuva (3P Technik, 2008).....pg. 82
Figura 36 - Variação espaço-temporal dos valores de pH obtidos para as 6 Séries Amostrais de águas pluviais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.....pg. 92
Figura 37 – Variação espaço-temporal dos valores de turbidez obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano..... pg. 93
Figura 38 – Variação espaço-temporal dos valores de cor obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.....pg. 94
Figura 39 – Variação espaço-temporal dos valores de oxigênio dissolvido (OD) obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano..... pg. 95
Figura 40 – Variação espaço-temporal dos valores de condutividade elétrica obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.....pg. 96
Figura 41 – Variação espaço-temporal dos valores de cloretos para as Séries Amostrais

efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.....pg. 97
Figura 42 – Variação espaço-temporal dos valores de dureza total para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.....pg. 98
Figura 43 – Variação espaço-temporal dos valores de Demanda Química de Oxigênio (DQO) obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano..... pg. 101
Figura 44 – Variação espaço-temporal dos valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.....pg. 102
Figura 45 – Variação espaço-temporal dos valores de Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano....pg. 105
Figura 46 – Variação espaço-temporal dos valores de nitrogênio amoniacal obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.....pg. 106
Figura 47 – Variação espaço-temporal dos valores de nitrogênio nitrato obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.....pg. 107
Figura 48 – Variação espaço-temporal dos valores de nitrogênio nitrito obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.....pg. 108
Figura 49 – Variação espaço-temporal dos valores de fosfato total obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.....pg. 109
Figura 50 – Variação espaço-temporal dos valores de coliformes totais obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.....pg. 111
Figura 51 – Variação espaço-temporal dos valores de coliformes fecais obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.....pg. 113
Figura 52 – Variação espaço-temporal dos valores de sólidos totais obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.....pg. 114
Figura 53 – Variação espaço-temporal dos valores de sólidos totais fixos (STF) obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.....pg. 115
Figura 54 – Variação espaço-temporal dos valores de sólidos totais voláteis (STV) obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano....pg. 116
Figura 55 – Variação espaço-temporal dos valores de sólidos suspensos totais (SST) obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano....pg. 117
Figura 56 – Variação espaço-temporal dos valores de sólidos suspensos totais (SST) obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano....pg. 118
Figura 57 – Variação espaço-temporal dos valores de sólidos suspensos voláteis (SST) obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano....pg. 119
Figura 58 – Variação espaço-temporal dos valores de sólidos dissolvidos totais (SDT) obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano....pg. 120
Figura 59 – Variação espaço-temporal dos valores de sólidos dissolvidos fixos (SDF) obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano....pg. 121
Figura 60 – Variação espaço-temporal dos valores de sólidos dissolvidos voláteis (SDV) obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano....pg. 122
Figura 61 – Variação espaço-temporal da concentração de Zinco (Zn) ao longo do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais).....pg. 127
Figura 62 – Variação espaço-temporal da concentração de Ferro (Fe) ao longo do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais).....pg. 129
Figura 63 – Variação espaço-temporal da concentração de Manganês (Mn) ao longo do

SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais).....pg. 130
Figura 64 – Variação espaço-temporal da concentração de Chumbo (Pb) ao longo do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais).....pg. 132
Figura 65 – Variação espaço-temporal da concentração de Cádmio (Cd) ao longo do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais).....pg. 133
Figura 66 – Variação espaço-temporal da concentração de Cobre (Cu) ao longo do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais).....pg. 134
Figura 67 – Variação espaço-temporal da concentração de Cromo (Cr) ao longo do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais).....pg. 135
Figura 68 – Variação espaço-temporal da concentração de Níquel (Ni) ao longo do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais).....pg.136
Figura 69 – Variação espaço-temporal da concentração de Prata (Ag) ao longo do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais).....pg. 137
Figura 70 – Variação espaço-temporal da concentração de Cobalto (Co) ao longo do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais).....pg. 138
Figura 71 – Variação espaço-temporal da concentração de Bário (Ba) ao longo do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais).....pg. 139
Figura 72 – Variação espaço-temporal da concentração de Alumínio (Al) ao longo do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais).....pg. 140
Figura 73 - Esquema do sistema de desinfecção LED-DUV em escala de bancada.....pg. 182
Figura 74 - Ilustração de detalhe da montagem do sistema de desinfecção LED-DUV em escala de bancada.....pg. 183
Figura 75 - Ilustração de detalhe da montagem do sistema de desinfecção LED-DUV em escala de bancada, mostrando a cubeta acoplado aos dispositivo de irradiação UV.....pg. 183
Figura 76 - Esquema sugestivo para a montagem de experimentos LED-DUV no Lote Experimental Peri-Urbano.....pg. 184
Figura 77 - Ilustração de detalhe da montagem do sistema de desinfecção LED-DUV em escala de bancada, mostrando os aparelhos utilizados nas medições de turbidez.....pg. 185
Figura 78 - Ilustração de detalhe da montagem do sistema de desinfecção LED-DUV em escala de bancada, mostrando os componentes utilizados na irradiação UV....pg. 185
Figura 79 - Vista geral-1 da área de experimentos em escala de bancada para o sistema de desinfecção LED-DUV.....pg. 186
Figura 80 - Vista geral-2 da área de experimentos em escala de bancada para o sistema de desinfecção por ultravioleta.....pg. 186
Figura 81. Valores de pH medidos ao longo do período de operação da fossa séptica biodigestora do lote experimental peri-urbano de São Carlos.....pg. 195
Figura 82. Fluxogramas (A) e (B) dos balanços de sólidos para as frações da série de sólidos analisados para a fossa séptica biodigestora, com base em valores médios (valores em mg/L).....pg. 197
Figura 83. Valores da Série de Sólidos Totais medidos para a Fossa Séptica Biodigestora Modelo EMBRAPA, em mg/L.....pg. 199
Figura 84. Valores da Série de Sólidos Suspensos medidos para a Fossa Séptica Biodigestora Modelo EMBRAPA, em mg/L.....pg. 199

Figura 85. Valores da Série de Sólidos Dissolvidos medidos para a Fossa Séptica Biodigestora Modelo EMBRAPA, em mg/L.....pg. 200
Figura 86. Fluxogramas (A) e (B) dos balanços de sólidos para as frações da série de sólidos analisados para a fossa séptica biodigestora, com as eficiências de remoção para cada fração.....pg. 204
Figura 87. Valores da DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) medidos à Entrada e Saída da Fossa Séptica Biodigestora (FSB) Modelo EMBRAPA, em mg/L.....pg. 207
Figura 88. Valores da Eficiência Percentual de Remoção da DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), medidos para a Fossa Séptica Biodigestora (FSB) Modelo EMBRAPA.....pg. 208
Figura 89. Valores da DQO (Demanda Química de Oxigênio) medidos à Entrada e Saída da Fossa Séptica Biodigestora (FSB) Modelo EMBRAPA, em mg/L.....pg. 209
Figura 90. Valores da Eficiência Percentual da Remoção de DQO (Demanda Química de Oxigênio) medidos para a Fossa Séptica Biodigestora (FSB) Modelo EMBRAPA.....pg. 209
Figura 91 – Relações DQO:N utilizadas para a determinação das necessidades nutricionais do lodo de alimentação em um digestor anaeróbio.....pg. 213
Figura 92 – Eficiências percentuais de remoção de Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) e nitrogênio amoniacal para a FSB.....pg. 217
Figura 93 – Eficiências percentuais de remoção de Nitrogênio Nitrito e Nitrogênio Nitrato para a FSB.....pg. 218
Figura 94 – Valores da série nitrogenada para a FSB (Nitrogênio Total Kjeldahl – NTK, nitrogênio amoniacal – Namon, nitrogênio nitrato – N Nitrato, nitrogênio nitrito – N Nitrito), em mg/L.....pg. 219
Figura 95 – Valores de Nitrogênio Total Kjeldahl – NTK e nitrogênio amoniacal – Namon. para a FSB, em mg/L.....pg. 220
Figura 96 – Valores de nitrogênio nitrito e nitrogênio nitrato para a FSB, em mg/L.....pg. 220
Figura 97 – Valores de fosfato à entrada e saída da FSB.....pg. 223
Figura 98 – Eficiências de remoção percentual de fosfato para a FSB.....pg. 224
Figura 99 – Valores de coliformes totais à entrada e à saída da FSB.....pg. 225
Figura 100 – Valores de coliformes fecais à entrada e à saída da FSB.....pg. 225
Figura 101 – Eficiência de remoção percentual de coliformes totais para a FSB...pg. 227
Figura 102 – Eficiência de remoção percentual de coliformes fecais para a FSB..pg. 227
Figura 103 – Comparação entre as eficiências de remoção de coliformes totais e fecais.....pg. 228
Figura 104 – Valores de turbidez à entrada e à saída da FSB.....pg. 230
Figura 105 – Eficiência de remoção percentual de turbidez para a FSB.....pg. 231

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Origem/ocorrência e aspectos positivos/negativos da presença dos metais analisados neste estudo.....pg.15
Tabela 2 – Origem/ocorrência e aspectos positivos/negativos da presença dos metais analisados neste estudo (Continuação).....pg. 16
Tabela 3 – Origem/ocorrência e aspectos positivos/negativos da presença dos metais analisados neste estudo (Continuação).....pg. 17
Tabela 4 – Eficiências de remoção de matéria orgânica para sistemas de fossas sépticas.....pg. 26
Tabela 5 - Concentrações e contribuições unitárias típicas de DBO5,20 de esgoto doméstico e efluentes industriais (Fonte: CETESB, 2011, baseado em BRAILLE E CAVALCANTI, 1993).....pg. 45
Tabela 6 – Datas e respectivos volumes de cargas de mistura água/esterco bovino efetuadas na Fossa Séptica Biodigestora (FSB) modelo EMBRAPA.....pg. 59
Tabela 7 - Lista de materiais necessários para a montagem da FSB, com seus respectivos custos.....pg. 61
Tabela 8 - Parâmetros Físico-Químicos e Microbiológicos para o monitoramento do Biodigestor Modelo Embrapa (ou Fossa Séptica Biodigestora – FSB), para uma freqüência de amostragem mensal, baseados em OHNUMA JR. (2006).....pg. 62
Tabela 9 – Seleção de parâmetros para análise de qualidade de águas pluviais peri-urbanas.....pg. 64, 65
Tabela 10 – Rol de variáveis de qualidade selecionados para as 6 (seis) séries amostrais de águas pluviais no lote experimental peri-urbano de São Carlos/SP.....pg. 66
Tabela 11 – Datas, horários e respectivos pontos de amostragem para as 6 (seis) séries amostrais realizadas no Lote Experimental Peri-Urbano.....pg. 82
Tabela 12 - Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas para a primeira série amostral das águas pluviais.....pg. 84
Tabela 13 - Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas para a segunda série amostral das águas pluviais.....pg. 85
Tabela 14 - Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas para a terceira série amostral das águas pluviais.....pg. 86
Tabela 15 - Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas para a quarta série amostral das águas pluviais.....pg. 87
Tabela 16 - Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas para a quinta série amostral das águas pluviais.....pg. 88
Tabela 17 - Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas para a sexta série amostral das águas pluviais.....pg. 89
Tabela 18 – NBR 15527 (ABNT, 2007) - Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis.....pg. 91
Tabela 19 - Valores de pH obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).....pg. 92

Tabela 20 - Valores de turbidez obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).....pg. 93
Tabela 21 - Valores de cor obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).....pg. 94
Tabela 22 - Valores de oxigênio dissolvido (OD) obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).....pg. 95
Tabela 23 - Valores de condutividade obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).....pg. 96
Tabela 24 - Valores de cloretos obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).....pg. 97
Tabela 25 - Valores de dureza total obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).....pg. 98
Tabela 26 - Valores de Demanda Química de Oxigênio (DQO) obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).....pg. 101
Tabela 27 - Valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).....pg. 102
Tabela 28 - Valores de Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).....pg. 105
Tabela 29 - Valores de nitrogênio amoniacal obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).....pg. 106
Tabela 30 - Valores de nitrogênio nitrato obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).....pg. 107
Tabela 31 - Valores de nitrogênio nitrito obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e

seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).....pg. 108
Tabela 32 - Valores de fosfato total obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).....pg. 109
Tabela 33 - Valores de coliformes totais obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).....pg. 111
Tabela 34 - Valores de coliformes fecais obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).....pg. 112
Tabela 35 - Valores de sólidos totais obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).....pg. 114
Tabela 36 - Valores de sólidos totais fixos obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).....pg. 115
Tabela 37 - Valores de sólidos totais voláteis obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).....pg. 116
Tabela 38 - Valores de sólidos suspensos totais obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).....pg. 117
Tabela 39 - Valores de sólidos suspensos fixos obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).....pg. 118
Tabela 40 - Valores de sólidos suspensos voláteis obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).....pg. 119
Tabela 41 - Valores de sólidos dissolvidos totais obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).....pg. 120
Tabela 42 - Valores de sólidos dissolvidos fixos obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).....pg. 121

Tabela 43 - Valores de sólidos dissolvidos voláteis obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).....pg. 122
Tabela 44 - Variáveis de qualidade e seus VMP's, comparados aos valores médios, mínimos e máximos obtidos para as águas pluviais.....pg. 123
Tabela 45 – Seleção de parâmetros para análise de metais em águas pluviais peri-urbanas, e VMP's (Valores Máximos Permitidos) pela Portaria 518/04.....pg. 124
Tabela 46 - Limites Superiores e Inferiores dos metais na composição do **ISTO –** Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas (CETESB, 2008).....pg. 126
Tabela 47 – Resultados das análises do parâmetro Zinco (Zn) para as 6 séries amostrais.....pg. 127
Tabela 48 – Resultados das análises do parâmetro Ferro (Fe) para as 6 séries amostrais.....pg. 128
Tabela 49 – Resultados das análises do parâmetro Manganês (Mn) para as 6 séries amostrais.....pg. 130
Tabela 50 – Resultados das análises do parâmetro Chumbo (Pb) para as 6 séries amostrais.....pg. 131
Tabela 51 – Resultados das análises do parâmetro Cádmio (Cd) para as 6 séries amostrais.....pg. 133
Tabela 52 – Resultados das análises do parâmetro Cobre (Cu) para as 6 séries amostrais.....pg. 134
Tabela 53 – Resultados das análises do parâmetro Cromo (Cr) para as 6 séries amostrais.....pg. 135
Tabela 54 – Resultados das análises do parâmetro Níquel (Ni) para as 6 séries amostrais.....pg. 136
Tabela 55 – Resultados das análises do parâmetro Prata (Ag) para as 6 séries amostrais.....pg. 137
Tabela 56 – Resultados das análises do parâmetro Cobalto (Co) para as 6 séries amostrais.....pg. 138
Tabela 57 – Resultados das análises do parâmetro Lítio (Li) para as 6 séries amostrais.....pg. 138
Tabela 58 – Resultados das análises do parâmetro Bário (Ba) para as 6 séries amostrais.....pg. 139
Tabela 59 – Resultados das análises do parâmetro Alumínio (Al) para as 6 séries amostrais.....pg. 139
Tabela 60 - Variáveis de qualidade metálicas e seus VMP's comparados aos valores médios, mínimos e máximos obtidos para as águas pluviais.....pg. 141
Tabela 61 - Eficiência de remoção de metais para o SAP do Lote Experimental Peri-Urbano.....pg. 141
Tabela 62 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para Sólidos Totais (mg/L) em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 1 (P1), com seus respectivos índices de precipitação.....pg. 147
Tabela 63 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para Sólidos Totais (mg/L) em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 3 (P3), com seus respectivos índices de precipitação.....pg. 147

Tabela 64 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para Sólidos Totais (mg/L) em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 5 (P5), com seus respectivos índices de precipitação.....pg. 148
Tabela 65 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para Turbidez em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura.....pg. 149
Tabela 66 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para a Turbidez (NTU) em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 1 (P1), com seus respectivos índices de precipitação.....pg. 151
Tabela 67 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para Turbidez (NTU) em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 3 (P3), com seus respectivos índices de precipitação.....pg. 151
Tabela 68 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para Turbidez (NTU) em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 5 (P5), com seus respectivos índices de precipitação.....pg. 152
Tabela 69 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para Condutividade (µS/cm) em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 1 (P1).....pg. 154
Tabela 70 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para Condutividade (µS/cm) em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 3 (P3).....pg. 155
Tabela 71 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para Condutividade (µS/cm) em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 5 (P5).....pg. 155
Tabela 72 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para DQO em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 1 (P1).....pg. 157
Tabela 73 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para DQO em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 3 (P3).....pg. 157
Tabela 74 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para DQO em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 5 (P5).....pg. 158
Tabela 75 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para DBO (mg/L) em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 1 (P1).....pg. 160
Tabela 76 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para DBO (mg/L) em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 3 (P3).....pg. 160
Tabela 77 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para DBO (mg/L) em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 5 (P5).....pg. 161
Tabela 78 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para Coliformes Totais em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 1 (P1).....pg. 163
Tabela 79 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para Coliformes Totais em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 3 (P3).....pg. 163
Tabela 80 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para Coliformes Totais em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 5 (P5).....pg. 164
Tabela 81 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para a Cor em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 1 (P1).....pg. 166
Tabela 82 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para a Cor em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 3 (P3).....pg. 166
Tabela 83 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para a Cor em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 5 (P5).....pg. 167
Tabela 84 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para *E. coli* em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 1 (P1).....pg. 169

Tabela 85 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para E. coli em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 3 (P3).....pg. 169
Tabela 86 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para E. coli em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 5 (P5).....pg. 170
Tabela 87 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para Dureza Total em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 1 (P1).....pg. 172
Tabela 88 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para Dureza Total em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 3 (P3).....pg. 172
Tabela 89 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para Dureza Total em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 5 (P5).....pg. 173
Tabela 90 - Variáveis de qualidade e seus VMP's, comparados aos valores médios, mínimos e máximos obtidos para as águas pluviais.....pg. 175
Tabela 91 - Variáveis de qualidade DQO e DBO, com suas cargas poluentes e eficiências de retenção/remoção nas 6 séries amostrais das águas pluviais.....pg. 179
Tabela 92 - Variáveis de qualidade sólidos totais e NTK, com suas cargas poluentes e eficiências de retenção/remoção nas 6 séries amostrais das águas pluviais.....pg. 179
Tabela 93 - Variáveis de qualidade nitrogênio amoniacal e nitrogênio nitrato, com suas cargas poluentes e eficiências de retenção/remoção nas 6 séries amostrais das águas pluviais.....pg. 180
Tabela 94 - Variáveis de qualidade nitrogênio nitrato e fosfato total, com suas cargas poluentes e eficiências de retenção/remoção nas 6 séries amostrais das águas pluviais.....pg. 180
Tabela 95 - Potencial de armazenamento das águas pluviais para o SAP do Lote Experimental Peri-Urbano.....pg. 181
Tabela 96 - Resultados dos ensaios conjuntos ultravioleta – peróxido de hidrogênio para a desinfecção de águas pluviais.....pg. 187
Tabela 97 - Resultados dos ensaios conjuntos ultravioleta – peróxido de hidrogênio para a desinfecção de águas pluviais (continuação).....pg. 188
Tabela 98 – Resultados das variáveis físico-químicas e biológicas analisadas para a fossa séptica biodigestora (FSB) do lote experimental peri-urbano de São Carlos, Brasil – 1/3.....pg. 192
Tabela 99 – Resultados das variáveis físico-químicas e biológicas analisadas para a fossa séptica biodigestora (FSB) do lote experimental peri-urbano de São Carlos, Brasil – 2/3.....pg. 193
Tabela 100 – Resultados das variáveis físico-químicas e biológicas analisadas para a fossa séptica biodigestora (FSB) do lote experimental peri-urbano de São Carlos, Brasil – 3/3.....pg. 194
Tabela 101 – Valores de potencial hidrogeniônico (pH) à entrada e saída da FSB do lote experimental peri-urbano de São Carlos.....pg. 196
Tabela 102 – Valores mínimos, máximos, médios e somatórios para os sólidos na entrada da fossa séptica biodigestora (valores em mg/L).....pg. 198
Tabela 103 – Valores mínimos, máximos, médios, somatórios, eficiências de remoção e seus intervalos para os sólidos na saída da fossa séptica biodigestora (valores em mg/L).....pg. 198
Tabela 104 – Valores obtidos para a relação SDV/STV à entrada e saída da fossa séptica biodigestora.....pg. 202

Tabela 105 – Valores de DBO à entrada e à saída da Fossa Séptica Biodigestora (FSB) Modelo EMBRAPA, com médias, máximos e mínimos, e suas respectivas eficiências de remoção.....pg. 207
Tabela 106 – Valores de DQO à Entrada e à Saída da Fossa Séptica Biodigestora (FSB) Modelo EMBRAPA, com médias, máximos e mínimos, e respectivas eficiências de remoção.....pg. 208
Tabela 107 – Relações DBO/DQO e DQO/DBO para o esgoto sanitário à entrada e à saída da fossa séptica biodigestora.....pg. 211
Tabela 108 – Composição elementar das células bacterianas (peso seco).....pg. 213
Tabela 109 – Relações DBO:N:P e DQO:N:P para a FSB.....pg. 215
Tabela 110 – Valores de pH, temperatura e OD limitantes para a nitrificação (CARVALHO JUNIOR, 2008).....pg. 216
Tabela 111 – Composição típica do esgoto sanitário bruto para as frações nitrogenadas e fósforo (baseado em METCALF AND EDDY, 2003).....pg. 216
Tabela 112 – Percentuais de remoção de Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) e Nitrogênio Amoniacal (Namon.) à entrada e saída da FSB, confrontados com teores de oxigênio dissolvido (OD).....pg. 216
Tabela 113 - Percentuais de redução de Nitrogênio Nitrato ($N–NO_3^-$) e Nitrogênio Nitrito ($N- NO_2^-$) para a FSB.....pg. 217
Tabela 114 - Resumo da série nitrogenada analisada para a FSB, com seus valores mínimos, máximos e médias.....pg. 222
Tabela 115 - Valores de fosfato à entrada e saída da FSB para cada data de amostragem, com seus mínimos, máximos e médias.....pg. 223
Tabela 116 – Eficiências percentuais de remoção de fosfato para a FSB para cada data de amostragem.....pg. 223
Tabela 117 - Valores de coliformes totais à entrada e saída da FSB para cada data de amostragem, com seus mínimos, máximos e médias.....pg. 226
Tabela 118- Valores de coliformes fecais à entrada e saída da FSB para cada data de amostragem, com seus mínimos, máximos e médias.....pg. 226
Tabela 119 – Eficiências percentuais de remoção de coliformes totais para a FSB para cada data de amostragem, com seus mínimos, máximos e médias.....pg. 226
Tabela 120 – Eficiências percentuais de remoção de coliformes fecais para a FSB para cada data de amostragem, com seus mínimos, máximos e médias.....pg. 226
Tabela 121 - Valores de turbidez à entrada e saída da FSB para cada data de amostragem, com seus mínimos, máximos e médias.....pg. 229
Tabela 122 – Eficiências percentuais de remoção de turbidez para a FSB para cada data de amostragem, com seus mínimos, máximos e médias.....pg. 230
Tabela 123 – Variáveis físico-químicas e biológicas analisadas para a fossa séptica biodigestora do Lote Experimental Peri-Urbano de São Carlos, Brasil, e seus Valores Máximos Permitidos (VMP's) de acordo com normas e recomendações nacionais e internacionais.....pg. 232
Tabela 124 - Alcances e limitações para o modelo de gestão integrada de águas urbanas em escala de lote residencial (**SiDRI**).....pg. 235

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
APHA	American Public Health Association
BMP	Biochemical Methane Potential (Potencial Bioquímico de Metano)
CEPOF	Centro de Estudos em Ótica e Fotônica
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CVL	Cobertura Verde Leve
COLI FEC	Coliformes fecais
CF	Coliformes fecais
COLI TOT	Coliformes totais
CT	Coliformes totais
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DNA	ácido desoxirribonucleico
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DBO_5:N:P	relação DBO_5 – nitrogênio - fósforo
DQO:N:P	relação DQO – nitrogênio - fósforo
DQO:N	Relação DQO:Nitrogênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias
EDTA	etileno diamino tetra acetato
EPA	Environmental Protection Agency
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
FSB	fossa séptica biodigestora
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFSC	Instituto de Física de São Carlos
ISTO	Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas
LAEG	Laboratório de Apoio ao Ensino de Graduação
LED's	Light Emitting Diodes – Diodo Emissor de Luz
LED-DUV	Light Emitting Diode – Deep Ultraviolet ou Diodo Emissor de Luz – Ultravioleta Profundo
MAP	monoamônio-fosfato
MS	Ministério da Saúde
N.A.	Não analisado
NBR	Norma Brasileira (ABNT)
N.D.	Não detectado
NIBH	Núcleo Integrado de Bacias Hidrográficas
NMP	Número mais provável
NTK	Nitrogênio Total Kjeldhal
OD	Oxigênio dissolvido
OMS	Organização Mundial de Saúde
OPAS	Organização Panamericana de Saúde

PAH's	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, ou Polynuclear Aromatic Hydrocarbons - hidrocarbonetos aromáticos policíclicos ou hidrocarbonetos aromáticos polinucleares
PCB's	Polychlorinated Biphenyls - Bifenilas Policloradas
PDDU	Plano Diretor de Drenagem Urbana
PEAD	polietileno de alta densidade
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
PROSAB	Programa de Saneamento Básico
PVC	policloreto de vinila
RUA	Racionalização do Uso da Água
SAP	Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais
SiDRI	Sistema de Drenagem e Reúso 'Inteligente'
ST	Sólidos Totais
STF	Sólidos Totais Fixos
STV	Sólidos Totais Voláteis
SST	Sólidos Suspensos Totais
SSF	Sólidos Suspensos Fixos
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SDF	Sólidos Dissolvidos Fixos
SDV	Sólidos Dissolvidos Voláteis
TDH	Tempo de detenção hidráulica
TTP	Telhado Tetra Pak
UFC	Unidades Formadoras de Colônias
USEPA	United States Environmental Protection Agency
UV	Radiação Ultravioleta
VMP	valor máximo permitido
WHO	World Health Organization

LISTA DE SÍMBOLOS

pH	potencial hidrogeniônico ou concentração hidrogeniônica
Zn	Zinco
Fe	Ferro
Fe^{+2}	Ferro no estado oxidado (ferroso)
Mn	Manganês
Mn^{+2}	Manganês no estado oxidado (manganoso)
Pb	Chumbo
Cd	Cádmio
Cu	Cobre
Cr	Cromo
Ni	Níquel

Hg	Mercúrio
Ba	Bário
Al	Alumínio
Ag	Prata
S	Enxofre
P	Fósforo
Co	Cobalto
Cu	Cobre
NH_4^+	Íon Amônio
NH_3	amônia não ionizada
CO_2	Dióxido de Carbono
CH_4	Metano
H_2S	Sulfeto de Hidrogênio
CH_4	Metano
CO_2	Dióxido de Carbono
O_2	Oxigênio
Cl^-	ânion cloreto
N_2	Nitrogênio gasoso
NH_2	Nitrogênio Orgânico
NO_2^-	Nitrogênio Nitrito
$N\text{-}NO_2^-$	nitrogênio nitrito
NO_3^-	Nitrogênio Nitrato
$N\text{-}NO_3^-$	nitrogênio nitrato
NH_4^+	Nitrogênio Amoniacal
$N\text{-}NH_3$	nitrogênio amoniacal
NH_4^+ - N	nitrogênio amoniacal
NH_3	Amônia livre
HPO_4^- - P	fósforo-ortofosfato
$CaCO_3$	carbonato de cálcio
CH_3CHNH_2COOH	aminoácido alanina
SiO_2	óxido de silício
C/N	relação ou razão carbono-nitrogênio
OD	Oxigênio Dissolvido
PtCo	Unidade de cor platina-cobalto
g	grama
kg	quilograma
mg/L	miligrama por litro
L/d	litro/dia
Kg/m^3	quilograma por metro cúbico
kg/d	quilograma por dia
kg/ m^3/d	quilograma por metro cúbico por dia
mgP/L	miligramas de fósforo por litro
m^2	metro quadrado
m^3	metro cúbico
m^3/h	metro cúbico por hora
mm/min	milímetro por minuto

mm/h	milímetro por hora
mm	milímetro
mm^2	milímetro quadrado
l/hab. dia	litros por habitante por dia
$g.hab^{-1}.dia^{-1}$	gramas por habitante por dia
L/m^2	litros por metro quadrado
µg/L	microgramas por litro
mW	miliwatts
mA	miliampére
nm	nanômetro
atm	atmosfera
HP	Horse Power ou CV Cavalo Vapor
h	altura
uH	unidade Hazen – unidade de cor
uT	unidade de turbidez (o mesmo que NTU)
µS	microsiemens por centímetro
NTU	Nephelometric Turbidity Unit (Unidade Nefelométrica de Turbidez)
θ_c	tempo de retenção celular
θ_h	tempo de detenção hidráulica
Σ	somatória (o)
Me	média
Mi	mínimo
Ma	máximo
PA	ponto de amostragem
SA	Série Amostral
$\mathbf{P_t}$	Precipitação Total
$\mathbf{I_{máx}}$	Intensidade Máxima Instantânea
IPA 7 d	Índice de Precipitação Acumulada para 7 dias
IPA 28 d	Índice de Precipitação Acumulada para 28 dias
$\mathbf{V_p}$	volume de precipitação diária, em m3
C	coeficiente de escoamento superficial direto ou coeficiente de runoff (adimensional)
A	área de captação
P	precipitação diária, ou **Pt** (precipitação diária total), em mm
C'	Carga do poluente
X	Concentração do poluente

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo principal o desenvolvimento de contribuições de natureza técnica para uma proposta de política pública visando a criação de um novo modelo de gestão de águas urbanas, por meio do desenvolvimento e implantação, em escala de lote residencial, de um sistema de gestão integrada da drenagem seletiva e aproveitamento de águas pluviais, e reúso de esgotos sanitários tratados, denominado "Sistema de Drenagem e Reúso 'Inteligente'" (**SiDRI**). A pesquisa foi realizada em um sítio experimental peri- urbano, chamado de Lote Experimental Peri-Urbano, provido de cobertura de telhas de zinco, e os dados resultantes comparados com dados gerados em estudo prévio realizado em outros dois sítios experimentais urbanos, a saber: Laboratórios de Apoio ao Ensino de Graduação-1 e 2 (LAEG's-1 e 2), na área 1 do Campus-1 da USP de São Carlos, respectivamente providos de: telhas prensadas à base de embalagens longa vida recicladas (LAEG -1); e Cobertura Verde Leve – CVL (LAEG-2). Para o manejo das águas urbanas em escala de lote residencial foram considerados dois tipos principais de contribuições: 1) Águas advindas de esgotamento sanitário, tratadas em uma fossa séptica biodigestora (FSB) modelo EMBRAPA, e 2) Águas pluviais, captadas e tratadas em um Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais (SAP), cuja concepção básica foi a mesma para os três sítios experimentais. Foram realizadas para o Telhado de Zinco seis séries amostrais consecutivas, para seis eventos de precipitação, em sete pontos de amostragem do SAP, e analisadas 38 (trinta e oito) variáveis de qualidade de água físico-químicas e biológicas. A análise dos resultados, comparada aos demais telhados, sugeriu, face à legislação pertinente, um aproveitamento predominantemente para fins não-potáveis, e desde que mediante prévia desinfecção das águas pluviais. Para a FSB, 15 campanhas de amostragem foram realizadas alternadamente, cujos resultados apontaram uma possibilidade ainda limitada de reuso para o esgoto tratado. Apesar dos resultados do presente estudo indicarem que o novo modelo de gestão de águas urbanas requer adequações, oferecem uma possibilidade de solução para desafios antigos e atuais na gestão das águas urbanas, tendo fornecido elementos para a configuração de uma nova política pública aqui chamada de "Política Nacional de Gestão de Águas Urbanas", a qual apresenta interfaces com políticas anteriores, como a Lei das Águas.

PALAVRAS CHAVE*:* Manejo de águas pluviais; águas urbanas; reuso de água; bacia hidrográfica urbana; escala de lote domiciliar; saneamento sustentável.

ABSTRACT

This research aimed as its main goal the development of contributions to a proposal for a public policy to the creation of a new urban waters management model, through the development and establishment, at urban lot scale, of an integrated selective drainage system and rainwater use, and reuse of treated domestic sewage, named "Smart Drainage and Reuse System" (**SD&RS**). The research was accomplished at an experimental peri-urban site, named Peri-Urban Experimental Lot, provided by a cover of zinc roof tiles, and its resulting data compared to data generated on a previous study accomplished at another two experimental sites, namely: Undergraduate Learning Support Laboratory-1 and 2 (LAEG's-1 and 2), respectively provided of: compressed tiles made of recycled long-life milk packaging (LAEG-1); and extensive green roof (LAEG-2). For handling of urban waters in residential lot scale, two main types of contribution were considered: 1) Waters from sanitary sewers, treated in a Septic Cesspool Biodigester (SCB) EMBRAPA Model, and 2) Rainwater, collected and treated in a Rainwater Use System (RUS), whose basic conception was the same for the three experimental sites. For the zinc roof, 6 (six) successive sampling series were performed, for 6 (six) rainfall events, in 7 (seven) sampling points of the Rainwater Use System (RUS), and 38 (thirty-eight) physicochemical and biological water quality variables were analysed. The results analysis, compared to the other roofs, suggested, according to the related regulations, a predominant use to non-potable purposes, and since previous rainwater disinfection. For the SCB, 15 (fifteen) alternated sampling series were performed, whose results indicated a still limitated reuse possibility for sanitary sewage. Despite of the results of the present study indicated that the new urban waters management model requires suitability, they offer a possibility of solution to old and actual challenges in urban waters management, since they provided elements for the design of a new public policy named here "Urban Waters Management Federal Policy", which presents interfaces with previous policies, like the Water Law.

KEYWORDS: Rainwater management; urban waters; water reuse; urban watershed; urban lot scale; sustainable sanitation.

1_INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Os recursos hídricos são considerados bem comum e, por isso, devem ser geridos de forma integrada, garantindo assim aproveitamento otimizado com mínimo de conflitos.

Com o objetivo de preservar os recursos naturais, a saúde dos ambientes aquáticos e a saúde humana, bem como atender às normas e legislações sobre padrões de emissão de efluentes, deve-se aliar a prevenção da poluição ou a minimização da geração de resíduos na fonte ao desenvolvimento de tecnologias avançadas para o seu tratamento. O esgoto sanitário não deve ser considerado somente como rejeito a ser desprezado, mas um bem reutilizável, dotado de valor econômico, após tratamento adequado, o qual envolve, entre outros processos, a biodigestão anaeróbia e a desinfecção (FERREIRA, 2005). Também as águas pluviais coletadas em lotes residenciais, devidamente armazenadas e tratadas de modo conveniente e adequado, podem servir para aproveitamento em diversas finalidades, como a rega de jardins, descargas em vasos sanitários, lavagem de pisos e calçadas, entre outras (GALAVOTI *et al*., 2007).

Já há algum tempo as pesquisas que procuram observar as conseqüências da ocupação do espaço pelo homem associam a urbanização à poluição dos corpos d'água devido aos esgotos domésticos, não tratados ou parcialmente tratados, além dos despejos industriais. Mais recentemente, além destes, percebeu-se que parte dessa poluição gerada em áreas urbanas tem origem também no escoamento superficial das águas de chuva sobre áreas impermeáveis e em redes de drenagem (BOLLMANN & MARQUES, 2006).

A qualidade de água de mananciais que compõem uma bacia hidrográfica está relacionada com o uso do solo na bacia e com o grau de controle sobre as fontes de poluição. O controle das fontes de poluição se dá basicamente através do tratamento de águas residuárias sanitárias e industriais. Existe tecnologia disponível e sua implantação depende da disponibilidade financeira para a implantação de obras de engenharia (BENETTI & BIDONE, 2001). Por outro lado, um enfoque exploratório sobre os aspectos que dizem respeito ao controle de poluição sob uma perspectiva descentralizadora, pode constituir-se em uma estratégia alternativa do ponto de vista sócio-ambiental (GALAVOTI *et al*., 2007). A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei n° 9433, de 08 de Janeiro de 1997) prevê, em seus fundamentos (Art. 1º, Inciso VI), que "a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades". Tal enfoque poderia visar medidas descentralizadoras na escala reduzida, por

exemplo, de um lote urbano. Apresentar-se-ia, assim, uma abordagem preventiva à preservação dos recursos hídricos da bacia urbana na qual o lote se insere, considerando também que as tecnologias de saneamento possam ser adaptadas a tais finalidades sócio-ambientais, em termos de saúde humana e ambiental, segurança do usuário do dispositivo e/ou sistema, e economia (GALAVOTI *et al*., 2007c).

Da mesma forma, a Lei Nº 11.445, de 5 de Janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, em seu Artigo 2º, institui que os serviços públicos de saneamento básico serão prestados com base em determinados princípios fundamentais, entre eles: disponibilidade, em todas as áreas urbanas, de serviços de drenagem e de manejo das águas pluviais adequados à saúde pública e à segurança da vida e do patrimônio público e privado (Inciso IV); adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais (Inciso V); eficiência e sustentabilidade econômica (VII); utilização de tecnologias apropriadas, considerando a capacidade de pagamento dos usuários e a adoção de soluções graduais e progressivas (Inciso VIII); e integração das infra-estruturas e serviços [de saneamento básico] com a gestão eficiente dos recursos hídricos (Inciso XII) (GALAVOTI *et al.*, 2007; GALAVOTI *et al*., 2007b). A visão integradora entre recursos hídricos e saneamento, proporcionada pela Lei Nº 11.445, especificamente através de seu Inciso XII, alia aspectos importantes e pertinentes ao manejo sustentável de bacias hidrográficas situadas em áreas urbanas (GALAVOTI *et al*., 2007b). Dentro do escopo em que foi desenvolvida esta pesquisa (Figura 1), visa à mitigação de impactos decorrentes do lançamento de esgotos sanitários e águas pluviais nas referidas bacias, pelo desenvolvimento e implantação de medidas descentralizadoras de gestão sustentável de recursos hídricos voltadas a esses aspectos, contemplando medidas compensatórias associadas a incentivos ambientais e incentivos ao saneamento, de modo a estimular sua adoção, e está baseada nos requisitos da atual legislação brasileira de saneamento e recursos hídricos, a qual passou a reunir aspectos pertinentes ao abastecimento de água, à drenagem pluvial, ao esgotamento sanitário e ao manejo de resíduos sólidos.

2_OBJETIVO GERAL

A pesquisa teve como objetivo principal o desenvolvimento de contribuições sob o ponto de vista técnico para uma proposta de política pública para a criação de um novo modelo de gestão de águas urbanas, através de seu gerenciamento em escala de lote residencial. Este

modelo consiste no desenvolvimento e implantação de um sistema de gestão integrada da drenagem seletiva e aproveitamento de águas pluviais e reuso de esgotos sanitários tratados, denominado “Sistema de Drenagem e Reuso ‘Inteligente’” (**SiDRI**). A adoção desta política pública visaria contemplar medidas compensatórias associadas a incentivos ambientais e incentivos ao saneamento, com base nos requisitos da gestão descentralizada dos recursos hídricos, estabelecidos através da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei no 9433, de 08.01.1997, Art. 1º, Inciso VI), bem como através da da Lei Nº 11.445, de 05.01.2007, que estipula diretrizes nacionais para o Saneamento Básico.

3_OBJETIVOS ESPECÍFICOS

3.1_ Avaliar a eficiência física, química e biológica do “Sistema de Drenagem e Reuso ‘Inteligente’” (**SiDRI**) e sua aplicabilidade em escala de lote residencial peri-urbano, buscando identificar possíveis melhorias posteriores à sua implantação;

3.2_ Desenvolver experimentos em escala real para um sítio experimental peri-urbano (cobertura de telhas de zinco) e elaborar estudo comparativo deste sítio com outros dois sítios experimentais (1 - Cobertura de telhas prensadas à base de embalagens longa vida recicladas, aqui denominada de Telhado Tetra Pak, e: 2 - Cobertura Verde Leve – CVL), para a avaliação da influência dos três diferentes tipos de cobertura sobre a qualidade e quantidade de águas pluviais drenadas;

3.3_ Com base nos resultados obtidos para a avaliação física, química e biológica do **SiDRI,** nas intervenções experimentais já realizadas para os três sítios experimentais e nas tecnologias conhecidas atualmente disponíveis, propor melhorias e/ou alternativas de sistemas e/ou dispositivos de tratamento *in loco* para o esgoto sanitário e águas pluviais gerados em lotes urbanos, considerando sua viabilidade técnico-econômica e sócio-ambiental, bem como aspectos de saúde humana e ambiental e segurança do usuário, entre estes:

3.3.1 _ Desenvolvimento de ensaios bacteriológicos para a elaboração de protótipo de um sistema de desinfecção de águas pluviais por radiação ultravioleta através de LED’s (*Light Emitting Diodes* – Diodo Emissor de Luz), pela empresa IntenseUV de São Carlos, parceira do NIBH – Núcleo Integrado de Bacias Hidrográficas, da USP São Carlos, visando sua incorporação ao “Sistema de Drenagem e Reuso ‘Inteligente’” (**SiDRI**).

PROPOSTA DE UM MODELO DE GESTÃO INTEGRADA DE ÁGUAS URBANAS EM ESCALA DE LOTE RESIDENCIAL: ALCANCES E LIMITAÇÕES

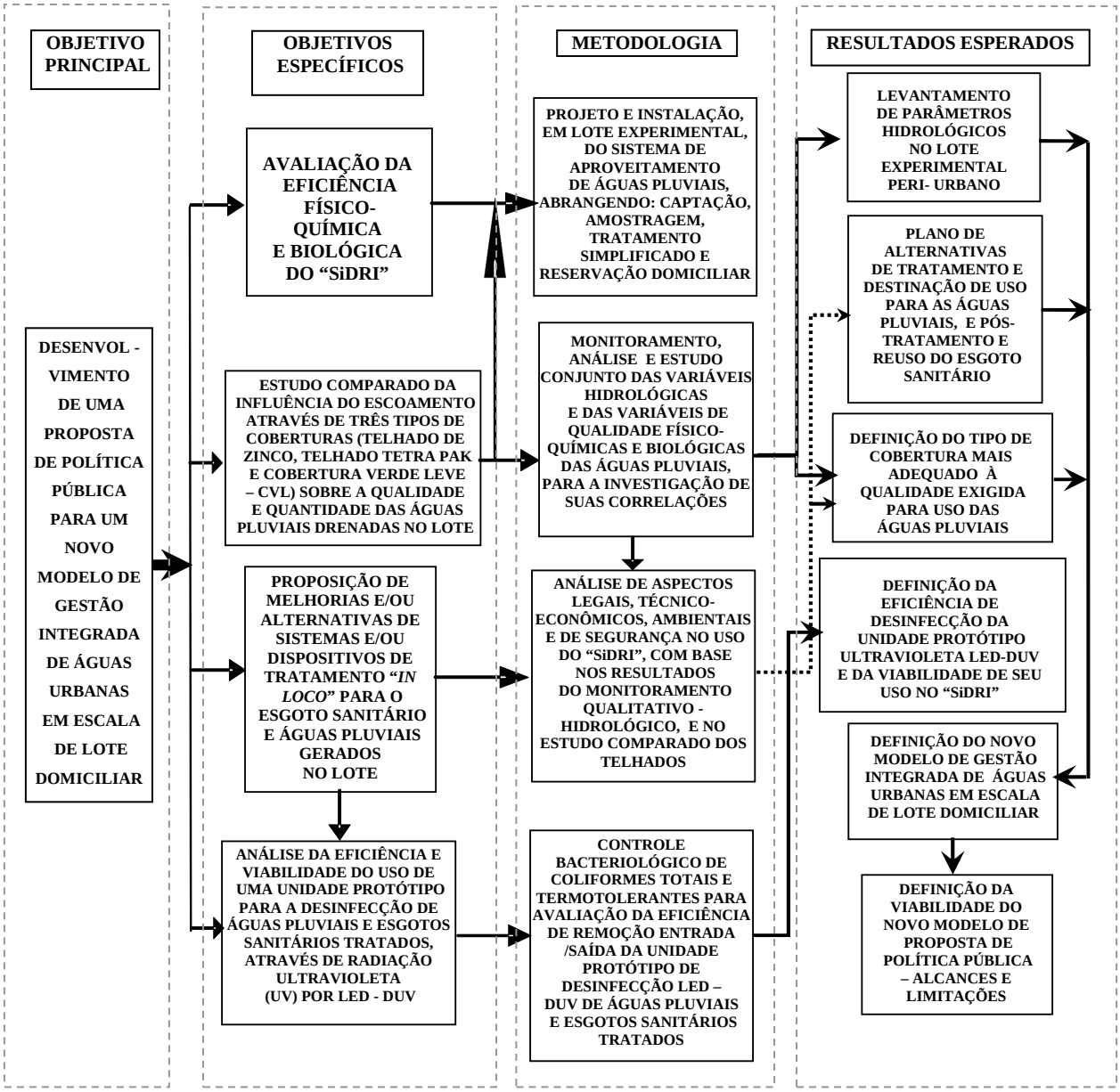


Figura 1 – Síntese do plano de pesquisa, relacionando objetivos, metodologias e resultados esperados.

4_REVISÃO DE LITERATURA

4.1_Contexto Geral

De acordo com MENDIONDO, MARTINS & BERTONI (2002), o século XXI é marcado pelo conflito entre a oferta e a demanda de água doce na escala mundial. Para o ano 2025 espera-se que mais de 4 bilhões de pessoas tenham problemas de acesso à água doce no mundo. Estima-se que o valor monetário da água doce mundial ronda os US$ 8.000 bilhões, dos quais US$ 300 bilhões são comprometidos a cada ano pela incerteza inerente da mudança climática. Com isso, planejar um desenvolvimento sustentável na escala global apresenta desafios sociais, econômicos e ambientais.

O aproveitamento auto-sustentado de recursos hídricos de uma região requer estudos de sua disponibilidade no espaço e no tempo, das demandas potenciais para usos múltiplos previstos, de projetos e construção de obras de controle e utilização de estudos para alocação de custos e benefícios entre os usos, e para determinação de uma estratégia ótima de operação (CHAUDHRY, 2000).

O desenvolvimento urbano está freqüentemente associado com a substituição de ambientes naturais ou seminaturais (solo, vegetação, recursos hídricos) por ambientes construídos e com o direcionamento das águas pluviais e dos esgotos para os corpos d'água adjacentes aos canais de drenagem (HAUGHTON & HUNTER, 1994). Como conseqüência, o movimento de águas superficiais aumenta, diminuindo assim, a recarga dos aqüíferos.

Ainda de acordo com TUCCI (2001), o desenvolvimento urbano brasileiro tem produzido aumento significativo na freqüência das inundações, na produção de sedimentos e na deterioração da qualidade das águas. O aumento da produção de sedimentos da bacia hidrográfica é significativo, devido às construções, limpeza de terrenos para novos loteamentos, construção de ruas, avenidas e rodovias, entre outras causas.

À medida que a cidade se urbaniza, em geral, ocorrem os seguintes impactos: 1 – aumento das vazões máximas (em até sete vezes, de acordo com LEOPOLD, 1968, citado em TUCCI, 2001) devido ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais e impermeabilização das superfícies; 2 – aumento da produção de sedimentos devido à desproteção das superfícies e à produção de resíduos sólidos (lixo); 3 – deterioração da qualidade da água, devido à lavagem das ruas, transporte de material sólido e as ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial. Esses processos estão fortemente interligados quanto

aos impactos indesejáveis sobre a sociedade (TUCCI, 2001, 2002), mas em especial este último ocupa papel preponderante no contexto desta pesquisa, visto que o transporte de matéria sólida advinda do escoamento de águas pluviais sobre coberturas impermeáveis influencia grandemente a qualidade da água de armazenamento e o uso a que se destina.

Para o recurso hídrico, os sólidos podem causar danos aos peixes e à vida aquática. Eles podem se sedimentar no leito dos rios destruindo organismos que fornecem alimentos, ou também danificar os leitos de desova de peixes. Os sólidos podem reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promovendo decomposição anaeróbia. Altos teores de sais minerais, particularmente sulfato e cloreto, estão associados à tendência de corrosão em sistemas de distribuição, além de conferir sabor às águas (CETESB, 2009).

Além disso, no Brasil, o desenvolvimento urbano tem produzido um impacto significativo na infraestrutura de recursos hídricos. Os mecanismos de ação ordenada que buscam equilibrar o desenvolvimento com as condições ambientais das cidades são os Planos Diretores de Drenagem Urbana (PDDU). A política de PDDU's usa critérios e princípios básicos de controle, de estratégias e de interfaces com outros planos, por exemplo, de esgotos sanitários, resíduos sólidos e de desenvolvimento (TUCCI, 2002).

Alguns exemplos de degradação de bacias hidrográficas são: desmatamentos para fins de agricultura; urbanização; obras de engenharia para construção de estradas, ferrovias ou represas; mineração a céu aberto; superexploração da vegetação; atividades com uso excessivo de defensivos agrícolas; falta de práticas conservacionistas do solo; atividades industriais/bioindustriais que poluem o solo (DIAS & GRIFFITH, 1998). Anualmente milhões de toneladas de solo são transportadas pela erosão até os cursos d'água impactando áreas rurais e urbanas, aumentando a magnitude das inundações.

Em função do contínuo processo de substituição da cobertura florestal natural no Estado de São Paulo por áreas agrícolas e pelo crescimento da urbanização, novas estratégias estão sendo propostas para estabelecer uma política viável de recuperação de bacias hidrográficas (BENINI, MARTIOLI, TONISSI & MENDIONDO, 2003).

O governo pode estimular ações voltadas à conservação dos recursos hídricos em bacias urbanas através de medidas de incentivo ou punição, conforme o caso, para os usuários destes recursos, ações essas que contemplem a diminuição do escoamento em caso de eventos de inundações, através da implementação espontânea ou subsidiada de sistemas de armazenamento de águas pluviais urbanas, associadas a medidas de natureza econômica, como a instituição de incentivos fiscais através de isenção ou diminuição de impostos, para

os moradores que disponham de tais sistemas. Os mesmos instrumentos anteriormente mencionados poderão ser utilizados para a avaliação da efetividade de tais medidas (controle do consumo de água de abastecimento público dos moradores da área de estudo, e/ou controle da vazão de esgotos sanitários gerada por esta mesma comunidade).

4.2_Medidas Descentralizadoras Aplicadas às Águas Urbanas

4.2.1_ Medidas Descentralizadoras Aplicadas à Gestão das Águas Pluviais Urbanas

Nos anos de 2004 e 2005, cerca de 1.200 municípios sofreram inundações. O primeiro levantamento nacional feito sobre o tema mostrou que 78% dos municípios têm serviço de drenagem urbana, sendo que destes 85% dispõem de rede subterrânea para captação e transporte das águas de chuva. Cerca de 22% dessas redes recebe também esgoto (OPAS/OMS, 2006).

Tradicionalmente, o controle de fontes de poluição difusa tem sido focado na agricultura, atividades florestais, mineração, construção, alimentação animal, escoamento urbano, e estradas**.** A poluição hídrica induzida por escoamento pluvial a partir de diferentes materiais de cobertura é considerada uma fonte difusa, e alguns poucos estudos têm sido conduzidos nesta área (CHANG *et al*., 2004).

Além disso, o escoamento de telhados é conhecido como uma fonte potencial de poluição difusa devido aos compostos contidos nos materiais que compõe os telhados e materiais depositados nas suas superfícies, os quais podem ser lixiviados quando do escoamento (BALLO *et al*., 2009).

A urbanização crescente e as atividades humanas diárias são uma grande fonte de poluentes, que afetam a qualidade das águas pluviais decorrentes do escoamento superficial urbano. De fato, diversos estudos têm reportado que o escoamento superficial de águas pluviais contém nitrogênio em concentrações que excedem os padrões de qualidade das águas superficiais (BALLO *et al*., 2009).

De acordo com FENDRICH & OLYNIK (2002), a água é classificada, legalmente, em três categorias: água potável (água do abastecimento público); água imprópria ao consumo (águas pluviais, águas cinzentas, etc.) e águas residuárias. As águas pluviais, utilizadas em banheiros e piscinas públicas, são limitadas, por força das leis e regulamentos da Saúde Pública. As águas para as piscinas e banheiros públicos devem ser águas potáveis.

Se as águas pluviais forem purificadas e sua qualidade atender aos padrões da lei, elas serão potáveis.

Entretanto, em vez de serem reservadas as águas pluviais, continuam sendo lançadas nas redes de águas pluviais. Em Tóquio (FENDRICH & OLYNIK, 2002), por exemplo, as águas pluviais constituem um recurso natural muito importante. Para esse recurso potencial de água, é possível construir um grande número de “mini-reservatórios” de águas pluviais em áreas urbanas, algo que já vem sendo experimentado em escala de lote residencial, aliando ainda telhados gramados para retenção e execução de um planejamento de adução de água para consumo em um sistema independente do sistema de abastecimento público.

Com o intuito de conservar a qualidade dos recursos hídricos e considerando-se um sistema de gerenciamento integrado do sistema bacia hidrográfica/lote urbano em áreas urbanas, é importante o controle da vazão efluente de lotes, proveniente de eventos de precipitação. Tal controle contribui com o amortecimento das cheias em bacias urbanas, minimizando a incidência de inundações nas áreas de várzea que sofrem ocupação desordenada e, conseqüentemente, diminuindo os prejuízos causados por esse tipo de evento (GALAVOTI *et al*., 2007b).

Os resultados apresentados na literatura demonstram que a qualidade das águas pluviais não é melhor que o efluente de um sistema de tratamento secundário de esgotos domésticos, e depende de vários fatores: limpeza urbana e sua freqüência, intensidade da precipitação e sua distribuição temporal e espacial, da época do ano e do tipo de uso da área urbana (TUCCI, 1995, LYE, 2009; CHANG *et al.*, 2004; BALLO *et al.*, 2009; MOREIRA-NORDEMANN, 1997).

As águas pluviais constituem uma fonte alternativa de água que freqüentemente apresenta quantidades substanciais de contaminantes. Estudos demonstram que tais águas podem conter metais pesados em quantidades variáveis, porque decorrentes do escoamento sobre coberturas metálicas, os quais afetam significativamente os ecossistemas aquáticos. O fenômeno da urbanização tem provocado um aumento dramático da quantidade de áreas impermeáveis que contribuem para problemas como inundações, contaminação das águas de escoamento superficial e outros problemas envolvendo o gerenciamento destas águas (LYE, 2009).

Entre os metais, LYE (2009) menciona alguns que causam danos à saúde humana, entre eles: Alumínio – provoca danos ao sistema nervoso, decréscimo da formação óssea em crianças; Manganês – danos ao sistema nervoso, decréscimo da capacidade de aprendizado

em crianças; Cobre – danos ao fígado e rins, decréscimo do desenvolvimento fetal; Zinco – danos ao pâncreas e rins, anemia infantil; Chumbo – danos cerebrovasculares, anemia e danos cerebrais em crianças (LYE, 2009).

Dentre os principais poluentes, além dos metais pesados (HEIJERICK *et al.*, 2002), encontram-se a matéria orgânica, microrganismos, hidrocarbonetos provenientes de petróleo, produtos tóxicos como pesticidas e os poluentes do ar depositados sobre as superfícies urbanizadas.

A qualidade das águas de escoamento superficial constitui-se num fenômeno complexo. A concentração de poluentes é dependente de vários outros fatores, e, uma vez que o escoamento de águas superficiais é com freqüência direcionado aos corpos d'água, há também a possibilidade destas poderem afetar a qualidade das águas superficiais por constituírem-se em focos de poluição difusa.

Coberturas e telhados originam poluentes em concentrações que dependem da composição das águas pluviais, tipo, idade, grau de inclinação e localização dos telhados, e fatores meteorológicos (CHANG *et al*., 2004; WALLINDER *et al*., 2000; EVANS *et al*., 2006; WALLINDER *et al*., 2001). Esta poluição pode originar-se de precipitação, deposição seca, com forte influência do tempo de duração do período seco anterior à precipitação. Há também a possibilidade de ocorrência de lixiviação de certos compostos advindos do material que compõe as coberturas (FORSTER, 1999).

Ademais dos já citados, há outros fatores como os materiais componentes da cobertura sobre a qual se dá o escoamento pluvial e suas características químicas, rugosidade, presença de revestimento; configuração e grau de exposição do telhado; intensidade, duração e outras variáveis referentes à precipitação, bem como a estação do ano em que esta ocorre; e as propriedades químicas dos poluentes (FORSTER, 1996).

Outros tipos de poluentes como íons inorgânicos (POLKOWSKA *et al*., 2002), PAHs (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, ou Polynuclear Aromatic Hydrocarbons, a saber, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos ou hidrocarbonetos aromáticos polinucleares), PCBs (Polychlorinated Biphenyls, a saber, Bifenilas Policloradas), pesticidas, hidrocarbonetos (POLKOWSKA *et al.*, 2000; POLKOWSKA *et al.*, 2002), também podem ser encontrados em águas pluviais.

O estudo da qualidade das águas pluviais não apenas traz subsídios para o conhecimento das condições dos mananciais superficiais que recebem suas contribuições, mas serve também para prover informações acerca do estado da qualidade atmosférica.

Durante o período seco alguns poluentes atmosféricos são depositados na superfície dos telhados e são removidos pela precipitação. Uma vez que a análise de amostras de água de escoamento sobre telhados fornece informações acerca da qualidade do ar durante o período antecedente isento de precipitação, esta se torna uma maneira indireta de monitoramento da qualidade da atmosfera (TSAKOVSKI *et al*., 2009).

Em relação aos usos pretendidos para as águas pluviais coletadas, LYE *et al*.(2009) salientam que há evidência científica acumulada de que podem ser requeridos vários tratamentos e desinfecções previamente à liberação das mesmas tanto nos mananciais superficiais como para uma utilização mais direta por parte de usuários.

O escoamento das águas de chuva carrega materiais orgânicos e inorgânicos em suspensão ou solúveis aos mananciais, aumentando significativamente sua carga de poluentes. A origem destes poluentes é diversificada, e contribui para seu aparecimento a abrasão e o desgaste das vias públicas pelo tráfego veicular, o lixo acumulado nas ruas e calçadas, os resíduos orgânicos de pássaros e animais domésticos, as atividades de construção, resíduos de combustível, óleos e graxas automotivos, poluentes atmosféricos etc. (BOLLMANN & MARQUES, 2006; HUANG *et al*., 2007).

Dentre os principais poluentes citados encontram-se a matéria orgânica, microrganismos, os metais pesados, hidrocarbonetos provenientes de petróleo, produtos tóxicos como pesticidas e os poluentes do ar depositados sobre as superfícies urbanizadas. SARTOR *et al*. (1972) citados em WEEKS (1981) identificaram as principais fontes de poluição oriundas de superfícies impermeáveis. Estão incluídas as contaminações de materiais de pavimentação de vias, veículos automotores (vazamento de combustíveis, lubrificantes, fluídos hidráulicos, finas partículas do desgaste de pneus, forros quebrados, emissão de descarga, lama, ferrugem, componentes quebrados por vibrações ou impacto), vegetação (folhas, pólen, casca de árvores, galhos, sementes, frutas, gramíneas), lixo (materiais de embalagem, entulho de plantas, restos de comida, resíduos de animais e pássaros), poeira, areia, cascalho, produtos agrícolas e de petróleo. Acrescente-se a isso os sedimentos provenientes de locais em construção e os efluentes de sistemas sépticos defeituosos ou inoperantes. Além destes, a erosão de canais abertos de drenagem e diques, além de outros materiais depositados nos drenos podem ser significativamente aumentados pela urbanização (BOLLMANN & MARQUES, 2006; ATHANASIADIS, 2004; VAN METRE AND MAHLER, 2003; OWUSU-ASANTE, 2009; TSAKOVSKY *et al.*, 2009; PENNINGTON & WEBSTER-BROWN, 2008).

As Tabelas 1 a 3 apresentam a origem e ocorrência, além dos aspectos e/ou efeitos, tanto positivos como negativos, advindos da presença em águas pluviais, dos metais analisados neste estudo.

Tabela 1 – Origem/ocorrência e aspectos positivos/negativos da presença dos metais analisados neste estudo.

Metal	ORIGEM E/OU OCORRÊNCIA (*)	ASPECTOS E/OU EFEITOS POSITIVOS (*)	ASPECTOS E/OU EFEITOS NEGATIVOS (*)
Zinco (Zn)	Galvanoplastia e Sais de Cloreto, Sulfato e Cianeto, entre outros	Essencial ao crescimento e metabolismo humanos: a atividade da insulina e diversos compostos enzimáticos depende de sua presença	1- Concentrações acima de 5,0 mg/L conferem sabor e opalescência às águas alcalinas 2- Pode ser tóxico para peixes (precipitando a secreção da mucosa produzida pelas brânquias, causando morte por asfixia) e algas 3 - Sua toxidez em relação aos organismos aquáticos está relacionada principalmente às concentrações de oxigênio e dureza da água (**) 4 – Sua deficiência atrasa o crescimento em animais
Ferro (Fe)	Ocorrência de Ferro em estado reduzido (Fe^{+2}) é muito mais freqüente em águas subterrâneas do que nas águas superficiais, devido à presença de oxigênio nestas últimas, resultando em sua oxidação a ferro hidratado, muito menos solúvel	1 - A quantidade nutricional do ferro é da ordem de 1 a 2 mg/ dia, sempre que a absorção seja normal, pois, caso contrário, são maiores as suas necessidades 2 – Extremamente necessário na formação da hemoglobina sanguínea, proporcionando as trocas gasosas no organismo humano	1 - O ferro é objetável nos sistemas públicos de abastecimento de água, devido ao sabor que provoca e à sua propriedade de sujar os acessórios das canalizações, provocar manchas na roupa lavada e acumular depósitos no sistema de distribuição 2 - Concentrações de ferro menores que 0,3 mg/L são geralmente aceitáveis, pois não se manifestam manchas vermelhas e depósitos de óxido de ferro hidratados, razão principal pela qual se limita a concentração de ferro solúvel 3 – Modifica notavelmente o sabor de bebidas 4 - Alguns processos industriais, principalmente aqueles que utilizam água para branqueamento, são muito sensíveis às concentrações de ferro 5 – Necessidade da fixação de padrões está ligada mais a razões estéticas que sanitárias
Manganês (Mn)	Ocorrência conjunta com o ferro é comum em águas naturais, e no estado reduzido (Mn^{+2}) é mais freqüente nas águas subterrâneas do que nas águas superficiais, devido ao oxigênio presente nas águas superficiais, que oxida a forma menos solúvel do manganês hidratado	1 - Do ponto de vista sanitário, não há nenhuma informação que indique a que níveis o manganês é perigoso, quando ingerido 2 - O consumo diário de manganês, numa dieta normal, tem sido estimado em 10 mg/L 3 - Sabe-se que, pelo menos nos animais, o manganês é um nutriente essencial	1 - Causa prejuízos de ordem estética e econômica e efeitos fisiológicos adversos quando de seu consumo excessivo 2 - Uma dieta deficiente em manganês interfere com o crescimento e a formação dos ossos e do sangue, pelo menos nos animais 3 – Principal efeito tóxico advém da inalação de poeira ou fumos contendo o elemento
Chumbo (Pb)	Pequenos traços são encontrados nas águas naturais, sendo os despejos de origem industrial os incrementadores desse elemento nas águas	Não há efeitos positivos registrados	1 - Elemento tóxico e cumulativo, sua presença no organismo humano é prejudicial à saúde, ou mesmo letal, mesmo quando as exposições são breves 2 - O envenenamento pode resultar do acúmulo deste elemento no corpo em quantidades suficientes e por quaisquer fontes comuns: ar, água ou alimentos

(*) Fontes: BATTALHA & PARLATORE, 1993; DERÍSIO, 1992; CETESB, 2009.

Tabela 2 – Origem/ocorrência e aspectos positivos/negativos da presença dos metais analisados neste estudo (Continuação).

Metal	ORIGEM E/OU OCORRÊNCIA (*)	ASPECTOS E/OU EFEITOS POSITIVOS (*)	ASPECTOS E/OU EFEITOS NEGATIVOS (*)
Cádmio (Cd)	1 - A água potável apresenta baixas concentrações, geralmente entre 0,01 e 1 µg/L 2 - O Cádmio é liberado no ambiente por efluentes industriais, principalmente de galvanoplastias, produção de pigmentos, soldas, equipamentos eletrônicos, lubrificantes e acessórios fotográficos, bem como por poluição difusa causada por fertilizantes e poluição do ar local 3 - Pode ocorrer contaminação devido a presença de cádmio como impureza no zinco de tubulações galvanizadas, soldas e alguns acessórios metálicos 4 - É um metal que se acumula em organismos aquáticos, possibilitando sua entrada na cadeia alimentar	Não há efeitos positivos registrados	1 - Não apresenta nenhuma qualidade - pelo menos que se conheça - que o torne benéfico ou vital aos seres vivos, apresentando efeito cumulativo e alto potencial tóxico, mesmo em concentrações relativamente baixas, para numerosas espécies de vida, e talvez para todas 2 - A principal via de exposição para a população não exposta ocupacionalmente ao cádmio e não fumante é a oral 3 - A ingestão de alimentos ou água contendo altas concentrações de cádmio causa irritação no estômago, levando ao vômito, diarréia e, às vezes, morte, sendo que na exposição crônica o cádmio pode danificar os rins 4 - Experimentos com animais demonstram que o metal produz efeitos tóxicos em vários órgãos, como fígado, rins, pulmão e pâncreas
Cobre (Cu)	O Cobre (Cu) está geralmente presente em pequenas quantidades nas águas superficiais e subterrâneas, variando até cerca de 1 mg/L, sendo também encontrado nos tecidos de animais e vegetais	É benéfico ao metabolismo humano em quantidades adequadas, não sendo considerado elemento tóxico e cumulativo como Chumbo (Pb) ou Mercúrio (Hg)	1 - Sua deficiência produz anemia nutricional em crianças 2 - Elevadas concentrações deste elemento podem produzir vômitos 3 - Uma ingestão oral muito prolongada pode ocasionar estragos ao fígado 4 - Em quantidades excessivas é tóxico para uma ampla variedade de espécies aquáticas, desde bactérias até peixes
Cromo (Cr)	1 - A ocorrência de cromo nas águas naturais é rara, e sua presença se deve principalmente a despejos de origem industrial (galvanoplastias, fabricação de couro e processamento de tintas e corantes) 2 - Pode ser encontrado na maioria dos sistemas biológicos	Os sais de cromo não têm poder acumulativo	1 - O cromo na forma hexavalente é mais tóxico que na trivalente 2 - Sua ocorrência em sistemas biológicos não prova ser benéfico ou essencial para o organismo humano
Níquel (Ni)	1 – Em águas naturais superficiais seu teor pode atingir até 0,1 mg/L 2 - O Níquel (Ni) é também utilizado em galvanoplastias	-Não há efeitos positivos registrados -Poucas referências bibliográficas acerca de sua toxicidade	1 - Estudos demonstraram ser elemento carcinogênico 2 - Assim como para outros íons metálicos, em soluções diluídas, estes elementos produzem a morte dos peixes por asfixia 3 - O Níquel complexado (Niquelcianeto) é tóxico em baixos valores de pH, e teores de 1,0 mg/L desse complexo são tóxicos aos organismos de água doce, causando dermatites em indivíduos mais sensíveis, e afetando nervos cardíacos e respiratórios em doses mais elevadas

(*) Fontes: BATTALHA & PARLATORE, 1993; DERÍSIO, 1992; CETESB, 2009.

Tabela 3 – Origem/ocorrência e aspectos positivos/negativos da presença dos metais analisados neste estudo (Continuação).

Metal	ORIGEM E/OU OCORRÊNCIA (*)	ASPECTOS E/OU EFEITOS POSITIVOS (*)	ASPECTOS E/OU EFEITOS NEGATIVOS (*)
Bário (Ba)	1 - Os compostos de Bário são usados na indústria da borracha, têxtil, cerâmica, farmacêutica, entre outras 2 - Ocorre naturalmente na água, na forma de carbonatos em algumas fontes minerais, geralmente em concentrações entre 0,7 e 900 µg/L	Não há efeitos positivos registrados	1 - Não é um elemento essencial ao homem e em elevadas concentrações causa efeitos no coração, no sistema nervoso, constrição dos vasos sangüíneos, elevando a pressão arterial 2 - A morte pode ocorrer em poucas horas ou dias, dependendo da dose e da solubilidade do sal de Bário 3 - A dose fatal para o homem é considerada como sendo de 550 a 600 mg
Alumínio (Al)	1 - O Alumínio e seus sais são usados no tratamento da água, como aditivo alimentar, na fabricação de latas, telhas, papel alumínio, na indústria farmacêutica, etc. 2 - Na água, o metal apresenta-se complexado e podendo ocorrer em diferentes formas, sendo influenciado pelo pH (com baixa solubilidade em pH 5,5 a 6,0), temperatura e presença de fluoretos, sulfatos, matéria orgânica e outros ligantes 3 - Em águas com extrema acidez, afetadas por descargas de mineração, as concentrações de alumínio dissolvido podem ser maiores que 90 mg/L 4 - Na água potável, os níveis do metal variam de acordo com a fonte de água e com os coagulantes à base de alumínio que são usados no tratamento da água 5 - O aumento da concentração de alumínio está associado com o período de chuvas e, portanto, com a alta turbidez 6 – Deve apresentar maiores concentrações em profundidade, onde o pH é menor e pode ocorrer anaerobiose 7 – Caso a estratificação e conseqüente anaerobiose não for muito intensa, sua concentração diminui no corpo receptor como um todo, à medida que se distancia da estação das chuvas	1 - Não há indicações de que o alumínio apresente toxicidade aguda por via oral, apesar de ampla ocorrência em alimentos, água potável e medicamentos 2 - Não há indicação de carcinogenicidade para o alumínio	1 - Sua dissolução no solo para neutralizar a entrada de ácidos com as chuvas ácidas torna-o extremamente tóxico à vegetação e pode ser escoado para os corpos d'água 2 – A principal via de exposição humana não ocupacional é pela ingestão de alimentos e água 3 – O aumento deste elemento está relacionado com a estação das chuvas, e assim com a alta turbidez nas águas 4 – A osteomalacia foi observada em seres humanos expostos ao elemento 5 – Há considerável evidência em estudos com animais de que o alumínio é neurotóxico, porém com grande variação de espécie para espécie analisada 6 – Seu acúmulo em seres humanos tem sido associado ao aumento de casos de demência senil do tipo Alzheimer, associado aos níveis em águas de abastecimento
Prata (Ag)	Sua presença não encerra maiores significados, porém quando usada na desinfecção de águas seu residual pode ser significativo, justificando a adoção de um padrão	Não ocorreu absorção significativa de prata por consumo de alimentos em estudos passados	1 – Seu principal efeito é provocar uma descoloração permanente da pele, olhos e mucosa, sendo desconhecidas as quantidades de prata coloidal requeridas para causar estes efeitos (argirismo), o que impede a adoção de um padrão, mas para a prata não-coloidal é de 1 g por indivíduo adulto

(*) Fontes: BATTALHA & PARLATORE, 1993; DERÍSIO, 1992; CETESB, 2009.

De acordo com VASCONCELOS (2008), as atuais evidências acerca da indisponibilidade de água para as gerações futuras direcionam a práticas de Racionalização do Uso da Água (RUA). Segundo a Agência das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2007) no relatório "Água: uma Responsabilidade Compartilhada", em 20 anos, dois terços da população mundial enfrentará falta de água.

A otimização dos processos de RUA (Racionalização de Uso de Água) pode aumentar a qualidade da água captada e a disponibilidade da tecnologia para a população. A "drenagem inteligente" em escala de lote domiciliar, visando reservação seletiva, apresenta potencial de garantia do suprimento de água de qualidade. A reservação de águas pluviais sem qualquer parâmetro de seleção pode causar problemas de saúde, por contato primário, e funcionais, como entupimentos de encanamentos e multiplicação de microrganismos. Estudos mostraram que 42% das crianças com idade de 4 a 6 anos que beberam água de chuva tiveram problemas de doenças gastro-intestinais (HEYWORTH e ROWE, 2005).

A reservação de água pluvial para fins não-potáveis é uma abordagem moderna que auxilia diretamente à qualidade e quantidade das águas de drenagem urbana. Quando aplicada na escala de lote domiciliar, a reservação de água pode ser um elemento com finalidades múltiplas. Primeiro, como elemento de "detenção local" de água para uso posterior às ocorrências de chuvas; segundo, como elemento de "gestão descentralizada", por colaborar com a mitigação de poluição difusa na escala de geração do escoamento.

Devido à deposição de grande carga residuária no ambiente, níveis elevados de poluentes alteram as características físicas, químicas e biológicas do estado da matéria, que é proveniente principalmente da fonte geradora. A responsabilidade que deveria ser do usuário acaba sendo transferida para o poder público, que muitas vezes adota soluções paliativas, sem considerar o contexto da bacia como um todo e as fontes geradoras (OHNUMA JR., 2006). O autor apresentou planos de bacia que incluem a reservação de água pluvial domiciliar e seus impactos na drenagem urbana. Nesse trabalho, fez menção à reservação seletiva de água pluvial como uma medida não-convencional de reservação de água para o controle da poluição em lote domiciliar. Neste caso, a reservação seletiva destaca-se como tecnologia alternativa para o controle da drenagem urbana.

Para a conservação de água existem medidas convencionais e medidas não convencionais. O sistema de aproveitamento de água de chuva para consumo não-potável é uma medida não-convencional (MAY, 2004). A viabilidade do uso de água de chuva é caracterizada pela diminuição da demanda de água fornecida pelas companhias de

saneamento, tendo como conseqüência a diminuição de custos com água potável e a redução do risco de enchentes em caso de chuvas fortes. No processo de coleta de água de chuva, são utilizadas áreas impermeáveis, normalmente o telhado. A primeira água que cai no telhado, lavando-o, apresenta um grau de contaminação bastante elevado e, por isso, é aconselhável o desprezo desta primeira água. A água de chuva coletada através de calhas, condutores verticais e horizontais é armazenada em reservatório, podendo ser de diferentes materiais (MAY, 2004).

Também de acordo com NAKAZONE (2005), para as águas pluviais urbanas, novas medidas de controle das vazões excedentes surgiram nos últimos anos e buscam contornar as mudanças nos ciclos hidrológicos, imitando e mantendo as condições naturais existentes antes dos processos de urbanização. Uma dessas alternativas, conhecida genericamente pelo nome de reservatório de armazenamento, procura reter parte do escoamento superficial gerado durante as precipitações, para depois fazer sua devolução de forma lenta e gradual aos leitos dos córregos e rios, atenuando o pico dos hidrogramas e redistribuindo as vazões ao longo do tempo (NAKAZONE, 2005).

Ainda segundo o mesmo autor, é legítimo o anseio da sociedade por medidas sustentáveis e ambientalmente corretas, na qual os reservatórios de detenção se enquadram, porém sua implementação por força de medidas legais, muitas vezes, tem sido realizada de forma pouco conseqüente, sem planejamento e ponderação quanto às dificuldades e implicações dessa atitude. Denota-se também, a necessidade de avaliação da eficiência destes dispositivos e de normatização das formas de aplicação, dimensionamento, operação e manutenção. Além disso, é necessária a sensibilização, a conscientização e a educação em todos os níveis, pois existem paradigmas a serem quebrados e obstáculos a serem vencidos (NAKAZONE, 2005).

Para realizar o controle da poluição das águas dos rios e reservatórios, utilizam-se os padrões de qualidade, que definem os limites de concentração a que cada substância presente na água deve obedecer. Esses padrões dependem da classificação das Águas Interiores, que é estabelecida segundo seus usos preponderantes, por legislação específica, variando da Classe Especial, a mais nobre, até a Classe 4, a menos nobre (FÁVARO *et. al.*, 2006).

Semelhantemente, a análise de qualidade das águas pluviais precipitadas em áreas urbanas e peri-urbanas constitui-se em um instrumento importante para o aproveitamento das mesmas em lotes residenciais, considerando principalmente seus usos não-potáveis, para finalidades diversas, que vão da irrigação de jardins à lavagem de pisos e calçadas, passando

pelo aproveitamento em descargas de vasos sanitários e lavagem de veículos e equipamentos diversos.

Dentre os fatores que influenciam a qualidade das águas pluviais coletadas estão o tipo de superfície de escoamento e o grau de poluição atmosférica das áreas onde se faz a sua captação. Sendo assim, um estudo detalhado da qualidade físico-química e biológica das águas coletadas pode fornecer indicações dos poluentes que poderão interferir no aproveitamento destas águas, e em conseqüência, da natureza e do grau de tratamento necessário à remoção dos mesmos.

4.2.2_Medidas Descentralizadoras Aplicadas ao Tratamento de Esgotos Sanitários

A água e a saúde da população são duas coisas inseparáveis. A disponibilidade de água de qualidade é condição indispensável para a própria vida e, mais do que qualquer outro fator, a qualidade da água condiciona a qualidade da vida (OPAS/OMS, 2006).

Os recursos hídricos constituem-se em um importante aliado para a implementação de ações de saúde e ambiente, haja vista a importância da água para a vida humana, agricultura e a geração de energia. Há que se levar em conta o papel dos cursos de água na veiculação de inúmeras enfermidades. Além disso, intervenções no campo dos aproveitamentos hidráulicos, como barragens, hidrovias, aduções e projetos de irrigação acarretam riscos de incremento na incidência de algumas doenças (OMS, 2007).

Os dejetos gerados pelas atividades humanas, comerciais, e industriais necessitam ser coletados, transportados, tratados e dispostos mediante processos técnicos, de forma que não gerem ameaça à saúde e ao meio ambiente.

Para muitas pessoas, principalmente nos países em desenvolvimento, a falta de um adequado sistema de coleta, tratamento e destino dos dejetos é a mais importante das questões ambientais. O problema é particularmente acentuado nas áreas periurbanas e em áreas rurais onde a maioria da população é composta de pessoas de baixa renda.

É estimado que acima de um bilhão de pessoas que vivem nas cidades e acima de 2 bilhões que vivem nas áreas rurais não possuem serviços adequados de coleta, tratamento e destino dos dejetos. Estas condições são as causas primárias da alta incidência de diarréia observada nos países em desenvolvimento e que é responsável pela morte de cerca de dois milhões de crianças e causa cerca de 900 milhões de episódios de doenças por ano. Além

disso, a falta de um adequado sistema de coleta, tratamento e destino dos dejetos é a maior causa da degradação da qualidade das águas subterrâneas e superficiais (OMS, 2007).

Apesar dos esforços nas últimas duas décadas, os investimentos nesta área continuam inadequados enquanto a necessidade continua a crescer, principalmente em relação ao tratamento dos dejetos. Esta situação é o resultado da baixa prioridade dada ao tratamento dos dejetos.

Uma gestão dos recursos hídricos eficiente deve estar baseada em políticas e estratégias claras e mecanismos e ferramentas efetivos para proteger a poluição dos recursos hídricos existentes e para garantir que a água seja utilizada de melhor forma, limitando os conflitos decorrentes do seu uso (OMS, 2007).

Segundo KUJAWA-ROELEVELD & ZEEMAN (2006), o gerenciamento de águas residuárias em diversos países em desenvolvimento é em geral bastante diferenciado comparando-se a países como Holanda e nações da Europa Ocidental. Em muitos casos uma infraestrutura sanitária cuidadosamente planejada não está disponível ou está apenas parcialmente, resultando em descargas de águas residuárias nos corpos d'água e conseqüentemente em severos riscos à saúde pública.

4.2.2.1_Saneamento Descentralizado com Reuso de Esgoto Doméstico

Os conceitos de saneamento descentralizado e sustentável têm seu foco no tratamento e reciclagem de recursos presentes nos esgotos domésticos. Três recursos principais são considerados: a bioenergia gerada pela transformação de material orgânico, nutrientes vegetais (nitrogênio e fósforo como nutrientes principais, mas também potássio e enxofre), e água (produzida após tratamento avançado de volumes de águas residuárias mais limpas).

O tratamento de volumes de águas residuárias é realizado de modo a que seu potencial de reuso seja preservado. Tanto os volumes de águas residuárias mais concentrados como os menos concentrados são produzidos em residências. As águas negras (fezes e urina), águas cinzas (originárias de chuveiros e banheiras, cozinhas e lavanderias) e resíduos de cozinhas podem ser distinguidos. Em geral estes volumes são combinados e transportados através de sistemas de extensas redes de esgotos, freqüentemente junto com águas pluviais, a fim de serem tratados em plantas de tratamento de águas residuárias centralizadas.

De um ponto de vista tecnológico do processo, o tratamento separado da água negra, possivelmente junto com resíduos de cozinha, e águas cinzas, é muito lógico. Fezes e urina

contém não somente a metade da DQO e a maior parte dos nutrientes das águas residuárias domésticas, mas também a maior parte dos microrganismos patogênicos e micropoluentes, como produtos farmacêuticos e hormônios, enquanto produzidos em pequeno volume. A concentração de riscos em volumes muito pequenos possibilita um melhor controle destes e limita os efeitos ambientais negativos (KUJAWA-ROELEVELD & ZEEMAN, 2006).

O uso tradicional de excretas na agricultura e aqüicultura tem ocorrido por séculos e continua em muitos países. Na agricultura urbana e periurbana nos países menos industrializados, o uso de lodos fecais não tratados (por exemplo, advindos de conteúdos de sistemas de saneamento “on site”, como banheiros familiares e públicos desprovidos de rede coletora de esgoto, e tanques sépticos) é comum, embora requeiram adequado tratamento. Mais de 10% da população mundial consome alimentos produzidos através de irrigação com esgoto (W.H.O., 2006).

Esgoto, excretas e águas cinzas são usados de modo crescente na agricultura e aqüicultura, tanto em países industrializados como em desenvolvimento. As principais forças envolvidas neste uso crescente são: a escassez e estresse hídricos crescentes; populações em expansão, com poluição ambiental crescente devida à disposição inadequada de esgoto; e, reconhecimento do valor do esgoto, excretas e águas cinzas como recurso (W.H.O., 2006).

Estima-se que dentro dos próximos 50 anos, mais de 40% da população mundial irá morar em países que enfrentarão estresse hídrico ou escassez de água (HINRICHSEN, ROBEY & UPADHYAY, 1998). Uma crescente competição entre áreas agrícolas e urbanas por fontes de água doce de alta qualidade, particularmente em regiões áridas, semi-áridas ou densamente povoadas, deverá aumentar a pressão por este recurso.

Mais água doce é separada e usada na agricultura nos países áridos e semi-áridos do que para qualquer outra finalidade (por exemplo, para usos domésticos e industriais combinados). Em muitos casos, é melhor usar esgoto, excretas e águas cinzas na agricultura do que água doce de alta qualidade, porque as culturas agrícolas se beneficiam dos nutrientes que estes contém. Assim, esgoto, excretas e águas cinzas podem auxiliar na adequação da demanda hídrica e permitirem a preservação de recursos de água doce de alta qualidade para suprimento de água potável (W.H.O., 2006).

Uma das alternativas de destinação final para efluentes obtidos a partir do tratamento de esgoto sanitário é sua utilização na agricultura como adubo orgânico, podendo substituir parte do adubo mineral, e aproveitando-se deste recurso para a reciclagem de nutrientes e

economia de água no setor agrícola, cujo consumo corresponde a cerca de 70% do consumo total no Brasil (FAUSTINO, 2007).

A reutilização do efluente, segundo o autor, além de ser uma alternativa mais adequada sob o aspecto ambiental também é muito apreciada do ponto de vista agrícola, pois este demonstrou ser uma fonte de macro e micronutrientes para as plantas, além de matéria orgânica para o solo (FAUSTINO, 2007).

Desta forma, o uso de tecnologias de tratamento como fossas e tanques sépticos, que resultaram no desenvolvimento da Fossa Séptica Biodigestora modelo EMBRAPA, pode resultar em vantagens significativas em áreas rurais, sendo, porém passíveis de utilização em áreas peri-urbanas e urbanas, como alternativas de tratamento preliminar ou visando práticas de reuso, adaptadas às variadas necessidades para as quais se utilizam normalmente águas advindas dos sistemas públicos de abastecimento de água, uma vez que a tecnologia de reuso de água é subentendida como sendo dependente dos fins a que se destina e de como ela foi utilizada anteriormente.

4.2.2.2_Tecnologias de Saneamento como Medidas Descentralizadoras em Bacias Urbanas – Biodigestão Anaeróbia

O processo de biodigestão de resíduos orgânicos é bastante antigo, sendo que a primeira unidade foi instalada em Bombaim, na Índia em 1819; na Austrália uma companhia produz e industrializa o metano a partir de esgoto desde 1911. A China possui 4,5 milhões de biodigestores que produzem gás e adubo orgânico, sendo que a principal função é o saneamento no meio rural. No Brasil, a ênfase para os biodigestores foi dada para a produção de gás, com o objetivo de converter a energia do biogás em energia elétrica através de geradores. Isso permitiu melhorar as condições rurais, como por exemplo, o uso de ordenhadeiras na produção de leite, e outros benefícios que podem ser introduzidos (EMBRAPA, 2002).

Foi em 1872, na pequena cidade de Vesoul, no leste da França, junto às fronteiras com a Alemanha, que Jean Louis Mouras, ao abrir um tanque de alvenaria que idealizara e construíra 12 anos antes, com a finalidade de receber os esgotos da cozinha de sua pequena residência, antes de lançá-los à fossa absorvente, notou, com surpresa, que o volume de sólidos acumulado durante todo aquele tempo era muito menor do que havia imaginado. Era esperado que, passados 12 anos, a caixa de alvenaria se apresentasse literalmente cheia de

matéria sólida, o que, no entanto, não aconteceu: havia certa quantidade de lodo escuro, fino e uniforme que, uma vez seco, apresentava-se praticamente inodoro e com estrutura granulosa semelhante à da terra vegetal (BATALHA, 1989).

Entusiasmado com esse inesperado resultado e prevendo uma inestimável utilidade prática para sua descoberta, recorreu Mouras aos conhecimentos científicos do Abade Moigne, em cuja colaboração empreendeu uma série de experiências até 1881, quando o invento foi patenteado.

Baseado nas então recentes descobertas de Pasteur, Mouras acreditava, com razão, que a redução observada no volume da matéria sedimentável do esgoto fosse devida à atividade bacteriana que produzia a liquefação e gaseificação dos sólidos orgânicos, em ambiente anaeróbio, através do processo denominado fermentação, Daí a denominação *séptico* que adotaram para o tanque. Essa palavra deriva de *sepsis,*que significa decomposição, putrefação, fenômenos em que intervém a atividade microbiológica (BATALHA, 1989).

Os sólidos sedimentáveis no esgoto afluente à fossa ou tanque séptico são os responsáveis pela formação da camada de lodo de fundo de tanque, enquanto o material oleoso e outros materiais leves flutuam na superfície, onde uma camada de escuma se forma à medida que se acumula mais material flutuante. O esgoto decantado e cuja escuma foi removida, flui da coluna líquida clarificada entre as camadas de escuma superficial e de lodo de fundo para sofre disposição no solo ou para uma unidade de tratamento, caso esta exista (METCALF AND EDDY, 1991).

O material orgânico retido no fundo do tanque entra em decomposição facultativa e anaeróbia, e é convertido em compostos mais estáveis e gases, como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e sulfeto de hidrogênio (H_2S). Embora o sulfeto de hidrogênio seja produzido em tanques sépticos, a presença de odores não é usualmente um problema, devido à combinação destes com os metais presentes nos sólidos acumulados, formando sulfetos metálicos insolúveis (METCALF AND EDDY, 1991).

Embora o volume de material sólido sendo depositado seja reduzido continuamente por decomposição anaeróbia, ocorre sempre a deposição de uma lâmina de lodo no tanque. O material do fundo do tanque que flota, devido aos gases resultantes da decomposição anaeróbia, freqüentemente adere ao fundo da camada superficial de escuma, aumentando sua espessura. Devido ao longo tempo de acúmulo de escuma e lodo, pode ocorrer uma redução

da capacidade volumétrica efetiva do tanque, o que torna necessário que o conteúdo do mesmo seja periodicamente removido (METCALF AND EDDY, 1991).

Os sistemas de disposição do esgoto doméstico são conhecidos como públicos, caracterizados pelo seu esgotamento por tubulações até uma estação de tratamento e/ou disposição sanitária segura; ou individuais, que são representados pela fossa ou tanque séptico (BATALHA, 1989).

As fossas e os tanques sépticos são, praticamente, sistemas de tratamento apenas em nível primário de esgoto, *"in situ"*, de baixo custo, baixa eficiência e operação e manutenção simples (TELLES E COSTA, 2007; LEME, 2007), destinados a tratar o esgoto de residências ou de conjunto de residências até um máximo de 500 hab., supondo-se uma vazão de esgoto de 150 l/hab. dia. Nestes, são realizadas a separação e a transformação parcial da matéria orgânica e a produção de três tipos de efluentes: líquido, sólido (lodo) e gás. O efluente líquido é caracterizado pelo esgoto "isento" dos materiais sedimentáveis e flutuantes, e apresenta odor desagradável, cor escura e grande quantidade de microrganismos, requerendo uma disposição adequada, sendo as soluções mais recomendadas para tal disposição: infiltrar o efluente no terreno, através de sumidouros ou valas de infiltração, quando as condições do solo são favoráveis, ou tratá-lo em um filtro anaeróbio de fluxo ascendente (BATALHA, 1989).

Por outro lado, o lodo sedimentado contém parcela significativa de sólidos e apresenta instabilidade biológica, presença de patógenos (vírus, bactérias, helmintos), e, ainda, altas concentrações de sólidos. Nos casos em que esgoto doméstico é tratado nestes sistemas, o mesmo sofre decantação, e o lodo que permanece no fundo do tanque entra em decomposição anaeróbia, sendo parcialmente digerido. Pode funcionar também como um sistema de pré-tratamento, para posterior destino à rede coletora de esgoto, pois reduz em muito a quantidade de sólidos sedimentáveis (BATALHA, 1989; PAULA JUNIOR *et al.*, 2003; VOSGUERITCHIAN, 2006).

Em termos de configuração e funcionamento como reator, o tanque séptico se assemelha a lagoa anaeróbia, sendo, entretanto, de dimensões proporcionalmente menores (menores θ_h - da ordem de 12 a 24 horas), construído em alvenaria ou concreto. Predominam, pois, os mecanismos físicos de sedimentação, com o lodo de esgoto se depositando no fundo do tanque, ocorrendo a remoção majoritariamente da DBO particulada, mesmo depois do desenvolvimento e retenção da biomassa anaeróbia. A estabilização da DBO solúvel é pequena, uma vez que no reator ocorrem os mesmos problemas da lagoa anaeróbia, por causa

do fluxo hidráulico interno que não favorece a mistura e contato entre biomassa e esgoto solúvel (KATO *et. al*,1999).

A Norma NBR 7229 apresenta os valores que podem ser atingidos para a eficiência de remoção de matéria orgânica, em termos de percentual de DBO removida, para diferentes sistemas de tratamento, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Eficiências de remoção de matéria orgânica para sistemas de fossas sépticas.

Sistema de Tratamento	Eficiência de Remoção de Matéria Orgânica (% de Remoção de DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio)
Fossa séptica de câmara única ou de câmaras sobrepostas	30 a 50
Fossa séptica de câmaras em série	35 a 55
Fossa séptica + filtro anaeróbio	75 a 95

FONTE: NBR 7229 (ABNT, 1993).

Segundo a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios de 2006 (PNAD), disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), cerca de 70,6% da população brasileira têm acesso a serviços de esgotamento sanitário (rede coletora de esgoto ou fossa ou tanque séptico). Para os cerca de 30% restantes, existe a necessidade da aplicação de tecnologia adequada à realidade brasileira, que atenda tanto a grandes cidades como a pequenos assentamentos (BORGES, 2009).

Fossas e tanques sépticos são sistemas de pequeno porte utilizados para tratamento parcial do esgoto sanitário produzido nas áreas urbana e rural, quando não beneficiados por sistema de esgotamento sanitário. Tal utilização se justifica principalmente por ser tecnologia que não exige muita dedicação operacional e ser de simples implantação. A fossa e o tanque séptico foram as primeiras unidades idealizadas para tratamento de esgoto e até hoje são as mais extensivamente empregados.

Ainda de acordo com a PNAD de 2006, 21,1% dos domicílios particulares permanentes utiliza a fossa ou tanque séptico como sistema de tratamento (embora incompleto) de esgoto. Nesse sentido, verifica-se a importância da utilização de sistemas individuais, simples e, se possível, de baixo custo de tratamento de esgoto para melhoria da saúde e qualidade de vida (BORGES, 2009).

Como precursores do tratamento anaeróbio de esgotos, a utilização de decanto-digestores abrange diversos tipos de configurações consagradas na prática, entre estas os tanques sépticos. Tais reatores anaeróbios vêm sendo utilizados em áreas urbanas desprovidas de rede coletora pública de esgoto sanitário, e mesmo em situações com existência de rede, para atender a vilas, conjuntos residenciais e comunidades que geram vazões relativamente pequenas (KATO *et. al*, 1999).

Os tanques sépticos são usados para tratar esgotos de residências individuais ou grupos de residências nas áreas rurais, em escolas, campos de lazer, parques, áreas de acampamento, e motéis, sendo que o efluente gerado é normalmente disposto no solo por valas de infiltração (LEME, 2007).

4.2.2.3_Tecnologia de Desinfecção de Águas Pluviais e Esgoto Sanitário Tratado Por Radiação Ultravioleta LED-DUV

No Brasil há um grande número de casos de doenças de veiculação hídrica em conseqüência da falta de um tratamento eficaz para a remoção de agentes patogênicos presentes na água. Sendo assim, para assegurar o controle destas doenças e manter a qualidade da água a ser abastecida à comunidade, torna-se imprescindível o processo de desinfecção.

A cloração é largamente utilizada para a desinfecção de águas de abastecimento e águas residuárias, porém seu potencial de toxicidade devido aos seus produtos torna o processo menos atrativo. Já o uso do dióxido de cloro apresenta-se como alternativa, porém a sua geração envolve reações bastante dependentes das concentrações dos reagentes, das condições físico-químicas, podendo gerar também subprodutos prejudiciais à saúde humana.

Na seleção da tecnologia de desinfecção mais apropriada devem-se também levar em conta fatores sociais, técnicos e econômicos. A organização social, as aptidões e infra-estrutura disponíveis influenciam na escolha das alternativas de desinfecção de modo que nem sempre o sistema escolhido é aquele mais eficaz e sim o que se adequar melhor à situação (DIAS, 2001).

Sendo assim, outras tecnologias alternativas, como o ozônio e a radiação ultravioleta (UV) surgiram como processos tecnicamente viáveis. Nos aspectos observados no decorrer desta pesquisa, foi verificado que, para as condições analisadas, a desinfecção com radiação

UV poderia ser adotada como técnica mais simples e eficaz para a inativação de coliformes fecais e coliformes totais, quando comparada, por exemplo, à ozonização, apresentando vários aspectos favoráveis no que concerne ao modo de operação, a influência da qualidade do efluente bruto e ao controle do processo, entre outros.

Tais aspectos podem vir a se constituir num incentivo ao desenvolvimento e aplicação de tecnologias de saneamento ambiental que levem em conta: a simplicidade e praticidade operacional, com pouca ou nenhuma necessidade de intervenção do usuário; a segurança do usuário; e os aspectos econômicos, considerando que um uso suficientemente difundido desta tecnologia traga como conseqüência uma redução do custo do equipamento ou dispositivo de tratamento dos despejos sanitários e águas pluviais, por efeito da economia de escala.

A tecnologia de desinfecção por radiação ultravioleta LED-DUV (*Light Emitting Diode – Deep Ultraviolet ou Diodo Emissor de Luz – Ultravioleta Profundo)* teve seu início de desenvolvimento no Centro de Estudos em Ótica e Fotônica (CEPOF) do IFSC (Instituto de Física) de São Carlos. Através de uma parceria com o NIBH – Núcleo Integrado de Bacias Hidrográficas (da USP São Carlos), e com a empresa IntenseUV de São Carlos, foi proposto um trabalho de pesquisa conjunto, visando a incorporação desta tecnologia ao "Sistema de Drenagem e Reuso 'Inteligente'" (**SiDRI**).

. Uma unidade protótipo desenvolvida com esta tecnologia foi testada, inicialmente para a desinfecção de águas pluviais geradas e armazenadas no LAEG-1 (Laboratório de Apoio ao Ensino de Graduação-1, localizado na área 1 do Campus-1 da USP em São Carlos), com uma proposta de posterior aplicação para esgoto sanitário tratado, gerado no lote experimental peri-urbano. Esta tecnologia resultou no depósito de uma patente de invenção com o título: "DISPOSITIVO A BASE DE LED (DIODO EMISSOR DE LUZ) DUV (ULTRAVIOLETA PROFUNDO) PARA APLICAÇÕES SANITÁRIAS", que contém informações descritas resumidamente por seu autor a seguir: "A utilização do LED-DUV para a desinfecção e esterilização no saneamento ambiental para a desinfecção de águas pluviais e de esgoto sanitário visando seu reuso em lotes residenciais urbanos pode apresentar diversas vantagens, em relação ao que já existe, quais sejam:

i) Alta eficiência com comprimento de onda de pico na faixa de inativação microbiana;

ii) Longa durabilidade (maior que 20.000 horas com degradação menor que 30%);

iii) Impacto ambiental praticamente nulo principalmente se o material for baseado em nitretos III-V (sem vidro, sem gases, sem mercúrio, etc.);

iv) Sem impacto aos sistemas vivos (sem alta tensão, sem gases, sem altas pressões, etc.);

v) Flexibilidade de controle e modulação da intensidade (*dimmer*);

vi) Redução de consumo de potência elétrica (menos de 200 mW de dissipação por unidade);

vii) A substituição em escala mundial levará conseqüentemente a geradores mais econômicos;

viii) Circuitos eletrônicos mais simples, mais confiáveis e baixo custo;

ix) Sem geração de infravermelho frontal;

x) Dimensões reduzidas (cerca de 10 mm^2 por unidade) e

xi) Economia de espaço.

O uso de dispositivo LED-DUV para a desinfecção e esterilização no saneamento ambiental para a desinfecção de águas pluviais e de esgotos sanitários visando seu reuso em lotes residenciais urbanos e peri-urbanos, objeto da patente de invenção desenvolvida, ocorre pela substituição das lâmpadas incandescentes UV existentes pelo LED-DUV.

O LED-DUV pode ser utilizado em várias condições operacionais com relação à forma com que a luz é conduzida até o ponto de utilização. A forma como a radiação UV é levada ao ponto de aplicação da dose pode ser direta, ou através de cabos de fibras ópticas, ou guias de luz, ou refletores, ou lentes, dentre outros. Todo e qualquer elemento óptico atende o requisito para transmissão, reflexão, refração e/ou espalhamento na região UV de interesse nesta patente. Neste caso, um ou mais LED’s são devidamente acondicionados, encapsulados ou não numa montagem específica (reator) e a aplicação da luz é feita diretamente no local a ser aplicado.

Dentre as vantagens da radiação DUV germicida como desinfetante temos: Não entra em contato com a água; não exige a armazenagem de material perigoso (radioativo ou químico); é efetiva e sem perigo de sobrecarga; requer pouquíssimo tempo de ação (segundos x minutos da desinfecção química); remove alguns contaminantes orgânicos; não modifica a cor, sabor ou aroma da água; não afeta a água mineral; não altera as características do produto irradiado; não utiliza produtos químicos; e não deixa resíduos.

Fontes UV são de baixo custo, são simples na operação, de manutenção mais barata, pouca supervisão, ocupam um espaço mínimo e maior durabilidade em relação outras fontes de irradiação (gama, raios X, radiofreqüência, radioisótopos, etc.)”.

Assim sendo, de acordo com as razões básicas acima apontadas, seu uso foi proposto para incorporação ao “Sistema de Drenagem e Reuso ‘Inteligente’” (**SiDRI**).

4.3_Desenvolvimento e Aplicação dos Conceitos de “Detenção” e “Retenção” de Águas Urbanas em Lotes Domiciliares

Segundo TUCCI (2003) podemos adotar como medidas de conservação de água aquelas em nível de microdrenagem e macrodrenagem urbana. As medidas de micro e macrodrenagem são as detenções e retenções. As detenções são reservatórios urbanos mantidos secos com uso do espaço integrado à paisagem urbana, enquanto que as retenções são reservatórios com lâmina de água utilizados não somente para controle do pico e volume do escoamento, como também da qualidade da água.

Atualmente, a maior dificuldade no projeto e implementação dos reservatórios é a quantidade de lixo transportada pela drenagem que obstrui a entrada dos reservatórios. Os volumes necessários para o amortecimento devido à urbanização (alta impermeabilização) são da ordem de 420 a 470 m^3/ha. Considerando uma profundidade média de 1,5 m, a área necessária é da ordem de 3% da área total da bacia de drenagem urbanizada (TUCCI, 2003).

O gerenciamento integrado e quali-quantitativo das águas urbanas foi considerado neste projeto de pesquisa sob a visão dos conceitos de ‘detenção’ e ‘retenção’ na escala de lote domiciliar urbano, como medidas descentralizadoras para a manutenção e preservação dessas águas e do ecossistema fluvial presente na bacia hidrográfica na qual o lote se insere.

A ‘detenção’ utiliza-se da tecnologia de reservação seletiva de volumes de água superficial, por meio de cisternas para aproveitamento de águas pluviais oriundas da drenagem de áreas impermeáveis do lote urbano.

A ‘retenção’ utiliza-se da tecnologia do reuso controlado de volumes de água subsuperficial, provenientes do esgotamento sanitário com tratamento prévio e por meio de uma fertirrigação segura, sujeita aos efeitos de infiltração nas áreas permeáveis do lote (GALAVOTI *et al*., 2007 a).

Considerados dentro do **SiDRI,** estes conceitos caracterizam o sistema como “inteligente”, por buscar conciliar aspectos voltados à racionalização do uso da água, à segurança do usuário, e à diminuição de impactos sobre a bacia, através de fatores como a eliminação de fontes de poluição difusa, a qual, segundo WIEBL *et al*. (1964),

SÖDERLUND *et al.* (1972) e WHIPPLE *et al*. (1974), também citados em WEEKS (1981), podem responder por cerca de metade da carga contaminante nos córregos.

4.4_Variáveis de qualidade físico-químicas e microbiológicas para as águas urbanas

4.4.1_Potencial hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH) é definido como o logaritmo negativo da concentração de íons hidrogênio. Segundo RICHTER E NETTO (1995), de um modo geral, águas de pH baixo tendem a ser corrosivas ou agressivas a certos metais, paredes de concreto e superfícies de cimento-amianto, enquanto que águas de alto pH tendem a formar incrustações. Chuvas com pH inferior a 5,0 são consideradas ácidas no Brasil e causam danos a estruturas e monumentos (VASCONCELOS, 2008).

A concentração hidrogeniônica é um importante parâmetro de qualidade tanto para águas naturais como para águas residuárias. O intervalo de concentração apropriado à existência da maior parte da vida biológica é muito estreito e crítico. Águas residuárias com uma concentração hidrogeniônica desfavorável são de difícil tratamento por meios biológicos, e se esta concentração não é alterada antes do lançamento, as águas residuárias efluentes deverão alterar a concentração das águas naturais (METCALF AND EDDY, 1991).

Deve ser considerado também que os organismos aquáticos (peixes) estão geralmente adaptados às condições de neutralidade e como conseqüência alterações bruscas do pH de uma coleção de água podem acarretar no desaparecimento dos seres presentes na mesma (DERISIO, 1992).

O pH de um meio é também um fator chave no crescimento de organismos. A maioria das bactérias não pode tolerar níveis de pH acima de 9,5 e abaixo de 4,0. Em geral, o pH ótimo para o crescimento bacteriano está entre 6,5 e 7,5 (METCALF AND EDDY, 1991).

O esgoto quando fresco é ligeiramente alcalino (SILVA, 1977). Ao se considerar o fluxo de esgoto através de redes coletoras, podem ocorrer alterações no mesmo, por isso o controle de pH afluente ao sistema de biodigestão anaeróbia é importante para caracterizar a septicidade do esgoto, dado que o esgoto séptico tende a produzir gases no interior de decantadores (em pH inferior a 6,0), gases esses que se desprendem para a superfície como bolhas, dificultando o processo de decantação (KAWAI *et al*., 1991). No caso da fossa séptica biodigestora, esta interferência poderia ocorrer na camada de lodo de fundo,

provocando sua flotação, com conseqüente perda de sólidos e piora na qualidade do efluente gerado, com potencial para reuso, o qual ficaria prejudicado.

Em termos específicos de biodigestão anaeróbia, o pH do ambiente no interior de um reator deve necessariamente estar numa faixa entre aproximadamente 6,5 a 8,2 (embora sob certas condições seja possível operar satisfatoriamente em pH 6,0), de maneira que o processo anaeróbio seja bem sucedido (SPEECE, 1996). Substâncias presentes no meio interno do reator, tais como CO_2 e ácidos graxos voláteis de cadeia curta, tendem a reduzir o pH, enquanto cátions geradores de alcalinidade, tais como íons amônio advindos de degradação protéica, e sódio, advindo da degradação de sabões, elevam a alcalinidade e o pH (SPEECE, 1996).

Nesta pesquisa, o pH foi medido através de um medidor de pH com base no método 4500 – H+ B do APHA (2005).

4.4.2_Turbidez

A turbidez é causada pela presença de matéria em suspensão, de forma que esta impede a passagem de luz pela água. Assim, como a cor, a turbidez tem elevada importância estética para o aproveitamento da água. A turbidez foi calculada pelo procedimento 2130 B – Nephelometric Method do APHA (2005), o qual é baseado na comparação da intensidade da luz espalhada pela amostra em condições definidas, com a intensidade da luz espalhada por uma suspensão de padrão referência (JORDÃO E PESSOA, 2005). Este parâmetro é medido através de um turbidímetro, o qual conta com um nefelômetro. A turbidez é expressa em unidades nefelométricas de turbidez (NTU), sendo que 1 NTU é produzida por 1 mg de SiO_2 em um litro de solução (VASCONCELOS, 2008).

A turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la (esta redução dá-se por absorção e espalhamento, uma vez que as partículas que provocam turbidez nas águas são maiores que o comprimento de onda da luz branca), devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e detritos orgânicos, tais como algas e bactérias, plâncton em geral etc.

A erosão das margens dos rios em estações chuvosas, que é intensificada pelo mau uso do solo, é um exemplo de fenômeno que resulta em aumento da turbidez das águas e que exige manobras operacionais, tais como alterações nas dosagens de coagulantes e auxiliares, nas Estações de Tratamento de Águas. Este exemplo mostra também o caráter sistêmico da

poluição, ocorrendo inter-relações ou transferência de problemas de um ambiente (água, ar ou solo) para outro.

Os esgotos domésticos e diversos efluentes industriais também provocam elevações na turbidez das águas. Um exemplo típico deste fato ocorre em conseqüência das atividades de mineração, onde os aumentos excessivos de turbidez têm provocado formação de grandes bancos de lodo em rios e alterações no ecossistema aquático.

Alta turbidez reduz a fotossíntese de vegetação enraizada submersa e algas. Esse desenvolvimento reduzido de plantas pode, por sua vez, suprimir a produtividade de peixes. Logo, a turbidez pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas. Além disso, afeta adversamente os usos doméstico, industrial e recreacional de uma água (CETESB, 2011).

4.4.3_Cor

A cor é causada por matéria em solução na água. Este é um parâmetro de interesse estético, em particular quando se objetiva o aproveitamento da água. Normalmente, a cor na água é devida a ácidos húmicos e tanino, originados de decomposição de vegetais, e, assim, não apresenta risco algum para a saúde (RICHTER e NETTO, 1995). A turbidez interfere na determinação da cor, de forma que, se a amostra for filtrada, será determinada a cor verdadeira, senão será a cor aparente. O método utilizado para sua determinação foi Visual Comparison Method (2120 B) de APHA (1998), a 455 nm. O resultado é expresso em PtCo, sendo que cada unidade de PtCo equivale a 1 mg de platina por litro, estando a platina na forma de cloroplatina. Este método é aconselhado para determinação da cor em amostras com cor próxima a natural (VASCONCELOS, 2008).

A cor de uma amostra de água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la (e esta redução dá-se por absorção de parte da radiação eletromagnética), devido à presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico.

Dentre os colóides orgânicos, podem ser mencionados os ácidos húmico e fúlvico, substâncias naturais resultantes da decomposição parcial de compostos orgânicos presentes em folhas, dentre outros substratos. Também os esgotos domésticos se caracterizam por apresentarem predominantemente matéria orgânica em estado coloidal, além de diversos efluentes industriais, que contêm taninos (efluentes de curtumes, por exemplo), anilinas

(efluentes de indústrias têxteis, indústrias de pigmentos etc.), lignina e celulose (efluentes de indústrias de celulose e papel, da madeira etc.).

Há também compostos inorgânicos capazes de causar cor na água. Os principais são os óxidos de ferro e manganês, que são abundantes em diversos tipos de solo. Alguns outros metais presentes em efluentes industriais conferem-lhes cor, mas, em geral, íons dissolvidos pouco ou quase nada interferem na passagem da luz.

O problema maior de cor na água é, em geral, o estético, já que causa um efeito repulsivo na população. É importante ressaltar que a coloração, realizada na rede de monitoramento, consiste basicamente na observação visual do técnico de coleta no instante da amostragem (CETESB, 2011).

4.4.4_Condutividade

Segundo Richter e Netto (1995) a condutividade elétrica está relacionada com a quantidade de sais dissolvidos na água e é aproximadamente proporcional à sua quantidade. Sua determinação permite obter uma estimativa rápida do conteúdo de sólidos de uma amostra. O método utilizado para a determinação da condutividade foi o 2510 B – Laboratory Method de APHA (1998). A condutividade é expressa em μS/cm (VASCONCELOS, 2008).

A condutividade é a expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica. Depende das concentrações iônicas e da temperatura e indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes. Em geral, níveis superiores a 100 μS/cm indicam ambientes impactados.

A condutividade também fornece uma boa indicação das modificações na composição de uma água, especialmente na sua concentração mineral, mas não fornece nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes. A condutividade da água aumenta à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados. Altos valores podem indicar características corrosivas da água (CETESB, 2011).

4.4.5_Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido (OD) é um parâmetro muito bom para a caracterização da qualidade da água (JORDÃO E PESSOA, 2005), no entanto este deve ser medido juntamente

com a temperatura, no momento da coleta. Outros fatores que interferem na sua concentração de saturação dão a salinidade e a altitude. Nos processos biológicos, o OD é fundamental para a respiração dos microrganismos que degradam a matéria orgânica, sendo a temperatura um fator importante, visto que as taxas das reações bioquímicas apresentam-se maiores com a elevação da temperatura (VASCONCELOS, 2008).

O oxigênio proveniente da atmosfera dissolve-se nas águas naturais, devido à diferença de pressão parcial. Este mecanismo é regido pela Lei de Henry, que define a concentração de saturação de um gás na água, em função da temperatura:

$$C_{SAT} = \cdot \alpha .pgás$$

Onde: α é uma constante que varia inversamente proporcional à temperatura e pgás é a pressão exercida pelo gás sobre a superfície do líquido. No caso do oxigênio, ele é constituinte de 21% da atmosfera e, pela lei de Dalton, exerce uma pressão de 0,21 atm. Para 20°C, por exemplo α é igual a 43,9 e, portanto, a concentração de saturação de oxigênio em uma água superficial é igual a 43,9 x 0,21 = 9,2 mg/L.

A taxa de reintrodução de oxigênio dissolvido em águas naturais através da superfície depende das características hidráulicas e é proporcional à velocidade, sendo que a taxa de reaeração superficial em uma cascata (queda d'água) é maior do que a de um rio de velocidade normal, que por sua vez apresenta taxa superior à de uma represa, com a velocidade normalmente bastante baixa.

Outra fonte importante de oxigênio nas águas é a fotossíntese de algas. Esta fonte não é muito significativa nos trechos de rios à jusante de fortes lançamentos de esgotos. A turbidez e a cor elevadas dificultam a penetração dos raios solares e apenas poucas espécies resistentes às condições severas de poluição conseguem sobreviver. A contribuição fotossintética de oxigênio só é expressiva após grande parte da atividade bacteriana na decomposição de matéria orgânica ter ocorrido, bem como após terem se desenvolvido também os protozoários que, além de decompositores, consomem bactérias clarificando as águas e permitindo a penetração de luz.

Num corpo d água eutrofizado, o crescimento excessivo de algas pode "mascarar" a avaliação do grau de poluição de uma água, quando se toma por base apenas a concentração de oxigênio dissolvido. Sob este aspecto, águas poluídas são aquelas que apresentam baixa concentração de oxigênio dissolvido (devido ao seu consumo na decomposição de compostos orgânicos), enquanto que as águas limpas apresentam concentrações de oxigênio dissolvido elevadas, chegando até a um pouco abaixo da concentração de saturação. No entanto, um

corpo d´água com crescimento excessivo de algas pode apresentar, durante o período diurno, concentrações de oxigênio bem superiores a 10 mg/L, mesmo em temperaturas superiores a 20°C, caracterizando uma situação de supersaturação. Isto ocorre principalmente em lagos de baixa velocidade da água, nos quais podem se formar crostas verdes de algas à superfície.

Nas lagoas de estabilização fotossintéticas, usadas para o tratamento de esgotos, recorre-se à fotossíntese como fonte natural de oxigênio para adecomposição da matéria orgânica pelos microrganismos heterotróficos que, por sua vez, produzem gás carbônico, matéria-prima para o processo fotossintético. Esta simbiose pode ser representada pelo esquema da Figura 2.

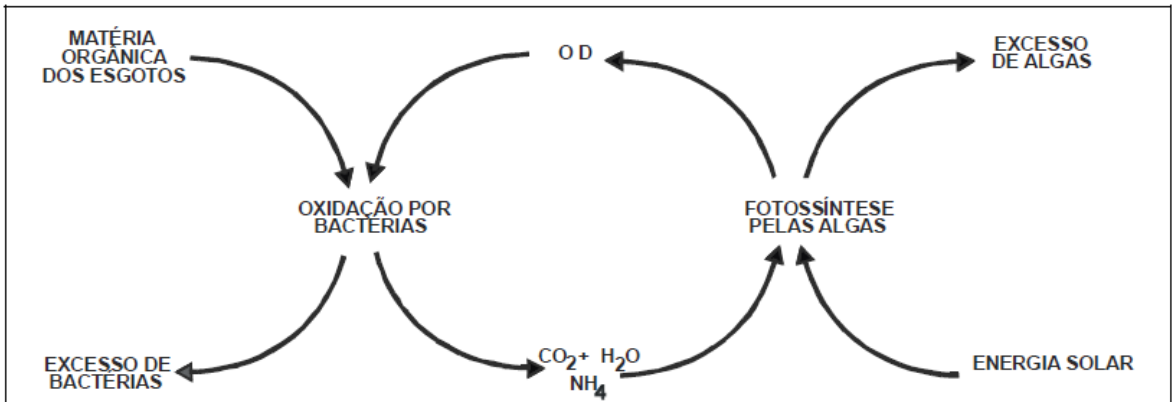


Figura 2 - Simbiose entre bactérias e algas em lagoas de estabilização (Fonte: CETESB, 2011).

Existem outros processos de tratamento de esgotos em que a aeração do meio é feita artificialmente, empregando-se aeradores superficiais eletro-mecânicos ou máquinas sopradoras de ar em tubulações, contendo difusores para a redução dos tamanhos das bolhas. Novos sistemas de aeração vêm sendo continuamente desenvolvidos. São utilizados também processos nos quais, ao invés de aeração, introduz-se oxigênio puro diretamente no reator biológico.

Uma adequada provisão de oxigênio dissolvido é essencial para a manutenção de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais e em estações de tratamento de esgotos. Através da medição da concentração de oxigênio dissolvido, os efeitos de resíduos oxidáveis sobre águas receptoras e a eficiência do tratamento dos esgotos, durante a oxidação bioquímica, podem ser avaliados. Os níveis de oxigênio dissolvido também indicam a capacidade de um corpo d’água natural em manter a vida aquática (CETESB, 2011).

O oxigênio dissolvido nesta pesquisa foi medido através de oxímetro (medidor de oxigênio dissolvido) em escala de bancada, com base no procedimento 4500-0 G, de APHA (1998).

4.4.6_Cloretos

Os cloretos presentes nos corpos d'água podem resultar da dissolução de minerais e do solo por onde a água passou, ou mesmo por lixiviação de áreas agrícolas (JORDÃO E PESSOA, 2005). O limite máximo desejável de cloretos em águas para consumo humano é de 200 mg/L, devido ao gosto que o sal confere à água (RICHTER e NETTO, 1995). No entanto, concentrações de cloretos elevadas (mesmo superiores a 1000 mg/L) não são prejudiciais ao homem, a menos que ele sofra de moléstia cardíaca ou renal (VASCONCELOS, 2008).

O cloreto é o ânion Cl- que se apresenta nas águas subterrâneas, oriundo da percolação da água através de solos e rochas. Nas águas superficiais, são fontes importantes de cloreto as descargas de esgotos sanitários, sendo que cada pessoa expele através da urina cerca 4 g de cloreto por dia, que representam cerca de 90 a 95% dos excretos humanos. O restante é expelido pelas fezes e pelo suor. Tais quantias fazem com que os esgotos apresentem concentrações de cloreto que ultrapassam 15 mg/L.

Diversos são os efluentes industriais que apresentam concentrações de cloreto elevadas como os da indústria do petróleo, algumas indústrias farmacêuticas, curtumes etc. Nas regiões costeiras, através da chamada intrusão da cunha salina, são encontradas águas com níveis altos de cloreto. Nas águas tratadas, a adição de cloro puro ou em solução leva a uma elevação do nível de cloreto, resultante das reações de dissociação do cloro na água.

O cloreto não apresenta toxicidade ao ser humano, exceto no caso da deficiência no metabolismo de cloreto de sódio, por exemplo, na insuficiência cardíaca congestiva. A concentração de cloreto em águas de abastecimento público constitui um padrão de aceitação, já que provoca sabor "salgado" na água. Concentrações acima de 250 mg/L causam sabor detectável na água, mas o limite depende dos cátions associados. Os consumidores podem, no entanto, habituarem-se a uma concentração de 250 mg/L, como é o caso de determinadas populações árabes adaptadas ao uso de água contendo 2.000 mg/L de cloreto. No caso do cloreto de cálcio, o sabor só é perceptível em concentrações acima de 1.000 mg/L. A Portaria

518/04 do Ministério da Saúde (MINISTÉRIO DA SAÚDE, BRASIL, 2004) estabelece o valor máximo de 250 mg/L de cloreto na água potável como padrão de aceitação de consumo.

Da mesma forma que o sulfato, sabe-se que o cloreto também interfere no tratamento anaeróbio de efluentes industriais, constituindo-se igualmente em interessante campo de investigação científica. O cloreto provoca corrosão em estruturas hidráulicas, como, por exemplo, em emissários submarinos para a disposição oceânica de esgotos sanitários, que por isso têm sido construídos com polietileno de alta densidade (PEAD). Interfere na determinação da DQO e, embora esta interferência seja atenuada pela adição de sulfato de mercúrio, as análises de DQO da água do mar não apresentam resultados confiáveis. Interfere também na determinação de nitratos.

Também era utilizado como indicadores da contaminação por esgotos sanitários, podendo-se associar a elevação do nível de cloreto em um rio com o lançamento de esgotos sanitários. Hoje, porém, o teste de coliformes termotolerantes é mais preciso para esta função. O cloreto apresenta também influência nas características dos ecossistemas aquáticos naturais, por provocarem alterações na pressão osmótica em células de microrganismos (CETESB, 2011). A determinação de cloretos nesta pesquisa foi realizada através do procedimento 4500- Cl^-, de APHA (1998).

4.4.7_Dureza Total

A dureza é uma característica conferida à água pela presença de alguns íons metálicos, principalmente os de cálcio e magnésio e, em menor grau, os íons ferrosos e do estrôncio. A dureza é reconhecida por impedir a formação de espuma pelo sabão. Além disso, produz incrustações nos sistemas de água quente (RICHTER e NETTO, 1995). A dureza é expressa em termos de concentração de $CaCO_3$ e o método utilizado para sua determinação foi o 2340 C – EDTA Titrimetric Method (APHA, 1998).

As águas podem ser classificadas conforme o grau de dureza em (RICHTER e NETTO, 1995):

Moles	Dureza inferior a	50 mg $CaCO_3$/L
Dureza moderada	Dureza entre	50 e 150 mg $CaCO_3$/L
Duras	Dureza entre	150 e 300 mg $CaCO_3$/L
Muito duras	Dureza superior a	300 mg $CaCO_3$/L

Do ponto de vista da saúde pública, não há objeções ao consumo de águas duras (VASCONCELOS, 2008).

4.4.8_Fosfato Total

O fósforo aparece em águas naturais devido, principalmente, às descargas de esgotos sanitários. A matéria orgânica fecal e os detergentes em pó empregados em larga escala domesticamente constituem a principal fonte.

Alguns efluentes industriais, como os de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, apresentam fósforo em quantidades excessivas. As águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas também podem provocar a presença excessiva de fósforo em águas naturais.

O fósforo pode se apresentar nas águas sob três formas diferentes. Os fosfatos orgânicos são a forma em que o fósforo compõe moléculas orgânicas, como a de um detergente, por exemplo. Os ortofosfatos são representados pelos radicais, que se combinam com cátions formando sais inorgânicos nas águas e os polifosfatos, ou fosfatos condensados, polímeros de ortofosfatos. Esta terceira forma não é muito importante nos estudos de controle de qualidade das águas, porque sofre hidrólise, convertendo-se rapidamente em ortofosfatos nas águas naturais.

Assim como o nitrogênio, o fósforo constitui-se em um dos principais nutrientes para os processos biológicos, ou seja, é um dos chamados macro-nutrientes, por ser exigido também em grandes quantidades pelas células. Nesta qualidade, torna-se parâmetro imprescindível em programas de caracterização de efluentes industriais que se pretende tratar por processo biológico. Em processos aeróbios, como informado anteriormente, exige-se uma relação DBO5:N:P mínima de 100:5:1, enquanto que em processos anaeróbios tem-se exigido a relação DQO:N:P mínima de 350:7:1. Os esgotos sanitários no Brasil apresentam, tipicamente, concentração de fósforo total na faixa de 6 a 10 mgP/L, não exercendo efeito limitante sobre os tratamento biológicos. Alguns efluentes industriais, porém, não possuem fósforo em suas composições, ou apresentam concentrações muito baixas. Neste caso, devem ser adicionados artificialmente compostos contendo fósforo como o monoamônio-fosfato (MAP) que, por ser usado em larga escala como fertilizante, apresenta custo relativamente baixo. Ainda por ser nutriente para processos biológicos, o excesso de fósforo em esgotos

sanitários e efluentes industriais conduz a processos de eutrofização das águas naturais (CETESB, 2011).

A determinação de fosfatos nesta pesquisa foi realizada através do procedimento 4500-P, de APHA (1998).

4.4.9_Série Nitrogenada

A remoção de compostos nitrogenados de efluentes tem recebido atenção cada vez mais crescente, em virtude dos sérios problemas ambientais com os quais estes estão envolvidos. O nitrogênio, em suas diversas formas de oxidação, está relacionado com problemas de poluição em corpos receptores, como a eutrofização, por exemplo, além de oferecer riscos à saúde humana quando presente em águas de abastecimento. O lançamento de nitrito ou nitrato em corpos d'água pode resultar em sérios danos a saúde humana causando doenças como a metahemoglobinemia (síndrome do bebê azul) (CROLL & HAYES, 1988).

No Brasil, sistemas anaeróbios para tratamento de efluentes são comumente utilizados devido às diversas vantagens que apresentam, quando comparados aos sistemas aeróbios. Porém, esses sistemas quando utilizados para tratamento de esgoto sanitário produzem efluentes com concentrações de nitrogênio amoniacal ($N\text{-}NH_3$) acima do valor permitido pela legislação. Assim, o pós-tratamento desses efluentes é, na atualidade, uma necessidade para estações que empregam essas biotecnologias (CARVALHO JUNIOR, 2008).

Embora as necessidades nutricionais para bactérias em processos de tratamento aeróbios e anaeróbios possam ser agrupadas em macronutrientes e micronutrientes, há diferenças significativas entre os requisitos nutricionais para estes dois processos de tratamento. Tais diferenças são devidas às necessidades únicas das bactérias metanogênicas, e ao baixo rendimento celular (produção de lodo) das bactérias fermentativas, quando comparado ao das bactérias aeróbias (GERARDI, 2003).

Os macronutrientes, por exemplo, nitrogênio e fósforo, que foram analisados para a fossa séptica biodigestora, são nutrientes requeridos em quantidades relativamente grandes por bactérias em geral. Estes são tornados disponíveis às bactérias anaeróbias, incluindo as bactérias metanogênicas, como nitrogênio amoniacal (NH_4^+ - N) e fósforo-ortofosfato (HPO_4^- - P), na forma solúvel, como todos os demais (GERARDI, 2003).

Os micronutrientes, por exemplo, cobalto e níquel, são nutrientes requeridos em quantidades relativamente pequenas pela maioria das bactérias. Porém, os nutrientes inorgânicos críticos à conversão de acetato a metano – limitantes da velocidade de conversão em um digestor anaeróbio – são os macronutrientes nitrogênio e fósforo, e os micronutrientes: cobalto, ferro, níquel e enxofre (GERARDI, 2003). Sendo que os micronutrientes não foram medidos para a FSB, não obstante, sua ausência ou desbalanceamento pode ter interferido no desempenho do processo de biodigestão anaeróbia.

Embora o nitrogênio sob a forma NH_4^+ - N seja a forma preferida pelas bactérias metanogênicas, algumas delas podem obter nitrogênio de outras fontes. Algumas são capazes de fixar nitrogênio molecular (N_2), e outras são capazes de utilizar o aminoácido alanina (CH_3CHNH_2COOH). Para o fósforo, a forma preferida é a já mencionada fósforo-ortofosfato (HPO_4^- - P).

Para a remoção biológica do nitrogênio, dois processos devem ser considerados: a nitrificação e a desnitrificação. O primeiro ocorre em condições aeróbias, enquanto que o segundo sob condições anóxicas. Logo, o projeto de sistemas que visam à remoção completa de compostos nitrogenados, deve prever condições suficientes para que esses processos ocorram de forma seqüencial e/ou simultânea.

O processo de oxidação do nitrogênio amoniacal ($N\text{-}NH_3$) a compostos mais oxidados é chamado de nitrificação, e pode ocorrer basicamente em duas etapas. Na primeira, denominada nitritação, o nitrogênio amoniacal é oxidado a nitrito ($N\text{-}NO_2^-$) e na segunda, o nitrito pode ser oxidado a nitrato ($N\text{-}NO_3^-$) em uma etapa denominada nitratação. Sistemas projetados para promoverem nitrificação devem apresentar alguns fatores ambientais essenciais para crescimento das bactérias nitrificantes. Esses fatores são basicamente: baixa carga orgânica afluente, oxigênio dissolvido e alcalinidade em $CaCO_3$ em quantidade e disponibilidade suficientes. A nitrificação é um processo que ocorre à custa do consumo da alcalinidade e do oxigênio dissolvido presente no sistema.

A remoção biológica do nitrato de águas residuárias é denominada desnitrificação. É um processo efetuado por bactérias heterótrofas, embora seja possível também ser realizado por bactérias autótrofas que utilizam compostos reduzidos de enxofre como doadores de elétrons. A desnitrificação autotrófica é um processo que ocorre obrigatoriamente sob condições anóxicas (ou seja, quando o aceptor final na cadeia de elétrons é o nitrato).

A determinação de nitrogênio nesta pesquisa foi realizada através dos métodos 4500 – Nitrogen (Ammonia, Nitrite, Nitrate e Organic), de APHA (1998).

4.4.10_Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é a quantidade de oxigênio requerida por microrganismos (predominantemente bactérias) para oxidar os compostos presentes numa determinada amostra. Já a Demanda Química de Oxigênio (DQO) é a quantidade de oxigênio necessária à oxidação química dos poluentes presentes ma amostra nas condições de ensaio, sendo ambas geralmente expressas em mg de oxigênio/L (SANT'ANNA JR., 2009).

Em se tratando do controle dos níveis de matéria orgânica em sistemas anaeróbios, a medida da DQO (Demanda Química de Oxigênio) é a mais indicada, uma vez que o ensaio de determinação da DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) é comumente utilizado em processos de tratamento aeróbio. Sua utilização em sistemas anaeróbios tem valor apenas quando indicativa da carga poluente para uma unidade de tratamento subseqüente, tal como em um sistema público de tratamento, ou na operação de uma unidade aeróbia de polimento, ou quando do lançamento direto do efluente em um corpo receptor superficial. Da mesma forma que a medida da DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) indica quanto de poluição orgânica pode ser degradada em um processo aeróbio, o ensaio de determinação do Potencial Bioquímico de Metano (PBM - do inglês *BMP – Biochemical Methane Potential*), é a medida correlata em processos anaeróbios, substituindo, portanto, a DBO (SPEECE, 1996).

No teste de DQO são oxidadas conjuntamente substâncias orgânicas facilmente putrescíveis, substâncias orgânicas de difícil decomposição, e substâncias minerais redutoras, como sulfetos e nitritos (BOTELHO & LYRA, 1974).

Na Figura 3, sintetiza-se o fenômeno da degradação biológica de compostos que ocorre nas águas naturais, que também se procura reproduzir sob condições controladas nas estações de tratamento de esgotos e, particularmente, durante a análise da DBO (CETESB, 2011).

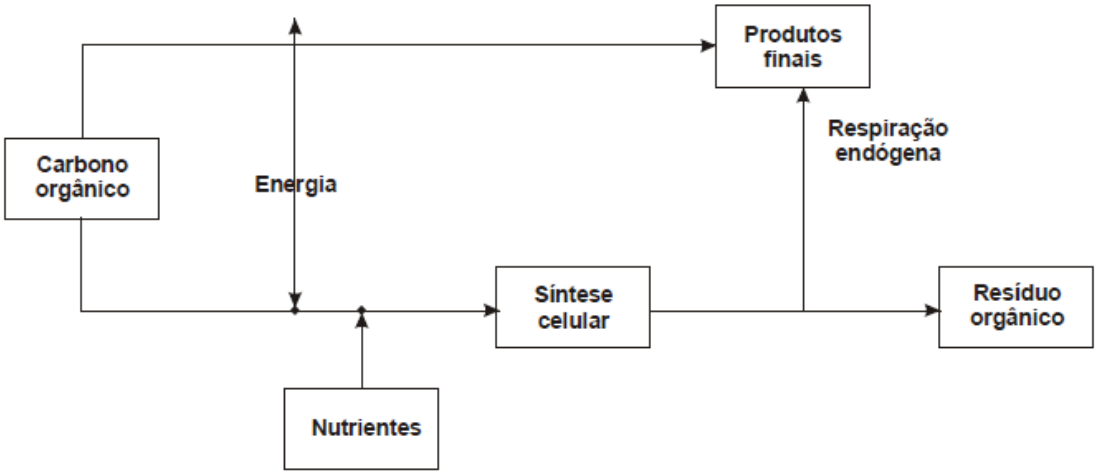


Figura 3 - Metabolismo de microrganismos heterótrofos (Fonte: CETESB, 2011).

No esquema da Figura 3, apresenta-se o metabolismo dos microrganismos heterotróficos, em que os compostos orgânicos biodegradáveis são transformados em produtos finais estáveis ou mineralizados, tais como água, gás carbônico, sulfatos, fosfatos, amônia, nitratos etc.

Nesse processo há consumo de oxigênio da água e liberação da energia contida nas ligações químicas das moléculas decompostas. Os microrganismos desempenham este importante papel no tratamento de esgotos, pois necessitam desta energia liberada, além de outros nutrientes para exercer suas funções celulares, tais como reprodução e locomoção, o que genericamente se denomina quimiossíntese.

Quando passa a ocorrer insuficiência de nutrientes no meio, os microrganismos sobreviventes passam a se alimentar do material das células que têm a membrana celular rompida. Este processo se denomina respiração endógena.

Finalmente, há, neste circuito, compostos que os microrganismos são incapazes de produzir enzimas que possam romper suas ligações químicas, permanecendo inalterados. Ao conjunto destes compostos dá-se o nome de resíduo não biodegradável ou recalcitrante. Pelo fato de a $DBO_{5,20}$ somente medir a quantidade de oxigênio consumido num teste padronizado, não indica a presença de matéria não biodegradável, nem leva em consideração o efeito tóxico ou inibidor de materiais sobre a atividade microbiana.

Os maiores aumentos em termos de DBO, num corpo d’água, são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica. A presença de um alto teor de matéria

orgânica pode induzir ao completo esgotamento do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática.

Um elevado valor da DBO pode indicar um incremento da microflora presente e interferir no equilíbrio da vida aquática, além de produzir sabores e odores desagradáveis e, ainda, pode obstruir os filtros de areia utilizados nas estações de tratamento de água.

No campo do tratamento de esgotos, a DBO é um parâmetro importante no controle das eficiências das estações, tanto de tratamentos biológicos aeróbios e anaeróbios, bem como físico-químicos (embora de fato ocorra demanda de oxigênio apenas nos processos aeróbios, a demanda "potencial" pode ser medida à entrada e à saída de qualquer tipo de tratamento). Na legislação do Estado de São Paulo, no Decreto Estadual n.º 8468, a DBO de cinco dias é padrão de emissão de esgotos diretamente nos corpos d'água, sendo exigidos uma DBO máxima de 60 mg/L ou uma eficiência global mínima do processo de tratamento igual a 80%. Este último critério favorece os efluentes industriais concentrados, que podem ser lançados com valores de DBO ainda altos, mesmo com remoção acima de 80%.

A carga de DBO expressa em kg/dia é um parâmetro fundamental no projeto das estações de tratamento biológico de esgotos. Dela resultam as principais características do sistema de tratamento, como áreas e volumes de tanques, potências de aeradores etc. A carga de DBO é produto da vazão do efluente pela concentração de DBO. Por exemplo, em uma indústria já existente, em que se pretenda instalar um sistema de tratamento, pode-se estabelecer um programa de medições de vazão e de análises de DBO para a obtenção da carga. O mesmo pode ser feito em um sistema de esgotos sanitários já implantado. Na impossibilidade, costuma-se recorrer a valores unitários estimativos.

No caso de esgotos sanitários, é tradicional no Brasil a adoção de uma contribuição "per capita" de $DBO_{5,20}$ de 54 $g.hab^{-1}.dia^{-1}$. Porém, há a necessidade de melhor definição deste parâmetro através de determinações de cargas de $DBO_{5,20}$ em bacias de esgotamento com população conhecida. No caso dos efluentes industriais, também se costuma estabelecer contribuições unitárias de $DBO_{5,20}$ em função de unidades de massa ou de volume de produto processado. Na Tabela 5 são apresentados valores típicos de concentração e contribuição unitária de $DBO_{5,20}$ para diferentes tipos de efluentes.

A determinação de $DBO_{5,20}$ nesta pesquisa foi realizada através do método 5210 B do APHA (1998).

Tabela 5 - Concentrações e contribuições unitárias típicas de $DBO_{5,20}$ de esgoto doméstico e efluentes industriais (Fonte: CETESB, 2011, baseado em BRAILLE E CAVALCANTI, 1993).

TIPO DE EFLUENTE	CONCENTRAÇÃO $DBO_{5,20}$ (mg/L)		CONTRIBUIÇÃO UNITÁRIA DE $DBO_{5,20}$ (kg/dia)	
	FAIXA	VALOR TÍPICO	FAIXA	VALOR TÍPICO
Esgoto sanitário	110-400	220	---	54 g/hab.dia
Celulose branqueada (processo Kraft)		300	29,2 a 42,7 kg/t	
Têxtil	250-600			
Laticínio	1.000-1.500		1,5-1,8 kg/m^3 leite	
Abatedouro bovino		1.125		6,3 kg/1.000 kg peso vivo
curtume (ao cromo)		2.500		88 kg/t pele salgada
Cervejaria	1.611-1.784	1.718		10,4 kg/m^3 cerveja
Refrigerante	940-1.335	1.188		4,8 kg/m^3 refrigerante
suco cítrico concentrado	2.100-3.000			2,0 kg/1000 kg laranja
açúcar e álcool		25.000		

4.4.11_Demanda Química de Oxigênio (DQO)

É a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica de uma amostra por meio de um agente químico, como o dicromato de potássio.

Os valores da DQO normalmente são maiores que os da $DBO_{5,20}$, sendo o teste realizado num prazo menor. O aumento da concentração de DQO num corpo d'água deve-se principalmente a despejos de origem industrial.

A DQO é um parâmetro indispensável nos estudos de caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais. A DQO é muito útil quando utilizada conjuntamente com a DBO para observar a biodegradabilidade de despejos. Sabe-se que o poder de oxidação do dicromato de potássio é maior do que o que resulta mediante a ação de microrganismos, exceto raríssimos casos como hidrocarbonetos aromáticos e piridina. Desta forma, os resultados da DQO de uma amostra são superiores aos de DBO. Como na DBO mede-se apenas a fração biodegradável, quanto mais este valor se aproximar da DQO significa que mais biodegradável será o efluente. É comum aplicar-se tratamentos biológicos para efluentes com relações DQO/ $DBO_{5,20}$ de 3/1, por exemplo. Mas valores muito elevados desta relação indicam grandes possibilidades de insucesso, uma vez que a fração biodegradável torna-se

pequena, tendo-se ainda o tratamento biológico prejudicado pelo efeito tóxico sobre os microrganismos exercido pela fração não biodegradável.

A DQO tem demonstrado ser um parâmetro bastante eficiente no controle de sistemas de tratamentos anaeróbios de esgotos sanitários e de efluentes industriais. Após o impulso que estes sistemas tiveram em seus desenvolvimentos a partir da década de 70, quando novos modelos de reatores foram criados e muitos estudos foram conduzidos, observa-se o uso prioritário da DQO para o controle das cargas aplicadas e das eficiências obtidas. A DBO nestes casos tem sido utilizada apenas como parâmetro secundário, mais para se verificar o atendimento à legislação, uma vez que tanto a legislação federal quanto a do Estado de São Paulo não incluem a DQO. Parece que os sólidos carreados dos reatores anaeróbios devido à ascensão das bolhas de gás produzidas ou devido ao escoamento, trazem maiores desvios nos resultados de DBO do que nos de DQO.

Outro uso importante que se faz da DQO é para a previsão das diluições das amostras na análise de DBO. Como o valor da DQO é superior e o resultado pode ser obtido no mesmo dia da coleta, essa variável poderá ser utilizado para balizar as diluições. No entanto, deve-se observar que a relação DQO/ $DBO_{5,20}$ é diferente para os diversos efluentes e que, para um mesmo efluente, a relação altera-se mediante tratamento, especialmente o biológico.

Desta forma, um efluente bruto que apresente relação DQO/ $DBO_{5,20}$ igual a 3/1, poderá, por exemplo, apresentar relação da ordem de 10/1 após tratamento biológico, que atua em maior extensão sobre a $DBO_{5,20}$. O método utilizado para a determinação da DQO neste trabalho foi o 5220 D – Closed Reflux, Colorimetric Method (APHA, 1998).

4.4.12_ Coliformes Totais e Coliformes Fecais

Os principais componentes das características biológicas do esgoto doméstico e das águas residuárias são os microrganismos, representados pelos coliformes fecais (presentes nas fezes humanas), coliformes totais (presentes nas fezes humanas e dos animais) e pelos agentes patogênicos, que são organismos e microrganismos que podem transmitir e causar doenças de veiculação hídrica (LEME, 2007).

São definidos como microrganismos do grupo coliforme aqueles capazes de fermentar a lactose a 44-45°C, sendo representados principalmente pela *Escherichia coli* e, também por algumas bactérias dos gêneros *Klebsiella, Enterobacter e Citrobacter*. Dentre esses microrganismos, somente a *E. coli* é de origem exclusivamente fecal, estando sempre

presente, em densidades elevadas nas fezes de humanos, mamíferos e pássaros, sendo raramente encontrada na água ou solo que não tenham recebido contaminação fecal.

Os demais microrganismos podem ocorrer em águas com altos teores de matéria orgânica, como por exemplo, efluentes industriais, ou em material vegetal e solo em processo de decomposição. Podem ser encontrados igualmente em águas de regiões tropicais ou sub-tropicais, sem qualquer poluição evidente por material de origem fecal. Entretanto, sua presença em águas de regiões de clima quente não pode ser ignorada, pois não pode ser excluída, nesse caso, a possibilidade da presença de microrganismos patogênicos.

Os microrganismos do grupo coliforme incluem todos os bacilos aeróbios ou anaeróbios facultativos, gram-negativos, não-esporulados, que fermentam a lactose com produção de gás, dentro de 48 horas, a 35° C; pertencem a este grupo: *Escherichia coli, Enterobacter aerogenese, Enterobacter cloacae; Citrobacter freundii; Klebsiella pneumoniae* (TELLES E COSTA, 2007).

Coliformes fecais, e mais recentemente *Escherichia coli*, têm atraído especial atenção na pesquisa ambiental devido ao uso destes microrganismos como indicadores de contaminação fecal e de prejuízos microbiológicos para as águas. Os padrões microbiológicos atuais de qualidade de água para usos potáveis, de irrigação e recreacionais são baseados primariamente nas concentrações de *Escherichia coli*. Esta bactéria é utilizada como padrão nos métodos de pesquisa microbiana. A existência de variedades patogênicas de *Escherichia coli* (enteropatogênicas, enterotoxigênicas, enterohemorrágicas, por exemplo) torna a sua escolha ainda mais apropriada (PACHEPSKY E SHELTON, 2011).

Os coliformes totais e coliformes fecais são microrganismos usados como indicadores, possuindo uma composição taxonômica variável e pertencentes à família *Enterobacteriaceae* (KOWAL *et. al*., 1981). Em estudo com água potável contaminada com coliformes, LAMKA *et. al*., citados por KOWAL *et. al*. (1981), observaram as composições percentuais entre os dois grupos (coliformes totais e fecais), ressaltando que a maioria das bactérias presentes no esgoto sanitário tem origem nas fezes humanas e que outras poucas bactérias, como a *Leptospira*, podem estar presentes na urina. Coliformes totais e fecais apresentam, como percentual de remoção aproximado, cerca de 10% e 35% em sistemas de tratamento primário, respectivamente, e de 90% a 99%, em sistemas de tratamento secundário, para ambos (LEME, 2007).

O procedimento adotado para a determinação dos Coliformes Totais foi o 9222 B – Standard Total Coliform Membrane Filter Procedure, do APHA (1998). Para a determinação

da concentração de Coliformes Fecais foi utilizado o método 9222 D – Fecal Coliform Membrane Filter Procedure, também do APHA (1998).

4.4.13_Série de Sólidos

Em saneamento, sólidos nas águas correspondem a toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura pré-estabelecida durante um tempo fixado. Em linhas gerais, as operações de secagem, calcinação e filtração são as que definem as diversas frações de sólidos presentes na água (sólidos totais, em suspensão, dissolvidos, fixos e voláteis). Os métodos empregados para a determinação de sólidos são gravimétricos (utilizando-se balança analítica ou de precisão) (CETESB, 2011).

Nos estudos de controle de poluição das águas naturais, principalmente nos estudos de caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais, as determinações dos níveis de concentração das diversas frações de sólidos resultam em um quadro geral da distribuição das partículas com relação ao tamanho (sólidos em suspensão e dissolvidos) e com relação à natureza (fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos). Este quadro não é definitivo para se entender o comportamento da água em questão, mas constitui-se em uma informação preliminar importante (CETESB, 2011).

Deve ser destacado que, embora a concentração de sólidos voláteis seja associada à presença de compostos orgânicos na água, não propicia qualquer informação sobre a natureza específica das diferentes moléculas orgânicas eventualmente presentes que, inclusive, iniciam o processo de volatilização em temperaturas diferentes, sendo a faixa compreendida entre 550-600°C uma faixa de referência. Alguns compostos orgânicos volatilizam-se a partir de 250°C, enquanto que outros exigem, por exemplo, temperaturas superiores a 1000°C (CETESB, 2011).

No controle operacional de sistemas de tratamento de esgotos, algumas frações de sólidos assumem grande importância. Em processos biológicos aeróbios, como os sistemas de lodos ativados e de lagoas aeradas mecanicamente, bem como em processos anaeróbios, as concentrações de sólidos em suspensão voláteis nos lodos dos reatores tem sido utilizadas para se estimar a concentração de microrganismos decompositores da matéria orgânica.

Isto ocorre porque as células vivas são, em última análise, compostos orgânicos e estão presentes formando flocos em grandes quantidades relativamente à matéria orgânica

“morta” nos tanques de tratamento biológico de esgotos. Embora não representem exatamente a fração ativa da biomassa presente, os sólidos voláteis têm sido utilizados de forma a atender as necessidades práticas do controle de rotina de uma Estação de Tratamento de Esgotos. Pode-se imaginar, por exemplo, as dificuldades de se utilizar a concentração de DNA para a identificação da biomassa ativa nos reatores biológicos (CETESB, 2011).

Algumas frações de sólidos podem ser relacionadas, produzindo informações importantes. É o caso da relação entre Sólidos em Suspensão Voláteis e Sólidos em Suspensão Totais (SSV/SST), que representa o grau de mineralização de um lodo. Por exemplo, determinado lodo biológico pode ter relação SSV/SST = 0,8 e, depois de sofrer processo de digestão bioquímica, ter esse valor reduzido abaixo de 0,4, já que, no processo de digestão bioquímica, a fração orgânica é oxidada, enquanto a fração inorgânica se mantém.

Para o recurso hídrico, os sólidos podem causar danos aos peixes e à vida aquática. Eles podem sedimentar no leito dos rios destruindo organismos que fornecem alimentos ou, também, danificar os leitos de desova de peixes. Os sólidos podem reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promovendo decomposição anaeróbia. Altos teores de sais minerais, particularmente sulfato e cloreto, estão associados à tendência de corrosão em sistemas de distribuição, além de conferir sabor às águas (CETESB, 2011).

Nos tanques sépticos, a remoção de sólidos sedimentáveis e a digestão anaeróbia desses sólidos são desenvolvidas simultaneamente. Embora as unidades com compartimentos simples e único sejam muito utilizadas, é preferível o uso de tanques com duas ou mais câmaras em série (LEME, 2007), que é o caso da fossa séptica biodigestora modelo EMBRAPA.

A razão para a construção de tanques sépticos em divisões de dois ou três compartimentos reside na manutenção do lodo em sua maior parte no primeiro compartimento existente, diminuindo assim o teor de sólidos no efluente final, e evitando perdas por arraste, as quais seriam facilitadas, caso houvesse apenas um compartimento (IMHOFF, 1986).

Seu dimensionamento é comumente realizado para a capacidade de 300 litros/habitante, equivalendo a um tempo de detenção hidráulico (TDH) de dois dias, para um consumo diário de 150 litros de água/habitante, sendo sua capacidade mínima de 3000 litros, com duas limpezas anuais previstas em tais condições, única providência necessária para sua operação/manutenção (IMHOFF, 1986). A previsão de sedimentação é de cerca de 60 a 70%

dos sólidos em suspensão contidos no esgoto, e parte dos sólidos não decantados (óleos, graxas, gorduras, etc.), de acordo com TELLES E COSTA (2007).

Sendo que nas fossas e tanques sépticos se processa a sedimentação de sólidos e a retenção de material graxo, é recomendável a instalação de uma caixa de gordura antes da entrada de afluentes, de modo a reter as gorduras, prevenindo a colmatação das unidades subseqüentes de tratamento, e a obstrução dos ramais de tubulações (TELLES E COSTA, 2007).

O lodo gerado tem sua melhor forma de disposição na agricultura. A segregação das águas pluviais é um imperativo em sua construção, pois, se negligenciada, poderá ocasionar arraste de todo o lodo acumulado, juntamente com o efluente, em caso de ocorrência de chuvas fortes (IMHOFF, 1986).

Nos tanques sépticos, no primeiro compartimento ocorre a sedimentação, a digestão e o armazenamento do lodo, enquanto no segundo ocorre uma sedimentação adicional e um armazenamento adicional de lodo, como proteção contra descargas adicionais que escapam da câmara anterior, sendo a remoção do lodo acumulado feita geralmente a cada 2 ou 3 anos (LEME, 2007). Esta concepção construtiva parece ter sido aplicada à fossa séptica biodigestora modelo EMBRAPA, adicionada ainda de uma terceira câmara em série, provida de meio filtrante, naturalmente que também capaz de reter sólidos.

De acordo com BATALHA (1989), a fossa séptica reduz a concentração dos sólidos sedimentáveis e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), cuja porcentagem de redução pode ser ampliada pelo prolongamento do tempo de detenção. Valores de remoção de sólidos sedimentáveis em torno de 85% a 95% foram observados por Azevedo Netto e Lothar Hess, para fossas sépticas bem projetadas e mantidas, e de 56%, também para sólidos sedimentáveis, por Sonia M. M. Vieira e Pedro Além Sobrinho, para fossa séptica de câmara dupla (BATALHA ,1989).

Os métodos utilizados para determinação de sólidos neste trabalho foram: 2540 B – Total Solids Dried at 103-105ºC e o 2540 C – Total Dissolved Solids Dried at 180ºC de APHA (1998), para sólidos totais e sólidos dissolvidos totais, respectivamente.

4.5_Elementos de Políticas Públicas

De acordo com DI GIOVANNI (2009), uma política pública, mais do que uma intervenção do Estado numa situação social considerada problemática, deve ser pensada como uma forma contemporânea de exercício do poder nas sociedades democráticas, resultante de uma complexa interação entre o Estado e a sociedade. É nessa interação que se definem as situações sociais consideradas problemáticas, bem como as formas, os conteúdos, os meios, os sentidos e as modalidades de intervenção estatal.

Essa conceituação depende, por sua vez, da concretização histórica de alguns requisitos que configuram as modernas democracias: pressupõe-se uma capacidade mínima de planificação consolidada nos aparelhos de Estado, seja do ponto de vista técnico de gestão, seja do ponto de vista político (DI GIOVANNI, 2009).

Considerada sob este aspecto, a problemática da gestão dos recursos hídricos, traduzida em eventos como enchentes e inundações, como também de escassez de água, entre outros, configura-se em episódios tanto antigos como extremamente atuais, em face ainda do tema das mudanças climáticas, que tendem ainda mais ao agravamento da presente situação para a sociedade.

Nesse contexto, o Estado, como agente interventor, e juntamente com a mesma sociedade, deve, no exercício de seu papel, empenhar-se ativamente nas soluções para a gestão ambiental e dos recursos hídricos.

BARTH (1992) caracterizou o histórico da gestão ambiental no planeta por três paradigmas: o jurídico-administrativo ou burocrático (final do século XIX até os anos 70), no qual houve o predomínio do controle legal e setorial para a expedição de outorgas e licenças, ou seja, trazendo em seu bojo uma abordagem regulatória; o econômico-financeiro (durante os anos 70), o qual foi impulsionado pelos limitados resultados da abordagem normativa na gestão ambiental, e durante o qual desenvolveram-se as idéias da análise custo-benefício propostas na década de 1930 nos EUA, a partir do pensamento econômico de John Maynard Keynes, o qual destacava o papel do Estado como empreendedor; e o terceiro paradigma, ao qual desejamos dar destaque, denominado integrador-participativo, desenvolvido nos anos 90, marcado pela gestão descentralizada e participativa, um dos princípios sobre o qual se fundamenta a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Nº 9433, de 08 de Janeiro de 1997), a qual prevê que “a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades” (Art. 1º, Inciso VI).

De modo semelhante, a Lei Nº 11.445, de 5 de Janeiro de 2007, em seu Artigo 2º, determina princípios embasados na gestão descentralizada e participativa para a política federal brasileira de saneamento básico.

Por gestão descentralizada entende-se a que incorpora o princípio da subsidiariedade, e cujo processo decisório flui em diferentes escalas espaciais, do nível federal aos mais locais, próximos do cidadão (municípios, bacias hidrográficas, etc.). Por gestão participativa da água entende-se a que incorpora a participação de diferentes setores da sociedade, incluindo os usuários da água e representantes da sociedade civil organizada, sendo que o atendimento das demandas hídricas é mais um direito social do que propriamente uma conquista ou uma dádiva, visando à melhoria da qualidade de vida da população (MAGALHÃES JR., 2010).

Por outro lado, em uma questão de natureza tão ampla como a das mudanças climáticas, as soluções para mitigação dos efeitos apontados pelas mesmas devem ser pactuadas a nível global, embora cada país deva atuar em suas próprias políticas no sentido de diminuírem suas vulnerabilidades. (VENDRUSCOLO E KOBIYAMA, 2007).

No Brasil, uma cultura de prevenção ainda não está interiorizada pelas Políticas Públicas e pela própria sociedade, e sim o predomínio de ações emergenciais. O atendimento aos desastres afeta os gastos sociais do governo, pois além dos danos imediatos a serem reparados, há deslocamento das prioridades de gasto e de intervenção pública para demandas de curto prazo, em detrimento dos investimentos de longo prazo e da adoção de estratégias de desenvolvimento sustentável (VENDRUSCOLO E KOBIYAMA, 2007).

Interligadas às mudanças climáticas, as políticas de redução de desastres existentes no Brasil atuam de modo desarticulado (VENDRUSCOLO E KOBIYAMA, 2007), mas não somente estas, visto que tal desarticulação se estende às demais políticas públicas, inclusive à gestão dos recursos hídricos, que ou carece de mecanismos para a solução dos problemas relacionados à esta gestão, ou carece de sua efetiva aplicação, especialmente em áreas urbanizadas, tendo em vista a presente situação.

Na elaboração de políticas públicas, questões como o balanço quantidade / qualidade na gestão dos recursos hídricos, e o controle sanitário no consumo das águas em geral, incluindo as águas pluviais, devem também ser consideradas, uma vez que há estrita necessidade de fornecer garantia de saúde às populações.

5_MATERIAL E MÉTODO EXPERIMENTAL

5.1_Aproveitamento e Tratamento de Águas Pluviais

Considerando que a Norma Brasileira ABNT NBR-15527:2007 – "Água de Chuva – Aproveitamento de Coberturas em Áreas Urbanas para Fins Não Potáveis – Requisitos" (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 2007), apresenta os requisitos para aproveitamento de águas de chuva derivadas do escoamento sobre coberturas em áreas urbanas, visando sua utilização para fins não potáveis, foram comparados nesta pesquisa os requisitos existentes nesta norma, aos resultados obtidos em um estudo de qualidade físico-químico e biológico. Posteriormente, foi também efetuada a comparação dos resultados do referido estudo de qualidade aos dados quantitativos de precipitação, levantados para seis eventos ocorridos em um período de aproximadamente 31 dias, entre os meses de março e abril de 2009, num lote experimental peri-urbano, visando a verificação dos usos possíveis para as condições encontradas no local de sua captação e armazenamento, por integrantes de uma residência unifamiliar.

Na ausência da Norma Brasileira ABNT NBR-15527:2007 (ABNT, 2007), foram adotados requisitos de qualidade mais restritivos, a favor da segurança e saúde humana e ambiental, como os da Portaria federal 518/2004 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, BRASIL, 2004), para águas destinadas a consumo humano, substituída em 12/12/2011 pela Portaria 2914 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, BRASIL, 2011).

O sistema de aproveitamento de águas pluviais projetado e utilizado na presente pesquisa e descrito adiante, visa à captação e tratamento das águas pluviais, envolvendo a remoção de sólidos grosseiros (folhas e galhos de árvores, restos de ninhos de aves, entre outros resíduos), através de um filtro-peneira tipo volumétrico, seguindo-se a sedimentação (especialmente de matéria mineral) em um tanque intermediário. Numa etapa posterior ocorre a reservação das águas pluviais, para sua distribuição através de ramais internos (separados da rede pública de abastecimento de água) em uma residência unifamiliar.

A partir da pesquisa realizada foi possível avaliar, entre outros itens, a eficiência deste sistema quanto à remoção dos poluentes presentes nas águas pluviais, bem como a necessidade de outras medidas de tratamento necessárias para obtenção de um nível de qualidade que satisfaça os requisitos da legislação aplicável.

5.2_Tratamento de Esgoto Domiciliar Visando Reuso - Desenvolvimento e Utilização da Fossa Séptica Biodigestora (FSB) ou Biodigestor Modelo EMBRAPA

O biodigestor modelo EMBRAPA utilizado nesta pesquisa apresenta configuração similar à de um tanque séptico ou fossa séptica, podendo da mesma forma que estes, ser utilizado em zonas rurais, peri-urbanas e urbanas. Este reator anaeróbio foi desenvolvido com dois objetivos: 1) substituir, a um custo baixo para o produtor rural, o esgoto a céu aberto e as fossas sépticas, e 2) utilizar o efluente como um adubo orgânico, minimizando gastos com adubação química, de modo a melhorar o saneamento rural e desenvolver a agricultura orgânica (EMBRAPA, 2002).

O uso do biodigestor modelo EMBRAPA (Figura 6), aliado a outras tecnologias de saneamento, como a tecnologia de desinfecção de esgotos tratados por meio de radiação ultravioleta LED-DUV (*Light Emitting Diode – Deep Ultraviolet- Diodo Emissor de Luz – Ultravioleta Profundo*), (visando seu reuso), objeto desta pesquisa, pode vir a constituir-se numa possível alternativa para o tratamento de esgotos sanitários em escala de lote domiciliar, com baixo custo de implantação, manutenção e operação.

O biodigestor modelo EMBRAPA necessita de área de cerca de $10m^2$, sendo de rápida execução e montagem. É composto de 3 tanques sépticos em multi-câmaras de 1000 litros cada, sendo as duas primeiras câmaras conectadas em série ao vaso sanitário e uma terceira acoplada às duas primeiras, que serve para a coleta do adubo orgânico gerado (Figuras 6, 7, 9-a e 9-b). O efluente gerado na saída da terceira câmara, com propriedades de fertirrigação, é potencialmente destinável como fonte de reuso para irrigação de jardins (EMBRAPA, 2004).

A fossa séptica biodigestora (FSB, ou biodigestor séptico) para a coleta e tratamento do esgoto sanitário com proposta de reuso de águas foi situada em uma das partes mais baixas do lote experimental peri-urbano, a fim de aproveitar a declividade para passagem das tubulações. Um telhado verde (CVL – Cobertura Verde Leve) foi construído sobre o biodigestor, isto é, sua estrutura serve de cobertura para as instalações do sistema de tratamento de esgoto. Esta concepção de projeto visa propor o reuso do efluente líquido gerado pelo biodigestor para fertirrigação, considerando as devidas análises e propostas de tratamento e desinfecção (OHNUMA JR., 2008, Figuras 4 a 7). A localização do lote experimental peri-urbano e sua planta podem ser vistas na Figura 5, e, na Figura 8, a localização do sítio de pesquisa na cidade de São Carlos.

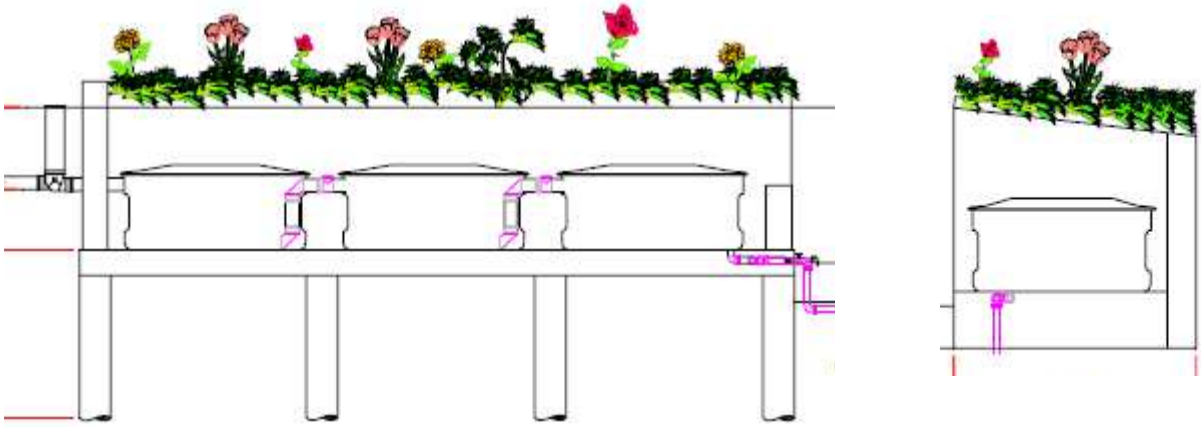


Figura 4 – Detalhes construtivos do telhado verde posicionado sobre a fossa séptica biodigestora no Lote Experimental Peri-Urbano (OHNUMA JR., 2008)

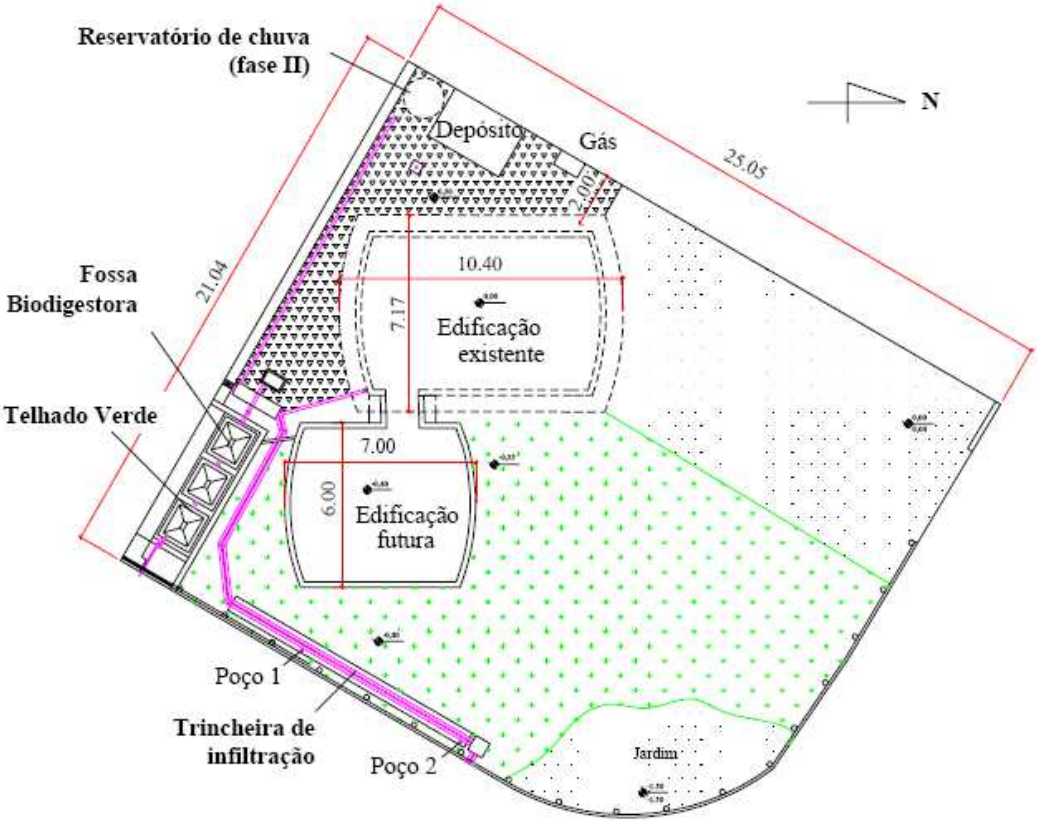


Figura 5 – Planta do Lote Experimental Peri-Urbano (Área de terreno: 507, 63 m^2), mostrando a localização do telhado verde sobre a fossa séptica biodigestora (FSB).

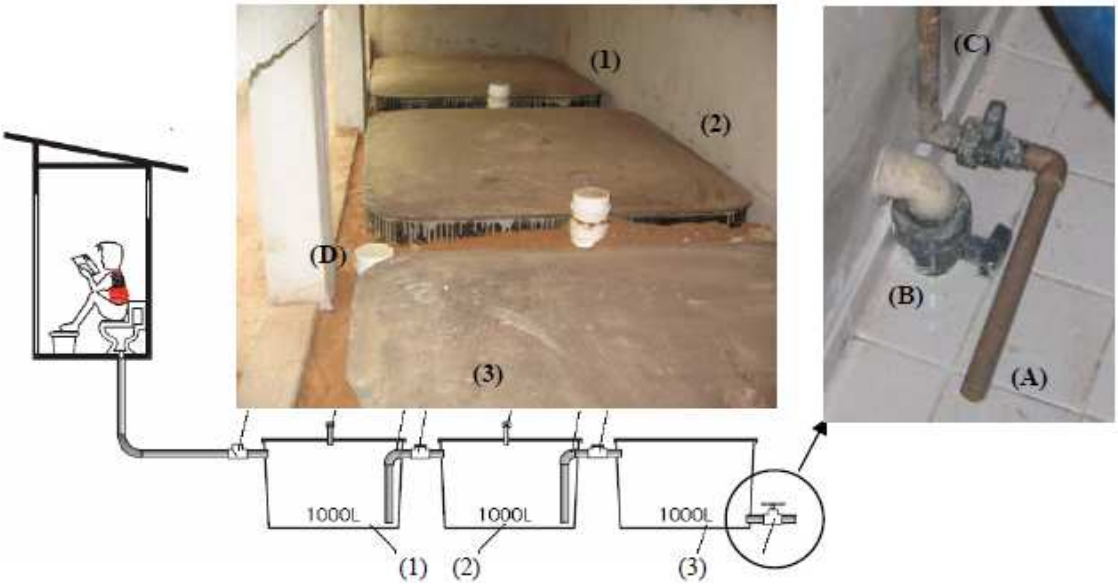


Figura 6 – Esquema da fossa séptica biodigestora (FSB) e fotos das caixas (1), (2) e (3) (esquerda) e do ponto de coleta de efluente (esquerda), em seu local de instalação no Lote Experimental Peri-Urbano.

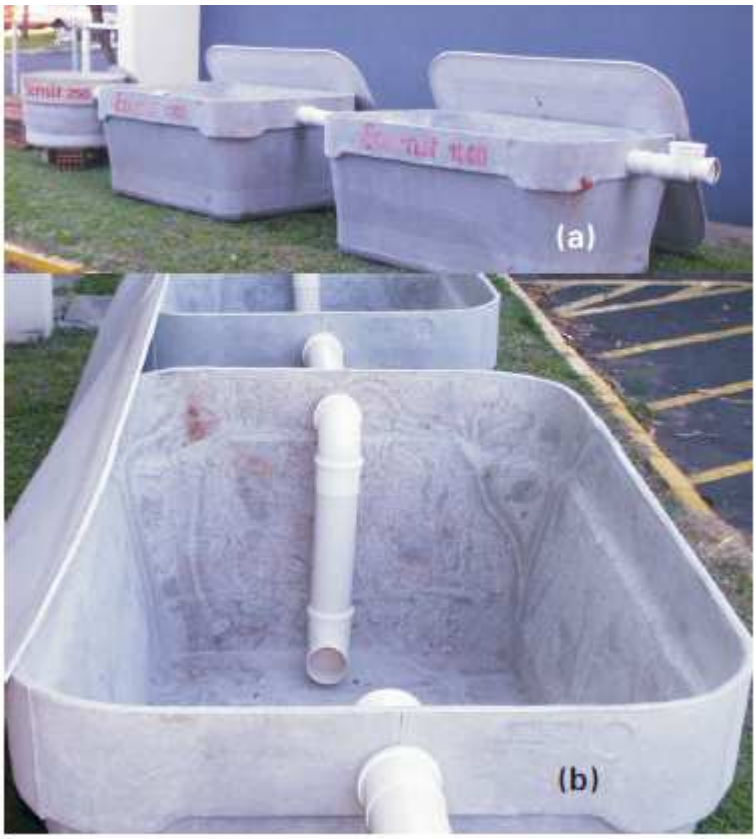


Figura 7 – Foto de uma fossa séptica biodigestora em montagem: a) vista lateral e b) vista superior.

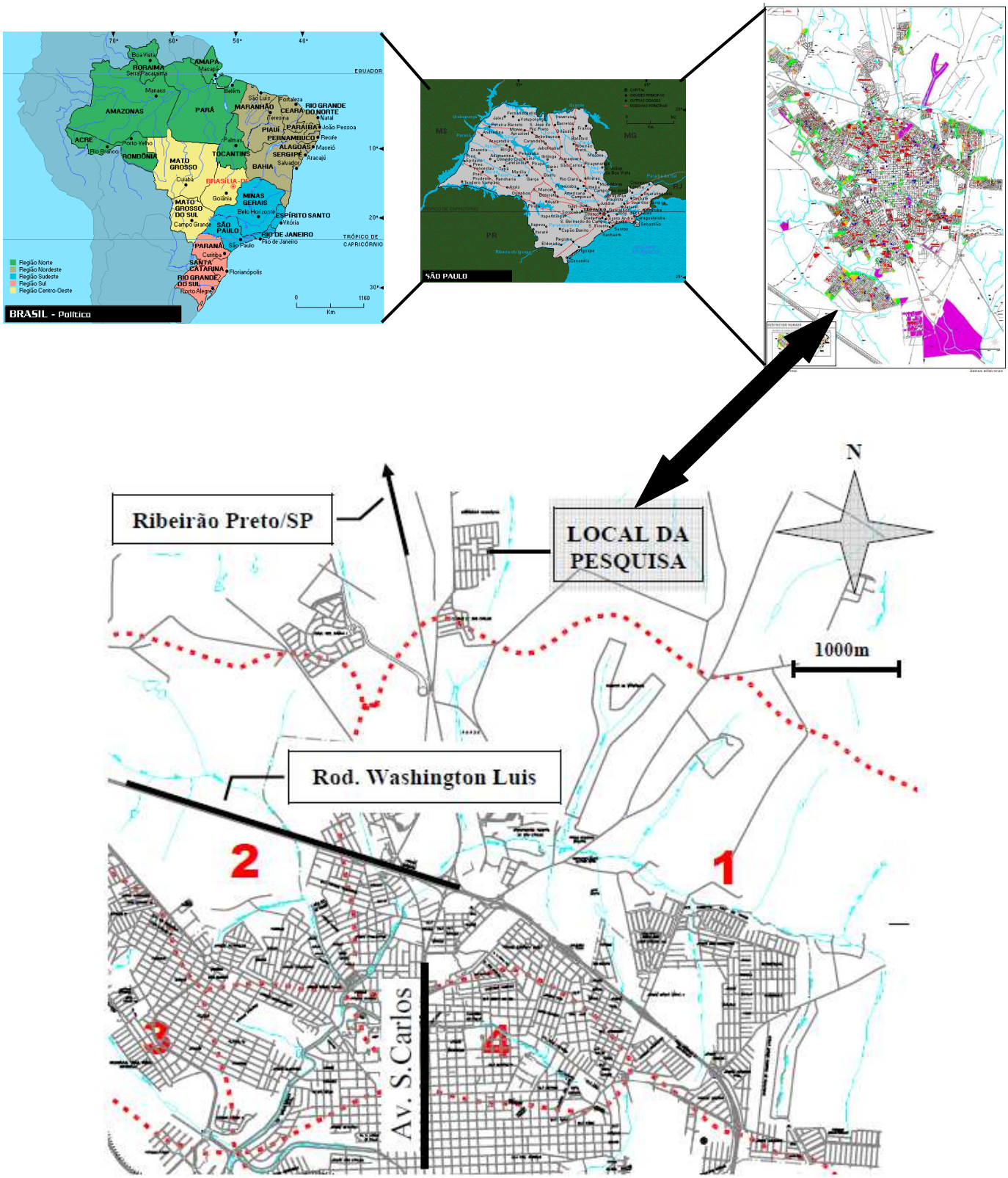


Figura 8 – Localização geográfica da cidade de São Carlos, mostrando o local onde se realizou a pesquisa.

O sistema (Figura 9-a) é composto por duas caixas de cimento amianto ou plástico de 1000 litros cada [5], facilmente encontradas no comércio, conectadas exclusivamente ao vaso sanitário, (pois a água do banheiro e da pia não têm potencial patogênico e sabão ou detergente tem propriedades antibióticas que inibem o processo de biodigestão) e a uma terceira de 1000 litros [6], que serve para coleta do efluente (adubo orgânico). O sistema deve ficar enterrado no solo para manter o isolamento térmico (EMBRAPA, 2002).

Inicialmente, a primeira caixa deve ser preenchida com aproximadamente 20 litros de uma mistura de 50% de água e 50% esterco bovino (fresco). O objetivo desse procedimento seria aumentar a atividade microbiana e conseqüentemente a eficiência da biodigestão, devendo ser repetido a cada 30 dias com 10 litros da mistura água/esterco bovino, através da válvula de retenção [1] (EMBRAPA, 2002). Porém, de acordo com CHERNICHARO (1997), por se tratarem de sistemas convencionais (de baixa taxa), em que predominam mecanismos físicos de remoção de matéria orgânica particulada, os quais atuam independentemente da inoculação do sistema, não são demandados cuidados especiais para a sua inicialização. Os benefícios advindos da eventual inoculação de tanques sépticos são mínimos, uma vez que nestes sistemas apenas uma pequena parcela da DQO é removida através de mecanismos bioquímicos de degradação (CHERNICHARO, 1997).

Sendo assim, no desenvolvimento da presente pesquisa, foi realizada esta mistura por um determinado período de tempo (Tabela 6), e posteriormente interrompida para a verificação da eficiência de funcionamento do sistema sem a mesma, a fim de se avaliar sua utilização em meio urbano e peri-urbano, onde, além disso, foi considerada a dificuldade de obtenção do esterco bovino.

As amostras da entrada e saída da fossa séptica biodigestora foram retiradas nos seguintes pontos: Entrada – diretamente da primeira caixa, a cerca de 20 cm de profundidade, de modo a se evitar a captação dos sólidos sobrenadantes, quase sempre presentes em grande quantidade na superfície da lâmina líquida (volume aproximado de 2 litros); Saída – registro de esfera de 50 mm [7], instalado na caixa coletora [6] (Figuras 9-a e 9-b - volume aproximado de 2 litros).

.

Tabela 6 – Datas e respectivos volumes de cargas de mistura água/esterco bovino efetuadas na Fossa Séptica Biodigestora (FSB) modelo EMBRAPA.

MISTURA Nº	DATA	VOLUME DE MISTURA PREPARADA
01	20/12/2005	60 LITROS
02	16/01/2006	50 LITROS
03	20/02/2006	50 LITROS
04	20/03/2006	60 LITROS
05	24/04/2006	50 LITROS
06	18/05/2006	60 LITROS
07	26/06/2006	50 LITROS
08	17/07/2006	60 LITROS
09	24/08/2006	60 LITROS
10	25/09/2006	60 LITROS
11	30/10/2006	60 LITROS
12	21/11/2006	60 LITROS
13	18/12/2006	60 LITROS
14	02/07/2007	60 LITROS

FONTE: OHNUMA JR. (2008).

O sistema consta ainda de duas chaminés de alívio [2] colocadas sobre as duas primeiras caixas para a descarga do gás acumulado (CH_4). A coleta do efluente é feita através do registro de esfera de 50 mm [7] instalado na caixa coletora [6]. Caso não se deseje aproveitar o efluente como adubo e utilizá-lo somente para irrigação, pode ser montado na terceira caixa um filtro de areia, que permitirá a saída de água sem excesso de matéria orgânica dissolvida (Figura 9-b), o que foi efetuado nesta pesquisa (EMBRAPA, 2002).

Visando evitar o contato do meio interno com o externo, e interferências no processo de biodigestão anaeróbia devidas à entrada de ar atmosférico, as tampas dessas caixas devem ser vedadas com borracha, e unidas entre si por tubos e conexões de PVC de 4", com curva de 90º longa [3] no interior das caixas. Ainda um “tê” de inspeção [4] deverá ser instalado (Figuras 9-a e 9-b), para o caso de entupimento do sistema (EMBRAPA, 2002).

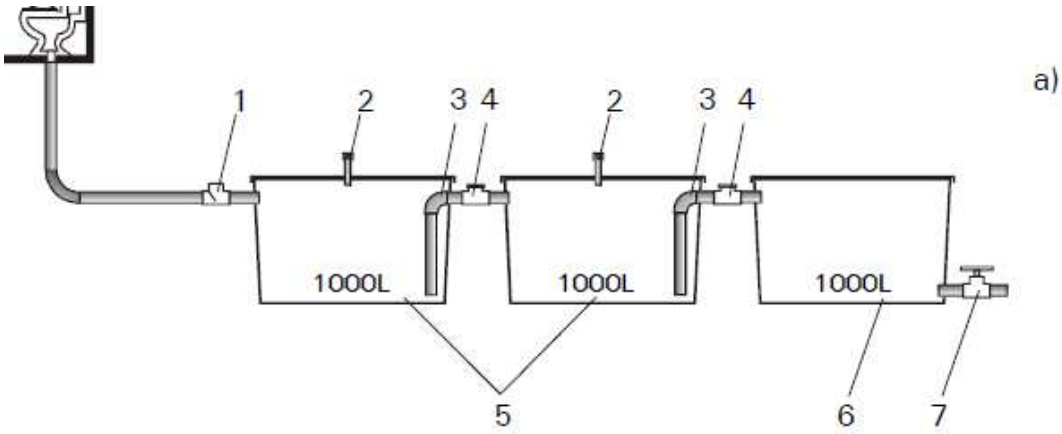


Figura 9-a – Esquema geral da Fossa Séptica Biodigestora (FSB) modelo EMBRAPA.

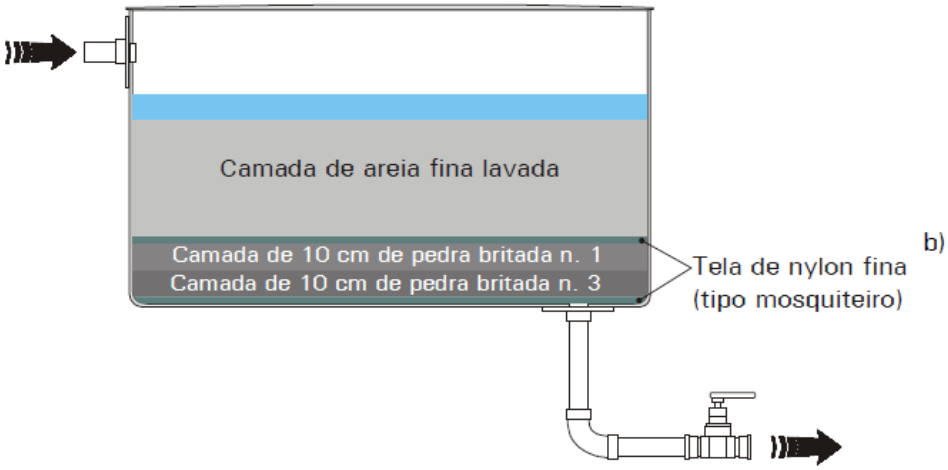


Figura 9-b – Esquema da terceira e última caixa da Fossa Séptica Biodigestora (FSB) modelo EMBRAPA, mostrando a composição das camadas do filtro de areia destinado à remoção da matéria orgânica, e a saída para descarga do efluente tratado na rede coletora de esgoto.

O conjunto de variáveis de qualidade físico-químicas e microbiológicas a serem analisadas para a fossa séptica biodigestora (Tabela 8) foi definido com base em OHNUMA JR (2006), o qual deu início ao monitoramento do sistema no Lote Experimental Peri-Urbano. Estas análises foram efetuadas de acordo com a 20ª edição do Standard Methods For Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998), no Laboratório de Saneamento do Campus da USP em São Carlos. Um cálculo atualizado (Dezembro/2011) do custo total de materiais necessários à montagem da fossa séptica biodigestora é apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Lista de materiais necessários para a montagem da FSB, com seus respectivos custos.

ITEM	QUANT.	UNIDADE	DESCRIÇÃO	CUSTO (R$)
01	03	pç	Caixa de Cimento Amianto de 1000 litros	423,30
02	06	m	Tubo de PVC 100 mm para esgoto	28,07
03	01	pç	Válvula de retenção de PVC 100 mm	56,31
04	02	pç	Curva 90° longa de PVC 100 mm	43,48
05	03	pç	Luva de PVC 100 mm	4,76
06	02	pç	Tê de inspeção de PVC 100 mm	8,36
07	10	pç	O'ring 100 mm	8,15
08	02	m	Tubo de PVC soldável 25 mm	2,74
09	02	pç	Cap de PVC soldável 25 mm	0,62
10	02	pç	Flange de PVC soldável 25 mm	9,86
11	01	pç	Flange de PVC soldável 50 mm	7,53
12	01	m	Tubo de PVC soldável 50 mm	5,00
13	01	pç	Registro de esfera de PVC 50 mm	13,52
14	02	tb	Cola de silicone de 300 g	15,79
15	25	m	Borracha de vedação 15x15 mm	103,00
16	01	tb	Pasta lubrificante para juntas elásticas em PVC rígido – 400 g	10,22
17	01	tb	Adesivo para PVC – 100 g	1,98
18	01	litro	Neutrol	17,33
			FERRAMENTAL	
ITEM	**QUANT.**	**UNIDADE**	**DESCRIÇÃO**	**CUSTO (R$)**
01	01	pç	Serra copo 100 mm	173,00
02	01	pç	Serra copo 50 mm	51,48
03	01	pç	Serra copo 25 mm	25,65
04	01	pç	Aplicador de silicone	6,29
05	01	pç	Arco de serra com lâmina de 24 dentes	12,90
06	01	pç	Furadeira elétrica	125,29
07	01	pç	Pincel de ¾"	4,00
08	01	pç	Pincel de 4"	6,00
09	01	pç	Estilete ou faca	1,46
10	02	fl	Lixa comum nº 100	1,68
				TOTAL: 1167,77

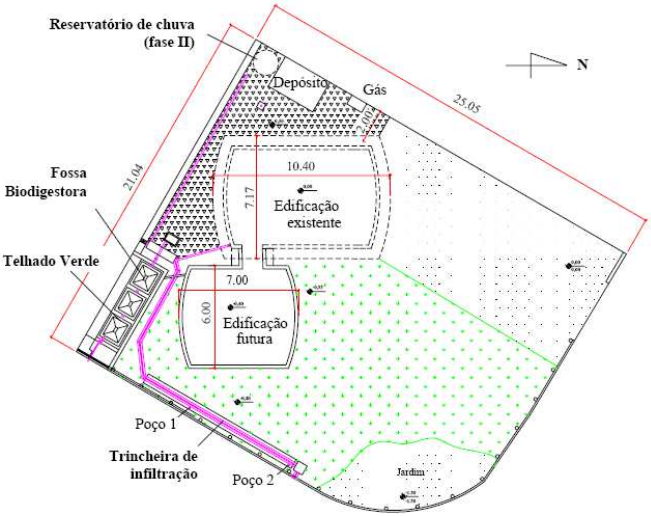
Tabela 8 - Parâmetros Físico-Químicos e Microbiológicos para o monitoramento do Biodigestor Modelo Embrapa (ou Fossa Séptica Biodigestora – FSB), para uma freqüência de amostragem mensal, baseados em OHNUMA JR. (2006).

PARÂMETRO	**Unidade de medida**
pH	--------
Turbidez	(NTU)
Demanda Química de Oxigênio	(mg O_2/L)
Série Nitrogenada: 1 - Nitrogênio Total	(mg N/L)
Série Nitrogenada: 2 - Nitrogênio Amoniacal	(mg N/L)
Série Nitrogenada: 3- Nitrogênio Nitrato	(mg N/L)
Série Nitrogenada: 4- Nitrogênio Nitrito	(mg N/L)
Fosfato Total	(mg PO_4^{3-}/L)
Coliformes Totais	(UFC/100 mL)
E. coli	(UFC/100 mL)
Série de Sólidos: 1-Sólidos Totais	(mg/L)
Série de Sólidos: 2-Sólidos Totais Fixos	(mg/L)
Série de Sólidos: 3-Sólidos Totais Voláteis	(mg/L)
Série de Sólidos: 4-Sólidos Suspensos Totais	(mg/L)
Série de Sólidos: 5-Sólidos Suspensos Fixos	(mg/L)
Série de Sólidos: 6-Sólidos Suspensos Voláteis	(mg/L)
Série de Sólidos: 7-Sólidos Dissolvidos Totais	(mg/L)
Serie de Sólidos: 8- Sólidos Dissolvidos Fixos	(mg/L)
Serie de Sólidos: 9 -Sólidos Dissolvidos Voláteis	(mg/L)

Obs.: Caso o efluente não seja utilizado como adubo orgânico, acrescentar: areia fina lavada e pedra britada n◦ 1.

5.3_Apresentação dos sítios experimentais urbanos e peri-urbano

A seguir são apresentados os três sítios experimentais urbanos, num dos quais (Lote Experimental Peri-Urbano, situado no Residencial Samambaia, em São Carlos, de acordo com as Figuras 8 e 10) foram desenvolvidos tanto os experimentos de biodigestão anaeróbia como os experimentos para águas pluviais, ambos objetos desta pesquisa, sendo que os experimentos para águas pluviais foram comparados com os dados dos experimentos realizados por VASCONCELOS (2008), nos sítios experimentais LAEG-1 e LAEG-2, localizados na área 1 do Campus da USP em São Carlos (Figuras 11 e 12), para confrontação do desempenho de três diferentes tipos de coberturas: Telhado de zinco (Lote Experimental Peri-Urbano – Figura 15), telhado pré-fabricado a partir de embalagens de leite longa vida Tetra Pak recicladas prensadas (Figura 24), e Cobertura Verde Leve (CVL - Figuras 25 e 26).



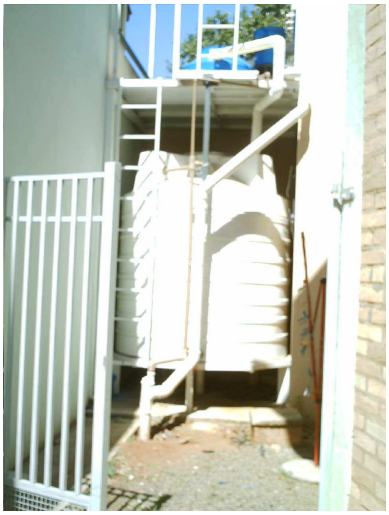


Figura 10 - Sítio 1 - Lote Experimental Peri-Urbano (Área de terreno: 507, 63 m^2).

Figura 11 - Sítio 2-LAEG-1 (área ≈ 66 m^2). Figura 12 - Sítio 3-LAEG-2 (área ≈75 m^2).

A Tabela 11 apresenta as datas, horários e respectivos pontos nos quais as séries amostrais para as águas pluviais foram realizadas. A seleção dos parâmetros a serem monitorados foi efetuada por meio de um levantamento bibliográfico a partir de diversos autores, sendo seus resultados apresentados na Tabela 9. A partir destes autores, foram selecionados os parâmetros com maior freqüência estatística, gerando um segundo rol de parâmetros (Tabela 10), para os quais foram realizadas as análises físico-químicas e biológicas para 7 (sete) pontos do sistema de aproveitamento de águas pluviais instalado no Lote Experimental Peri-Urbano, cujo desenho esquemático e fotos são apresentados nas Figuras 13 a 18, e 20, 21. Estas análises físico-químicas e biológicas foram realizadas no Laboratório de Saneamento da USP São Carlos, de acordo com a 20ª edição do Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998). Os SAP´s instalados nos Sítios Experimentais 1 e 2 (respectivamente **LAEG-1 e LAEG-2)**, são apresentados nas Figuras 19, 22, 23 e 27 a 30.

Tabela 9 – Seleção de parâmetros para análise de qualidade de águas pluviais peri-urbanas.

PARÂMETRO	PORTO (1995)	KIBLER (1982)	TUCCI (1) (1995)	TUCCI (2) (2001; 2003)	TUCCI & MARQUES (2001)	AKAN (1993)	TOMAZ (2003)
pH				X	X		X
Turbidez					X		X
Cor							
Condutividade				X			
Temperatura					X		
Oxigênio Dissolvido					X		
Cloretos		X		X			
DQO	X	X	X		X		X
DBO	X	X	X		X	X	X
Sólidos Totais	X	X	X		X	X	X
Sólidos Totais Dissolvidos							X
Sólidos Suspensos Totais		X				X	X
Sólidos Totais Voláteis		X				X	
Sólidos Sedimentáveis		X	X			X	
Nitrogênio Total Kjeldahl	X		X		X	X	X
Nitrogênio Nitrato	X			X			X
Nitrogênio Nitrito	X						X
Nitrogênio Amoniacal		X				X	X
Nitrogênio Orgânico		X				X	
Fósforo Total	X	X	X		X	X	X
Fósforo Dissolvido						X	X
Fósforo Solúvel	X	X					
Ortofosfato							X
Coliformes Totais		X	X		X		
Coliformes Fecais		X	X				X
Estreptococos Fecais		X					X
Óleos e Graxas (OG)		X					X
Fenóis		X					
Metais – Ferro				X			
Metais – Cobre	X			X	X		X
Metais – Cobre Recuperável						X	
Metais – Chumbo	X	X		X	X		X
Metais – Chumbo Recuperável						X	
Metais – Zinco	X						X
Metais – Zinco Recuperável						X	
Metais – Cálcio				X			
Metais – Magnésio				X			
Metais – Cádmio				X			X
Metais - Cromo					X		X
Metais - Níquel							X

Tabela 10 – Rol de variáveis de qualidade selecionados para as 6 (seis) séries amostrais de águas pluviais no lote experimental peri-urbano de São Carlos/SP.

VARIÁVEIS PARA AS SEIS SÉRIES AMOSTRAIS DE ÁGUAS PLUVIAIS	**UNIDADE**
pH	--------
Turbidez	(NTU)
Cor	(mg PtCl/L)
Oxigênio Dissolvido	(mg/L)
Demanda Química de Oxigênio	(mg O_2/L)
Demanda Bioquímica de Oxigênio	(mg O_2/L)
Nitrogênio Total	(mg N/L)
Nitrogênio Amoniacal	(mg N/L)
Nitrogênio Nitrito	(mg N/L)
Nitrogênio Nitrato	(mg N/L)
Fosfato Total	(mg PO_4^{3-} /L)
Condutividade	mS/cm
Cloretos	(mg/L)
Dureza Total	(mg/L)
Coliformes Totais	(UFC/100 mL)
Escherichia coli	(UFC/100 mL)
Sólidos Totais	(mg/L)
Sólidos Totais Fixos	(mg/L)
Sólidos Totais Voláteis	(mg/L)
Sólidos Suspensos Totais	(mg/L)
Sólidos Suspensos Fixos	(mg/L)
Sólidos Suspensos Voláteis	(mg/L)
Sólidos Dissolvidos Totais	(mg/L)
Sólidos Dissolvidos Fixos	(mg/L)
Sólidos Dissolvidos Voláteis	(mg/L)
Metais - Ferro	(mg/L)
Metais - Manganês	(mg/L)
Metais - Zinco	(mg/L)
Metais - Chumbo	(mg/L)
Metais - Cádmio	(mg/L)
Metais - Cobre	(mg/L)
Metais - Cromo	(mg/L)
Metais - Níquel	(mg/L)
Metais – Prata (alguns pontos)	(mg/L)
Metais – Cobalto (alguns pontos)	(mg/L)
Metais – Lítio (alguns pontos)	(mg/L)
Metais – Bário (alguns pontos)	(mg/L)
Metais – Alumínio (alguns pontos)	(mg/L)

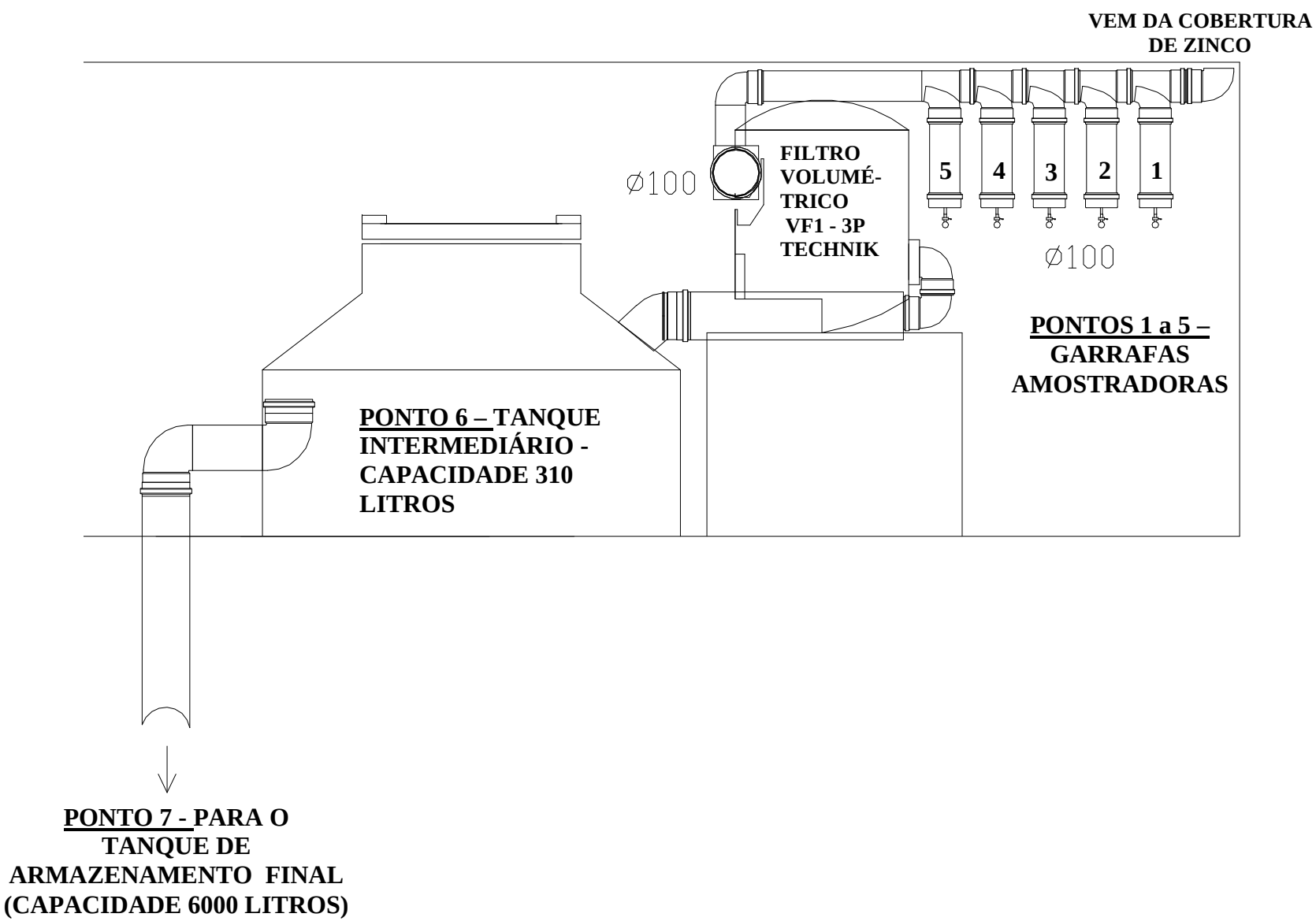


Figura 13 – Desenho esquemático dos pontos de amostragem de águas pluviais do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, elaborado em software Autocad.

Figura 14 – Vista geral do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano.

Figura 15 – Vista geral do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, com vista parcial da cobertura de zinco (inclinação: esquerda: ~14,9%; direita: ~ 9,0%) e parte de seus acessórios.

Figura 16 – Tanque de armazenamento marca Tinabrás (capacidade: 6000 litros).

Figura 17 – Conjunto de amostradores (capacidade total aproximada: 12,5 litros).

Figura 18 – Filtro VF-1 3P Technik.

Figura 19 – Tanque de sedimentação intermediário para captação do ***first-flush*** (capacidade: 310 litros), marca Acqualimp.

Figura 20 – Interligações do conjunto de amostradores, Filtro VF-1 3P Technik e tanque de sedimentação intermediário (*first-flush*).

Figura 21 – Interligações do Filtro VF-1 3P Technik e tanque de sedimentação intermediário (esquerda); e tanque de sedimentação intermediário com o tanque de armazenamento de 6000 litros(direita).

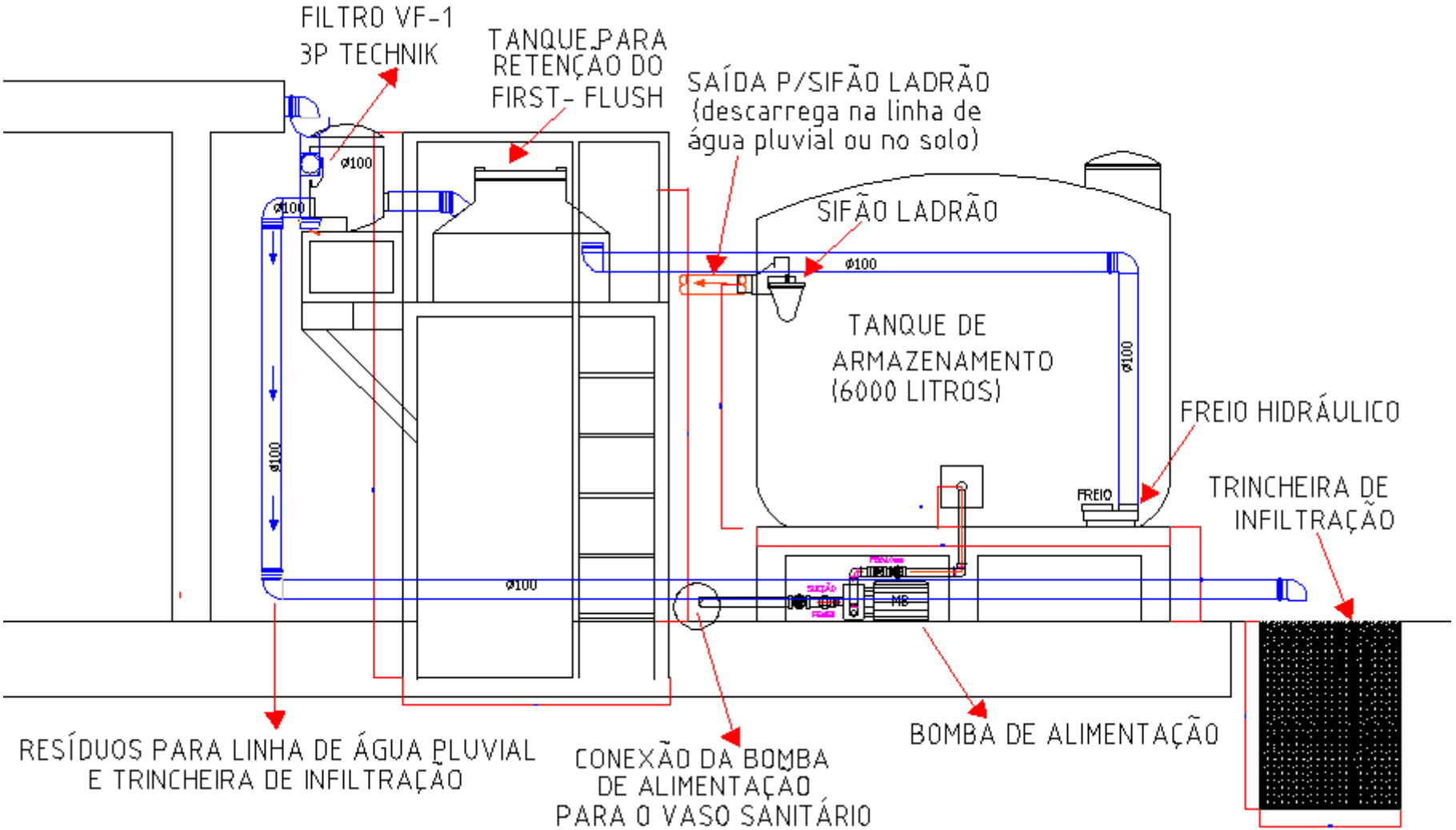


Figura 22 - Esquema geral dos SAP's (Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais) utilizados nos Sítios Experimentais dos LAEG's 1 e 2 (GALAVOTI *et al*, 2007), elaborado em software Autocad.

Figura 23 – Amostrador de águas pluviais utilizado nos SAP's (Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais) dos três sítios experimentais (LAEG's 1 e 2 e Lote Experimental Peri-Urbano).

Figura 24 - Superfície de captação impermeável no LAEG-1 (Telhado Tetra Pak).

Figura 25 - Superfície de captação permeável no LAEG 2 – CVL (Cobertura Verde Leve).

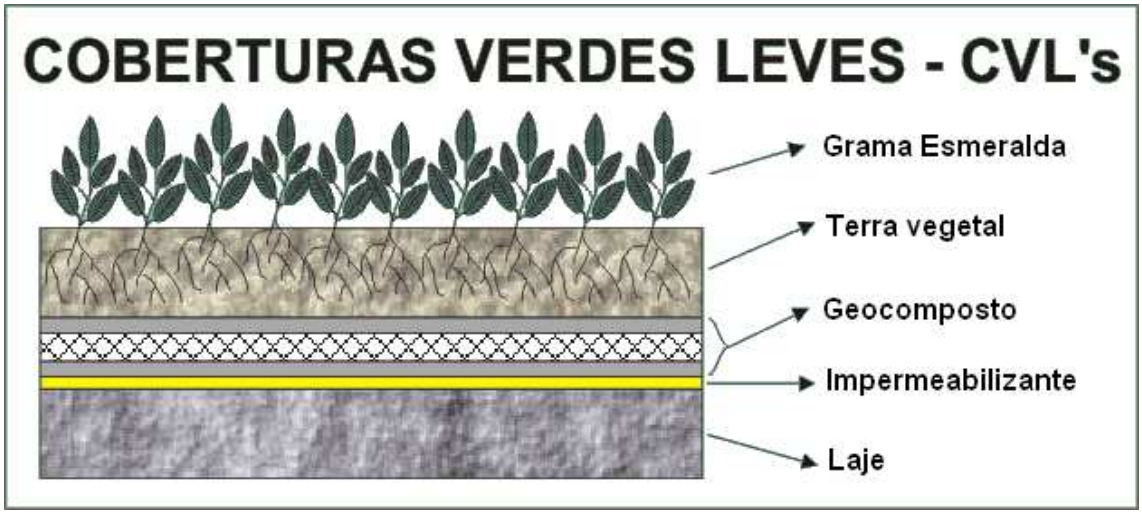


Figura 26. Composição da CVL (VECCHIA e NOLASCO, 2006).

Figura 27 – Vista-1 do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do LAEG 2.

Figura 28 – Vista-2 do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do LAEG-2.

Figura 29 – Vista-1 do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do LAEG-1.

Figura 30 – Vista-2 do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do LAEG-1.

O SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano foi construído na mesma configuração básica dos demais (situados nos LAEG's 1 e 2, na área 1 do Campus de São Carlos da USP, em disposição horizontal, conforme as Figuras 22 a 30), e de acordo com os espaços disponíveis em cada local, diferindo apenas quanto às coberturas utilizadas, sendo que o SAP do Lote foi construído numa disposição vertical. O fluxograma do caminhamento das águas pluviais captadas no telhado de zinco existente no Lote pode ser visto na Figura 33.

Cada um dos sistemas é composto de:

1. Superfície de captação: Telhado de Zinco (Lote Experimental Peri-Urbano – Figura 15); telhado composto por telhas prensadas a partir de embalagens Tetra Pak recicladas – Figura 24; Cobertura Verde Leve (CVL – Figura 25)

2. Calhas: As calhas são os componentes do sistema responsáveis pelo direcionamento da água coletada na superfície de captação para os Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais (SAP's). Foram utilizadas calhas em PVC Amanco com bitola de 170 mm, resistentes à ação dos raios UV, para os SAP's dos LAEG's 1 e 2 (Figuras 24 e 25) e calhas em aço galvanizado, para o SAP do Lote Experimental Peri-Urbano (Figura 15); nos três casos, situadas ao redor das superfícies de captação de águas pluviais;

3. Amostrador:

Para caracterização da água no decorrer da precipitação é necessária a coleta de amostras seqüenciais durante o evento. Na ausência de um amostrador seqüencial automático para coleta das amostras, foi proposto por VASCONCELOS (2008) a instalação de uma tubulação com reservatórios que se enchem conforme chove, de forma que o primeiro reservatório se enche com a água proveniente dos primeiros instantes de chuva, o segundo, com a água dos instantes seguintes e assim sucessivamente, até o quinto reservatório. Cada reservatório possui 2,5 L de capacidade de armazenamento de água e considera-se que no início da chuva os reservatórios estejam todos vazios. Deve-se considerar que pode ocorrer um pouco de mistura na amostra coletada em cada reservatório, porém esta é a forma mais viável de amostragem com as condições do experimento e a mistura não é muito relevante. Uma foto do amostrador utilizado é encontrada na Figura 23, sendo que a coleta das amostras

deve ser realizada em cada um dos registros de coleta. Com relação às coletas, devido à saída dos registros ficar um pouco acima do nível mínimo do amostrador, sempre fica um pouco de água de precipitações anteriores acumulada, de forma que isto pode intervir em alguns resultados das análises, como os de sólidos totais, os quais podem sedimentar e acumular-se (VASCONCELOS, 2008);

4. Filtro VF13P Technik: O filtro volumétrico VF1 (Figuras 18, 20, 22, 27, 33 e 34), segundo 3P TECHNIK (2008), funciona de forma que a água, ao chegar ao filtro, entra nos vãos entre as ripas da cascata. As sujeiras mais grosseiras, como folhas e galhos, passam por cima das ripas, onde são direcionadas ao descarte. A água de chuva passa, então, por uma tela de 0,26 mm, abaixo das ripas, e é direcionada ao reservatório de água de chuva. O descarte dessa unidade é realizado na trincheira de infiltração acoplada ao sistema (VASCONCELOS, 2008);

5. Tanque para retenção do *first-flush* e sedimentação de matéria mineral (Figuras 19, 21 ,22, 31, 33): Outro modo já consagrado de descarte do *first-flush* é o reservatório de auto-limpeza, o qual retém um volume inicial de água de chuva. Este volume depende da área da superfície de coleta. Segundo TOMAZ (1998), este volume deve ser de 0,4 L/m². Já DACACH (1990) considera que o reservatório de auto-limpeza deve conter de 0,8 a 1,5 L/m² de telhado (VASCONCELOS, 2008).

O funcionamento do reservatório de auto-limpeza se dá de forma que a água do início da precipitação fique nele contida. Uma forma comumente utilizada é a instalação de uma bóia de nível que, com o enchimento do reservatório, fecha sua entrada, permitindo a passagem da água para o reservatório de armazenamento. Porém, de modo mais simplificado, pode-se também fazer apenas uma entrada pela parte superior de uma caixa e uma saída apenas um pouco mais baixa que a entrada. Assim, ocorre um pouco de mistura da água, mas se dá a separação do *first-flush*. Este esquema pode ser visualizado na Figura 31 (VASCONCELOS, 2008).

Os tanques instalados nos experimentos possuem capacidade útil aproximada de 222 litros. Considerando-se as áreas das superfícies de captação e as recomendações da literatura verifica-se que em ambos os protótipos foi adotado um volume maior que o indicado para a retenção do first-flush. Isto se justifica pelo fato de as superfícies de captação serem diferentes das comumente utilizadas e pelo sistema adotado, o qual promove um coeficiente

de mistura no reservatório, diminuindo a eficiência de retenção do *first-flush*. Esta caixa deve ser esvaziada a cada evento de precipitação. A água removida dessa unidade é direcionada à trincheira de infiltração (VASCONCELOS, 2008);

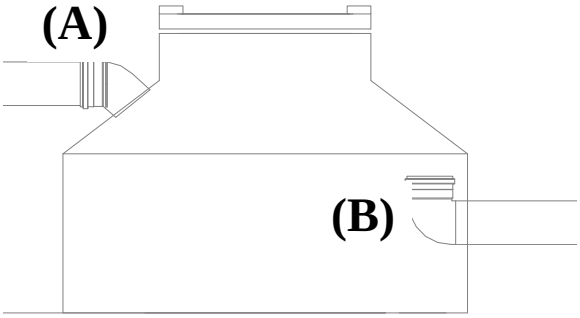


Figura 31 - Tanque para retenção do *first-flush* e sedimentação de matéria mineral, com as suas conexões de entrada (A- superior) e saída (B- rebaixada).

6. Tanque de armazenamento

Em cada um dos protótipos foi instalado um tanque para armazenamento da água coletada (Figuras 14, 16, 22 e 27 a 30). Seu volume total é de 6 m³, e o volume útil, de 5 m³. A água armazenada é utilizada na limpeza dos vasos sanitários. Em caso de extravasamento do tanque, a água segue para a trincheira de infiltração (VASCONCELOS, 2008);

7. Trincheira de infiltração:

Foi instalada uma trincheira em cada protótipo para facilitar a infiltração dos excedentes dos sistemas de captação e armazenamento de água de chuva no solo. Estas trincheiras são compostas por uma cava no terreno, onde esta é recoberta por geocomposto MacDrain 2L e preenchida por brita. Após o enchimento com brita, outra camada de geocomposto MacDrain 2L é colocada e uma camada de pedras brancas é adicionada para melhorar a estética da unidade (Figuras 22 e 32). No telhado impermeável, onde o coeficiente de *runoff* é maior, o volume útil da trincheira é de 1,01 m³. Já no telhado permeável, o seu volume útil é de 0,79 m³ (VASCONCELOS, 2008);

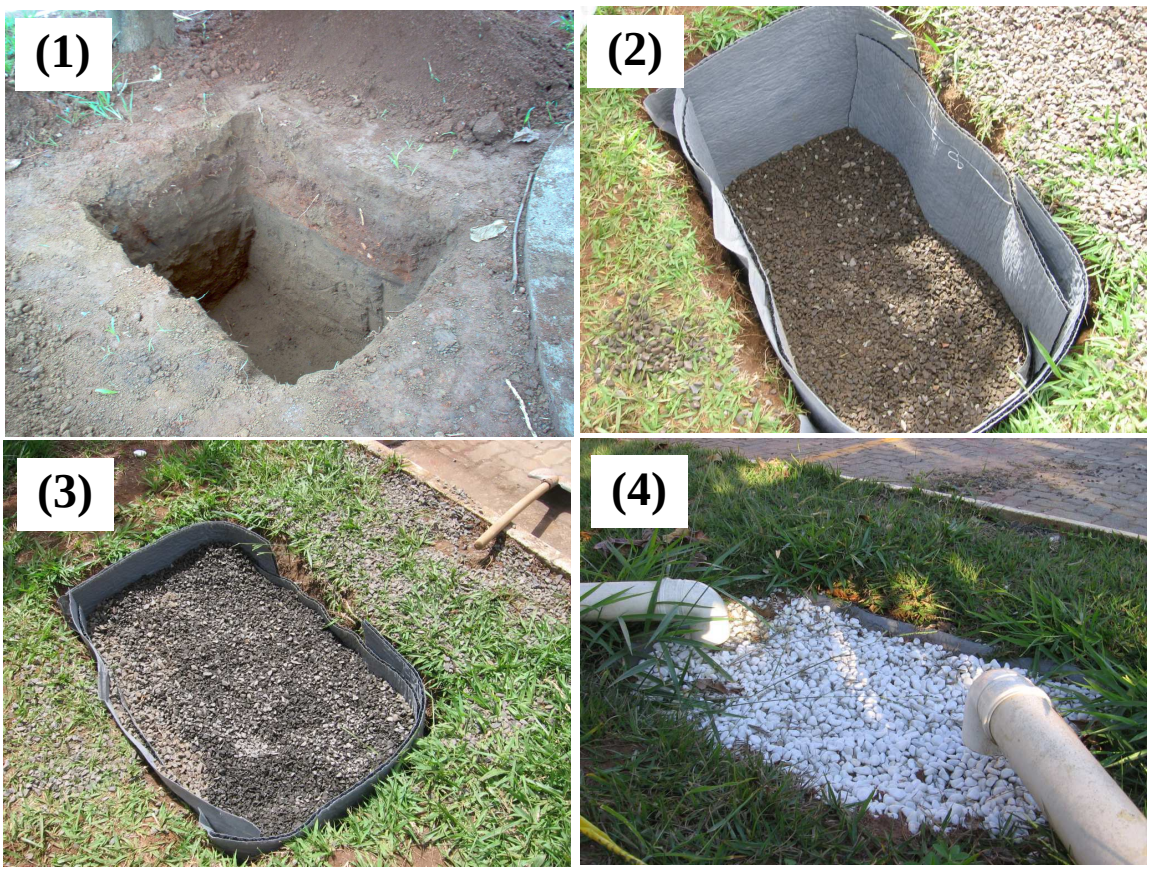


Figura 32. Etapas de construção da trincheira de infiltração nos SAP's dos LAEG's 1 e 2 da área 1 do Campus da USP em São Carlos.

8. Bomba

Dependendo do nível da água na caixa de armazenamento, esta não consegue alimentar a caixa acoplada do vaso sanitário apenas por gravidade, necessitando, portanto de uma bomba. (Figuras 22 e 33). Para tanto, foi instalada uma bomba de ½ HP, a qual é acionada por eletroníveis (VASCONCELOS, 2008);

9. Filtro

Antes da entrada na caixa acoplada foi instalado um filtro de coluna de 50 micra (Figura 33), para melhorar ainda mais a qualidade da água que chega para uso (VASCONCELOS, 2008).

A Figura 34 apresenta um fluxograma simplificado dos sistemas de águas pluviais e da fossa séptica biodigestora, com as respectivas etapas/operações unitárias neles realizadas.

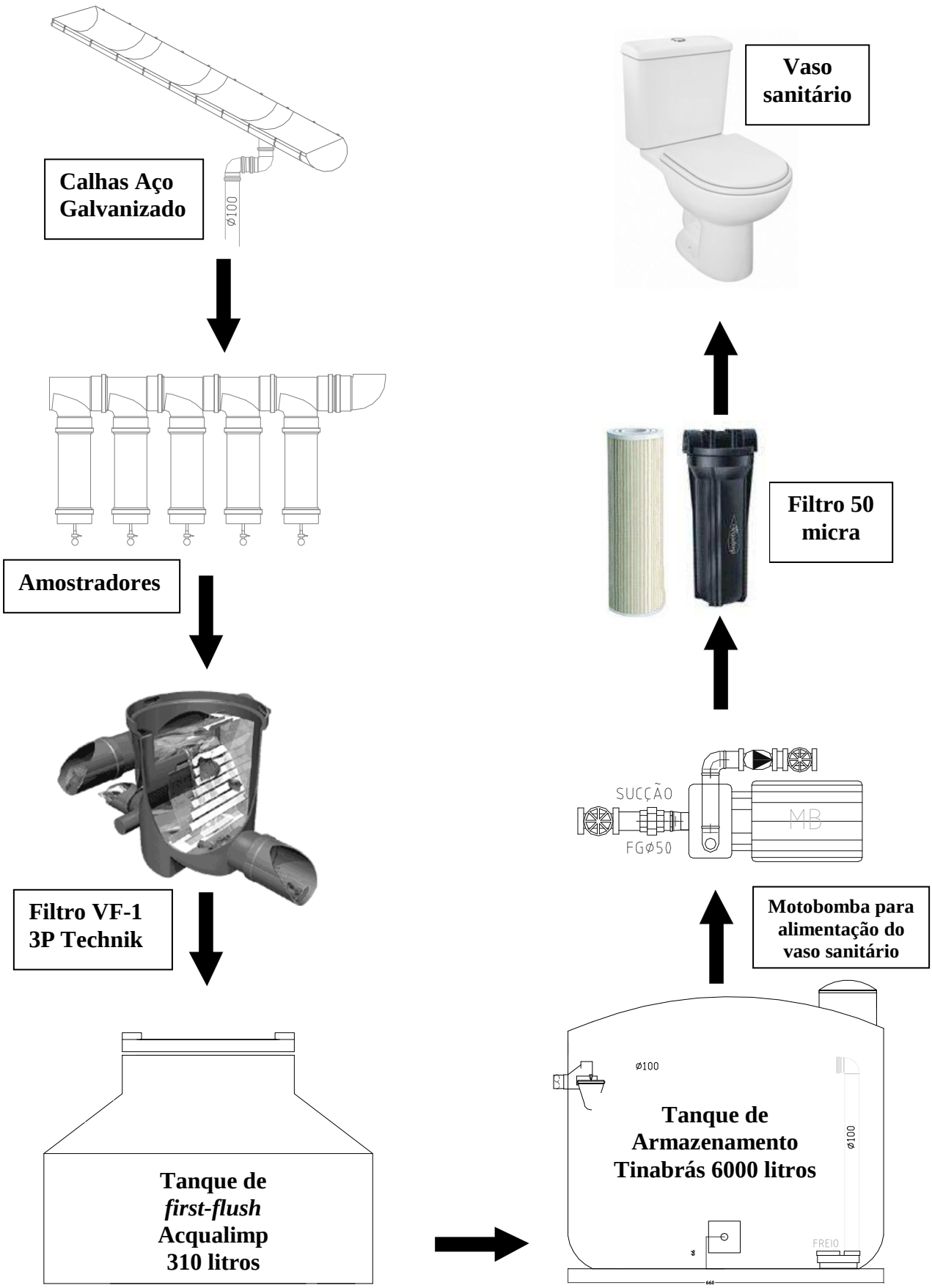
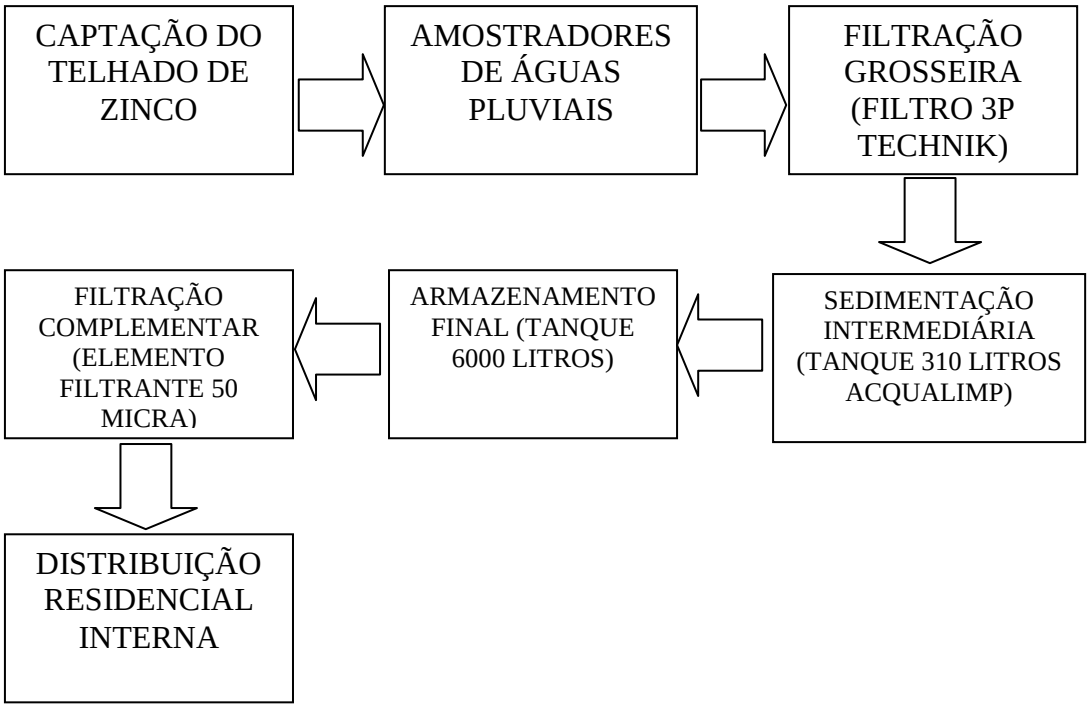


Figura 33 - Fluxograma do caminhamento das águas pluviais advindas do telhado de zinco para o SAP do Lote Experimental Peri-Urbano.

SAP'S:



FSB:

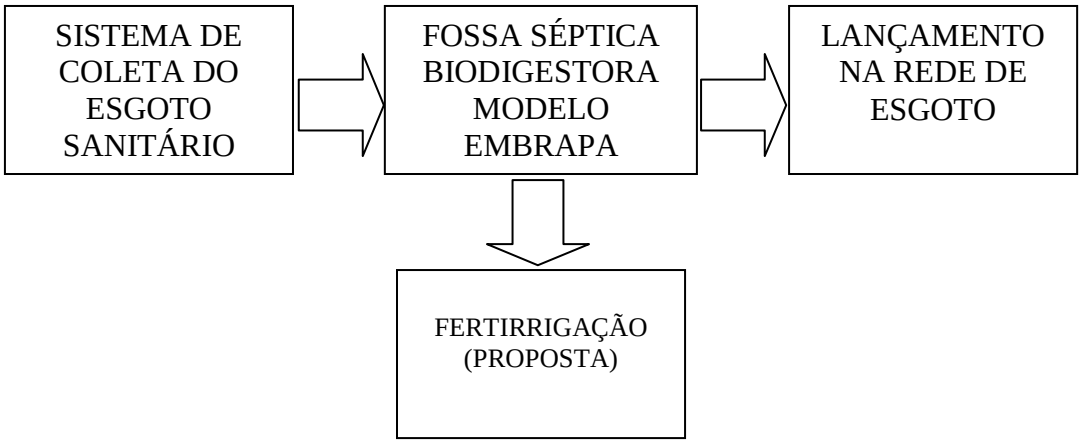


Figura 34 - Fluxograma simplificado das etapas e/ou operações unitárias envolvidas nos sistemas de águas pluviais (SAP's) e na fossa séptica biodigestora (FSB) modelo EMBRAPA.

Figura 35 – Desenho esquemático do Filtro VF1 de água de chuva (3P Technik, 2008).

Tabela 11 – Datas, horários e respectivos pontos de amostragem para as 6 (seis) séries amostrais realizadas no Lote Experimental Peri-Urbano.

PONTO // SÉRIE AMOSTRAL	DATA e HORA DA AMOSTRAGEM	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5	PONTO 6	PONTO 7
PRIMEIRA SÉRIE	05.03.09 7:55h	X					X	X
SEGUNDA SÉRIE	10.03.09 7:50h	X	X	X	X	X	X	X
TERCEIRA SÉRIE	11.03.09 9:00h	X		X		X	X	X
QUARTA SÉRIE	24.03.09 9:30h		X		X		X	X
QUINTA SÉRIE	31.03.09 17:40h	X				X	X	X
SEXTA SÉRIE	06.04.09 15:00h	X	X	X	X	X	X	X

5.4_Atividades experimentais que foram desenvolvidas no Lote Experimental Peri-Urbano:

A) Gerenciamento da montagem do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais), por pessoal terceirizado, envolvendo a compra de materiais, projeto e acompanhamento da instalação no Lote Experimental Peri-Urbano (com base na configuração de projeto adotada para os SAP's dos LAEG'S 1 e 2, montados anteriormente);

B) Monitoramento de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos para os esgotos sanitários gerados no lote (baseados em OHNUMA JR., 2006), à entrada e saída da fossa séptica biodigestora (FSB), conforme descrito anteriormente (Figuras 9-a e 9-b);

C) Monitoramento de parâmetros de qualidade físicos, químicos e microbiológicos para as águas pluviais gerados no lote: os parâmetros avaliados foram aqueles descritos na Tabela 10 (comparados aos de VASCONCELOS, 2008), para uma freqüência de amostragem de 6 (seis) eventos de precipitação e em 7 (sete) pontos de amostragem ao longo do Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais (SAP);

D) Levantamento de parâmetros hidrológicos, visando estabelecer correlações entre estes e os parâmetros de qualidade físicos, químicos e microbiológicos das águas pluviais. Este levantamento foi realizado através de uma estação hidrometeorológica dotada de pluviômetro, sensor de radiação solar, sensor de ultravioleta, temperatura, umidade relativa do ar, pressão barométrica, sensor de direção e velocidade do vento, marca DAVIS modelo Vantage PRO, a qual já estava sendo utilizada no monitoramento relativo às atividades de pesquisa de OHNUMA JR. (2006, 2008);

5.5_Atividades experimentais que foram desenvolvidas para as águas pluviais no LAEG-1:

A) Desenvolvimento de ensaios de turbidez e coliformes totais e fecais em laboratório (Laboratório de Saneamento da USP São Carlos, de acordo com a 20ª edição do Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998)**,** e posteriormente em uma unidade protótipo para desinfecção de águas pluviais por radiação ultravioleta (UV) através de LED's (Diodo Emissor de Luz), instalada no Laboratório de Hidráulica do SHS/EESC/USP.

6_RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1_Apresentação do conjunto global de resultados para as águas pluviais

Os resultados globais das análises físico-químicas e microbiológicas realizadas para as 6 (seis) séries amostrais de águas pluviais realizadas no Lote Experimental Peri-Urbano são apresentados nas Tabelas 12 a 17. Os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas para a fossa séptica biodigestora (FSB) serão apresentados e analisados em seção posterior deste trabalho.

Tabela 12 - Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas para a primeira série amostral das águas pluviais.

PRIMEIRA SÉRIE AMOSTRAL (05/03/09 – HC: 7:55 h)	**UNIDADE**	**PONTO 1**	**PONTO 6**	**PONTO 7**
pH	--------	6,72	6,91	7,23
TURBIDEZ	(NTU)	2,93	1,28	0,48
COR	(mg PtCl/L)	38,0	21,0	5,0
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	(mg/L)	3,9	7,1	7,8
DEMANDA QUÍM ICA DE OXIGÊNIO	(mg O_2/L)	19	17	14
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO	(mg O_2/L)	6,1	4,0	1,4
NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL	(mg N/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0
NITROGÊNIO AMONIACAL	(mg N/L)	0,72	0,66	0,28
NITROGÊNIO NITRITO	(mg N/L)	0,0231	0,0137	0,0239
NITROGÊNIO NITRATO	(mg N/L)	0,1	0,089	0,079
FOSFATO TOTAL	(mg PO_4^{3-}/L)	0,1339	0,1261	0,1104
CONDUTIVIDADE	mS/cm	20,80	19,73	14,62
CLORETOS	(mg/L)	0,5	0,5	0,9
DUREZA TOTAL	(mg/L)	5,1	5,1	4,1
COLIFORMES TOTAIS	(UFC/100 mL)	$6,2 \times 10^4$	$1,04 \times 10^4$	83
E. COLI	(UFC/100 mL)	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
SÓLIDOS TOTAIS	(mg/L)	229,0	109,0	99,0
SÓLIDOS TOTAIS FIXOS	(mg/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0
SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS	(mg/L)	229,0	109,0	99,0
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	(mg/L)	57,0	< 1,0	3,0
SÓLIDOS SUSPENSOS FIXOS	(mg/L)	6,4	< 1,0	< 1,0
SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS	(mg/L)	50,6	< 1,0	3,0
SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS	(mg/L)	172,0	109,0	96,0
SÓLIDOS DISSOLVIDOS FIXOS	(mg/L)	6,4	< 1,0	< 1,0
SÓLIDOS DISSOLVIDOS VOLÁTEIS	(mg/L)	165,6	109,0	96,0
METAIS - FERRO	(mg/L)	0,672	0,661	0,212
METAIS - MANGANÊS	(mg/L)	0,019	0,011	0,004
METAIS - ZINCO	(mg/L)	1,238	0,566	0,226
METAIS - CHUMBO	(mg/L)	0,250	0,11	0,11
METAIS - CÁDMIO	(mg/L)	0,111	0,10	0,005
METAIS - COBRE	(mg/L)	0,022	0,005	ND
METAIS - CROMO	(mg/L)	0,029	0,037	0,015
METAIS - NÍQUEL	(mg/L)	0,060	0,077	0,041
METAIS – PRATA	(mg/L)	-----	0,008	-----
METAIS – COBALTO	(mg/L)	-----	0,021	-----
METAIS – LÍTIO	(mg/L)	-----	ND	-----
METAIS – BÁRIO	(mg/L)	-----	0,520	-----
METAIS - ALUMÍNIO	(mg/L)	-----	0,220	-----

Tabela 13 - Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas para a segunda série amostral das águas pluviais.

SEGUNDA SÉRIE AMOSTRAL – 10/03/09 – HC: 7:50 h)	**UNIDADE**	**PONTO 1**	**PONTO 2**	**PONTO 3**	**PONTO 4**	**PONTO 5**	**PONTO 6**	**PONTO 7**
pH	--------	7,04	6,96	6,87	6,80	6,54	6,66	6,38
TURBIDEZ	(NTU)	1,31	1,24	0,99	0,64	0,93	1,41	0,81
COR	(mg PtCl/L)	19	7	7	7	7	10	5
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	(mg/L)	5,9	7,1	7,6	7,5	7,6	7,7	7,3
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO	(mg O_2/L)	22	14	21	11	21	20	14
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO	(mg O_2/L)	2,5	1,5	< 1,0	1,2	< 1,0	2,3	< 1,0
NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL	(mg N/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
NITROGÊNIO AMONIACAL	(mg N/L)	0,12	0,08	0,04	0,03	0,04	0,31	0,13
NITROGÊNIO NITRITO	(mg N/L)	0,0022	0,0026	0,0028	0,0022	0,0030	0,0033	0,0044
NITROGÊNIO NITRATO	(mg N/L)	0,002	0,011	0,003	0,014	0,010	0,035	0,144
FOSFATO TOTAL	(mg PO_4^{3-}/L)	0,0833	0,0845	0,0551	0,0598	0,0715	0,0868	0,0868
CONDUTIVIDADE	mS/cm	10,55	5,71	5,33	4,31	4,74	7,86	15,01
CLORETOS	(mg/L)	ZERO	0,1	0,3	0,1	ZERO	0,1	0,8
DUREZA TOTAL	(mg/L)	11,2	10,2	8,2	4,1	9,2	7,1	8,2
COLIFORMES TOTAIS	(UFC/100 mL)	$2,5 \times 10^4$	$4,05 \times 10^3$	$1,5 \times 10^5$	$3,0 \times 10^3$	620	270	$1,6 \times 10^4$
E. COLI	(UFC/100 mL)	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
SÓLIDOS TOTAIS	(mg/L)	67,0	65,6	88,0	83,0	32,0	82,0	53,0
SÓLIDOS TOTAIS FIXOS	(mg/L)	< 1,0	12,8	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS	(mg/L)	67,0	52,8	88,0	83,0	32,0	82,0	53,0
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	(mg/L)	3,3	32,0	37,0	2,0	8,0	1,0	< 1,0
SÓLIDOS SUSPENSOS FIXOS	(mg/L)	< 1,0	3,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS	(mg/L)	3,3	29,0	37,0	2,0	8,0	1,0	< 1,0
SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS	(mg/L)	63,7	33,6	51,0	81,0	24,0	81,0	53,0
SÓLIDOS DISSOLVIDOS FIXOS	(mg/L)	< 1,0	9,8	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
SÓLIDOS DISSOLVIDOS VOLÁTEIS	(mg/L)	63,7	23,8	51,0	81,0	24,0	81,0	53,0
METAIS - FERRO	(mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND	0,052	ND
METAIS - MANGANÊS	(mg/L)	0,006	0,005	ND	ND	ND	0,004	ND
METAIS - ZINCO	(mg/L)	0,664	0,457	0,397	0,336	0,303	0,237	0,204
METAIS - CHUMBO	(mg/L)	0,110	0,090	0,012	ND	ND	ND	ND
METAIS - CÁDMIO	(mg/L)	0,015	0,012	ND	ND	ND	ND	ND
METAIS - COBRE	(mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
METAIS - CROMO	(mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
METAIS - NÍQUEL	(mg/L)	0,024	0,013	ND	ND	ND	0,002	ND

Tabela 14 - Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas para a terceira série amostral das águas pluviais.

TERCEIRA SÉRIE AMOSTRAL (11.03.2009 – HC: 9:00 h)	**UNIDADE**	**PONTO 1**	**PONTO 3**	**PONTO 5**	**PONTO 6**	**PONTO 7**
pH	--------	6,44	6,27	6,11	6,10	6,06
TURBIDEZ	(NTU)	0,61	0,71	0,77	0,88	0,86
COR	(mg PtCl/L)	7	5	4	4	6
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	(mg/L)	7,6	7,8	7,8	7,7	7,3
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO	(mg O_2/L)	17	15	17	9	15
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO	(mg O_2/L)	2,6	1,4	< 1,0	< 1,0	< 1,0
NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL	(mg N/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
NITROGÊNIO AMONIACAL	(mg N/L)	0,04	0,02	0,04	0,08	0,14
NITROGÊNIO NITRITO	(mg N/L)	0,0022	0,0019	0,0015	0,0028	0,0052
NITROGÊNIO NITRATO	(mg N/L)	0,002	ZERO	ZERO	ZERO	0,090
FOSFATO TOTAL	(mg PO_4^{3-}/L)	0,0392	0,0492	0,0392	0,0369	0,0533
CONDUTIVIDADE	mS/cm	3,65	2,21	1,72	2,16	10,59
CLORETOS	(mg/L)	0,1	0,2	ZERO	ZERO	0,5
DUREZA TOTAL	(mg/L)	3,1	ZERO	ZERO	1,0	3,1
COLIFORMES TOTAIS	(UFC/100 mL)	$3,2 \times 10^4$	$3,1 \times 10^3$	$1,1 \times 10^3$	$1,29 \times 10^5$	$3,0 \times 10^3$
E. COLI	(UFC/100 mL)	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
SÓLIDOS TOTAIS	(mg/L)	71,0	203,0	35,6	51,2	< 1,0
SÓLIDOS TOTAIS FIXOS	(mg/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS	(mg/L)	71,0	203,0	35,6	51,2	< 1,0
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	(mg/L)	23,0	1,0	4,0	8,0	< 1,0
SÓLIDOS SUSPENSOS FIXOS	(mg/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS	(mg/L)	23,0	1,0	4,0	8,0	< 1,0
SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS	(mg/L)	48,0	202,0	43,2	43,2	< 1,0
SÓLIDOS DISSOLVIDOS FIXOS	(mg/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
SÓLIDOS DISSOLVIDOS VOLÁTEIS	(mg/L)	48,0	202,0	43,2	43,2	< 1,0
METAIS - FERRO	(mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND
METAIS - MANGANÊS	(mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND
METAIS - ZINCO	(mg/L)	0,312	0,116	0,072	ND	0,175
METAIS - CHUMBO	(mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND
METAIS - CÁDMIO	(mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND
METAIS - COBRE	(mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND
METAIS - CROMO	(mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND
METAIS - NÍQUEL	(mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND

Tabela 15 - Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas para a quarta série amostral das águas pluviais.

QUARTA SÉRIE AMOSTRAL (24.03.2009 – HC: 9:30 h)	**UNIDADE**	**PONTO 2**	**PONTO 4**	**PONTO 6**	**PONTO 7**
pH	--------	7,19	7,28	6,83	6,48
TURBIDEZ	(NTU)	1,01	0,93	0,89	0,59
COR	(mg PtCl/L)	5	5	< 1,0	1
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	(mg/L)	6,1	6,9	7,3	7,5
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO	(mg O_2/L)	18	15	19	15
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO	(mg O_2/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL	(mg N/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
NITROGÊNIO AMONIACAL	(mg N/L)	0,31	0,36	0,31	0,15
NITROGÊNIO NITRITO	(mg N/L)	0,0055	0,0054	0,0037	0,0014
NITROGÊNIO NITRATO	(mg N/L)	0,029	0,038	0,024	0,123
FOSFATO TOTAL	(mg PO_4^{3-}/L)	0,0810	0,0510	0,0939	0,0569
CONDUTIVIDADE	mS/cm	11,28	8,73	6,22	11,45
CLORETOS	(mg/L)	0,2	0,2	0,1	0,6
DUREZA TOTAL	(mg/L)	3,7	4,1	2,5	3,7
COLIFORMES TOTAIS	(UFC/100 mL)	$3,0 \times 10^3$	$7,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^2$	$1,6 \times 10^5$
E. COLI	(UFC/100 mL)	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
SÓLIDOS TOTAIS	(mg/L)	20,8	12,0	< 1,0	7,6
SÓLIDOS TOTAIS FIXOS	(mg/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS	(mg/L)	20,8	12,0	< 1,0	7,6
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	(mg/L)	9,0	3,8	< 1,0	< 1,0
SÓLIDOS SUSPENSOS FIXOS	(mg/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS	(mg/L)	9,0	3,8	< 1,0	< 1,0
SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS	(mg/L)	11,8	8,2	< 1,0	7,6
SÓLIDOS DISSOLVIDOS FIXOS	(mg/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
SÓLIDOS DISSOLVIDOS VOLÁTEIS	(mg/L)	11,8	8,2	< 1,0	7,6
METAIS - FERRO	(mg/L)	0,008	0,039	0,033	0,036
METAIS - MANGANÊS	(mg/L)	0,006	0,013	0,012	0,013
METAIS - ZINCO	(mg/L)	0,410	0,321	0,151	0,186
METAIS - CHUMBO	(mg/L)	ND	ND	ND	ND
METAIS - CÁDMIO	(mg/L)	ND	ND	ND	ND
METAIS - COBRE	(mg/L)	0,011	0,014	0,012	0,007
METAIS - CROMO	(mg/L)	0,002	ND	ND	ND
METAIS - NÍQUEL	(mg/L)	ND	ND	ND	ND

Tabela 16 - Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas para a quinta série amostral das águas pluviais.

QUINTA SÉRIE AMOSTRAL (31.03.2009 – HC: 17: 40 h)	**UNIDADE**	**PONTO 1**	**PONTO 5**	**PONTO 6**	**PONTO 7**
pH	--------	6,88	6,22	6,33	6,02
TURBIDEZ	(NTU)	0,81	0,72	1,07	0,63
COR	(mg PtCl/L)	1	2	7	3
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	(mg/L)	8,5	8,5	8,5	8,5
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO	(mg O_2/L)	5,2	6,1	1,7	5,0
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO	(mg O_2/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL	(mg N/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
NITROGÊNIO AMONIACAL	(mg N/L)	0,13	0,16	0,22	0,07
NITROGÊNIO NITRITO	(mg N/L)	0,0065	0,0065	0,0055	0,0012
NITROGÊNIO NITRATO	(mg N/L)	0,168	0,172	0,135	0,510
FOSFATO TOTAL	(mg PO_4^{3-}/L)	0,0639	0,0451	0,0574	0,0545
CONDUTIVIDADE	mS/cm	7,22	6,91	7,75	10,67
CLORETOS	(mg/L)	ZERO	ZERO	ZERO	0,3000
DUREZA TOTAL	(mg/L)	2,5	2,5	2,5	4,6
COLIFORMES TOTAIS	(UFC/100 mL)	480	9000	$6,0 \times 10^5$	$2,0 \times 10^4$
E. COLI	(UFC/100 mL)	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE	AUSENTE
SÓLIDOS TOTAIS	(mg/L)	19,6	12,0	1,2	< 1,0
SÓLIDOS TOTAIS FIXOS	(mg/L)	< 1,0	3,4	< 1,0	< 1,0
SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS	(mg/L)	19,6	8,6	1,2	< 1,0
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	(mg/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
SÓLIDOS SUSPENSOS FIXOS	(mg/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS	(mg/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS	(mg/L)	19,6	12,0	1,2	< 1,0
SÓLIDOS DISSOLVIDOS FIXOS	(mg/L)	< 1,0	3,4	< 1,0	< 1,0
SÓLIDOS DISSOLVIDOS VOLÁTEIS	(mg/L)	19,6	8,6	1,2	< 1,0
METAIS - FERRO	(mg/L)	0,006	0,010	0,012	0,007
METAIS - MANGANÊS	(mg/L)	0,014	0,007	0,004	0,006
METAIS - ZINCO	(mg/L)	0,322	0,305	0,179	0,181
METAIS - CHUMBO	(mg/L)	ND	ND	ND	ND
METAIS - CÁDMIO	(mg/L)	ND	ND	ND	ND
METAIS - COBRE	(mg/L)	ND	ND	ND	0,001
METAIS - CROMO	(mg/L)	ND	ND	ND	ND
METAIS - NÍQUEL	(mg/L)	0,029	0,035	0,026	0,028

Tabela 17 - Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas para a sexta série amostral das águas pluviais.

SEXTA SÉRIE AMOSTRAL (06.04.2009 - - HC: 9:15 h)	UNIDADE	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5	PONTO 6	PONTO 7
pH	--------	6,69	6,21	6,76	6,71	6,53	6,58	6,26
TURBIDEZ	(NTU)	1,06	1,02	1,24	1,18	1,25	1,21	0,65
COR	(mg PtCl/L)	10	11	12	12	12	17	13
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	(mg/L)	7,0	7,0	7,3	7,0	7,0	6,8	6,9
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO	(mg O_2/L)	20,0	13,0	12,0	22,0	25,0	12,0	21,0
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO	(mg O_2/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL	(mg N/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
NITROGÊNIO AMONIACAL	(mg N/L)	0,24	0,07	0,08	0,11	0,11	0,24	0,11
NITROGÊNIO NITRITO	(mg N/L)	0,0060	0,0044	0,0044	0,0043	0,0048	0,0044	0,0016
NITROGÊNIO NITRATO	(mg N/L)	0,0374	0,0538	0,0171	0,0456	0,0485	0,1108	0,4899
FOSFATO TOTAL	(mg PO_4^{3-}/L)	0,0580	0,0633	0,0574	0,0516	0,1174	0,0804	0,1151
CONDUTIVIDADE	mS/cm	5,62	3,52	3,93	3,56	3,63	6,86	12,07
CLORETOS	(mg/L)	ZERO	ZERO	ZERO	ZERO	ZERO	ZERO	0,5
DUREZA TOTAL	(mg/L)	1,5	3,0	3,0	4,0	3,0	3,0	3,0
COLIFORMES TOTAIS	(UFC/100 mL)	$1,6 \times 10^4$	$4,9 \times 10^3$	$1,2 \times 10^5$	$8,0 \times 10^3$	$1,5 \times 10^4$	$3,0 \times 10^3$	$1,6 \times 10^3$
E. COLI	(UFC/100 mL)	AUSENTE	AUSENTE	100	540	300	580	AUSENTE
SÓLIDOS TOTAIS	(mg/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	6,8	< 1,0
SÓLIDOS TOTAIS FIXOS	(mg/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS	(mg/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	6,8	< 1,0
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	(mg/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
SÓLIDOS SUSPENSOS FIXOS	(mg/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS	(mg/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS	(mg/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	6,8	< 1,0
SÓLIDOS DISSOLVIDOS FIXOS	(mg/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
SÓLIDOS DISSOLVIDOS VOLÁTEIS	(mg/L)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	6,8	< 1,0
METAIS - FERRO	(mg/L)	0,014	0,012	0,300	ZERO	0,428	ZERO	0,020
METAIS - MANGANÊS	(mg/L)	0,002	0,002	0,010	0,004	0,014	0,001	0,003
METAIS - ZINCO	(mg/L)	0,207	0,147	0,375	0,259	0,741	0,375	0,222
METAIS - CHUMBO	(mg/L)	ND	ND	0,230	0,090	0,280	0,020	ND
METAIS - CÁDMIO	(mg/L)	0,005	0,002	0,041	0,016	0,110	0,015	0,004
METAIS - COBRE	(mg/L)	0,005	0,004	0,008	ZERO	0,026	ZERO	0,005
METAIS - CROMO	(mg/L)	ND	ND	0,068	0,010	0,088	0,013	ND
METAIS - NÍQUEL	(mg/L)	ND	ND	0,036	0,001	0,073	0,008	ND
METAIS – PRATA	(mg/L)	-----	-----	0,004	ND	0,003	0,001	-----
METAIS – COBALTO	(mg/L)	-----	-----	0,007	0,003	0,020	0,005	-----
METAIS – LÍTIO	(mg/L)	-----	-----	ND	ND	ND	ND	-----
METAIS – BÁRIO	(mg/L)	-----	-----	< 0,01	0,81	0,66	0,77	-----
METAIS - ALUMÍNIO	(mg/L)	-----	-----	ND	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-----

6.2_Análise dos Resultados das Águas Pluviais - Considerações Gerais

O SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do lote experimental domiciliar peri-urbano, apresentado nas Figuras 13 a 22 e 27 a 30, possui um conjunto de cinco garrafas amostradoras, montadas a partir de tubos de PVC de diâmetro 4'' e providas individualmente de válvulas na parte inferior para o esgotamento da água pluvial a coletar, tendo cada garrafa uma capacidade de cerca de 2,5 litros, volume esse suficiente para a realização das análises físico-químicas e biológicas objeto do estudo qualitativo, tendo sido dimensionado com este volume visando a que cada garrafa amostradora tivesse o volume mínimo necessário para a realização do conjunto de parâmetros laboratoriais selecionados pelos diversos autores.

Na coleta de amostras de águas pluviais, os pontos 1 a 5 (garrafas amostradoras) foram sempre previamente esvaziados antes de cada coleta, realizada nas torneiras instaladas na parte inferior de cada garrafa amostradora; no ponto 6 (tanque intermediário de capacidade 310 litros), as amostras foram tomadas diretamente da coluna líquida, sempre a cerca de 10 cm abaixo da superfície, e no ponto 7 as amostragens foram efetuadas no dreno de fundo do tanque de armazenamento final, com capacidade de 6000 litros.

A análise dos resultados foi realizada para os dados da pesquisa objeto deste trabalho (referentes ao Telhado de Zinco instalado no Lote Experimental Peri-Urbano), foi feita comparativamente aos dados da pesquisa realizada por VASCONCELOS (2008), para dois diferentes tipos de superfícies de cobertura, a saber, uma Cobertura Verde Leve – CVL (ou Telhado Verde), e uma cobertura de telhas prensadas à base de embalagens longa vida recicladas (ou Cobertura Tetra Pak ou Telhado Tetra Pak). Além disso, foram juntamente considerados:

1- Os 7 (sete) pontos de amostragem no sistema, e considerando-se especificamente os pontos 1, 3 e 5 (Figura 13), para efeito de comparação de telhados, com a pesquisa de VASCONCELOS (2008);

2- Os grupos de variáveis de qualidade: a) Variáveis físicas e químicas: pH, turbidez, cor, oxigênio dissolvido, condutividade, cloretos e dureza total; b) Variáveis indicadoras de matéria orgânica: Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO); c) Macronutrientes: série nitrogenada e fósforo; d) Variáveis microbiológicas: Coliformes totais e coliformes fecais; e) Série de sólidos; f) Série de metais;

3- A influência dos seguintes parâmetros quantitativos de precipitação: Precipitação Total ($\mathbf{P_t}$, em mm), Intensidade Máxima Instantânea ($\mathbf{I_{máx.}}$, em mm/hora) e Índice de Precipitação Acumulada

(**IPA 7 d** e **IPA 28 d**), antecedente para cada evento, em 7 dias e 28 dias, todos correlacionados a cada parâmetro de qualidade.

Nesta análise também foram considerados os valores máximos permitidos para cada parâmetro dentro do escopo da legislação aplicável às águas pluviais, levando-se em consideração as seguintes normas: Norma Brasileira ABNT NBR-15527:2007 – "Água de Chuva – Aproveitamento de Coberturas em Áreas Urbanas para Fins Não Potáveis – Requisitos" (ABNT, 2007) (Tabela 18), que apresenta os requisitos para aproveitamento de água de chuva derivadas do escoamento sobre coberturas em áreas urbanas, visando sua utilização para fins não potáveis, e, paralelamente, nos casos em que a referida norma se omite quanto a alguma variável de qualidade, a Portaria nº 518 de 25 de março de 2004 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, BRASIL, 2004), que estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, a nível federal, sendo adotados assim, requisitos legais mais restritivos, a favor da segurança, uma vez que um dos objetivos desta pesquisa é determinar a viabilidade de aproveitamento das águas pluviais em um lote domiciliar urbano ou peri-urbano, de acordo com a análise qualiquantitativa (parâmetros de qualidade de água associados a índices pluviométricos).

Tabela 18 – NBR 15527 (ABNT, 2007) - Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis.

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 mL
Cloro residual livre [a]	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,0 uT [b], para usos menos restritivos < 5,0 uT
Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corante, ou antes da sua utilização)	Mensal	< 15 uH [c]
Deve prever ajuste de pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário	mensal	pH de 6,0 a 8,0 no caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado
NOTA Podem ser usados outros processos de desinfecção além do cloro, como a aplicação de raio ultravioleta e aplicação de ozônio.		
[a] No caso de serem utilizados compostos de cloro para desinfecção. [b] uT é a unidade de turbidez. [c] uH é a unidade Hazen.		

6.3_Análise dos Resultados

6.3.1_ Variáveis físicas e químicas: pH, turbidez, cor, oxigênio dissolvido, condutividade, cloretos e dureza total

A variação espaço-temporal dos valores de pH, turbidez, cor, oxigênio dissolvido, condutividade, cloretos e dureza total para as águas pluviais amostradas no Lote Experimental Peri-Urbano são apresentados nas Figura 35 a 41, e nas Tabelas 19 a 25, as quais exibem seus valores de: média, mínimo e máximo.

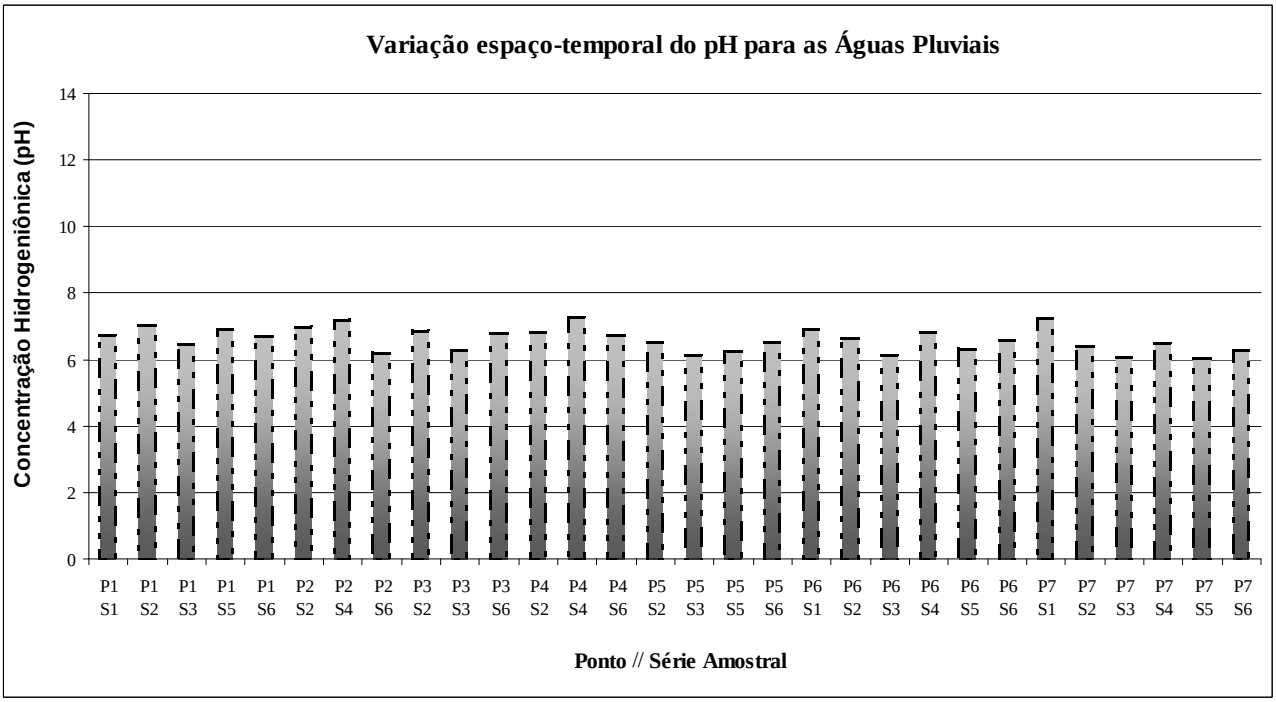


Figura 36 – Variação espaço-temporal dos valores de pH obtidos para as Séries Amostrais de águas pluviais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.

Tabela 19 - Valores de **pH** obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).

Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Me (SA)	Mi (SA)	Ma (SA)
Primeira Série	6,72	6,96	----	----	----	6,91	7,23	6,95	6,72	7,23
Segunda Série	7,04	----	6,87	6,80	6,54	6,66	6,38	6,71	6,38	7,04
Terceira Série	6,44	----	6,27	----	6,11	6,10	6,06	6,20	6,06	6,44
Quarta Série	----	7,19	----	7,28	----	6,83	6,48	6,94	6,48	7,28
Quinta Série	6,88	----	----	----	6,22	6,33	6,02	6,36	6,02	6,88
Sexta Série	6,69	6,21	6,76	6,71	6,53	6,58	6,26	6,53	6,21	6,76
Me (PA)	6,75	6,79	6,53	6,93	6,35	6,57	6,40	Média SA: 6,61		
Mi (PA)	6,69	6,21	6,27	6,71	6,11	6,10	6,02	Média PA: 6,62		
Ma (PA)	7,04	7,19	6,87	7,28	6,54	6,91	7,23	Média Geral: 6,61		

Tabela 20 - Valores de **turbidez** obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).

Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Me (SA)	Mi (SA)	Ma (SA)
Primeira Série	2,93	----	----	----	----	1,28	0,48	1,56	0,48	2,93
Segunda Série	1,31	1,24	0,99	0,64	0,93	1,41	0,81	1,05	0,64	1,41
Terceira Série	0,61	----	0,71	----	0,77	0,88	0,86	0,77	0,61	0,88
Quarta Série	----	1,01	----	0,93	----	0,89	0,59	0,85	0,59	1,01
Quinta Série	0,81	----	----	----	0,72	1,07	0,63	0,81	0,63	1,07
Sexta Série	1,06	1,02	1,24	1,18	1,25	1,21	0,65	1,09	0,65	1,25
Me (PA)	1,34	1,09	0,98	0,92	0,92	1,12	0,67	Média SA: 1,02		
Mi (PA)	0,61	1,01	0,71	0,64	0,72	0,88	0,48	Média PA: 1,01		
Ma (PA)	2,93	1,24	1,24	1,18	1,25	1,28	0,86	Média Geral: 1,01		

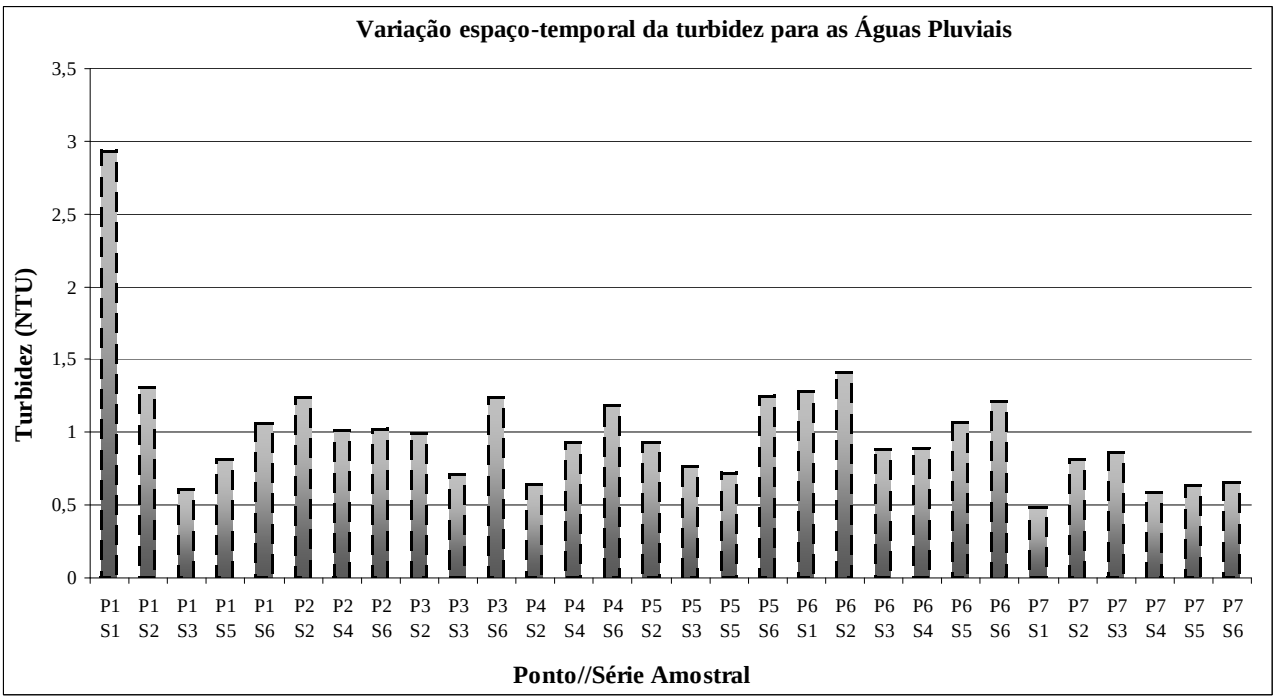


Figura 37 – Variação espaço-temporal dos valores de turbidez obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.

Tabela 21 - Valores de **cor** obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).

Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Me (SA)	Mi (SA)	Ma (SA)
Primeira Série	38,0	7,0	----	----	----	21,0	5,0	17,7	5,0	38,0
Segunda Série	19,0	----	7,0	7,0	7,0	10,0	5,0	9,2	5,0	19,0
Terceira Série	7,0	----	5,0	----	4,0	4,0	6,0	5,2	4,0	7,0
Quarta Série	----	5,0	----	5,0	----	< 1,0	1,0	3,0	< 1,0	5,0
Quinta Série	1,0	----	----	----	2,0	7,0	3,0	3,2	1,0	7,0
Sexta Série	10,0	11,0	12,0	12,0	12,0	17,0	13,0	12,4	10,0	13,0
Me (PA)	12,5	7,7	8,0	8,0	6,2	10,0	5,5	Média SA: 8,4		
Mi (PA)	1,0	5,0	5,0	5,0	2,0	< 1,0	1,0	Média PA: 8,3		
Ma (PA)	38,0	11,0	12,0	12,0	12,0	21,0	13,0	Média Geral: 8,3		

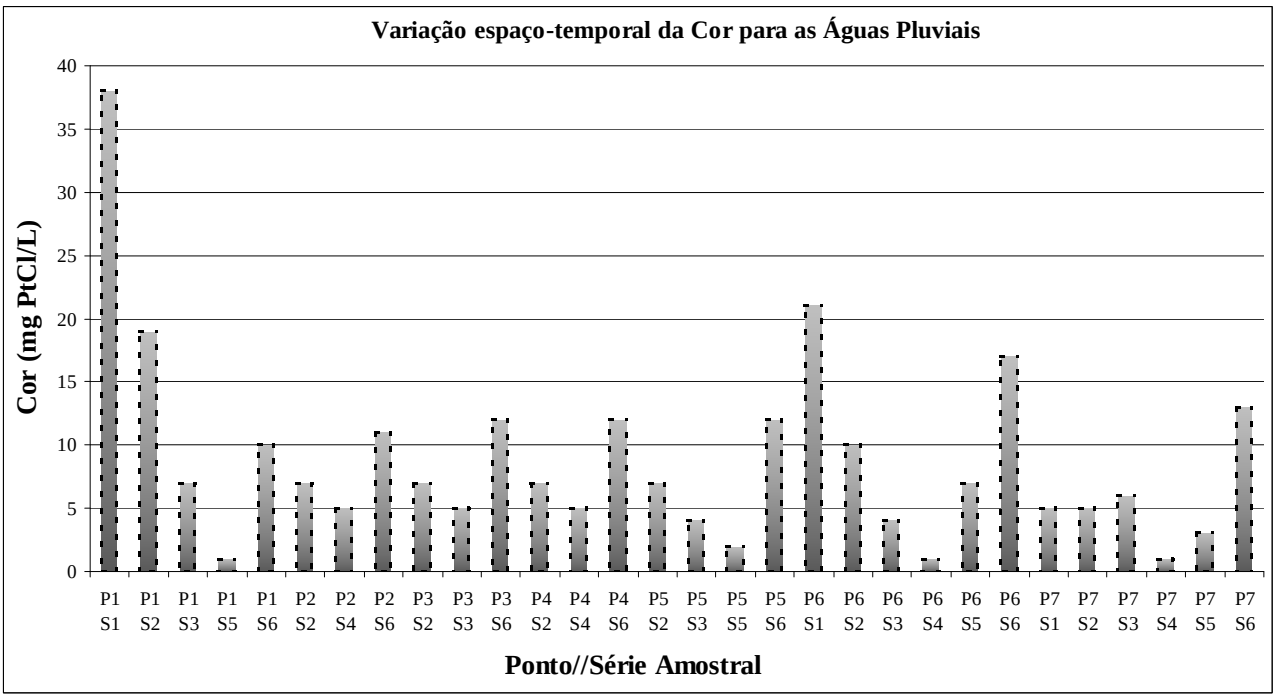


Figura 38 – Variação espaço-temporal dos valores de cor obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.

Tabela 22 - Valores de **oxigênio dissolvido (OD)** obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).

Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Me (SA)	Mi (SA)	Ma (SA)
Primeira Série	3,9	----	----	----	----	7,1	7,8	6,3	3,9	7,8
Segunda Série	5,9	7,1	7,6	7,5	7,6	7,7	7,3	7,2	5,9	7,7
Terceira Série	7,6	----	7,8	----	7,8	7,7	7,3	7,6	7,3	7,8
Quarta Série	----	6,1	----	6,9	----	7,3	7,5	6,9	6,1	7,5
Quinta Série	8,5	----	----	----	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
Sexta Série	7,0	7,0	7,3	7,0	7,0	6,8	6,9	7,0	6,8	7,3
Me (PA)	6,6	6,7	7,6	7,1	7,7	7,5	7,5	Média SA: 7,25		
Mi (PA)	3,9	6,1	7,3	6,9	7,0	6,8	6,9	Média PA: 7,24		
Ma (PA)	8,5	7,1	7,8	7,5	8,5	8,5	8,5	Média Geral: 7,24		

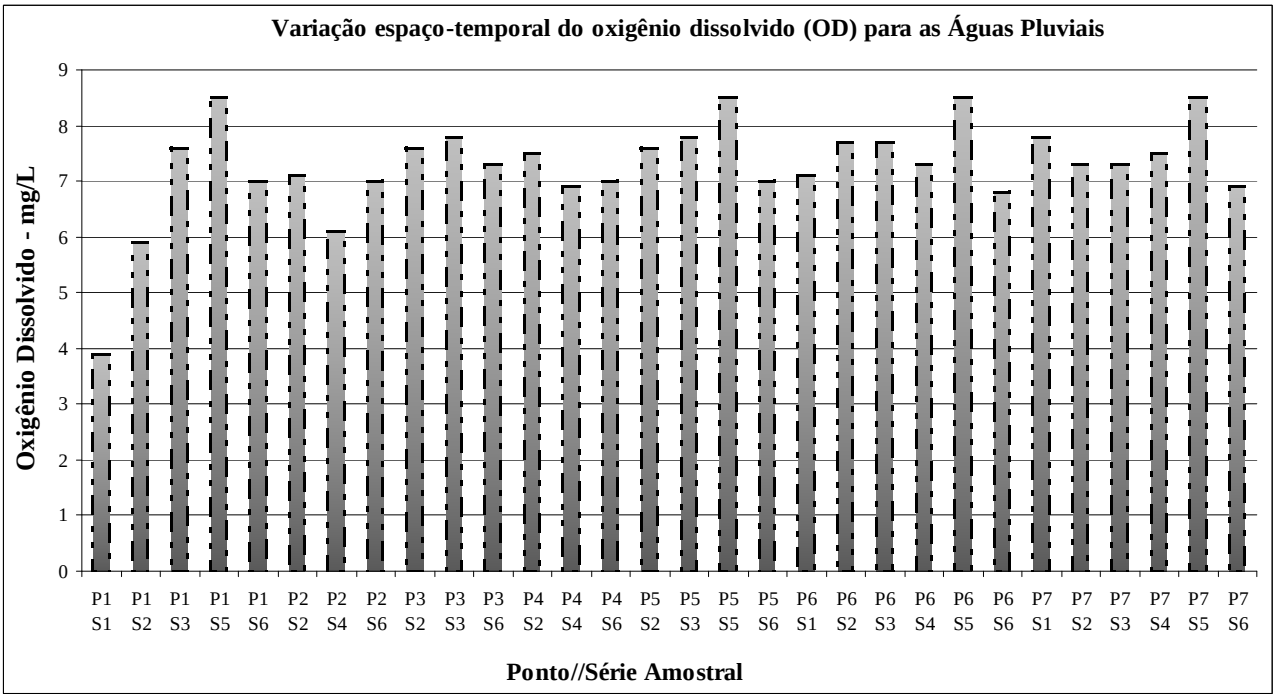


Figura 39 – Variação espaço-temporal dos valores de oxigênio dissolvido (OD) obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.

Tabela 23 - Valores de **condutividade** obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).

Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Me (SA)	Mi (SA)	Ma (SA)
Primeira Série	20,80	----	----	----	----	19,73	14,62	18,38	14,62	20,80
Segunda Série	10,55	5,71	5,33	4,31	4,74	7,86	15,01	7,64	4,31	15,01
Terceira Série	3,65	----	2,21	----	1,72	2,16	10,59	4,07	1,72	10,59
Quarta Série	----	11,28	----	8,73	----	6,22	11,45	9,42	6,22	11,45
Quinta Série	7,22	----	----	----	6,91	7,75	10,67	8,14	6,91	10,67
Sexta Série	5,62	3,52	3,93	3,56	3,63	6,86	12,07	5,60	3,52	12,07
Me (PA)	9,57	6,84	3,82	5,53	4,25	8,43	12,40	Média SA: 8,87		
Mi (PA)	3,65	3,52	2,21	3,56	1,72	2,16	10,59	Média PA: 7,26		
Ma (PA)	20,80	11,28	5,33	8,73	6,91	19,73	15,01	Média Geral: 8,06		

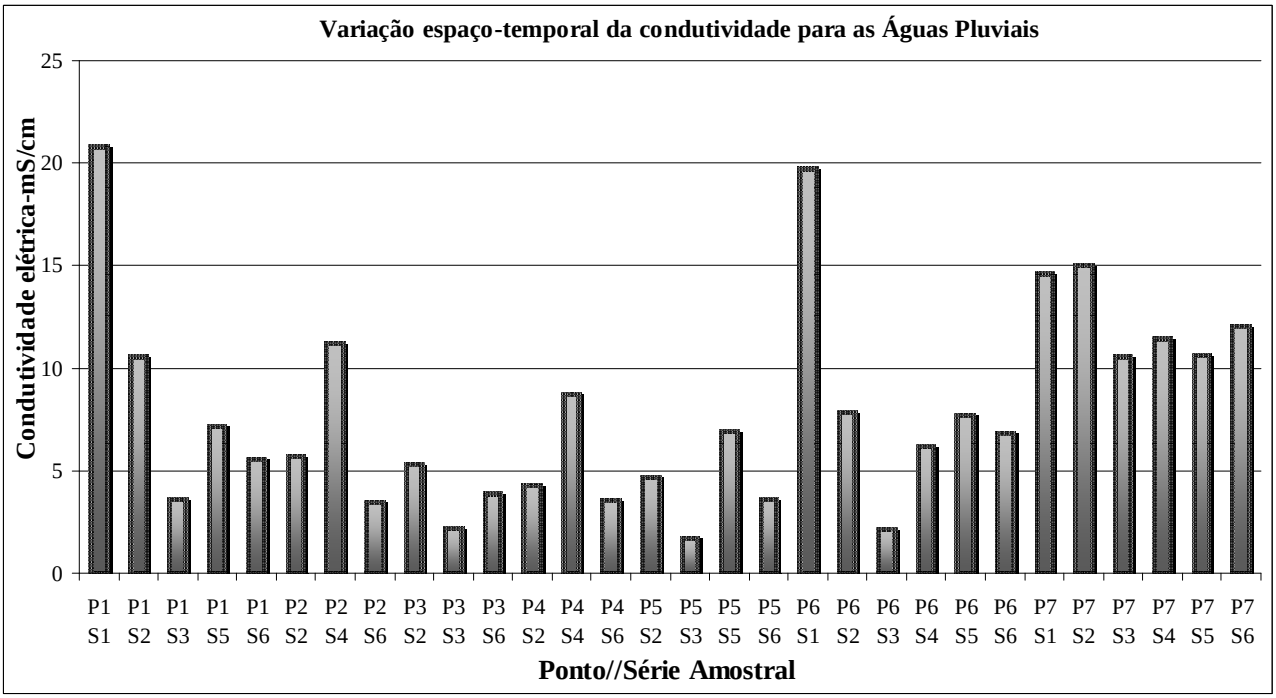


Figura 40 – Variação espaço-temporal dos valores de condutividade elétrica obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.

Tabela 24 - Valores de **cloretos** obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).

Ponto de Amostragem // Série Amostral	**Ponto 1**	**Ponto 2**	**Ponto 3**	**Ponto 4**	**Ponto 5**	**Ponto 6**	**Ponto 7**	**Me (SA)**	**Mi (SA)**	**Ma (SA)**
Primeira Série	0,5	----	----	----	----	0,5	0,9	0,63	0,5	0,9
Segunda Série	Zero	0,1	0,3	0,1	zero	0,1	0,8	0,20	Zero	0,8
Terceira Série	0,1	----	0,2	----	zero	zero	0,5	0,16	Zero	0,5
Quarta Série	----	0,2	----	0,2	----	0,1	0,6	0,27	0,1	0,6
Quinta Série	zero	----	----	----	zero	zero	0,3	0,07	Zero	0,3
Sexta Série	zero	zero	zero	zero	zero	zero	0,5	0,07	Zero	0,5
Me (PA)	0,12	0,1	0,17	0,1	Zero	0,17	0,6	Média SA: 0,23		
Mi (PA)	Zero	Zero	Zero	Zero	Zero	Zero	0,3	Média PA: 0,18		
Ma (PA)	0,5	0,2	0,3	0,2	Zero	0,5	0,9	Média Geral: 0,20		

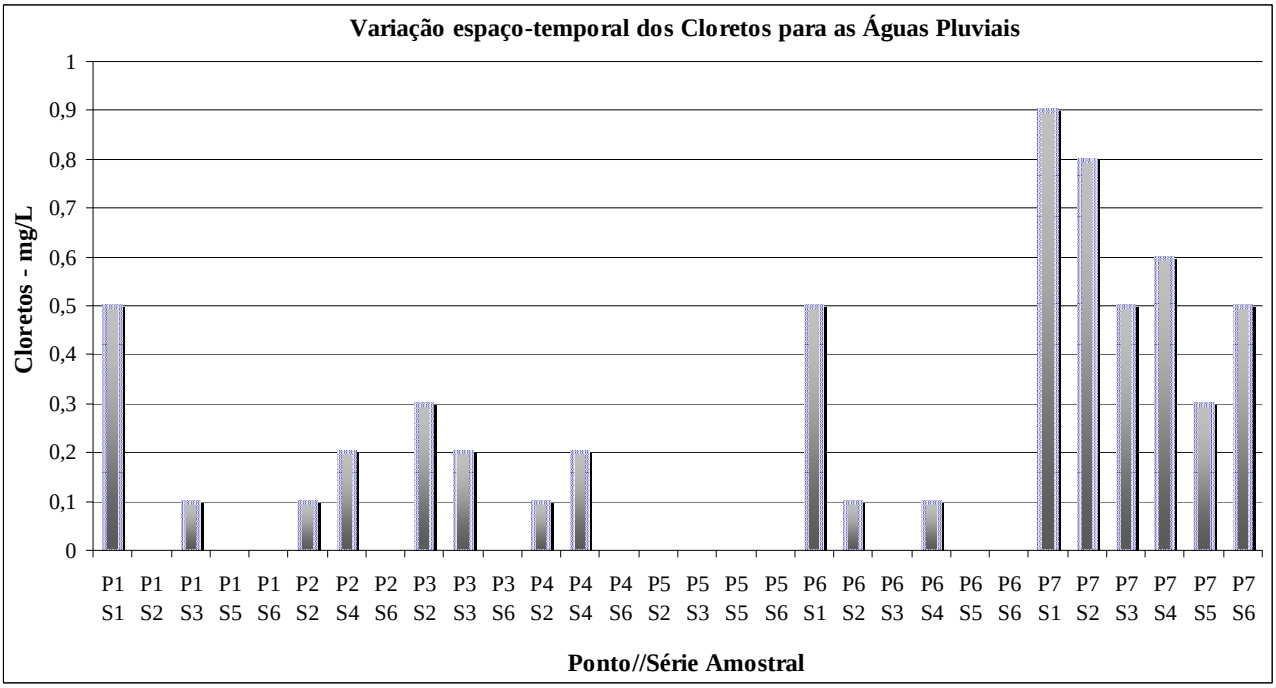


Figura 41 – Variação espaço-temporal dos valores de cloretos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.

Tabela 25 - Valores de **dureza total** obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).

Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Me (SA)	Mi (SA)	Ma (SA)
Primeira Série	5,1	----	----	----	----	5,1	4,1	4,8	4,1	5,1
Segunda Série	11,2	10,2	8,2	4,1	9,2	7,1	8,2	8,3	4,1	11,2
Terceira Série	3,1	----	zero	----	zero	1,0	3,1	1,4	zero	3,1
Quarta Série	----	3,7	----	4,1	----	2,5	3,7	3,5	2,5	4,1
Quinta Série	2,5	----	----	----	2,5	4,6	4,6	3,5	2,5	4,6
Sexta Série	1,5	3,0	3,0	4,0	3,0	2,5	3,0	2,9	1,5	4,0
Me (PA)	4,7	5,6	3,7	4,1	3,7	3,8	4,4	Média SA: 4,1		
Mi (PA)	1,5	3,0	zero	4,0	zero	1,0	3,0	Média PA: 4,3		
Ma (PA)	11,2	10,2	8,2	4,1	9,2	7,1	8,2	Média Geral: 4,2		

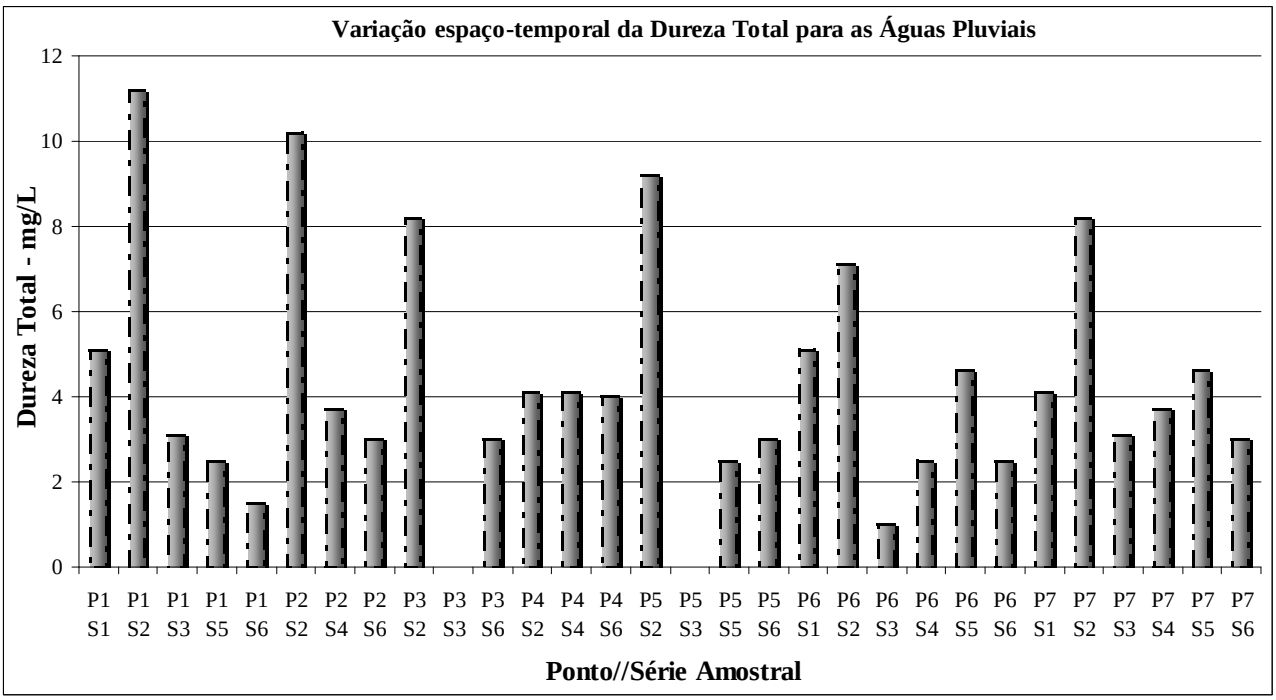


Figura 42 – Variação espaço-temporal dos valores de dureza total para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.

A análise da qualidade das águas pluviais, tendo em vista as variáveis até aqui analisadas (pH, turbidez, cor, oxigênio dissolvido, condutividade, cloretos e dureza total), indicou que:

- Os valores de pH oscilaram num intervalo entre 6,02 a 7,28, portanto entre o levemente ácido e o ligeiramente alcalino, não caracterizando as águas pluviais como agressivas a canalizações e estruturas em geral;
- O menor valor de pH (6,02) ocorreu no Ponto 7 e na Quinta Série Amostral, sendo que em termos espaciais parece ter ocorrido uma ligeira tendência à acidificação das águas pluviais ao longo do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais), induzido talvez pela presença de matéria orgânica em baixa concentração, ou pela presença de compostos metálicos ou organometálicos reativos, carreados durante as precipitações;
- De acordo com a Tabela 44, os valores de pH situaram-se dentro dos VMP's para: A.N.A. – Classes 1 e 3 (2005), ABNT (2007) e Portaria 518/04 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, BRASIL 2004);
- Da 1ª para a 3ª Série Amostral houve uma redução da turbidez, provavelmente por efeito da lavagem do telhado de zinco, com os menores valores sendo atingidos no Ponto 7, possivelmente por efeito da diluição de volumes no tanque de armazenamento final, sendo que as partículas causadoras de turbidez apresentam potencial de retenção no filtro de 50 micra, antes de penetrarem na rede de distribuição, o que poderá ser avaliado em um estudo posterior. Nota-se pela Tabela 44 que os VMP's para A.N.A. – Classe 1 (2005), ABNT (2007), e Portaria 518/04 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, BRASIL, 2004) foram extrapolados, evidenciando a necessidade de dispositivos e/ou sistemas adequados para a redução da turbidez das águas pluviais, como filtros de areia;
- Os valores de cor apresentaram uma maior variação, e foram mais elevados no Ponto 1 e na 1ª Série Amostral, decaindo ao longo do tempo, com os maiores valores médios no Ponto 6 (tanque de *first-flush*/sedimentação de matéria mineral), e os menores valores médios no Ponto 7 (provavelmente por efeito da diluição de volumes no tanque de armazenamento final), sendo a sua presença um outro possível indicador de matéria orgânica no meio. Os valores de cor extrapolaram os VMP's para todos os padrões apontados na Tabela 90, denotando mais uma vez a necessidade de tratamentos complementares para as águas pluviais, iniciando por tratamentos físicos como a filtração em areia e carvão ativado;
- O oxigênio dissolvido medido apresentou um teor menor na 1ª Série Amostral (3,9), porém atingiu valores significativamente maiores ao longo das séries amostrais, aproximando-se mais do valor de saturação na 5ª Série Amostral (8,5 – valor de saturação: 9,2), não apresentando queda em sua média do Ponto 6 para o Ponto 7, o que poderia apresentar implicações nas características de agressividade a canalizações e estruturas;

- A condutividade, por estar diretamente relacionada ao teor de sólidos dissolvidos totais, apresentou-se mais elevada da 1ª para a 6ª Série Amostral, não acompanhando, porém, uma mesma relação de variação nas demais séries amostrais, talvez pela natureza diversificada dos sólidos presentes. Por outro lado, considerando-se os valores médios e mínimos (Tabela 23), houve uma tendência de elevação da condutividade no Ponto 7, indicando o acúmulo de sólidos dissolvidos totais no tanque de armazenamento final;
- A variação temporal do cloreto no SAP apontou para uma redução da 1ª para a 6ª Série Amostral, considerando os valores médios, embora apresentando acúmulo do Ponto 1 para o Ponto 7, atingindo os valores máximos no Ponto 7, considerados os valores médios, mínimos e máximos. Estes valores situaram-se bastante abaixo dos VMP's apresentados na Tabela 44, possibilitando a utilização destas águas pluviais até mesmo para consumo humano, se considerado apenas esta variável isoladamente;
- A dureza total apresentou-se relativamente estável tanto ao longo do SAP como temporalmente, atingindo seus valores máximos durante a 2ª Série Amostral, não aparentando, portanto, serem diretamente influenciados pela primeira precipitação. Apenas a Portaria 518/2004 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, BRASIL, 2004) adota VMP para a dureza total, cujos valores situaram-se muito abaixo deste, o que implica na possibilidade de aproveitamento destas águas pluviais inclusive para a lavagem de roupas e utensílios domésticos, bem como em instalações sanitárias, considerando-se apenas a variável dureza total isoladamente.

A variação espaço-temporal dos valores de: Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), e Macronutrientes: Série Nitrogenada e Fósforo, para as águas pluviais amostradas no Lote Experimental Peri-Urbano, são apresentados nas Figuras 42 a 48, e nas Tabelas 26 a 32, as quais exibem seus valores de: média, mínimo e máximo.

6.3.2_Análise das variáveis indicadoras de matéria orgânica: Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), e Macronutrientes: Série Nitrogenada e Fósforo

Tabela 26 - Valores de **Demanda Química de Oxigênio (DQO)** obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).

Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Me (SA)	Mi (SA)	Ma (SA)
Primeira Série	19,0	----	----	----	----	17,0	14,0	16,7	14,0	19,0
Segunda Série	22,0	14,0	21,0	11,0	21,0	20,0	14,0	17,6	11,0	22,0
Terceira Série	17,0	----	15,0	----	17,0	9,0	15,0	14,6	9,0	17,0
Quarta Série	----	18,0	----	15,0	----	19,0	15,0	16,7	15,0	19,0
Quinta Série	5,2	----	----	----	6,1	1,7	5,0	4,5	1,7	6,1
Sexta Série	20,0	13,0	12,0	22,0	25,0	12,0	21,0	17,9	12,0	25,0
Me (PA)	16,6	15,0	16,0	16,0	17,3	13,1	14,0	Média SA: 14,7		
Mi (PA)	5,2	13,0	12,0	11,0	6,1	1,7	5,0	Média PA: 15,4		
Ma (PA)	22,0	18,0	21,0	22,0	25,0	20,0	21,0	Média Geral: 15,0		

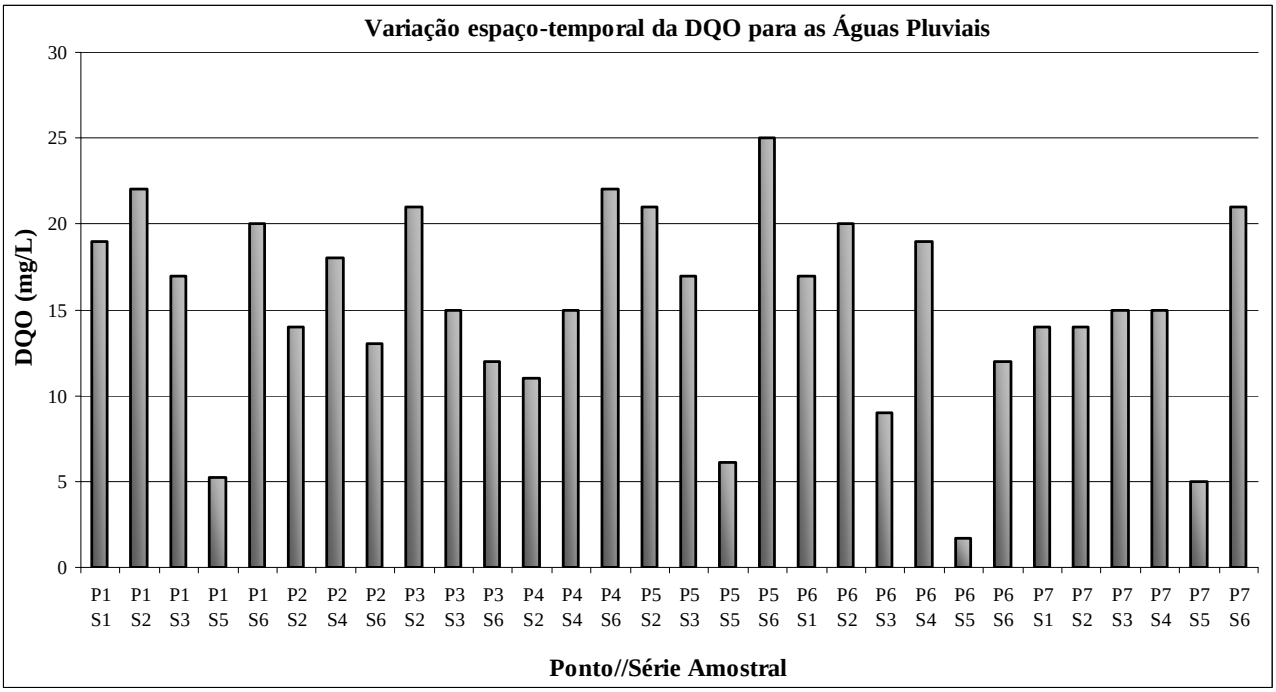


Figura 43 – Variação espaço-temporal dos valores de Demanda Química de Oxigênio (DQO) obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.

Tabela 27 - Valores de **Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)** obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).

Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Me (SA)	Mi (SA)	Ma (AS)
Primeira Série	6,1	----	----	----	----	4,0	1,4	3,8	1,4	6,1
Segunda Série	2,5	1,5	< 1,0	1,2	< 1,0	2,3	< 1,0	1,50	< 1,0	2,5
Terceira Série	2,6	----	1,4	----	< 1,0	< 1,0	< 1,0	1,40	< 1,0	2,6
Quarta Série	----	< 1,0	----	< 1,0	----	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Quinta Série	< 1,0	----	----	----	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Sexta Série	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Me (PA)	2,6	1,2	1,1	1,1	< 1,0	1,7	1,1	Média SA: 1,6		
Mi (PA)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	Média PA: 1,4		
Ma (PA)	6,1	1,5	1,4	1,2	< 1,0	4,0	1,4	Média Geral:1,5		

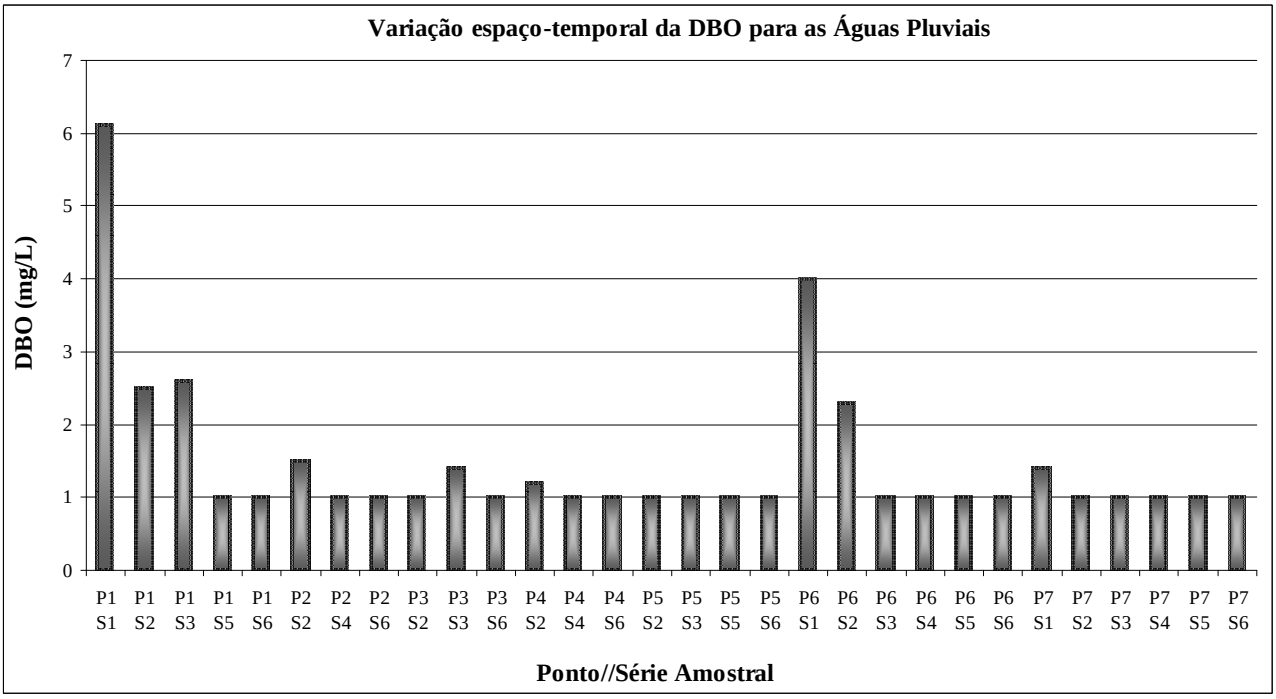


Figura 44 – Variação espaço-temporal dos valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.

As variáveis de qualidade de águas que são mais diretamente indicativas da presença de matéria orgânica e/ou inorgânica oxidável nas águas pluviais, DQO e DBO, apresentaram valores bastante reduzidos, não sendo seus VMP's referenciados pela Norma 15527 (ABNT, 2007) e nem pela Portaria 518/2004 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, BRASIL, 2004), mas apenas por A.N.A. (2005), que aponta somente para a DBO os valores: < 10,0 (Classe 1), e < 20,0 (Classe 3), demonstrando uma qualidade satisfatória neste requisito, pois o valor máximo atingido foi de 6,1 mg/L (Tabela 44). Este parâmetro isoladamente permitiria o reuso das águas pluviais geradas no Lote Experimental Peri-Urbano para os seguintes fins preponderantes, em edifícios: descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais (chafarizes, espelhos de água etc.), além de lavagem de roupas e de veículos, somando-se ainda os reusos permitidos para a Classe 3: irrigação de áreas verdes e rega de jardins (Tabela 44).

Quanto à DQO, alguns componentes medidos poderiam ser causadores, como compostos metálicos ou organometálicos, substâncias húmicas, e nutrientes (nitrogênio e fósforo), que exercem demanda por oxigênio nos corpos receptores, a exemplo do nitrogênio amoniacal, nitrogênio nitrato e nitrogênio nitrito, bem como apresentam toxicidade até mesmo aguda (SANT'ANNA JR., 2010).

Neste estudo, em relação à série nitrogenada (Tabelas 28 a 31 e Figuras 44 a 47), foi observado que os valores de algumas frações poderiam apresentar nocividade à vida aquática, visto alguns autores relatarem que concentrações de NH_3 da ordem de 0,2 mg/L provocaram efeito de toxicidade aguda em peixes salmonídeos (HAGOPIAN *et al*., 1998). Foi detectado um valor máximo para o nitrogênio amoniacal de 0,72 mg/L na 1ª Série Amostral, decaindo até atingir um valor mínimo de 0,02 mg/L (Tabela 29 e Figura 45), e apresentando um valor médio global de 0,19 mg/L, aproximando-se portanto, do valor referenciado pelo autor citado, embora A.N.A. (2005) – Classe 1 apresente um VMP ≤ 20,0, portanto bastante superior a este, tendo que ser considerado, entretanto, o fato de ser um padrão para águas de reuso. Como o intervalo dos valores de pH esteve entre 6,02 e 7,28 (Tabela 19 e Figura 35), o nitrogênio amoniacal deve ter permanecido na forma ionizada, que é menos prejudicial à vida aquática, e a mais comum nas águas naturais (SANT'ANNA JR., 2010).

Constatou-se também que ocorreu uma tendência de acumulação de nitrogênio amoniacal no Ponto 6 (tanque de *first-flush*, ou tanque de 310 litros - intermediário), indicando acúmulo de um tipo de poluição de natureza mais recente neste ponto do SAP.

Por outro lado, os valores medidos para as demais frações oxidadas do nitrogênio, comumente encontradas em águas e efluentes, embora também causadoras de impactos, foram muito reduzidos, situando-se abaixo dos VMP's prescritos em (Tabela 44):

A) A.N.A. (2005), classe 3, para nitrogênio total Kjeldahl, com o valor máximo atingido < 1,0 mg/L;
B) A.N.A. (2005), classe 1, para nitrogênio nitrito, com o valor máximo atingido de 0,0239 mg/L, e M.S. (2004), mantendo-se portanto, dentro do padrão de potabilidade;
C) A.N.A. (2005), classe 1, e M.S. (2004), para nitrogênio nitrato (mantendo-se portanto, dentro do padrão de potabilidade), com o valor máximo atingido de 0,510 mg/L. Percebe-se no caso desta variável, uma nítida tendência à acumulação no Ponto 7 (tanque de armazenamento final de 6000 litros), demonstrando que o mecanismo de degradação das formas nitrogenadas foi se processando ao longo do sistema, até atingir sua forma final, que é o nitrogênio nitrato (indicador de poluição menos recente), apontando à uma tendência ao "envelhecimento" destas águas no interior do sistema de aproveitamento de águas pluviais. Também a presença simultânea de duas formas nitrogenadas (nitrogênio amoniacal e nitrato) permite inferir que, em função das precipitações em diferentes momentos, diferentes fluxos de poluentes estiveram em trânsito através do SAP.

Quanto ao fosfato total (Tabela 32 e Figura 48), o valor máximo atingido (< 1,0 mg/L) previsto por A.N.A. (2005), classe 1 (sendo um VMP bem mais restritivo que para as formas nitrogenadas), foi extrapolado na 1ª Série Amostral, da mesma forma que para o nitrogênio amoniacal, provavelmente em função dos resíduos presentes no telhado de zinco quando da primeira chuva, embora na média tenha atingido um valor de 0,0746 mg/L, de acordo com o que já afirmava GOMES (1981), baseado em estudos de COWEN E LEE (1976), entre outros autores.

Sendo assim, no balanço global dos nutrientes medidos, as águas pluviais geradas no lote demandariam tratamentos complementares, dependentes dos usos a que fossem destinadas.

Tabela 28 - Valores de **Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)** obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).

Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Me (SA)	Mi (SA)	Ma (AS)
Primeira Série	< 1,0	----	----	----	----	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Segunda Série	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Terceira Série	< 1,0	----	< 1,0	----	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Quarta Série	----	< 1,0	----	< 1,0	----	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Quinta Série	< 1,0	----	----	----	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Sexta Série	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Me (PA)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	Média SA: < 1,0		
Mi (PA)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	Média PA: < 1,0		
Ma (PA)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	Média Geral: < 1,0		

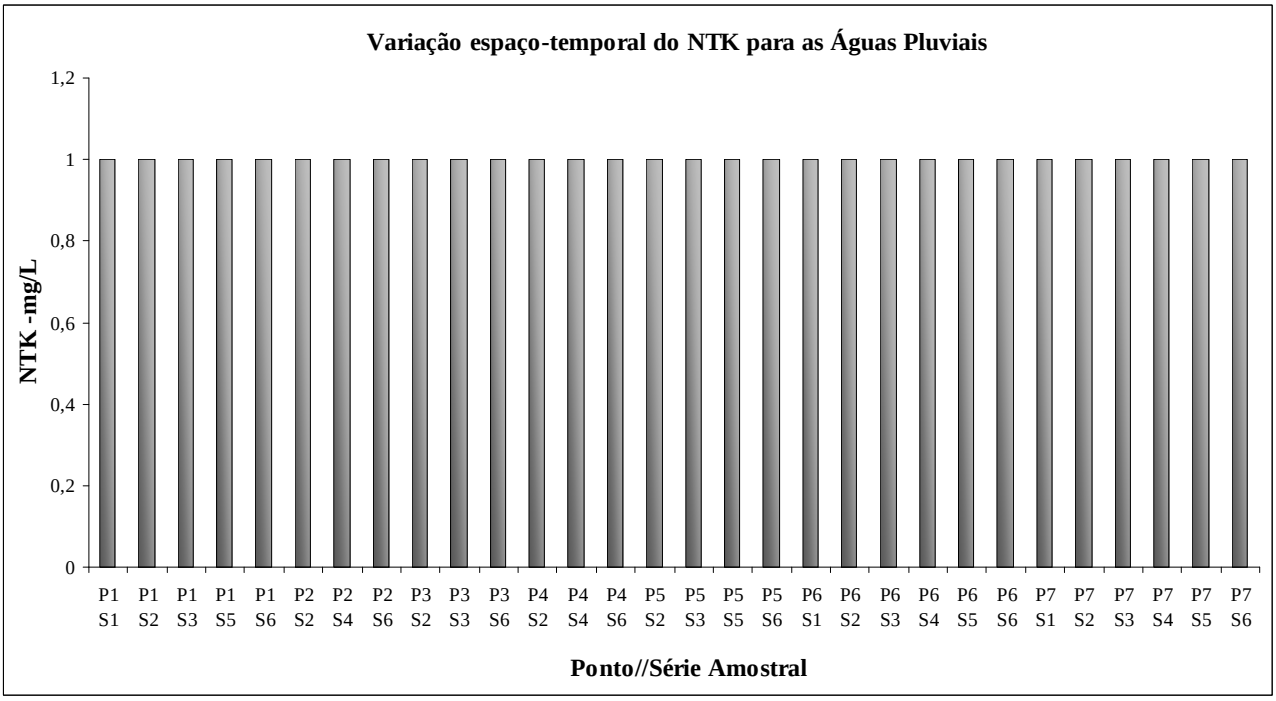


Figura 45 – Variação espaço-temporal dos valores de Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.

Tabela 29 - Valores de **nitrogênio amoniacal** obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).

Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Me (SA)	Mi (SA)	Ma (AS)
Primeira Série	0,72	----	----	----	----	0,66	0,28	0,55	0,28	0,72
Segunda Série	0,12	0,08	0,04	0,03	0,04	0,31	0,13	0,11	0,03	0,31
Terceira Série	0,04	----	0,02	----	0,04	0,08	0,14	0,06	0,02	0,14
Quarta Série	----	0,31	----	0,36	----	0,31	0,15	0,28	0,15	0,36
Quinta Série	0,13	----	----	----	0,16	0,22	0,07	0,14	0,07	0,22
Sexta Série	0,24	0,07	0,08	0,11	0,11	0,24	0,11	0,14	0,07	0,24
Me (PA)	0,25	0,15	0,05	0,17	0,09	0,30	0,15	Média SA: 0,21		
Mi (PA)	0,04	0,07	0,02	0,03	0,04	0,08	0,07	Média PA: 0,17		
Ma (PA)	0,72	0,31	0,08	0,36	0,16	0,66	0,28	Média Geral: 0,19		

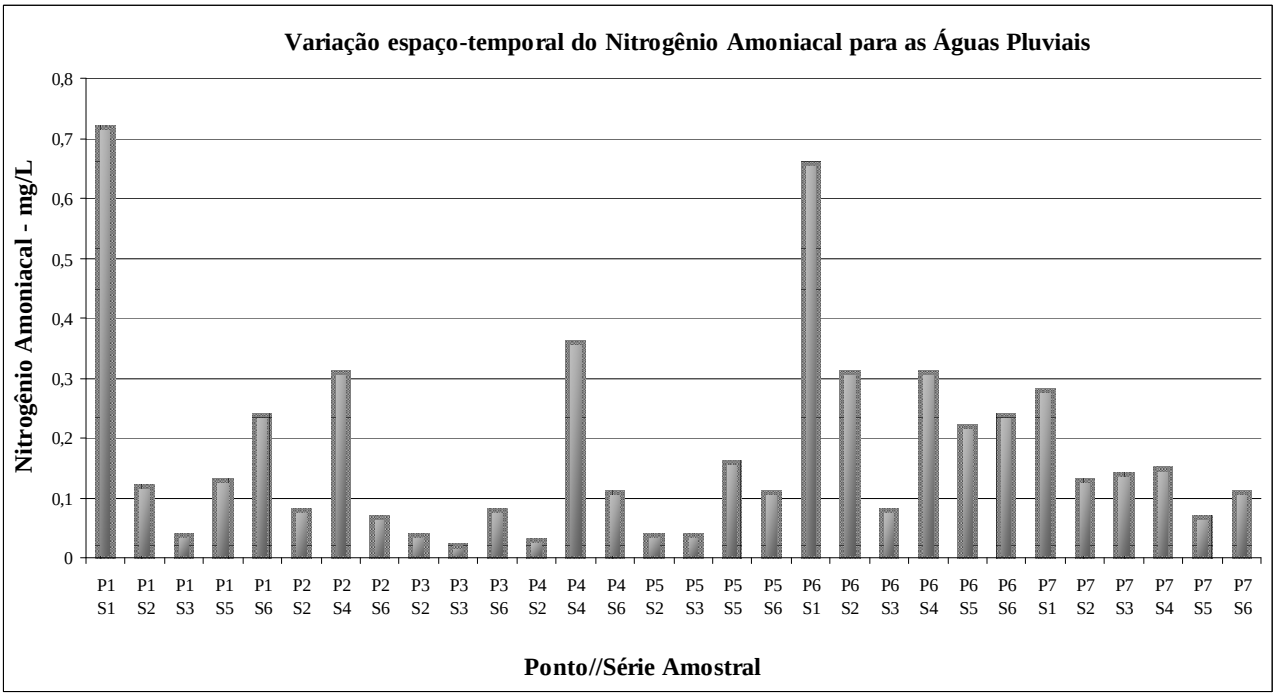


Figura 46 – Variação espaço-temporal dos valores de nitrogênio amoniacal obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.

Tabela 30 - Valores de **nitrogênio nitrato** obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).

Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Me (SA)	Mi (SA)	Ma (AS)
Primeira Série	0,1	----	----	----	----	0,089	0,079	0,089	0,079	0,10
Segunda Série	0,002	0,011	0,003	0,014	0,01	0,035	0,144	0,031	0,002	0,144
Terceira Série	0,002	----	zero	----	zero	zero	0,090	0,018	zero	0,09
Quarta Série	----	0,029	----	0,038	----	0,024	0,123	0,053	0,024	0,123
Quinta Série	0,168	----	----	----	0,172	0,135	0,510	0,246	0,135	0,510
Sexta Série	0,0374	0,0538	0,0171	0,0456	0,0485	0,1108	0,4899	0,115	0,0171	0,4899
Me (PA)	0,062	0,031	0,007	0,032	0,058	0,079	0,287	Média SA: 0,092		
Mi (PA)	0,002	0,011	zero	0,014	zero	zero	0,079	Média PA: 0,079		
Ma (PA)	0,168	0,0538	0,0171	0,0456	0,172	0,1108	0,4899	Média Geral:0,085		

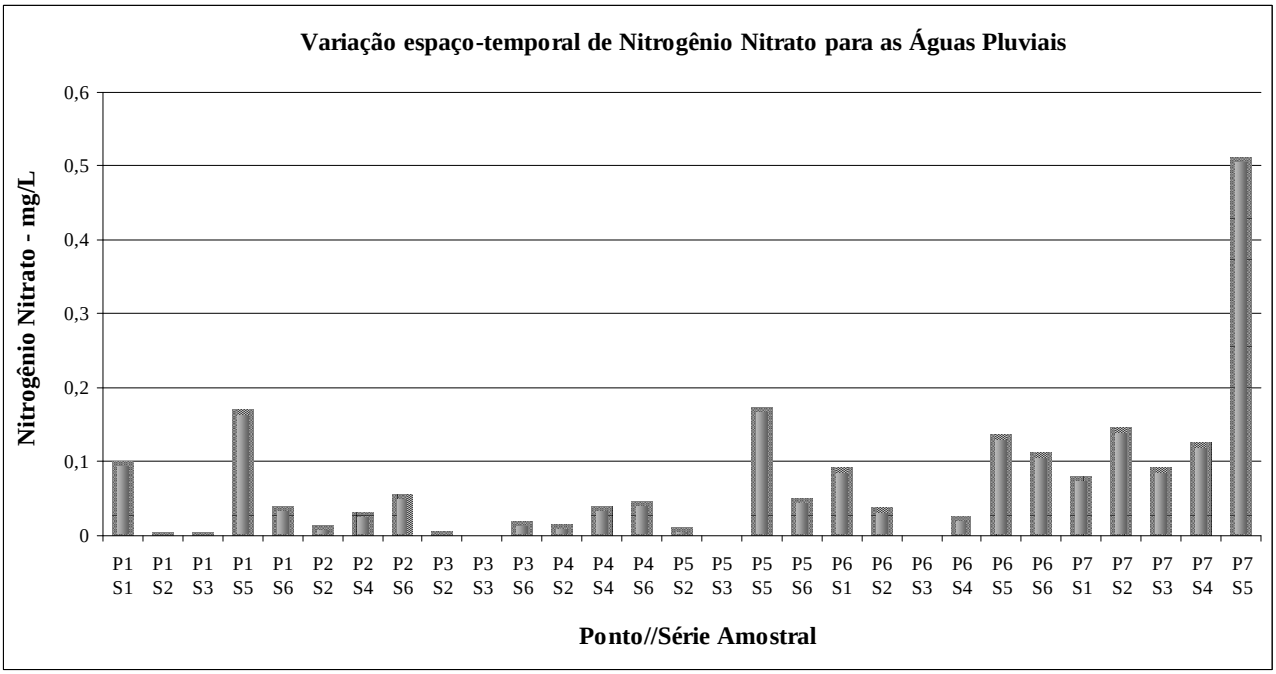


Figura 47 – Variação espaço-temporal dos valores de nitrogênio nitrato obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.

Tabela 31 - Valores de **nitrogênio nitrito** obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).

Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Me (SA)	Mi (SA)	Ma (AS)
Primeira Série	0,0231	----	----	----	----	0,0137	0,0239	0,0202	0,0137	0,0239
Segunda Série	0,0022	0,0026	0,0028	0,0022	0,0030	0,0033	0,0044	0,0029	0,0022	0,0044
Terceira Série	0,0022	----	0,0019	----	0,0015	0,0028	0,0052	0,0027	0,0015	0,0052
Quarta Série	----	0,0055	----	0,0054	----	0,0037	0,0014	0,0040	0,0014	0,0055
Quinta Série	0,0065	----	----	----	0,0065	0,0055	0,0012	0,0049	0,0012	0,0065
Sexta Série	0,0060	0,0044	0,0044	0,0043	0,0048	0,0044	0,0016	0,0043	0,0016	0,0060
Me (PA)	0,008	0,0042	0,0030	0,0040	0,0039	0,0056	0,0063	Média SA: 0,0065		
Mi (PA)	0,0022	0,0026	0,0019	0,0022	0,0015	0,0028	0,0012	Média PA: 0,0050		
Ma (PA)	0,0231	0,0055	0,0044	0,0054	0,0065	0,0137	0,0239	Média Geral: 0,0057		

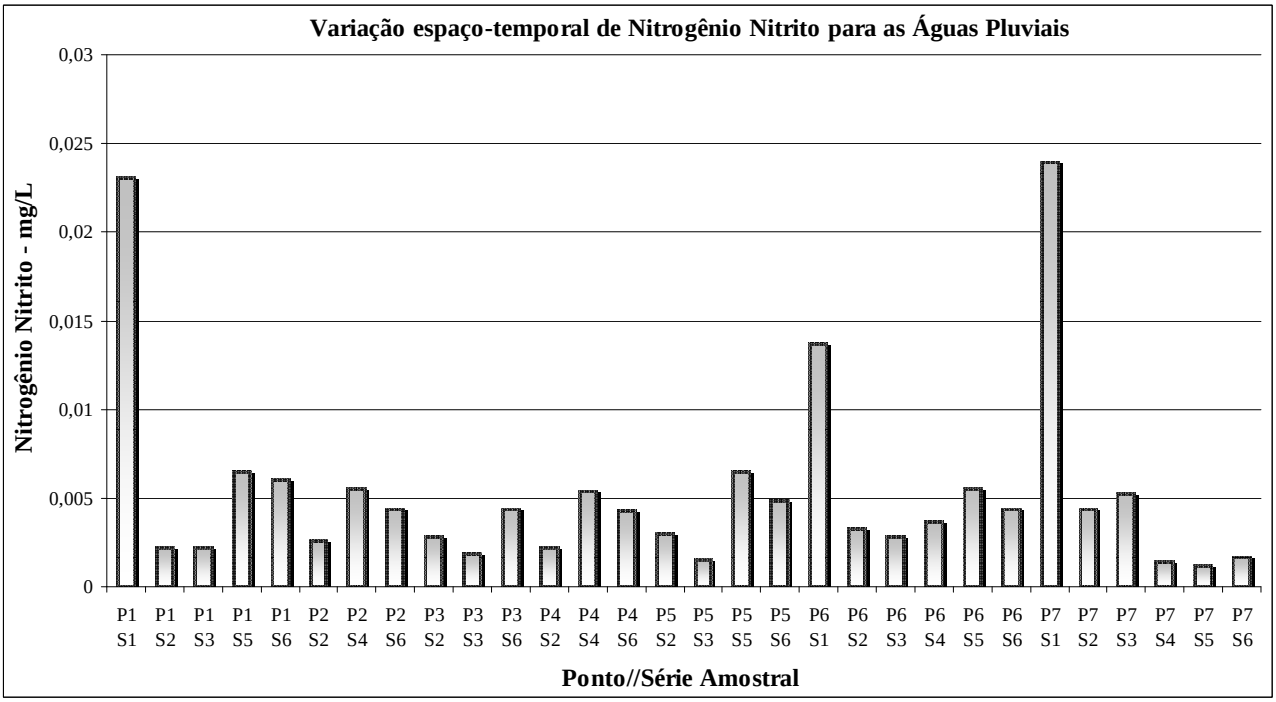


Figura 48 – Variação espaço-temporal dos valores de nitrogênio nitrito obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.

Tabela 32 - Valores de **fosfato total** obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).

Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Me (SA)	Mi (SA)	Ma (SA)
Primeira Série	0,1339	----	----	----	----	0,1261	0,1104	0,1235	0,1104	0,1261
Segunda Série	0,0833	0,0845	0,0551	0,0598	0,0715	0,0868	0,0868	0,0754	0,0551	0,0868
Terceira Série	0,0392	----	0,0492	----	0,0392	0,0369	0,0533	0,0436	0,0369	0,0533
Quarta Série	----	0,0810	----	0,0510	----	0,0939	0,0569	0,0707	0,0510	0,0939
Quinta Série	0,0639	----	----	----	0,0451	0,0574	0,0545	0,0552	0,0451	0,0639
Sexta Série	0,0580	0,0633	0,0574	0,0516	0,1174	0,0804	0,1151	0,0776	0,0516	0,1174
Me (PA)	0,0757	0,0763	0,0539	0,0541	0,0683	0,0802	0,0795	Média SA: 0,0795		
Mi (PA)	0,0392	0,0633	0,0492	0,0510	0,0392	0,0369	0,0533	Média PA: 0,0697		
Ma (PA)	0,1339	0,0845	0,0574	0,0598	0,0715	0,1261	0,1104	Média Geral: 0,0746		

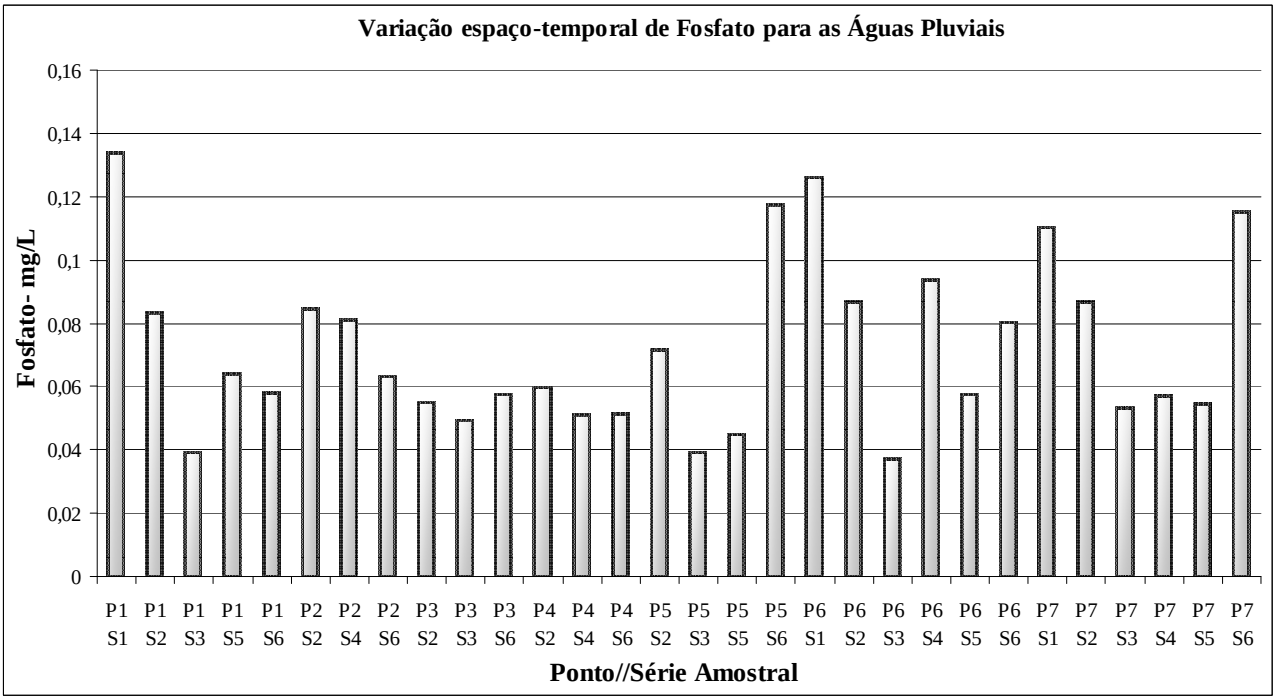


Figura 49 – Variação espaço-temporal dos valores de fosfato total obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.

6.3.3_Análise das Variáveis Microbiológicas: Coliformes Totais e Coliformes Fecais

Pôde-se observar que os valores de pico para os coliformes fecais ocorreram na 6ª Série Amostral (Tabela 34), possivelmente devido à deposição e carreamento aleatório de matéria fecal do Telhado de Zinco, uma vez que o mesmo já sofrera lavagem nas séries amostrais antecedentes.

O uso das águas pluviais para fins potáveis foi inviabilizado pela incidência de coliformes fecais e totais nas águas pluviais (Figuras 49 e 50).

Os coliformes fecais, ainda que presentes em número relativamente reduzido, em decorrência provavelmente da presença de dejetos animais no telhado de zinco, e os coliformes totais, resultantes da passagem da água pela atmosfera e de seu contato aleatório com superfícies de diferentes naturezas e graus de contaminação (em níveis semelhantes aos do esgoto sanitário tratado, ou seja, na saída da fossa séptica biodigestora), extrapolaram os VMP's prescritos na Tabela 44, demandando, em conseqüência, a necessidade do emprego de dispositivos ou sistemas de desinfecção, a exemplo do sistema de desinfecção por radiação ultravioleta utilizado nesta pesquisa.

Tabela 33 - Valores de **coliformes totais** obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).

Ponto de Amostragem // Série Amostral	**Ponto 1**	**Ponto 2**	**Ponto 3**	**Ponto 4**	**Ponto 5**	**Ponto 6**	**Ponto 7**	**Me (SA)**	**Mi (SA)**	**Ma (SA)**
Primeira Série	6,2 x 10^4	----	----	----	----	1,04 x 10^4	8,3 x 10^1	2,42 x 10^4	8,3 x 10^1	6,2 x 10^4
Segunda Série	2,5 x 10^4	4,05 x 10^3	1,5 x 10^5	3,0 x 10^3	6,2 x 10^2	2,7 x 10^2	1,6 x 10^4	2,84 x 10^4	2,7 x 10^2	1,5 x 10^5
Terceira Série	3,2 x 10^4	----	3,1 x 10^3	----	1,1 x 10^3	1,29 x 10^5	3,0 x 10^3	3,36 x 10^4	1,1 x 10^3	1,29 x 10^5
Quarta Série	----	3,0 x 10^3	----	7,0 x 10^3	----	3,0 x 10^2	1,6 x 10^5	4,26 x 10^4	3,0 x 10^2	1,6 x 10^5
Quinta Série	4,8 x 10^2	----	----	----	9,0 x 10^3	6,0 x 10^5	2,0 x 10^4	1,57 x 10^5	4,8 x 10^2	6,0 x 10^5
Sexta Série	1,6 x 10^4	4,9 x 10^3	1,2 x10^5	8,0 x 10^3	1,5 x 10^4	3,0 x 10^3	1,6 x 10^3	2,41 x 10^4	1,6 x 10^3	1,2 x10^5
Me (PA)	2,71 x 10^4	3,98 x 10^3	9,1 x 10^4	6,0 x 10^3	6,43 x 10^3	1,24 x 10^5	3,34 x 10^4	Média SA: 5,16 x 10^4		
Mi (PA)	1,6 x 10^4	3,0 x 10^3	3,1 x 10^3	3,0 x 10^3	6,2 x 10^2	2,7 x 10^2	8,3 x 10^1	Média PA: 4,17 x 10^4		
Ma (PA)	6,2 x 10^4	4,9 x 10^3	1,5 x 10^5	8,0 x 10^3	1,5 x 10^4	6,0 x 10^5	1,6 x 10^5	Média Geral: 4,66 x 10^4		

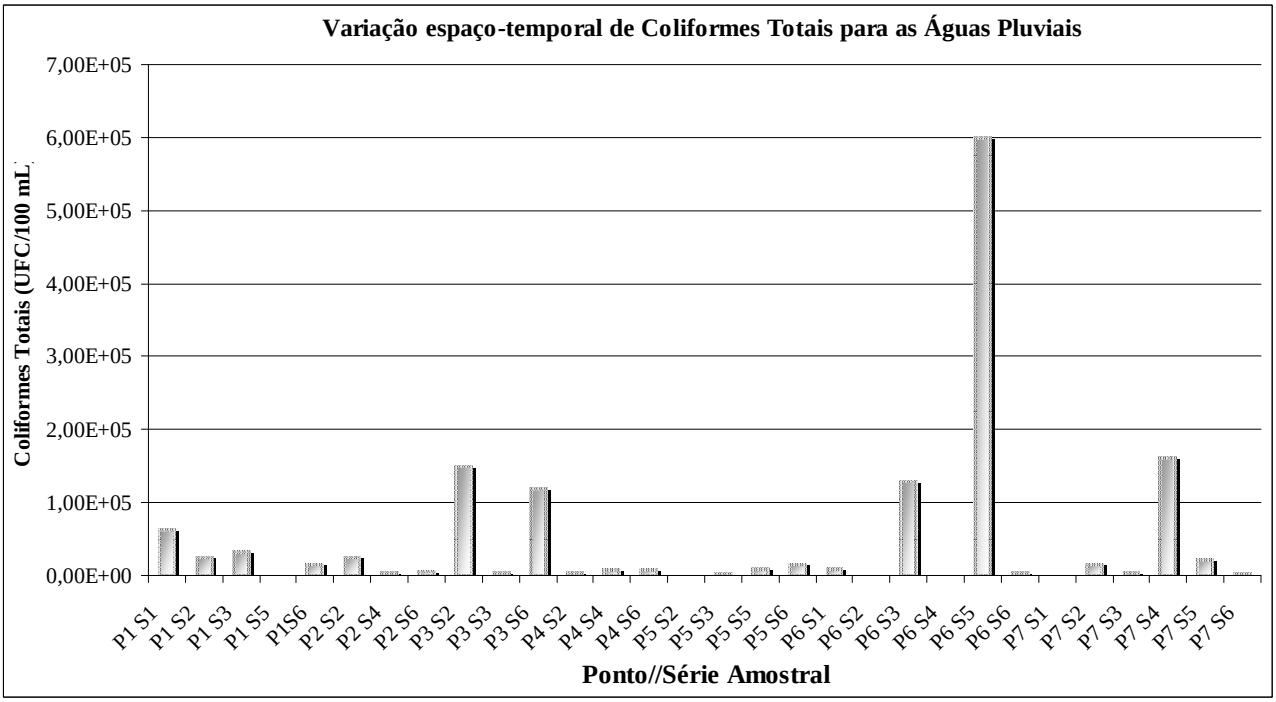


Figura 50 – Variação espaço-temporal dos valores de coliformes totais obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.

Tabela 34 - Valores de **coliformes fecais** obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).

Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Me (SA)	Mi (SA)	Ma (SA)
Primeira Série	zero	----	----	----	----	zero	zero	zero	zero	zero
Segunda Série	zero	zero	zero	zero	zero	zero	zero	zero	zero	zero
Terceira Série	zero	----	zero	----	zero	zero	zero	zero	zero	zero
Quarta Série	----	zero	----	zero	----	zero	zero	zero	zero	zero
Quinta Série	zero	----	----	----	zero	zero	zero	zero	zero	zero
Sexta Série	zero	zero	100	540	300	580	zero	217	zero	580
Me (PA)	zero	zero	17	90	50	97	zero	Média SA: 36		
Mi (PA)	zero	zero	zero	zero	zero	zero	zero	Média PA: 36		
Ma (PA)	zero	zero	100	540	300	580	zero	Média Geral: 36		

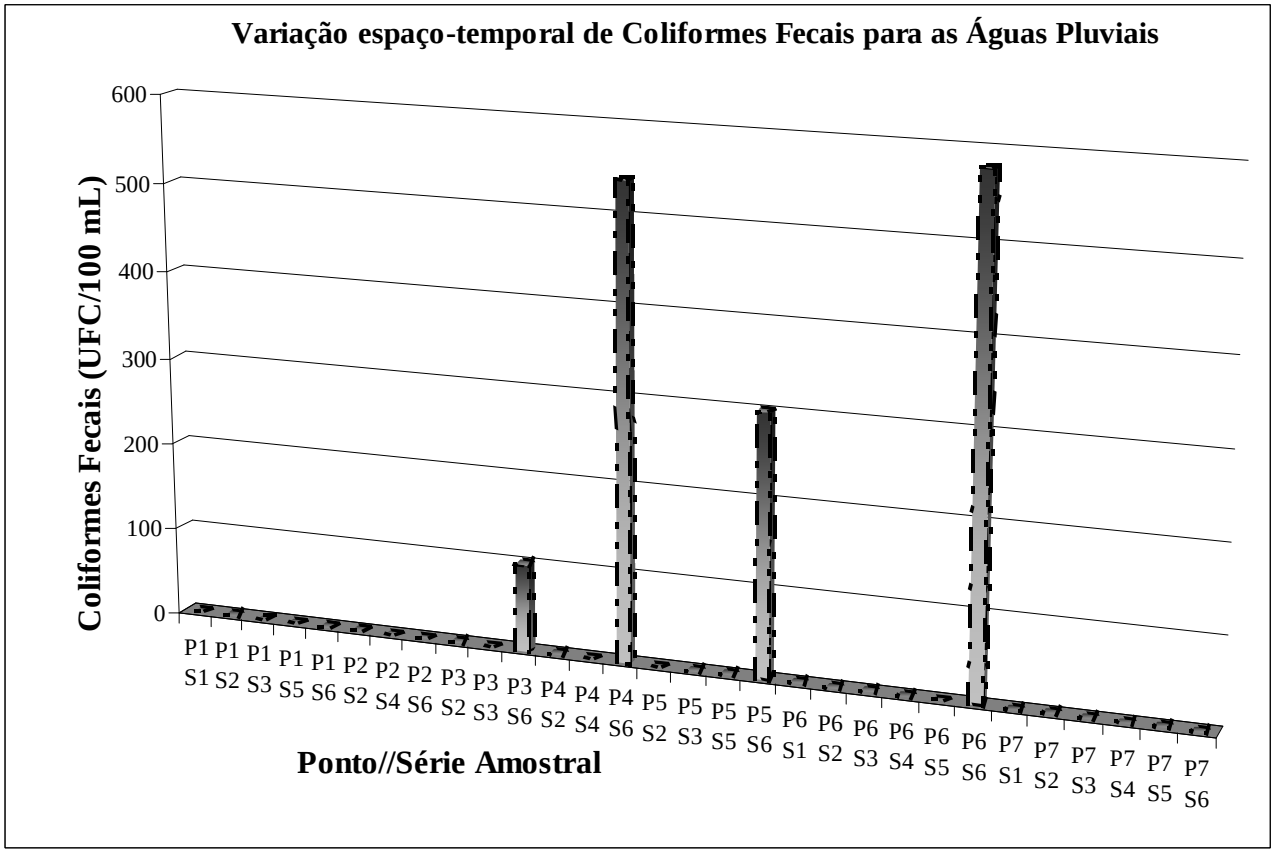


Figura 51 – Variação espaço-temporal dos valores de coliformes fecais obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.

6.3.4_Análise da Série de Sólidos

O perfil da série de sólidos amostrada para as águas pluviais indicou tendências para:

- Valores mais elevados nas primeiras séries amostrais, especialmente na primeira, devido provavelmente à presença de material em deposição no telhado de zinco, o qual foi sofrendo a ação de lavagem no decorrer do tempo através das precipitações;

- Uma redução progressiva dos teores de sólidos com a sucessão de precipitações, da 1ª para a 6ª Série Amostral, com valores abaixo de 1,0 mg/L na 6ª Série Amostral para todas as frações sólidas (Tabelas 35 a 43 e Figuras 51 a 59);

- Diminuição dos teores de sólidos em geral nos Pontos 6 e 7 (tanques de first-flush e de armazenamento final), exceto para os sólidos dissolvidos totais e sólidos dissolvidos voláteis na 1ª e 2ª Séries Amostrais;

- Baixo teor de sólidos fixos (de composição mineral), com predominância de sólidos dissolvidos fixos, e elevado teor de sólidos voláteis (matéria orgânica), predominantemente de natureza dissolvida, seguida pelos de natureza suspensa.

Quanto aos VMP's (Tabela 44), os valores acharam-se enquadrados, mesmo tendo-se em conta o padrão para potabilidade referenciado na Portaria 508/2004 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, BRASIL, 2004). Assim sendo, estas águas pluviais poderiam ser aproveitadas para um consumo potável, considerada isoladamente apenas esta variável de qualidade. No entanto, os sólidos, quando associados à turbidez, devem ser considerados com cautela, devido à interferência nos processos de desinfecção pela formação de barreiras à ação da maioria dos agentes desinfetantes utilizados, o que demandaria tratamentos complementares.

Dentre os diversos parâmetros de qualidade que podem ser utilizados para a identificação de aplicações potenciais para o reúso de efluentes, a concentração de Sais Dissolvidos Totais (SDT) pode ser o mais adequado. Isto se justifica em razão da concentração de SDT ser utilizada como um parâmetro restritivo para o uso da água nas diversas aplicações industriais, além da limitação que os processos de tratamento de efluentes, mais comumente utilizados, apresentam para remover este tipo de contaminante (FIESP, 2005).

Tabela 35 - Valores de **sólidos totais** obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).

Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Me (SA)	Mi (SA)	Ma (SA)
Primeira Série	229,0	----	----	----	----	109,0	99,0	145,7	99,0	229,0
Segunda Série	67,0	65,6	88,0	83,0	32,0	82,0	53,0	67,2	32,0	88,0
Terceira Série	71,0	----	203,0	----	35,6	51,2	< 1,0	72,4	< 1,0	203,0
Quarta Série	----	20,8	----	12,0	----	< 1,0	7,6	10,3	< 1,0	20,8
Quinta Série	19,6	----	----	----	12,0	1,2	< 1,0	8,4	< 1,0	19,6
Sexta Série	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	6,8	< 1,0	1,8	< 1,0	6,8
Me (PA)	77,5	29,1	97,3	32,0	20,1	41,9	27,1	Média SA: 51,0		
Mi (PA)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	Média PA: 46,4		
Ma (PA)	229,0	65,6	203,0	83,0	35,6	109,0	99,0	Média Geral: 48,7		

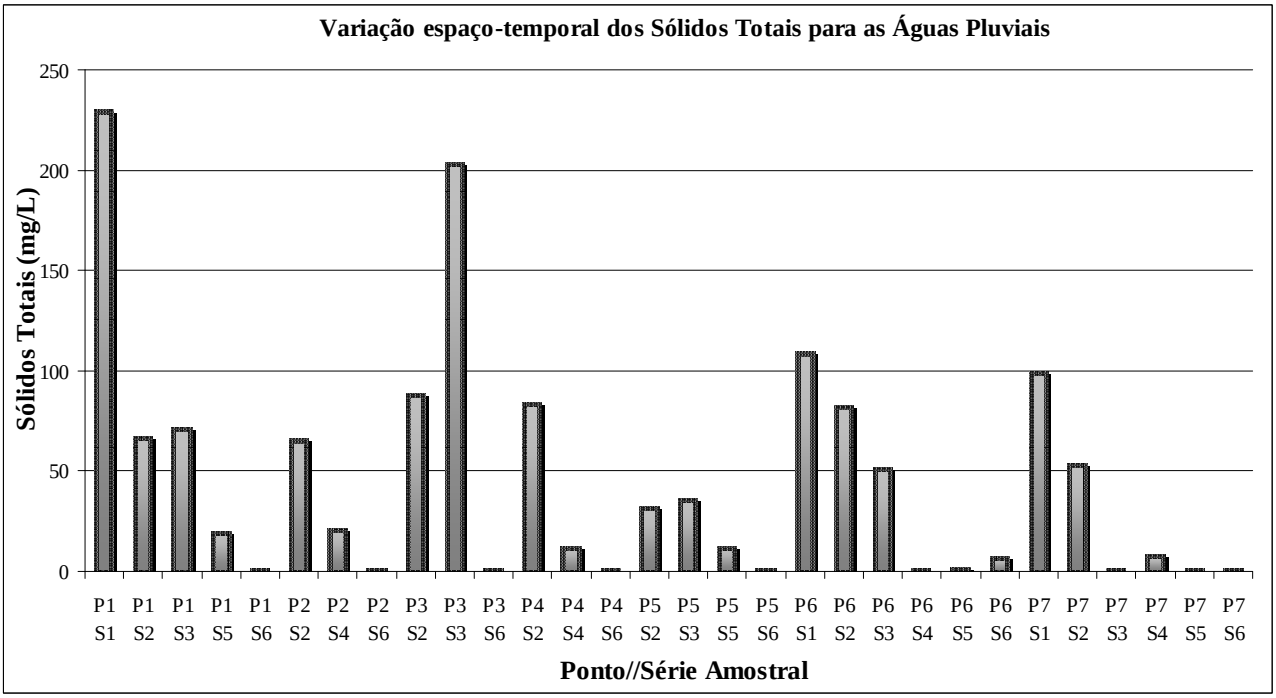


Figura 52 – Variação espaço-temporal dos valores de sólidos totais obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.

Tabela 36 - Valores de **sólidos totais fixos** obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).

Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Me (SA)	Mi (SA)	Ma (SA)
Primeira Série	< 1,0	----	----	----	----	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Segunda Série	< 1,0	12,8	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	2,7	< 1,0	12,8
Terceira Série	< 1,0	----	< 1,0	----	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Quarta Série	----	< 1,0	----	< 1,0	----	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Quinta Série	< 1,0	----	----	----	3,4	< 1,0	< 1,0	1,6	< 1,0	3,4
Sexta Série	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Me (PA)	< 1,0	4,9	< 1,0	< 1,0	1,6	< 1,0	< 1,0	Média SA: 1,4		
Mi (PA)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	Média PA: 1,6		
Ma (PA)	< 1,0	12,8	< 1,0	< 1,0	3,4	< 1,0	< 1,0	Média Geral: 1,5		

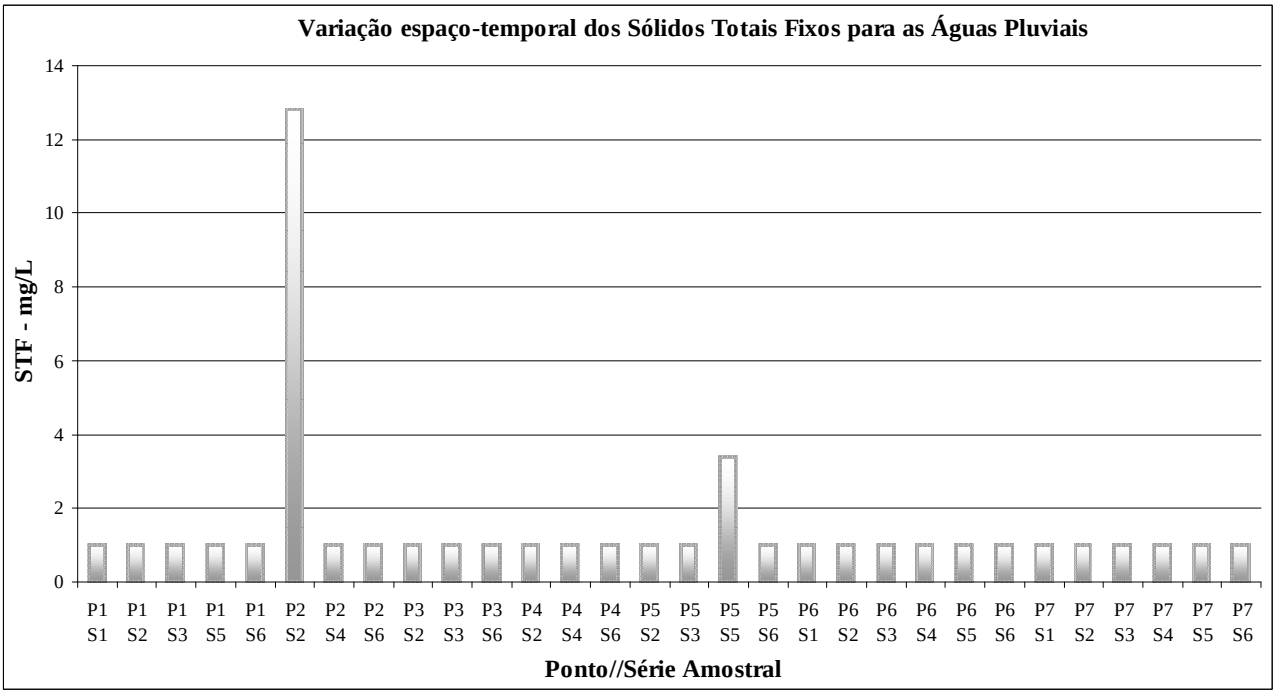


Figura 53 – Variação espaço-temporal dos valores de sólidos totais fixos (STF) obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.

Tabela 37 - Valores de **sólidos totais voláteis** obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).

Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Me (SA)	Mi (SA)	Ma (SA)
Primeira Série	229,0	----	----	----	----	109,0	99,0	145,7	99,0	229,0
Segunda Série	67,0	52,8	88,0	83,0	32,0	82,0	53,0	65,4	32,0	88,0
Terceira Série	71,0	----	203,0	----	35,6	51,2	< 1,0	72,4	< 1,0	203,0
Quarta Série	----	20,8	----	12,0	----	< 1,0	7,6	10,3	< 1,0	20,8
Quinta Série	19,6	----	----	----	8,6	1,2	< 1,0	7,6	< 1,0	19,6
Sexta Série	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Me (PA)	77,5	24,9	97,3	32,0	19,3	40,9	27,1	Média SA: 50,4		
Mi (PA)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	Média PA: 45,6		
Ma (PA)	229,0	52,8	203,0	83,0	35,6	109,0	99,0	Média Geral: 48,0		

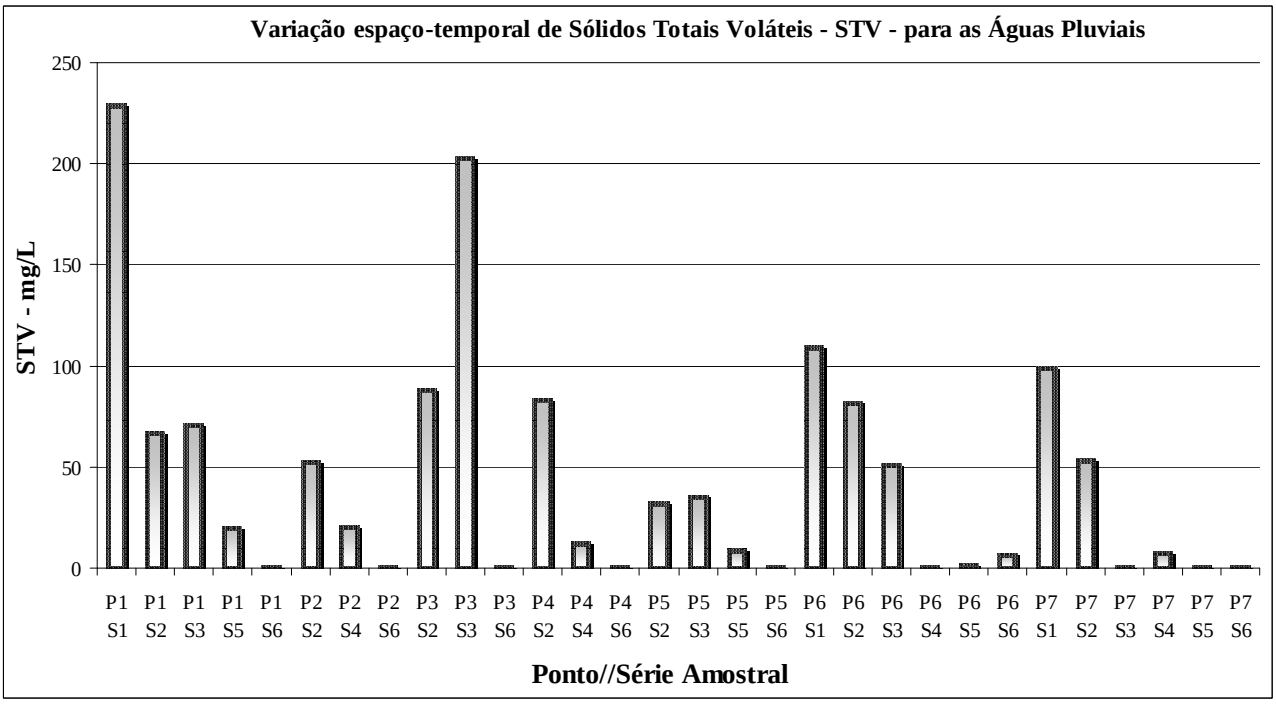


Figura 54 – Variação espaço-temporal dos valores de sólidos totais voláteis (STV) obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.

Tabela 38 - Valores de **sólidos suspensos totais** obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).

Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Me (SA)	Mi (SA)	Ma (SA)
Primeira Série	57,0	----	----	----	----	< 1,0	3,0	20,3	< 1,0	57,0
Segunda Série	3,3	29,0	37,0	2,0	8,0	1,0	< 1,0	11,6	< 1,0	37,0
Terceira Série	23,0	----	1,0	----	4,0	8,0	< 1,0	7,4	< 1,0	23,0
Quarta Série	----	9,0	----	3,8	----	< 1,0	< 1,0	3,7	< 1,0	9,0
Quinta Série	< 1,0	----	----	----	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Sexta Série	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Me (PA)	17,1	13,0	13,0	2,3	3,5	2,2	1,6	Média SA: 7,5		
Mi (PA)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	Média PA: 7,5		
Ma (PA)	57,0	29,0	37,0	3,8	8,0	8,0	3,0	Média Geral: 7,5		

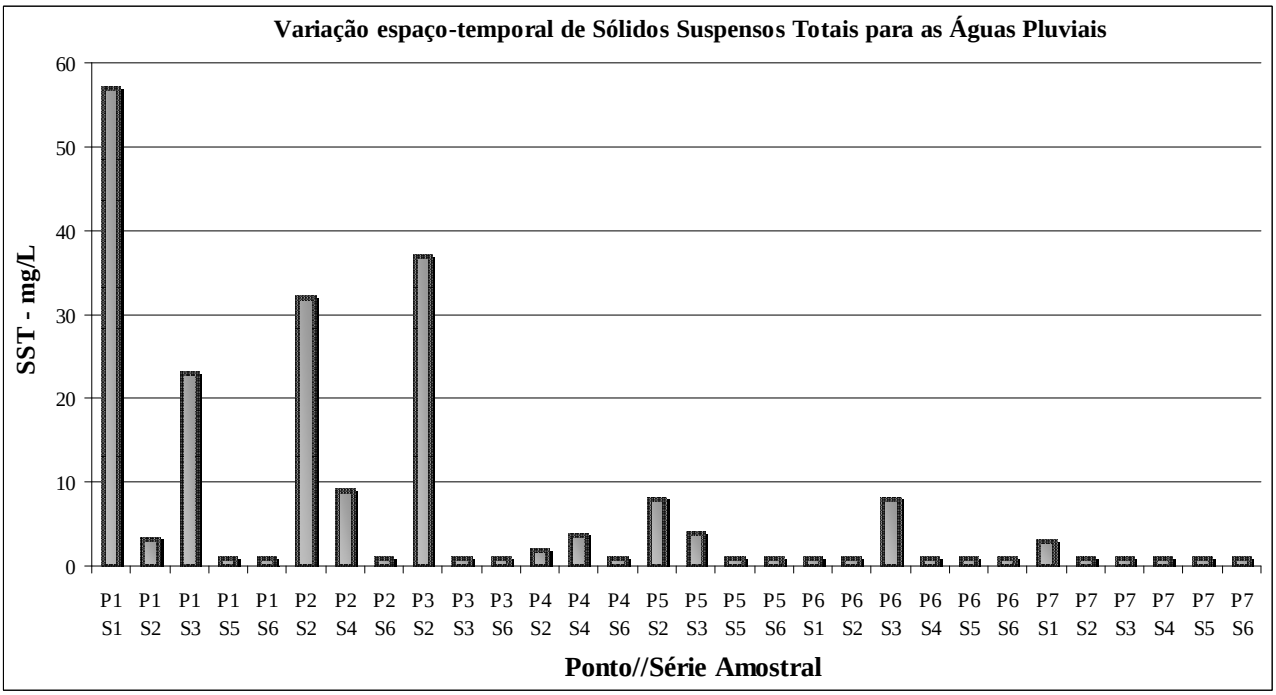


Figura 55 – Variação espaço-temporal dos valores de sólidos suspensos totais (SST) obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.

Tabela 39 - Valores de **sólidos suspensos fixos** obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).

Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Me (SA)	Mi (SA)	Ma (SA)
Primeira Série	6,4	----	----	----	----	< 1,0	< 1,0	2,8	< 1,0	6,4
Segunda Série	< 1,0	3,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	1,3	< 1,0	3,0
Terceira Série	< 1,0	----	< 1,0	----	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Quarta Série	----	< 1,0	----	< 1,0	----	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Quinta Série	< 1,0	----	----	----	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Sexta Série	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Me (PA)	2,1	1,7	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	Média SA: 1,3		
Mi (PA)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	Média PA: 1,3		
Ma (PA)	6,4	3,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	Média Geral: 1,3		

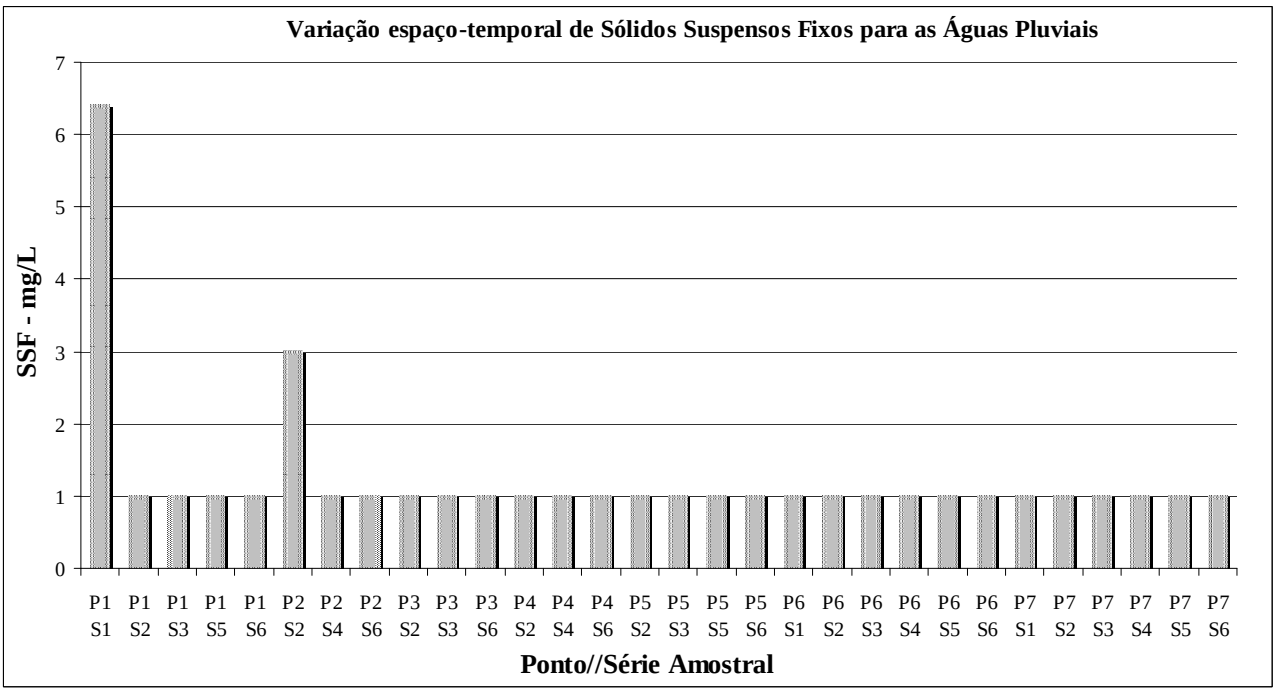


Figura 56 – Variação espaço-temporal dos valores de sólidos suspensos totais (SST) obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.

Tabela 40 - Valores de **sólidos suspensos voláteis** obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).

Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Me (SA)	Mi (SA)	Ma (SA)
Primeira Série	50,6	----	----	----	----	< 1,0	3,0	18,2	< 1,0	50,6
Segunda Série	3,3	29,0	37,0	2,0	8,0	1,0	< 1,0	11,6	< 1,0	37,0
Terceira Série	23,0	----	1,0	----	4,0	8,0	< 1,0	7,4	< 1,0	23,0
Quarta Série	----	9,0	----	3,8	----	< 1,0	< 1,0	3,7	< 1,0	9,0
Quinta Série	< 1,0	----	----	----	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Sexta Série	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Me (PA)	15,8	13,0	13,0	2,3	3,5	2,2	1,3	Média SA: 7,1		
Mi (PA)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	Média PA: 7,3		
Ma (PA)	50,6	29,0	37,0	3,8	8,0	8,0	3,0	Média Geral: 7,2		

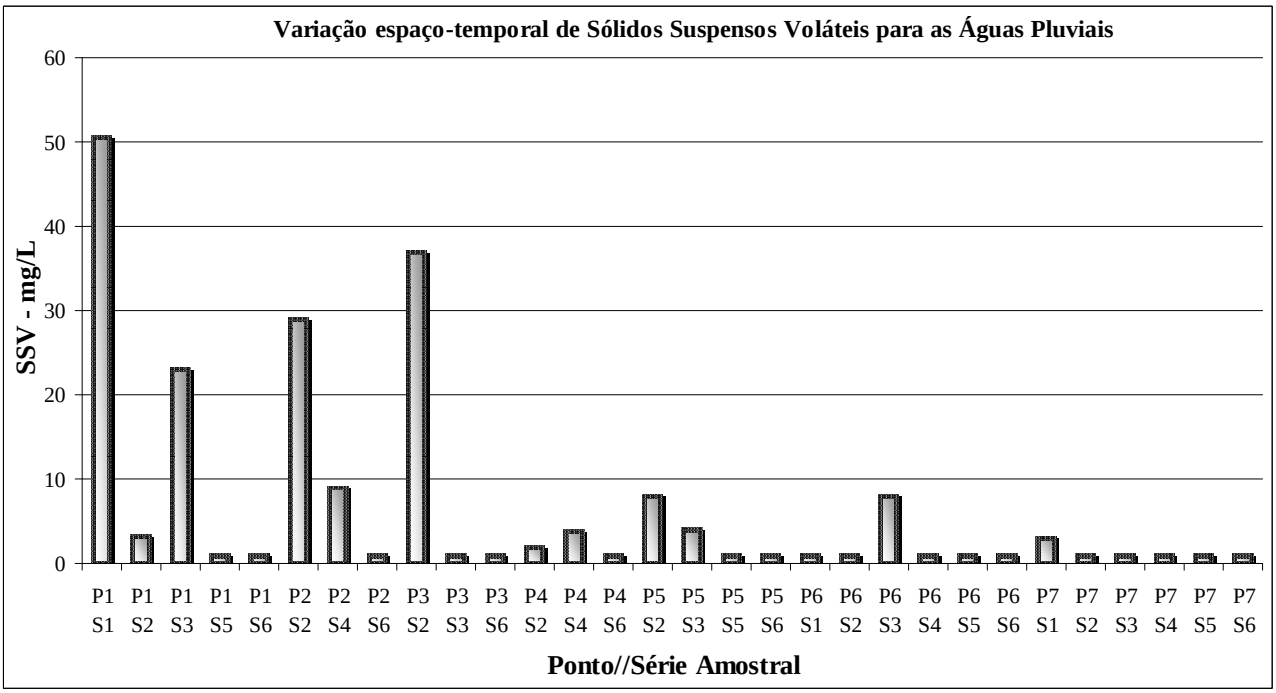


Figura 57 – Variação espaço-temporal dos valores de sólidos suspensos voláteis (SST) obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.

Tabela 41 - Valores de **sólidos dissolvidos totais** obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).

Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Me (SA)	Mi (SA)	Ma (SA)
Primeira Série	172,0	----	----	----	----	109,0	96,0	125,7	96,0	172,0
Segunda Série	63,7	33,6	51,0	81,0	24,0	81,0	53,0	55,3	24,0	81,0
Terceira Série	48,0	----	220,0	----	43,2	43,2	< 1,0	71,1	< 1,0	220,0
Quarta Série	----	11,8	----	8,2	----	< 1,0	7,6	7,1	< 1,0	11,8
Quinta Série	19,6	----	----	----	12,0	1,2	< 1,0	8,4	< 1,0	19,6
Sexta Série	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	6,8	< 1,0	1,8	< 1,0	6,8
Me (PA)	60,9	15,5	90,7	30,1	20,0	40,4	26,6	Média SA: 44,9		
Mi (PA)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	Média PA: 40,6		
Ma (PA)	172,0	33,6	220,0	81,0	43,2	109,0	96,0	Média Geral: 42,7		

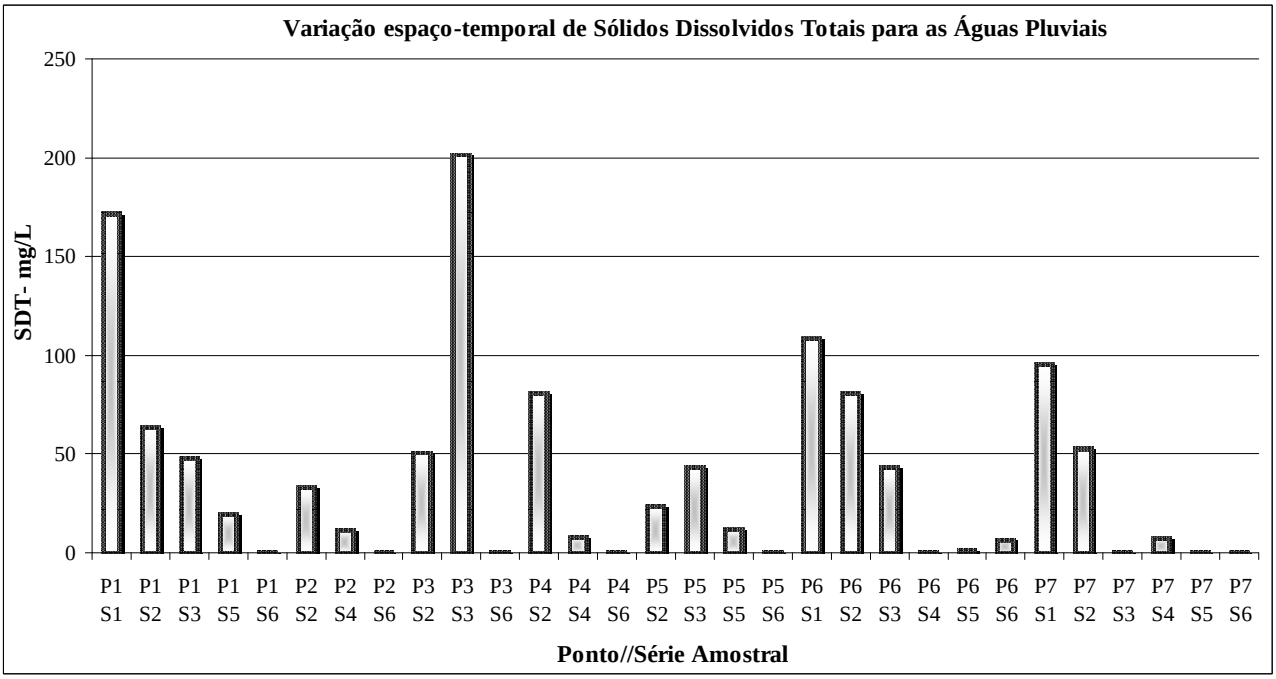


Figura 58 – Variação espaço-temporal dos valores de sólidos dissolvidos totais (SDT) obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.

Tabela 42 - Valores de **sólidos dissolvidos fixos** obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).

Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Me (SA)	Mi (SA)	Ma (SA)
Primeira Série	6,4	----	----	----	----	< 1,0	< 1,0	2,8	< 1,0	6,4
Segunda Série	< 1,0	9,8	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	2,3	< 1,0	9,8
Terceira Série	< 1,0	----	< 1,0	----	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Quarta Série	----	< 1,0	----	< 1,0	----	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Quinta Série	< 1,0	----	----	----	3,4	< 1,0	< 1,0	1,6	< 1,0	3,4
Sexta Série	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Me (PA)	2,1	3,9	< 1,0	< 1,0	1,6	< 1,0	< 1,0	Média SA: 1,6		
Mi (PA)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	Média PA: 1,7		
Ma (PA)	6,4	9,8	< 1,0	< 1,0	3,4	< 1,0	< 1,0	Média Geral: 1,6		

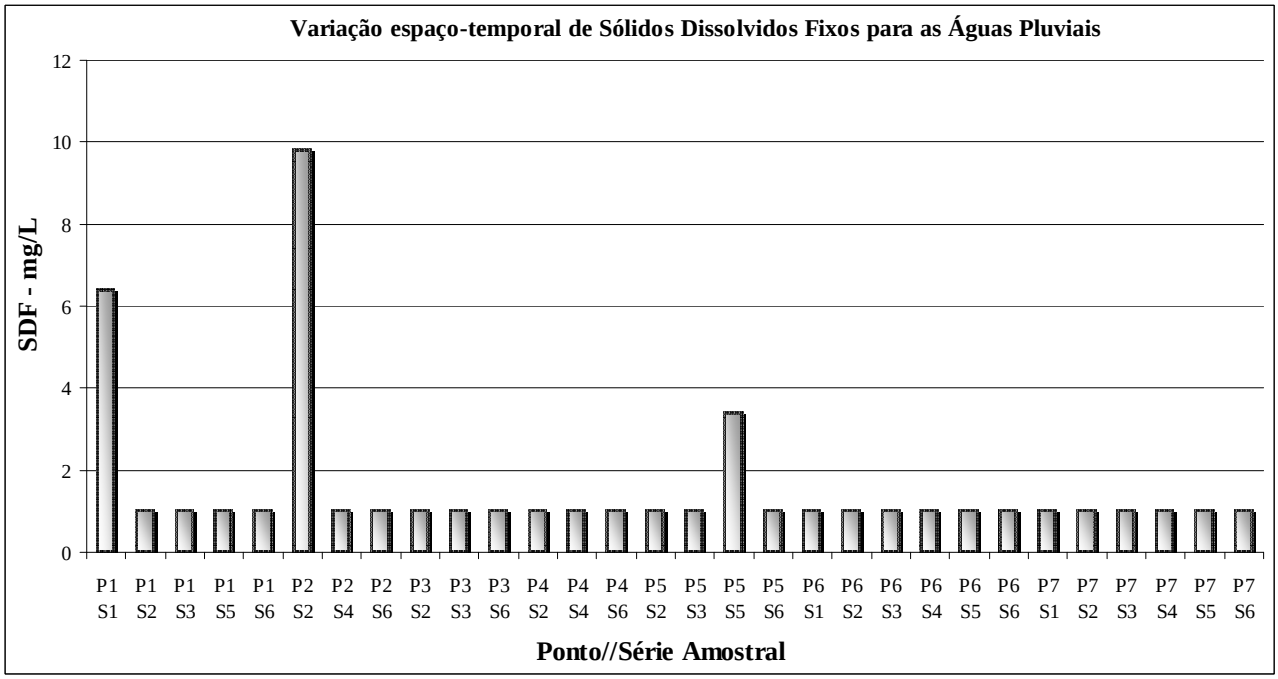


Figura 59 – Variação espaço-temporal dos valores de sólidos dissolvidos fixos (SDF) obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.

Tabela 43 - Valores de **sólidos dissolvidos voláteis** obtidos para as seis Séries Amostrais efetuadas no SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano, e seus valores de média (Me), mínimo (Mi) e máximo (Ma) por ponto de amostragem (PA) e Série Amostral (SA).

Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Me (SA)	Mi (SA)	Ma (SA)
Primeira Série	165,6	----	----	----	----	109,0	96,0	123,5	96,0	165,6
Segunda Série	63,7	23,8	51,0	81,0	24,0	81,0	53,0	53,9	23,8	81,0
Terceira Série	48,0	----	202,0	----	43,2	43,2	< 1,0	67,5	< 1,0	202,0
Quarta Série	----	11,8	----	8,2	----	< 1,0	7,6	7,1	< 1,0	11,8
Quinta Série	19,6	----	----	----	8,6	1,2	< 1,0	7,6	< 1,0	19,6
Sexta Série	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	6,8	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Me (PA)	59,6	12,2	84,7	30,1	19,2	40,4	26,6	Média SA: 43,4		
Mi (PA)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	Média PA: 39,0		
Ma (PA)	165,6	23,8	202,0	81,0	43,2	109,0	96,0	Média Geral: 41,2		

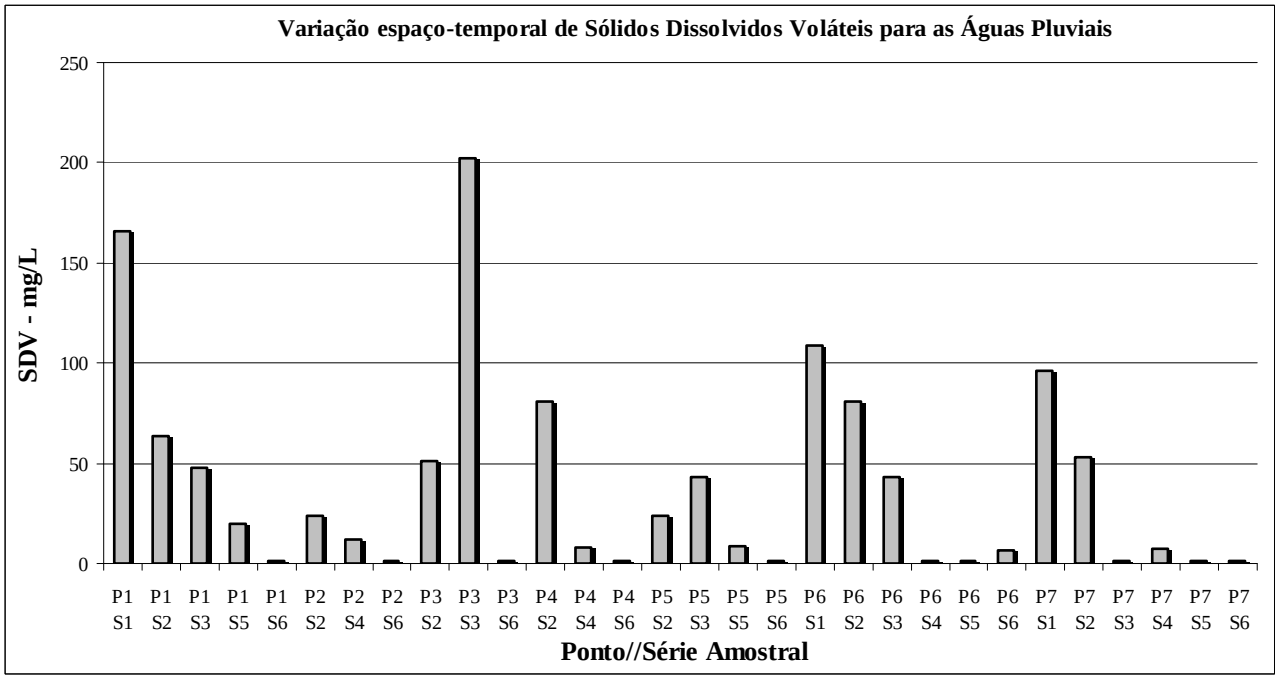


Figura 60 – Variação espaço-temporal dos valores de sólidos dissolvidos voláteis (SDV) obtidos para as Séries Amostrais efetuadas no Lote Experimental Peri-Urbano.

Tabela 44 - Variáveis de qualidade e seus VMP's, comparados aos valores médios, mínimos e máximos obtidos para as águas pluviais.

VARIÁVEIS DE QUALIDADE DE ÁGUAS PLUVIAIS	UNIDADE	ANA (2005) CLASSE 1	ANA (2005) CLASSE 3	ABNT (2007)	MS (2004)	MÉDIA DOS VALORES	VALORES MÍNIMOS E MÁXIMOS
pH	--------	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 8,0	6,0 a 9,5	6,61	6,02 - 7,28
TURBIDEZ	(NTU)	< 2,0	< 5,0	**< 2,0 (< 5,0) [A]**	< 1,0	1,01	0,48 - 2,93
COR	(mg PtCl/L)	< 10	< 30	< 15,0	15,0	8,30	< 1,0 – 38,0
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	(mg/L)	----	----	----	---	7,24	3,9 – 8,5
DEMANDA QUÍM ICA DE OXIGÊNIO	(mg O_2/L)	----	----	----	----	15,0	1,7 – 25,0
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO	(mg O_2/L)	< 10	< 20	----	----	1,5	< 1,0 – 6,1
NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL	(mg N/L)	----	5 a 30	----	----	< 1,0	< 1,0
NITROGÊNIO AMONIACAL	(mg N/L)	≤ 20	----	----	----	0,19	0,02 – 0,72
NITROGÊNIO NITRITO	(mg N/L)	< 1	----	----	1	0,0057	0,0012 – 0,0239
NITROGÊNIO NITRATO	(mg N/L)	< 10	----	----	10	0,085	Zero – 0,510
FOSFATO TOTAL	(mg PO_4^{3-}/L)	< 0,1	----	----	----	0,0746	0,0392 – 0,1261
CONDUTIVIDADE	mS/cm	----	----	----	----	8,06	1,72 – 20,80
CLORETOS	(mg/L)	----	**(1)[B] < 350 (2)[C] < 100**	----	250	0,20	Zero – 0,90
DUREZA TOTAL	(mg/L)	----	----	----	500	4,2	Zero – 11,2
COLIFORMES TOTAIS	(UFC/100 mL)	----	----	ND	ND	$4,66 \times 10^4$	$8,3 \times 10^1$ – $6,0 \times 10^5$
E. COLI	(UFC/100 mL)	ND	≤ 200	ND	ND	36	Zero – $5,8 \times 10^2$
SÓLIDOS TOTAIS	(mg/L)	----	----	----	----	48,7	< 1,0 – 229,0
SÓLIDOS TOTAIS FIXOS	(mg/L)	----	----	----	----	1,5	< 1,0 – 12,8
SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS	(mg/L)	----	----	----	----	48,0	< 1,0 – 229,0
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	(mg/L)	≤ 5	≤ 20	----	----	7,5	< 1,0 – 57,0
SÓLIDOS SUSPENSOS FIXOS	(mg/L)	----	----	----	----	1,3	< 1,0 – 6,4
SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS	(mg/L)	----	----	----	----	7,2	< 1,0 – 50,6
SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS	(mg/L)	≤ 500	----	----	1000	42,7	< 1,0 – 220,0
SÓLIDOS DISSOLVIDOS FIXOS	(mg/L)	----	----	----	----	1,6	< 1,0 – 9,8
SÓLIDOS DISSOLVIDOS VOLÁTEIS	(mg/L)	----	----	----	----	41,2	< 1,0 – 202,0

A – Turbidez menor que 2,0 NTU, porém para usos menos restritivos 5,0 NTU B - Cloretos – menor que 350 mg/L para irrigação superficial C - Cloretos – menor que 100 mg/L para irrigação com aspersores

6.3.5_Análise da Série de Metais

Os resultados de metais foram analisados levando-se em consideração os Valores Máximos Permitidos (VMP's) para os parâmetros metálicos da Portaria n° 518 de 25 de março de 2004, que estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, a nível federal, uma vez que a Norma Brasileira ABNT NBR-15527:2007 – "Água de Chuva – Aproveitamento de Coberturas em Áreas Urbanas para Fins Não Potáveis – Requisitos", que apresenta os requisitos para aproveitamento de água de chuva derivadas do escoamento sobre coberturas em áreas urbanas, visando sua utilização para fins não potáveis, não apresenta os Valores Máximos Permitidos (VMP's) de parâmetros metálicos, sendo adotados assim, requisitos legais mais restritivos, a favor da segurança.

A Tabela 45 apresenta os parâmetros selecionados para a pesquisa de metais nas águas pluviais analisadas e seus respectivos VMP's (Valores Máximos Permitidos, em mg/L), de acordo com a Portaria n° 518 de 25 de março de 2004, bem como a indicação por diferentes autores dos parâmetros metálicos recomendados para análise em águas pluviais.

Tabela 45 – Seleção de parâmetros para análise de metais em águas pluviais peri-urbanas, e VMP's (Valores Máximos Permitidos) de acordo com a Portaria 518/04.

AUTORES							PARÂMETROS	VMP (*) (mg/L)	PARÂMETROS ACRESCIDOS	VMP (*) (mg/L)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]				
			X				Ferro (Fe)	**0,3**	Alumínio (Al)	**0,2**
X			**X**	**X**		**X**	Cobre (Cu)	**2,0**	Cobalto (Co)	**NM***
X	**X**		**X**	**X**		**X**	Chumbo (Pb)	**0,01**	Bário (Ba)	**0,7**
X						**X**	Zinco (Zn)	**5,0**	Lítio (Li)	**NM***
			X			**X**	Cádmio (Cd)	**0,005**	Prata (Ag)	**NM***
				X		**X**	Cromo (Cr)	**0,05**	Manganês (Mn)	**0,1**
						X	Níquel (Ni)	**NM* (OMS: 0,02)**	----------	------

Obs.: VMP (*) - Valor (es) Máximo(S) Permitido(s) pela Portaria Federal N° 518 de 25/03/2004, em mg/L; NM* - NÃO MENCIONADO.

AUTORES REFERENCIADOS:

[1] PORTO, M.F.A. (1995);

[2] KIBLER, D.F. (1982);

[3] TUCCI, C.E.M. (1995);

[4] TUCCI, C.E.M. (2001; 2003);

[5] TUCCI & MARQUES (2001);

[6] AKAN, A.O. (1993);

[7] TOMAZ, P. (2003).

Conforme pode ser verificado pela Tabela 45, aos parâmetros listados pelos diferentes autores (de [1] a [7]), foram acrescidos ainda mais 6 parâmetros, visando a verificação da presença de elementos metálicos adicionais, bem como para um melhor aproveitamento do espectro de detecção do aparelho utilizado na pesquisa. Os parâmetros adicionais foram medidos no ponto de amostragem nº 6 da 1ª série amostral, e pontos de amostragem 3 a 6 da 6ª série amostral, e são: Alumínio (Al), Cobalto (Co), Bário (Ba), Lítio (Li), Prata (Ag) e Manganês (Mn).

6.3.5.1_Considerações Preliminares sobre a Análise da Série de Metais

Considerando o conjunto dos 13 parâmetros metálicos analisados, verifica-se em relação à Portaria Nº 518/04 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, BRASIL, 2004), que os parâmetros: Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn) Cobre (Cu) e Cromo (Cr), atendem aos VMP's (Valor [es] Máximo [s] Permitido [s], ver Tabelas 45 e 60). Já os parâmetros: Níquel (Ni), Prata (Ag), Cobalto (Co) e Lítio (Li) não são mencionados na mesma, embora CETESB (2008) afirme que para o Níquel (Ni), tem sido utilizada como referência a Organização Mundial da Saúde (OMS), que estabelece um valor de 0,02 mg/L. Por outro lado, os parâmetros: Chumbo (Pb), Cádmio (Cd), Alumínio (Al) e Bário (Ba) extrapolam os limites permitidos, bem como o próprio Níquel (Ni).

Cabe ressaltar que, de ainda de acordo com a Portaria Nº 518/04 ((MINISTÉRIO DA SAÚDE, BRASIL, 2004), há uma distinção entre os parâmetros metálicos, sendo que o Artigo nº 14 discrimina os seguintes como: "substâncias químicas que apresentam risco à saúde": Bário (Ba), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cromo (Cr) e Cobre (Cu). O Artigo nº 16 da mesma portaria apresenta como substâncias "em conformidade com o padrão de aceitação para consumo humano" os seguintes parâmetros metálicos: Alumínio (Al), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn), portanto, há maior periculosidade na presença dos elementos do Artigo 14. Também de acordo com CETESB (2008), na composição do **ISTO –** Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas (um dos índices

de qualidade formulado para a avaliação das águas interiores do Estado de São Paulo), alguns desses metais apresentam toxicidade, conforme pode ser visto na Tabela 46, que mostra que Alumínio (Al), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn) exercem efeitos organolépticos nas águas.

Ainda segundo CETESB (2008), note-se que para o Cromo (Cr) a Resolução CONAMA 357/05 (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, BRASIL, 2005) estabeleceu um padrão de qualidade igual ao padrão de potabilidade da Portaria 518/04 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, BRASIL, 2004) (0,05 mg/L), portanto optou-se por adotar um nível de concentração para o limite superior que fosse passível de ser removido por meio de tratamento convencional de águas de abastecimento. De acordo com o DRINKING WATER AND HEALTH (1977), o Cromo (Cr) possui uma taxa de remoção no tratamento convencional variando de 0 a 30%. Aplicando-se uma taxa de remoção média de 15% ao limite inferior, obtém-se um limite superior de 0,059 mg/L (Tabela 46).

O Zinco (Zn) também possui um padrão de potabilidade igual ao padrão de qualidade CONAMA 357/05 (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, BRASIL, 2005) (5,0 mg/L), o que também levou-se a optar pela adoção de um nível de concentração para o limite superior que fosse passível de ser removido por meio de tratamento convencional. Da mesma forma que o Cromo (Cr), o DRINKING WATER AND HEALTH (1977), estabelece uma taxa de remoção no tratamento convencional variando de 0 a 30%. Aplicando-se a taxa média de remoção de 15% ao limite inferior, obtém-se um limite superior de 5,9 mg/L (CETESB, 2008), de acordo com a Tabela 46.

Tabela 46 - Limites Superiores e Inferiores dos metais na composição do **ISTO –** Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas (CETESB, 2008).

Grupo	**Variáveis**	**Unidade**	**Limite Inferior**	**Limite Superior**
Tóxicos	Cádmio	mg/L	0,005	0,01
	Chumbo	mg/L	0,01	0,033
	Cromo Total	mg/L	0,05	0,059
	Níquel	mg/L	0,02	0,025
	Mercúrio	mg/L	0,001	0,002
Organolépticos	Alumínio Dissolvido	mg/L	0,2	2,0
	Cobre Dissolvido	mg/L	2,0	8,0
	Ferro Dissolvido	mg/L	0,3	5,0
	Manganês	mg/L	0,1	0,5
	Zinco	mg/L	5,0	5,9

6.3.5.2_Apresentação e Discussão dos Resultados da Série de Metais

Os resultados das análises de metais realizadas para as 6 (seis) séries amostrais são apresentados e brevemente discutidos a partir das Tabelas 47 a 59 e Figuras 60 a 71. Nas tabelas, pode ser observada a eficiência de remoção de cada metal, considerada entre o Ponto 1 e o Ponto 7 do SAP, e ao longo das 6 Séries Amostrais, iniciando pelo Zinco (Zn) (Tabela 47 e Figura 60).

Tabela 47 – Resultados das análises do parâmetro Zinco (Zn) para as 6 séries amostrais.

ZINCO	Pontos de Amostragem							Me (SA)	Mi (SA)	Ma (SA)
Série Amostral	Ponto1	Ponto2	Ponto3	Ponto4	Ponto5	Ponto6	Ponto7			
Primeira Série	1,238	-----	-----	-----	----	0,566	0,226	0,677	0,226	1,238
Segunda Série	0,664	0,457	0,397	0,336	0,303	0,237	0,204	0,371	0,204	0,664
Terceira Série	0,312	-----	0,116	-----	0,072	ND	0,175	0,135	ND	0,312
Quarta Série	-----	0,410	-----	0,321	-----	0,151	0,186	0,267	0,151	0,410
Quinta Série	0,322	-----	-----	-----	0,305	0,179	0,181	0,247	0,179	0,322
Sexta Série	0,207	0,147	0,375	0,259	0,741	0,375	0,222	0,332	0,147	0,741
Me (PA)	0,457	0,338	0,296	0,305	0,355	0,251	0,199	Média SA: 0,338		
Mi (PA)	0,207	0,147	0,116	0,259	0,072	ND	0,175	Média PA: 0,314		
Ma (PA)	1,238	0,457	0,397	0,336	0,741	0,566	0,226	Média Geral: 0,326		

ND* - Não Detectado

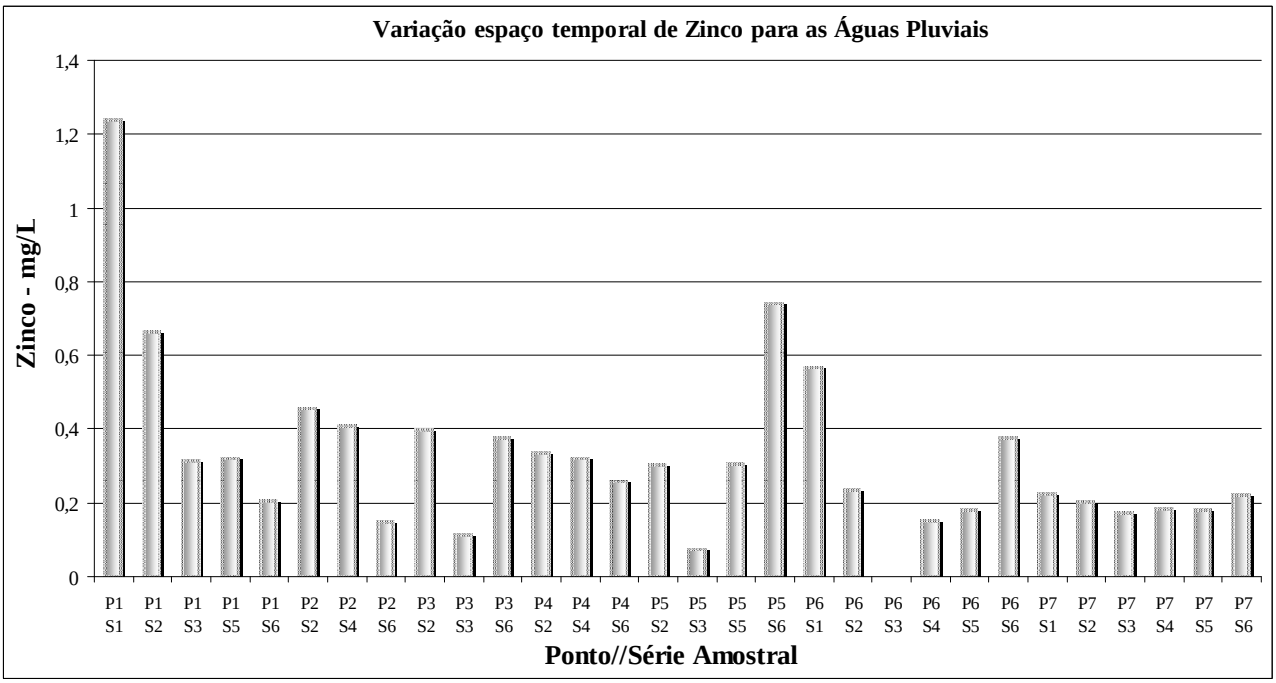


Figura 61 – Variação espaço-temporal da concentração de Zinco (Zn) ao longo do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais).

Os resultados de Zinco nesta pesquisa demonstraram que houve tendência de diminuição da concentração ao longo dos pontos de amostragem, porém com eficiência de remoção progressivamente reduzida (de 68,45% na 1ª Série Amostral para – 7,25% na 6ª Série Amostral) ao longo das séries amostrais. Por outro lado, a concentração tendeu a aumentar nos Pontos 5 e 6, apresentando acúmulo, mas com tendência a estabilização, no tanque de armazenamento final (Ponto 7- volume: 6 m^3) o que pode ser devido ao constante aporte deste elemento ao sistema, devido à cobertura ser feita de zinco. Embora isso ocorra, o limite superior para consumo humano é muito superior (5,0 mg/L), o que permitiria o uso destas águas pluviais até mesmo para consumo humano, se fosse o caso, considerando-se isoladamente este parâmetro metálico.

Tabela 48 – Resultados das análises do parâmetro Ferro (Fe) para as 6 séries amostrais.

FERRO	**Pontos de Amostragem**							**Me (SA)**	**Mi (SA)**	**Ma (SA)**
Série Amostral	**Ponto1**	**Ponto2**	**Ponto3**	**Ponto4**	**Ponto5**	**Ponto6**	**Ponto7**			
Primeira Série	0, 672	----	-----	----	----	0, 661	0, 212	0,515	0,212	0,672
Segunda Série	ND	ND	ND	ND	ND	0,052	ND	0,007	ND	0,052
Terceira Série	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Quarta Série	-----	0,008	----	0,039	----	0,033	0,036	0,029	0,008	0,036
Quinta Série	0,006	----	----	----	0,010	0,012	0,007	0,009	0,006	0,012
Sexta Série	0,014	0,012	0,3	0	0,428	0	0,02	0,111	0	0,428
Me (PA)	0, 138	0, 005	0,1	0,01	0,11	0, 126	0,046	Média SA: 0,112		
Mi (PA)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Média PA: ND		
Ma (PA)	0,672	0,012	0,3	0,039	0,428	0,661	0,212	Média Geral: 0,112		

ND* - Não Detectado

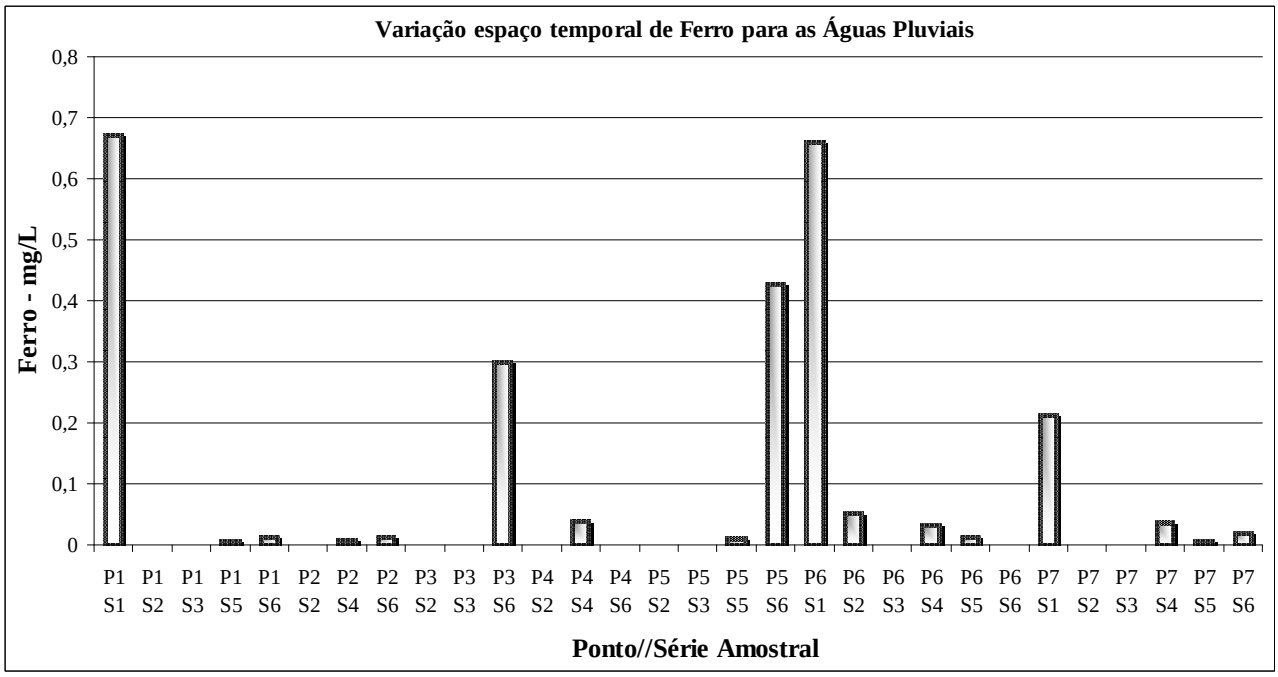


Figura 62 – Variação espaço-temporal da concentração de Ferro (Fe) ao longo do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais).

A remoção de Ferro (Fe) neste estudo mostrou-se irregular ao longo do tempo. Apenas na 1ª e 2ª Séries Amostrais houve remoção significativa deste elemento, ao passo que nas demais séries amostrais houve eficiência de remoção negativa, parecendo evidenciar acúmulo do metal no sistema, que aparentemente não dispõe de recursos para seu tratamento e remoção adequados. Ainda assim, este parâmetro encontrou-se dentro do VMP (Valor Máximo Permitido), o que mais uma vez evidencia a possibilidade de uso destas águas pluviais até mesmo para consumo humano, considerando-se apenas este parâmetro, isoladamente (ver a Tabela 48 e Figura 61).

Tabela 49 – Resultados das análises do parâmetro Manganês (Mn) para as 6 séries amostrais.

MANGANÊS	Pontos de Amostragem							Me (SA)	Mi (SA)	Ma (SA)
Série Amostral	Ponto1	Ponto2	Ponto3	Ponto4	Ponto5	Ponto6	Ponto7			
Primeira Série	0,019	----	----	----	----	0,011	0,004	0,011	0,004	0,019
Segunda Série	0,006	0,005	ND	ND	ND	0,004	ND	0,002	ND	0,006
Terceira Série	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Quarta Série	----	0,006	----	0,013	----	0,012	0,013	0,011	0,006	0,013
Quinta Série	0,014	----	----	----	0,007	0,004	0,006	0,008	0,004	0,014
Sexta Série	0,002	0,002	0,010	0,004	0,014	0,001	0,003	0,005	0,001	0,014
Me (PA)	0,008	0,003	0,003	0,004	0,005	0,005	0,004	Média SA: 0,006		
Mi (PA)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Média PA: 0,005		
Ma (PA)	0,019	0,006	0,01	0,013	0,014	0,012	0,013	Média Geral: 0,005		

ND* - Não Detectado

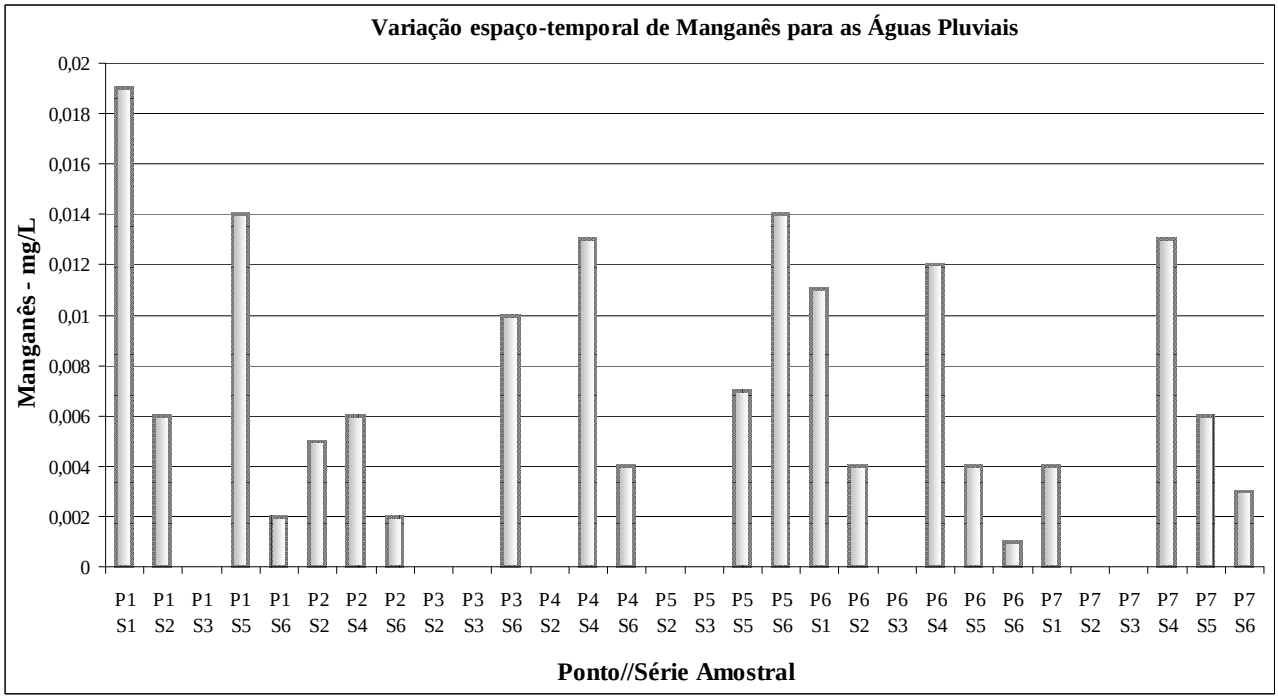


Figura 63 – Variação espaço-temporal da concentração de Manganês (Mn) ao longo do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais).

Os resultados para o Manganês (Mn) na pesquisa realizada (Tabela 49 e Figura 62) mostraram oscilações no desempenho de sua remoção, assim como para o Ferro (Fe) (Tabela 48 e Figura 61). Também aqui há indícios de que estaria ocorrendo acúmulo deste metal nos pontos 6 e 7, que são, respectivamente, os tanques intermediário e de armazenamento final, sugerindo a

necessidade de controle permanente dos residuais de elementos metálicos neste sistema, a fim de garantir a qualidade adequada para os usos a que se destinam estas águas. No entanto, os resultados evidenciam a possibilidade de uso destas águas pluviais até mesmo para consumo humano, considerando-se apenas este parâmetro, isoladamente.

Ao contrário dos elementos metálicos anteriores, os teores de Chumbo (Pb) no sistema inviabilizariam o uso das águas pluviais para consumo humano, de acordo com o VMP (Valor Máximo Permitido) segundo a Portaria 518/04 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, BRASIL, 2004) (0,01 mg/L), condicionando seu uso para fins menos restritivos a estudos posteriores, visto que o Chumbo (Pb) é um elemento tóxico e cumulativo. Também há indicações de acúmulo deste metal nos pontos 6 e 7, com uma eficiência de remoção máxima em torno de 56 %, tendo ocorrido valores até 28 vezes superiores ao VMP pela Portaria 518/04 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, BRASIL, 2004), parecendo indicar que o sistema usado na pesquisa não é eficiente para a remoção deste metal (Ver a Tabela 50 e a Figura 63).

Tabela 50 – Resultados das análises do parâmetro Chumbo (Pb) para as 6 séries amostrais.

CHUMBO	**Pontos de Amostragem**							**Me (SA)**	**Mi (SA)**	**Ma (SA)**
Série Amostral	**Ponto1**	**Ponto2**	**Ponto3**	**Ponto4**	**Ponto5**	**Ponto6**	**Ponto7**			
Primeira Série	0,25	----	----	----	----	0,11	0,11	0,16	0,11	0,25
Segunda Série	0,11	0,09	0,012	ND	ND	ND	ND	0,03	ND	0,11
Terceira Série	ND	----	ND	----	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Quarta Série	----	ND	----	ND	----	ND	ND	ND	ND	ND
Quinta Série	ND	----	----	----	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Sexta Série	ND	ND	0,23	0,09	0,28	0,02	ND	0,089	ND	0,28
Me (PA)	0,072	0,030	0,081	0,030	0,070	0,022	0,018	Média SA: 0,047		
Mi (PA)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Média PA: 0,046		
Ma (PA)	0,25	0,09	0,23	0,09	0,28	0,11	0,11	Média Geral: 0,046		

ND* - Não Detectado

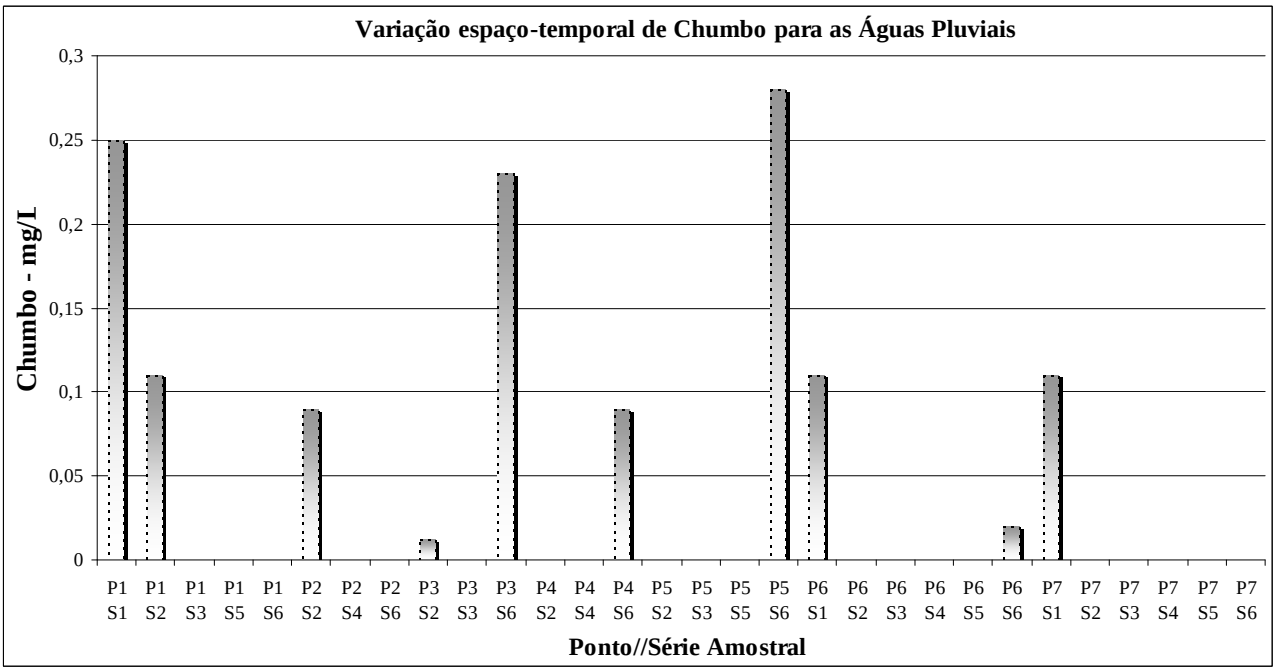


Figura 64 – Variação espaço-temporal da concentração de Chumbo (Pb) ao longo do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais).

Neste estudo, os resultados obtidos para o Cádmio mostraram que o VMP (Valor Máximo Permitido) estipulado pela Portaria 518/04 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, BRASIL, 2004) (0,005 mg/L) foi atendido, ainda que exatamente no limite, o que poderia viabilizar o uso destas águas pluviais para consumo humano, porém mais uma vez se considerarmos apenas este parâmetro, isoladamente. Ainda assim, há valores até cerca de 22 vezes maiores que o VMP, em todos os pontos intermediários do sistema (Pontos 1 a 6), com exceção do Ponto 7, em que os valores diminuem para dentro da faixa permitida pela Portaria 518/04 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, BRASIL, 2004).

Considerando, porém, o comportamento tóxico e cumulativo deste elemento metálico, associado aos demais elementos já analisados previamente, e a sua tendência à acumulação especificamente no sistema objeto da pesquisa, o uso destas águas pluviais para o consumo humano poderia tornar-se inadequado. Observe-se também que houve uma diminuição da eficiência de remoção do metal ao longo das séries amostrais, parecendo indicar que o próprio sistema usado na pesquisa é inadequado para essa finalidade (Ver a Tabela 51 e Figura 64).

Tabela 51 – Resultados das análises do parâmetro Cádmio (Cd) para as 6 séries amostrais.

CÁDMIO	Pontos de Amostragem							Me (SA)	Mi (SA)	Ma (SA)
Série Amostral	Ponto1	Ponto2	Ponto3	Ponto4	Ponto5	Ponto6	Ponto7			
Primeira Série	0,111	----	----	----	----	0,100	0,005	0,072	0,005	0,111
Segunda Série	0,015	0,012	ND	ND	ND	ND	ND	0,004	ND	0,015
Terceira Série	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Quarta Série	----	ND	----	ND	----	ND	ND	ND	ND	ND
Quinta Série	ND	----	----	ND	----	ND	ND	ND	ND	ND
Sexta Série	0,005	0,002	0,041	0,016	0,11	0,015	0,004	0,028	0,002	0,11
Me (PA)	0,026	0,003	0,014	0,003	0,037	0,019	0,0015	Média SA: 0,017		
Mi (PA)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Média PA: 0,015		
Ma (PA)	0,111	0,012	0,041	0,016	0,11	0,1	0,005	Média Geral: 0,016		

ND* - Não Detectado

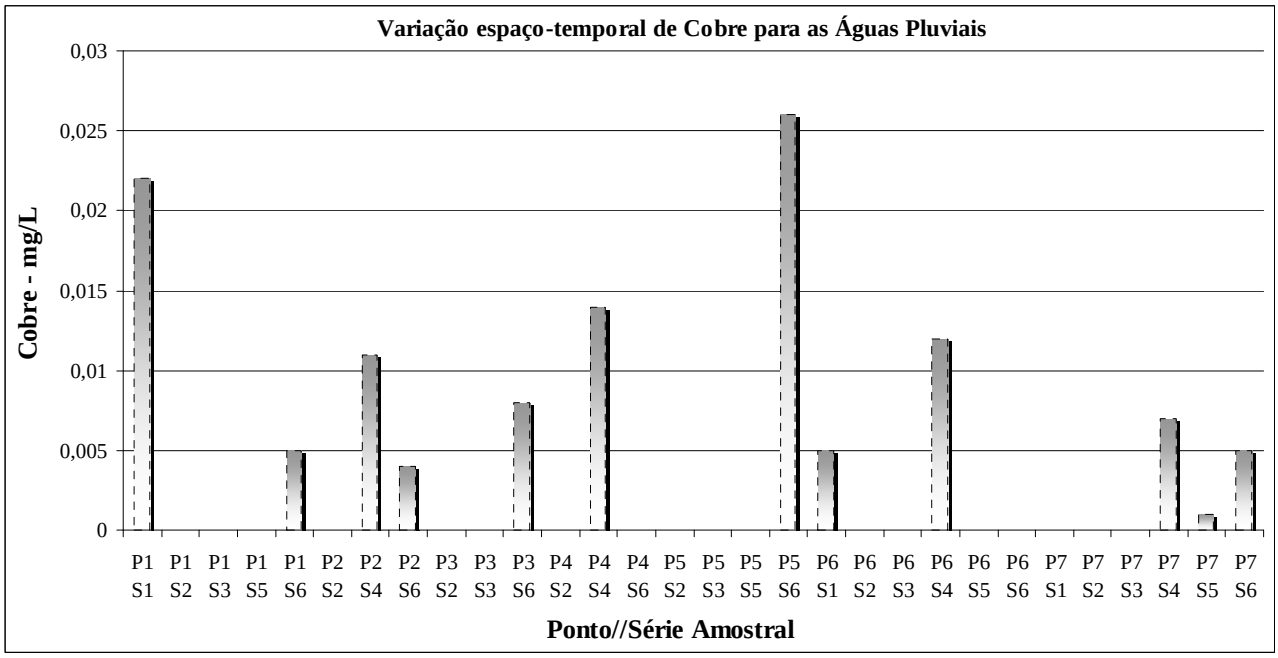


Figura 65 – Variação espaço-temporal da concentração de Cádmio (Cd) ao longo do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais).

Apenas na 1ª Série Amostral houve remoção significativa para o Cobre (Cu), enquanto nas demais houve queda até atingir eficiência de remoção nula (6ª Série Amostral), sendo que os valores apresentaram variação espacial acentuada. No entanto, como o VMP (Valor Máximo

Permitido) para o Cobre (Cu) de acordo com a Portaria 518/04 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, BRASIL, 2004) (2,0 mg/L) foi atendido, não haveria restrição ao uso destas águas para o consumo humano, considerado de maneira isolada este parâmetro, devendo serem observados, porém, os aspectos organolépticos no seu uso (Ver Tabela 52 e Figura 65).

Tabela 52 – Resultados das análises do parâmetro Cobre (Cu) para as 6 séries amostrais.

COBRE	**Pontos de Amostragem**							**Me (SA)**	**Mi (SA)**	**Ma (SA)**
Série Amostral	**Ponto1**	**Ponto2**	**Ponto3**	**Ponto4**	**Ponto5**	**Ponto6**	**Ponto7**			
Primeira Série	0,022	----	----	----	----	0,005	ND	0,009	ND	0,022
Segunda Série	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Terceira Série	ND	----	ND	----	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Quarta Série	----	0,011	----	0,014	----	0,012	0,007	0,011	0,007	0,014
Quinta Série	ND	----	----	----	ND	ND	0,001	0,0002	ND	0,001
Sexta Série	0,0050	0,004	0,008	ND	0,026	ND	0,005	0,007	ND	0,026
Me (PA)	0,0054	0,0050	0,003	0,005	0,0065	0,0028	0,0022	Média SA: 0,004		
Mi (PA)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Média PA: 0,004		
Ma (PA)	0,022	0,011	0,008	0,014	0,026	0,012	0,007	Média Geral: 0,004		

ND* - Não Detectado

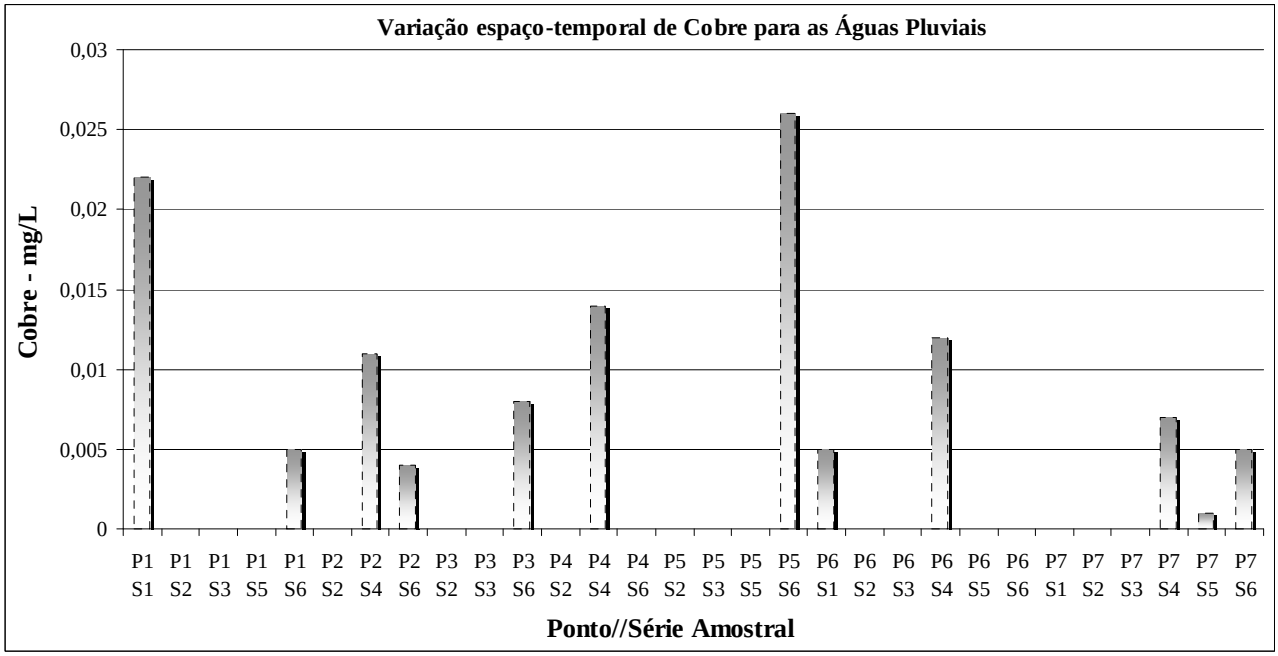


Figura 66 – Variação espaço-temporal da concentração de Cobre (Cu) ao longo do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais).

Neste estudo, os teores de cromo (Cr) no sistema inviabilizariam seu uso para consumo humano, de acordo com o VMP (Valor Máximo Permitido) estipulado pela Portaria 518/04 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, BRASIL, 2004) (0,05 mg/L). Quanto à eficiência de remoção de cromo no sistema, os valores oscilaram bastante, como no caso de outros metais, apresentando-se até 17,6 vezes mais elevados em relação ao VMP (Valor Máximo Permitido), suscitando preocupação quanto à capacidade de remoção de elementos metálicos pelo mesmo (Ver Tabela 53 e Figura 66).

Tabela 53 – Resultados das análises do parâmetro Cromo (Cr) para as 6 séries amostrais.

CROMO	**Pontos de Amostragem**							**Me (SA)**	**Mi (SA)**	**Ma (SA)**
Série Amostral	**Ponto1**	**Ponto2**	**Ponto3**	**Ponto4**	**Ponto5**	**Ponto6**	**Ponto7**			
Primeira Série	0,029	----	----	----	----	0,037	0,015	0,027	0,015	0,037
Segunda Série	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Terceira Série	ND	----	ND	----	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Quarta Série	----	0,002	----	ND	----	ND	ND	0,0005	ND	0,002
Quinta Série	ND	----	----	----	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Sexta Série	ND	ND	0,068	0,01	0,088	0,013	ND	0,026	ND	0,088
Me (PA)	0,005	0,0007	0,023	0,003	0,029	0,0083	0,0025	Média SA: 0,009		
Mi (PA)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Média PA: 0,01		
Ma (PA)	0,029	0,002	0,068	0,01	0,088	0,037	0,015	Média Geral: 0,01		

ND* - Não Detectado

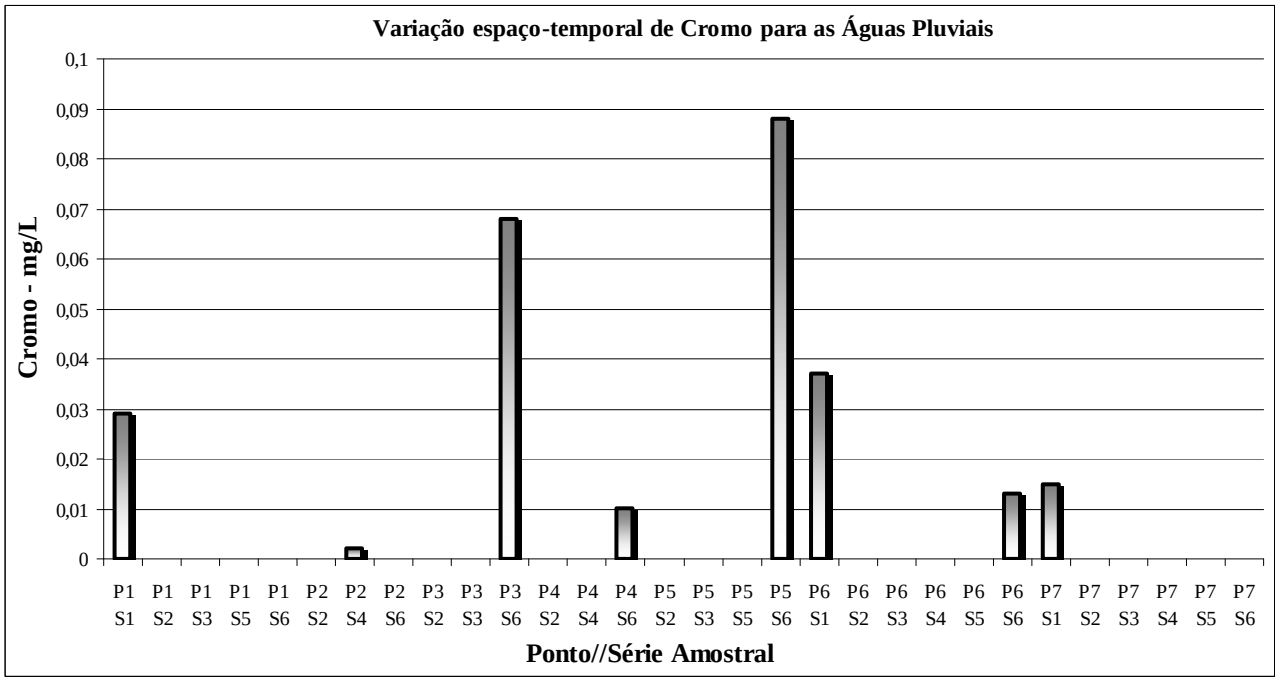


Figura 67 – Variação espaço-temporal da concentração de Cromo (Cr) ao longo do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais).

Os valores para o Níquel (Ni) nesta pesquisa extrapolaram o VMP (Valor Máximo Permitido) pela Portaria 518/04 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, BRASIL, 2004) (0,02 mg/L), razão pela qual mais uma vez as águas pluviais armazenadas não poderiam ser utilizadas para consumo humano, demandando estudos para determinar a viabilidade de uso destas águas para outras finalidades. Já a eficiência de remoção também oscilou bastante ao longo das 6 séries amostrais (Ver Tabela 54 e Figura 67).

Tabela 54 – Resultados das análises do parâmetro Níquel (Ni) para as 6 séries amostrais.

NÍQUEL	**Pontos de Amostragem**							**Me (SA)**	**Mi (SA)**	**Ma (SA)**
Série Amostral	**Ponto1**	**Ponto2**	**Ponto3**	**Ponto4**	**Ponto5**	**Ponto6**	**Ponto7**			
Primeira Série	0,060	----	----	----	----	0,077	0,041	0,059	0,041	0,077
Segunda Série	0,024	0,013	ND	ND	ND	0,002	ND	0,0056	ND	0,024
Terceira Série	ND	----	ND	----	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Quarta Série	----	ND	----	ND	----	ND	ND	ND	ND	ND
Quinta Série	0,029	----	----	----	0,035	0,026	0,028	0,029	0,026	0,035
Sexta Série	ND	ND	0,036	0,001	0,073	0,008	ND	0,017	ND	0,073
Me (PA)	0,023	0,004	0,012	0,0003	0,027	0,019	0,011	Média SA: 0,018		
Mi (PA)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Média PA: 0,014		
Ma (PA)	0,060	0,013	0,036	0,001	0,073	0,077	0,041	Média Geral: 0,016		

ND* - Não Detectado

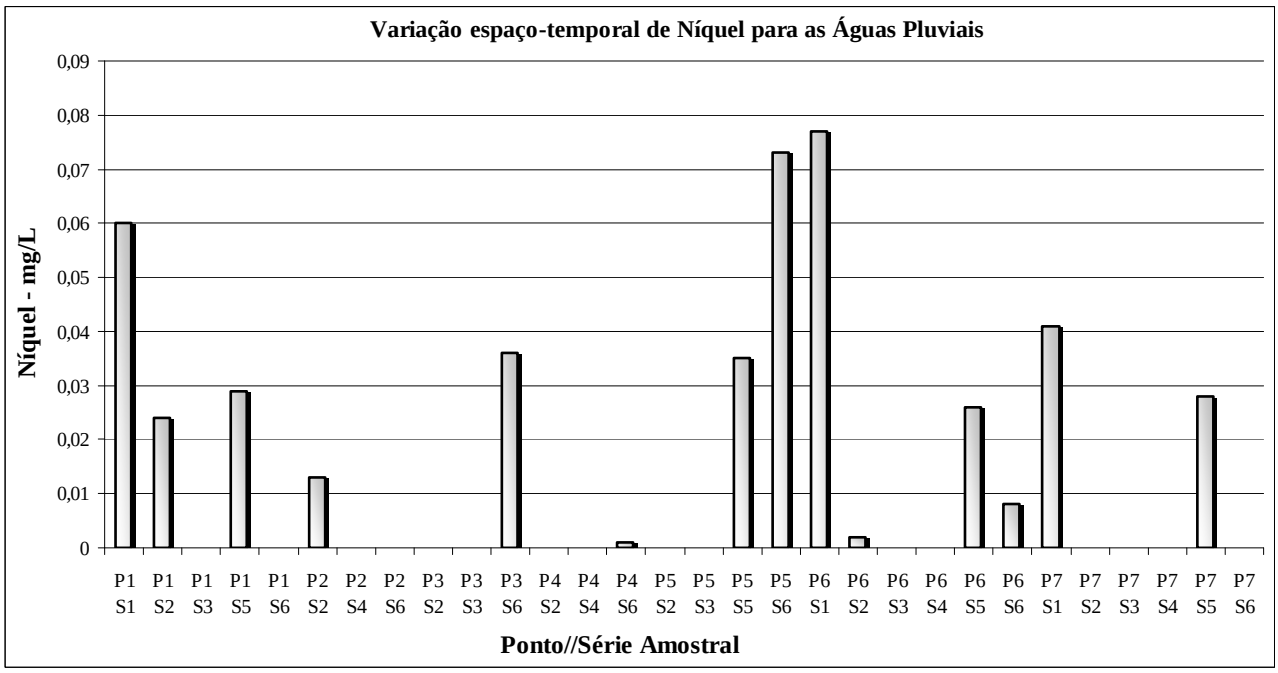


Figura 68 – Variação espaço-temporal da concentração de Níquel (Ni) ao longo do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais).

Os limites para os próximos parâmetros a serem analisados (ver Tabelas 55 e 56 e Figuras 68 e 69): Prata (Ag), Cobalto (Co) e Lítio (Li - cuja presença não foi detectada), não são referenciados pela Portaria 518/04 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, BRASIL, 2004), e nem pela Norma Brasileira ABNT NBR-15527:2007 (BRASIL, 2007).

Também não foi possível verificar a eficiência de remoção destes pelo sistema, mas perceber a ocorrência de certa variação espacial dos valores, indicando talvez a incapacidade de remoção dos mesmos pelo sistema. Por outro lado, as concentrações de Bário (Ba) e Alumínio (Tabelas 58 e 59 e Figuras 70 e 71) extrapolaram os VMP's prescritos pela referida Portaria, o que mais uma vez inviabiliza o uso destas águas para o consumo humano e requer novos estudos para determinação da viabilidade de aproveitamento destas águas para usos menos restritivos. Para o parâmetro Bário (Ba), parece ter ocorrido uma nítida tendência de acúmulo ao longo do sistema, dada a variação espacial, especialmente na 6ª Série Amostral.

Tabela 55 – Resultados das análises do parâmetro Prata (Ag) para as 6 séries amostrais.

PRATA	**Pontos de Amostragem**							**Me (SA)**	**Mi (SA)**	**Ma (SA)**
Série Amostral	**Ponto1**	**Ponto2**	**Ponto3**	**Ponto4**	**Ponto5**	**Ponto6**	**Ponto7**			
Primeira Série	----	----	----	----	----	0,008	----	0,008	----	0,008
Sexta Série	----	-----	0,004	ND	0,003	0,001	----	0,002	----	0,004
Me (PA)	----	-----	0,004	----	0,003	0,0045	----	Média SA: 0,005		
Mi (PA)	----	----	----	ND	----	0,001	----	Média PA: 0,004		
Ma (PA)	----	----	0,004	----	0,003	0,008	----	Média Geral: 0,004		

ND* - Não detectado

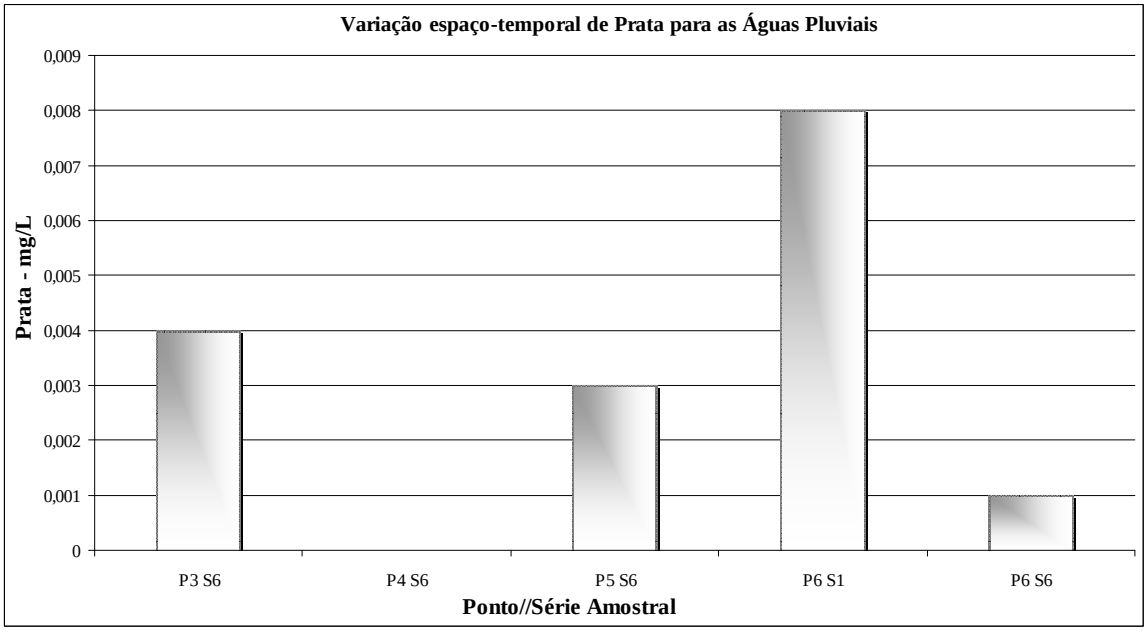


Figura 69 – Variação espaço-temporal da concentração de Prata (Ag) ao longo do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais).

Tabela 56 – Resultados das análises do parâmetro Cobalto (Co) para as 6 séries amostrais.

COBALTO	Pontos de Amostragem							Me (SA)	Mi (SA)	Ma (SA)
Série Amostral	Ponto1	Ponto2	Ponto3	Ponto4	Ponto5	Ponto6	Ponto7			
Primeira Série	----	----	----	----	----	0,021	----	0,021	----	0,021
Sexta Série	----	----	0,007	0,003	0,02	0,005	----	0,009	0,003	0,02
Me (PA)	----	----	0,007	0,003	0,02	0,013	----	Média SA: 0,015		
Mi (PA)	----	----	----	----	----	----	----	Média PA: 0,011		
Ma (PA)	----	----	0,007	0,003	0,02	0,021	----	Média Geral: 0,013		

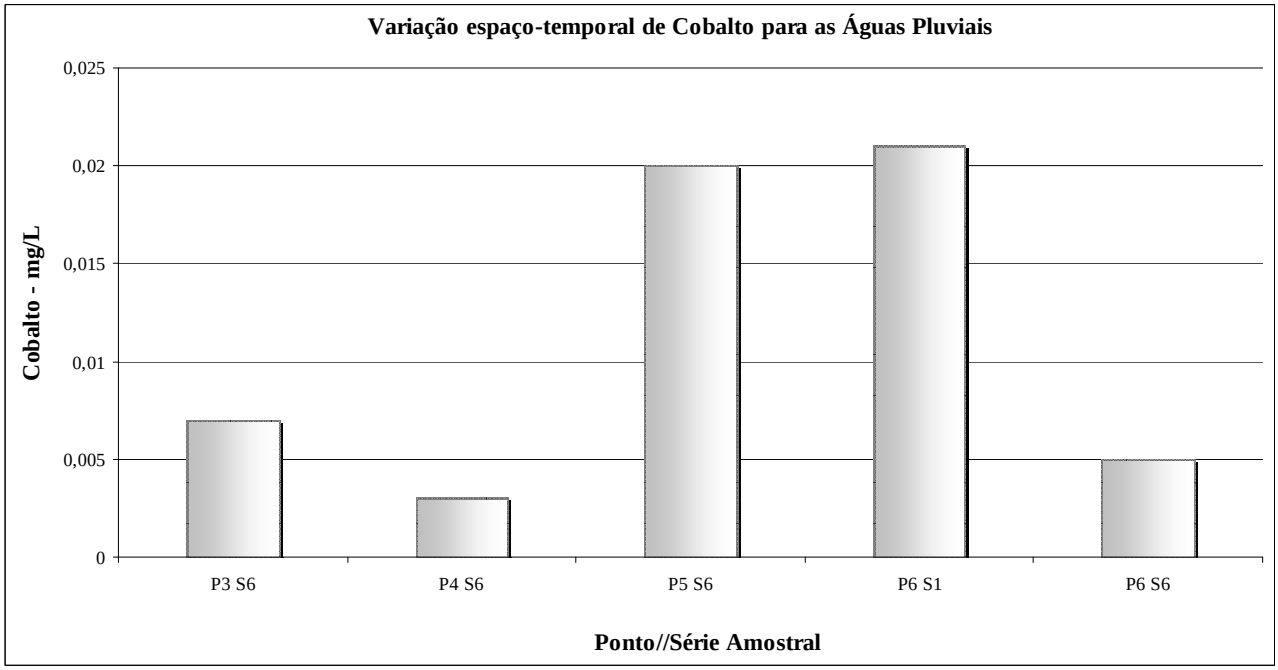


Figura 70 – Variação espaço-temporal da concentração de Cobalto (Co) ao longo do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais).

Tabela 57 – Resultados das análises do parâmetro Lítio (Li) para as 6 séries amostrais.

LÍTIO	Pontos de Amostragem							Me (SA)	Mi (SA)	Ma (SA)
Série Amostral	Ponto1	Ponto2	Ponto3	Ponto4	Ponto5	Ponto6	Ponto7			
Primeira Série	----	----	----	----	----	ND	----	----	----	----
Sexta Série	----	----	ND	ND	ND	ND	----	----	----	----
Me (PA)	----	----	----	----	----	----	----	Média SA: ND		
Mi (PA)	----	----	----	----	----	----	----	Média PA: ND		
Ma (PA)	----	----	----	----	----	----	----	Média Geral: ND		

ND* - Não Detectado

Tabela 58 – Resultados das análises do parâmetro Bário (Ba) para as 6 séries amostrais.

BÁRIO	Pontos de Amostragem							Me (SA)	Mi (SA)	Ma (SA)
Série Amostral	Ponto1	Ponto2	Ponto3	Ponto4	Ponto5	Ponto6	Ponto7			
Primeira Série	----	----	----	----	----	0,52	----	0,52	----	0,52
Sexta Série	----	----	< 0,01	0,81	0,66	0,77	----	0,56	< 0,01	0,81
Me (PA)	----	----	< 0,01	0,81	0,66	0,64	----	Média SA: 0,54		
Mi (PA)	----	----	----	----	----	0,52	----	Média PA: 0,53		
Ma (PA)	----	----	< 0,01	0,81	0,66	0,77	----	Média Geral: 0,53		

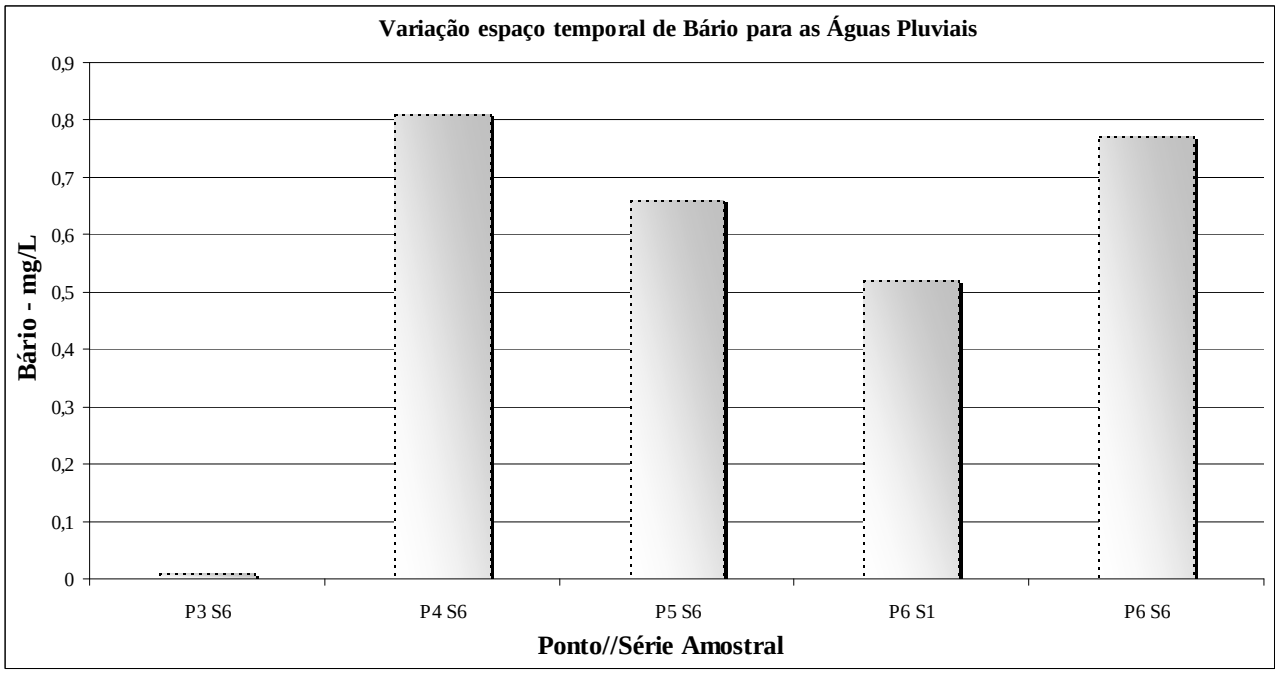


Figura 71 – Variação espaço-temporal da concentração de Bário (Ba) ao longo do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais).

Tabela 59 – Resultados das análises do parâmetro Alumínio (Al) para as 6 séries amostrais.

BÁRIO	Pontos de Amostragem							Me (SA)	Mi (SA)	Ma (SA)
Série Amostral	Ponto1	Ponto2	Ponto3	Ponto4	Ponto5	Ponto6	Ponto7			
Primeira Série	----	----	----	----	----	0,52	----	0,52	----	0,52
Sexta Série	----	----	< 0,01	0,81	0,66	0,77	----	0,56	< 0,01	0,81
Me (PA)	----	----	< 0,01	0,81	0,66	0,64	----	Média SA: 0,54		
Mi (PA)	----	----	----	----	----	0,52	----	Média PA: 0,53		
Ma (PA)	----	----	< 0,01	0,81	0,66	0,77	----	Média Geral: 0,53		

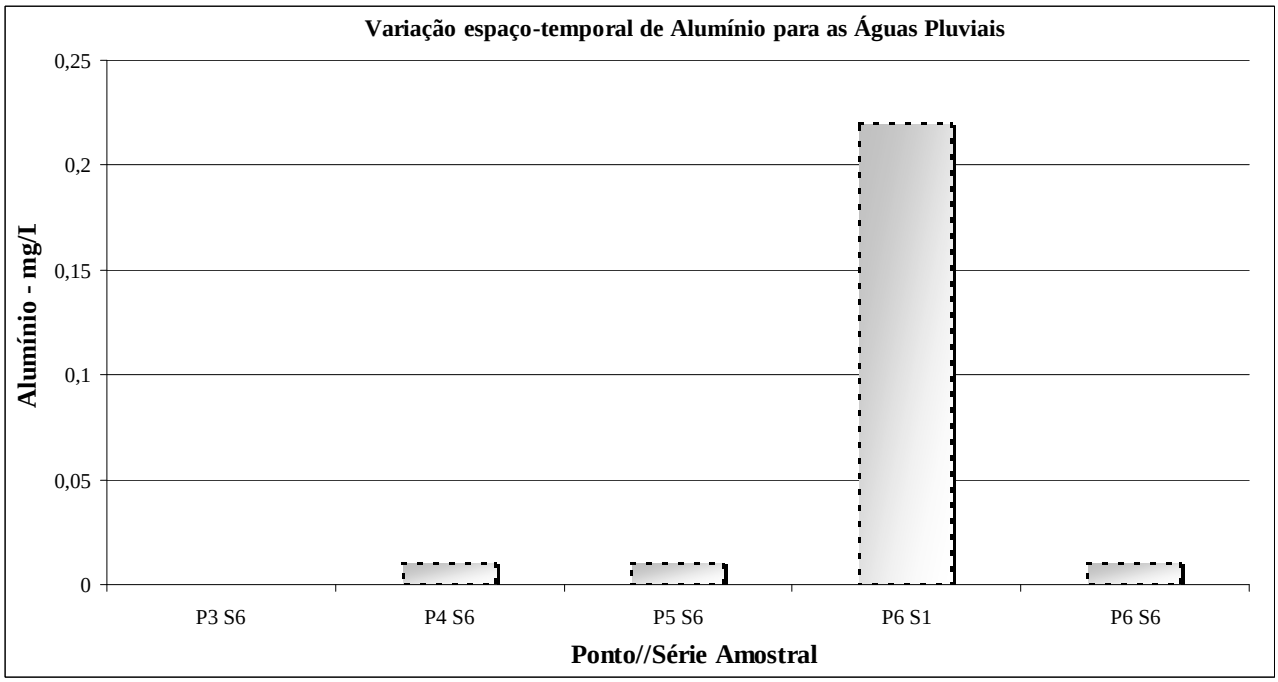


Figura 72 – Variação espaço-temporal da concentração de Alumínio (Al) ao longo do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais).

Os valores de Cobalto (Co), metal utilizado em produtos químicos secantes e em fabricação de bijuterias e na indústria gráfica (Figura 69 e Tabela 56), extrapolaram limites adotados para águas subterrâneas, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 (BRASIL, 2008) (dispõe sobre o enquadramento de águas subterrâneas e dá outras providências). A referida resolução considera, para o uso de águas subterrâneas na dessedentação de animais, um VMP 1000 µg/L, e não menciona limites para o consumo humano (CETESB, 2009). Foi adotada como guia esta resolução pelo fato de que nem a Portaria 518/2004 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, BRASIL, 2004) e nem a NBR 15527 (ABNT, 2007) mencionam este parâmetro.

A Tabela 60 apresenta as variáveis de qualidade metálicas e seus VMP's comparados aos valores médios, mínimos e máximos obtidos para as águas pluviais. Percebe-se que apenas as variáveis: manganês, zinco e cobre atenderam aos limites prescritos, enquanto as variáveis níquel, prata, cobalto e lítio não são apontadas. A Tabela 61 apresenta as eficiências de remoção de metais para o SAP do Lote Experimental Peri-Urbano. Verifica-se que houve grande variação na capacidade de remoção destes metais no sistema, indicando sua ineficácia para esta finalidade.

Tabela 60 - Variáveis de qualidade metálicas e seus VMP's comparados aos valores médios, mínimos e máximos obtidos para as águas pluviais.

VARIÁVEIS DE QUALIDADE DE ÁGUAS PLUVIAIS	UNIDADE	M.S. (2004)	MÉDIA DOS VALORES	VALORES MÍNIMOS E MÁXIMOS
METAIS - FERRO	(mg/L)	0,3	0112	ND – 0,672
METAIS - MANGANÊS	(mg/L)	0,1	0,005	ND – 0,019
METAIS - ZINCO	(mg/L)	5	0,326	ND – 1,238
METAIS - CHUMBO	(mg/L)	0,01	0,046	ND – 0,28
METAIS - CÁDMIO	(mg/L)	0,005	0,016	ND – 0,111
METAIS - COBRE	(mg/L)	2	0,004	ND – 0,026
METAIS - CROMO	(mg/L)	0,05	0,010	ND – 0,088
METAIS - NÍQUEL	(mg/L)	----	0,016	ND – 0,077
METAIS – PRATA	(mg/L)	----	0,004	ND – 0,008
METAIS – COBALTO	(mg/L)	----	0,013	0,003 – 0,021
METAIS – LÍTIO	(mg/L)	----	ND	ND
METAIS – BÁRIO	(mg/L)	0,7	0,53	< 0,01 – 0,81
METAIS - ALUMÍNIO	(mg/L)	0,2	0,060	< 0,01 – 0,22

Tabela 61 - Eficiência de remoção de metais para o SAP do Lote Experimental Peri-Urbano.

Série Amostral	Eficiência de remoção de cada metal analisado (%)							
	ZINCO	FERRO	MANGANÊS	CHUMBO	CÁDMIO	COBRE	CROMO	NÍQUEL
Primeira Série	68,45	68,45	78,95	56,0	95,49	> 99,0	48,28	31,67
Segunda Série	69,28	> 99,0	> 99,0	> 99,0	> 99,0	--------	---------	> 99,0
Terceira Série	43,91	---------	--------	---------	---------	--------	---------	---------
Quarta Série	54,63	**- 77,78**	**- 53,85**	---------	---------	36,36	> 99,0	---------
Quinta Série	43,79	**- 14,28**	57, 14	--------	--------	--------	---------	3,45
Sexta Série	**- 7,25 (**)**	**- 42,86**	**- 33,33**	---------	20,0	**zero**	---------	---------
MÉDIA								
MÍNIMA	**- 7,25**	**- 77,78**	**- 53,85**	56,0	20,0	**zero**	48,28	3,45
MÁXIMA	69,28	> 99,0	> 99,0	> 99,0	> 99,0	> 99,0	> 99,0	> 99,0

Obs.: Para os demais metais não foi possível medir a eficiência de remoção.

6.4_Análise da Influência dos Parâmetros de Precipitação sobre as Variáveis de Qualidade das Águas Pluviais e Comparativa entre os Três Tipos de Cobertura

No presente estudo, foram adotados os seguintes parâmetros de precipitação, baseados no estudo prévio das demais coberturas: Cobertura Verde Leve (CVL), e Telhado Tetra Pak, por VASCONCELOS (2008), visando correlacioná-los às variáveis de qualidade das águas pluviais e analisar sua influência sobre as mesmas:

a) O Índice de Precipitação Antecedente (**IPA**), equivalente à somatória do total precipitado em um determinado período de tempo. Neste estudo foram utilizados os **IPA 7 dias** (**IPA 7d**) e **IPA 28 dias** (**IPA 28d**), que correspondem à somatória do total precipitado nos últimos 7 e 28 dias, respectivamente;

b) Intensidade Máxima de Precipitação (**Imáx**) - é a precipitação por unidade de tempo, obtida como a relação i = P/t, normalmente expressa em mm/h ou mm/min, apresentando variabilidade temporal (TUCCI, 2001);

c) Precipitação Total (**Pt**), é a espessura média da lâmina d'água precipitada que recobriria a região atingida pela precipitação admitindo-se que esta água não se infiltrasse, não se evaporasse, nem se escoasse para fora dos limites da região. A unidade de medição em geral é o milímetro de chuva, definido como a quantidade de precipitação correspondente ao volume de um litro por metro quadrado de superfície (TUCCI, 2001).

Esta análise comparativa foi efetuada para os referidos parâmetros de precipitação em relação às variáveis de qualidade avaliadas por VASCONCELOS (2008), nos pontos de amostragem 1, 3 e 5, exceto para o pH, e a série nitrogenada e fosfato total, estes dois últimos por não haver suficientes dados analíticos para efeito de comparação com o Telhado de Zinco.

Assim, para efeito de comparação do Telhado de Zinco situado no Lote Experimental Peri-Urbano, com outros dois tipos de coberturas estudadas por VASCONCELOS (2008): Cobertura Verde Leve (CVL), e Telhado Tetra Pak (constituído de telhas prensadas à base de embalagens longa vida recicladas), respectivamente situados nos sítios experimentais: Laboratório de Apoio ao Ensino de Graduação-2 (LAEG -2) e Laboratório de Apoio ao Ensino de Graduação-1 (LAEG-1), na área 1 do Campus-1 da USP de São Carlos, a análise foi baseada nos resultados obtidos para três pontos do amostrador (P1, P3 e P5 – Figuras 13 e 17) de águas pluviais, instalado em cada um dos três sítios experimentais, cujos SAP's (Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais) apresentam a mesma configuração, exceto pela disposição das unidades constituintes, verticalizada, no caso do SAP do Lote Experimental Peri-Urbano, em contraposição à disposição horizontal dos outros dois.

De maneira geral, parece não ter havido uma relação de proporcionalidade direta entre as variações ocorridas para os parâmetros de precipitação e as variações ocorridas para as variáveis de qualidade das águas pluviais, como pode ser visto pelas Tabelas 61 a 89.

Uma das hipóteses para explicar este fato pode residir na ação da lavagem e limpeza do telhado metálico através da primeira ou segunda chuva, considerando-se ainda o intervalo de tempo relativamente curto entre as precipitações (cinco dias entre a primeira e segunda chuvas, um dia entre a segunda e terceira chuvas, treze dias entre a terceira e quarta chuvas, uma semana entre a quarta e quinta chuvas, e, finalmente, mais uma semana entre a quinta e sexta chuvas), numa região peri-urbana com baixíssima incidência de poluição atmosférica, de tal forma que tanto a intensidade máxima como o volume total das precipitações não teriam exercido significativa influência na qualidade das águas pluviais drenadas, a partir do momento em que a superfície de escoamento praticamente não apresentasse mais resíduos a serem removidos, algo que provavelmente não ocorreria em áreas urbanas ou peri-urbanas densamente povoadas e/ou industrializadas, por exemplo.

6.4.1_Análise dos Resultados – Sólidos Totais

Os resultados para os sólidos totais analisados no Lote Experimental Peri - Urbano (Telhado de Zinco) indicaram que, para as três primeiras séries amostrais, os valores situaram-se num intervalo entre 229,0 mg/L e < 1,0 mg/L, vindo a decair ao longo das três séries amostrais seguintes para um intervalo entre 20,8 mg/L e < 1,0 mg/L, o que pode ser devido à influência da ação de lavagem da superfície de cobertura ao longo do tempo.

Como a norma ABNT NBR 15527/2007 – “Água de Chuva – Aproveitamento de Coberturas em Áreas Urbanas para Fins Não Potáveis – Requisitos” não prescreve limites para sólidos totais, caso adotássemos uma norma mais restritiva como a Portaria 518/2004, teríamos como padrão um valor máximo permitido de 1000 mg/L, o que demonstra a viabilidade de utilização dessas águas nesta região e neste lote experimental, mesmo para consumo humano, pois os valores encontrados situam-se dentro da faixa de enquadramento, embora o ponto de envio para uso da água nestes sistemas esteja situado no Ponto 7 (reservatório de armazenamento final, com capacidade de 6000 litros), portanto ainda tendendo à diminuição.

No entanto, caso associássemos este parâmetro com os demais, a situação poderia se demonstrar diversa, pois a presença de sólidos pode comprometer a qualidade da água quando há, por exemplo, a presença de turbidez (o que de fato ocorreu), uma vez que microrganismos podem

utilizar as partículas sólidas presentes como barreira de proteção, diminuindo a eficiência de um processo de desinfecção das mesmas antes de sua utilização, além dos danos à vida aquática e aos peixes, conforme anteriormente mencionado (CETESB, 2009).

Por outro lado, a presença de sólidos totais nas amostras de águas pluviais foi de difícil detecção analítica, demandando um incremento do volume de amostra usual para a análise físico-química (de 100 para 250 mL), o qual ainda não se demonstrou efetivo na melhoria dos limites de detecção. Este fato provavelmente decorre do baixo grau de poluição atmosférica da área onde o experimento foi instalado.

As Tabelas 62 a 64 apresentam os valores médios, mínimos e máximos para Sólidos Totais em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura nos Ponto 1, 3 e 5, com os respectivos índices de precipitação. Verifica-se que nas Séries Amostrais 1 a 3, os valores de sólidos totais medidos são superiores às Séries Amostrais 4 a 6, o que pode ter ocorrido pela lavagem das coberturas ao longo das três primeiras séries de precipitações, embora com intervalo de 13 dias entre a 3ª e 4ª Séries Amostrais.

Como seria esperado, os valores de sólidos totais para os três tipos de coberturas na 1ª Série Amostral são em geral os mais elevados, devido à ação de lavagem das mesmas pelas primeiras chuvas e conseqüente arraste dos resíduos acumulados sobre cada uma delas ("*first-flush*"). Acrescente-se a isso, a tendência a uma maior concentração de cargas poluentes incidente no Amostrador 1 (Ponto 1- P1), por ser este o ponto de entrada de cada SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) instalado, acarretando em maiores valores de sólidos totais, notadamente para a Cobertura Verde Leve – CVL (ou Telhado Verde), enquanto os valores para o Telhado de Zinco do Lote Experimental Peri-Urbano, e para a cobertura de telhas prensadas à base de embalagens longa vida recicladas (ou Cobertura Tetra Pak ou Telhado Tetra Pak), tendem a ser inferiores e a se situarem num intervalo de valores mais próximos uns dos outros. Isto pode ser verificado através da apresentação dos valores médios, mínimos e máximos (Tabelas 62 a 64), sendo que os menores valores foram os apresentados pelo Telhado de Zinco, indicando a seguinte relação:

$$ST_{\mathbf{CVL}} > ST_{\mathbf{Telhado\ Tetra\ Pak}} > ST_{\mathbf{Telhado\ de\ Zinco}}$$

Os valores de sólidos para o Telhado Verde (CVL) e Telhado Tetra Pak parecem apresentar tendência a aproximarem-se na 3ª Série Amostral, quando o valor do IPA 28 dias foi de 533 mm, sendo este o maior valor atingido para o IPA 28 dias, indicando novamente o efeito de lavagem e conseqüente ação de limpeza das superfícies. Observa-se que o decaimento mais significativo para

os sólidos totais ao longo do tempo ocorreu para o Telhado de Zinco, o que está de acordo com as pesquisas realizadas por GHANAYEM (2001), citado em TOMAZ (2003), quanto aos melhores tipos de telhados em termos de não-acumulação de resíduos, como sendo, pela ordem: metálico, asfaltado, com fibrocimento e de telhas cerâmicas. Por outro lado, os valores apresentados para a CVL demonstram que houve um decaimento da 1ª para a 3ª Série Amostral, com um aumento dos sólidos a partir da 4ª Série Amostral, e em seguida, uma tendência à estabilização dos valores na 5ª e 6ª Séries Amostrais, sem que a intensidade de precipitação exercesse um efeito tão significativo, o que talvez possa indicar a formação de fluxos de escoamento preferenciais através da mesma, por meio dos quais parcelas cada vez menores de sedimentos seriam arrastadas devido ao efeito de lixiviação do solo presente neste tipo de cobertura. Pode-se considerar também que os valores médios, mínimos e máximos, como os intervalos de variação entre os valores mínimos e máximos, seguem uma vez mais a seguinte relação:

$$ST_{\mathbf{CVL}} > ST_{\mathbf{Telhado\ Tetra\ Pak}} > ST_{\mathbf{Telhado\ de\ Zinco}}$$

Ainda quanto ao Telhado de Zinco, nota-se o efeito da diminuição da concentração de sólidos totais nos amostradores pelo aumento do volume precipitado ao longo do tempo, especialmente na 4ª, 5ª e 6ª séries amostrais, com tendência a valor zero, novamente devido ao efeito da lavagem da cobertura pela chuva, até praticamente não haver resíduos sobre esta.

Para o Ponto de Amostragem Nº 3, o valor máximo tanto dos índices pluviométricos como o de sólidos totais, obtidos para o Telhado de Zinco do Lote Experimental Peri-Urbano, ocorrem na 3ª Série Amostral. Este deveria ser o comportamento esperado para as coberturas em face das precipitações, ou seja, o valor de sólidos totais (medido em função do aumento do arraste de resíduos existentes sobre as coberturas) aumenta na razão direta do aumento do volume de chuva precipitado, comportamento este, porém, que não se repete nas demais Séries Amostrais.

Por outro lado, considerando os valores médios, máximos e mínimos, ocorre neste ponto (P3) uma inversão em relação ao Telhado Tetra Pak e Telhado de Zinco, pois o valor médio deste último supera o outro em cerca de 25%, bem como o valor máximo (obtido na 3ª Série Amostral, conforme acima mencionado) em cerca de 22,2%, e supera a CVL em 12,8%, embora o valor mínimo ainda seja maior para a CVL.

Comparando-se os parâmetros quantitativos Intensidade Máxima Instantânea ($\mathbf{I_{máx}}$, em mm) e Precipitação Total ($\mathbf{P_t}$, em mm), pode-se perceber a tendência geral à diminuição dos valores de sólidos totais por efeito da lavagem da cobertura ao longo do tempo, e da diluição causada pelos

volumes de precipitação, o que, por outro lado, parece também ocorrer em relação aos parâmetros Índice de Precipitação Antecedente (IPA) para 7 dias e 28 dias, devido aos volumes de precipitação acumulados ao longo do tempo. Por outro lado, não parece haver sempre uma relação de proporcionalidade entre o aumento dos valores de $\mathbf{I_{máx.}}$ e de sólidos totais, ou seja, ao aumento dos valores de $\mathbf{I_{máx.}}$ não correspondem automaticamente aumentos nos valores de sólidos totais.

Os valores de sólidos totais no Ponto 5 (P5) apresentam como característica uma maior mescla para os Telhados Tetra Pak e CVL, enquanto para o Telhado de Zinco ocorrem valores inferiores e com um decaimento tendendo a uma maior uniformidade. Os valores para os Telhados Tetra Pak e CVL também são mais elevados, indicando novamente a seguinte relação: $ST_{\mathbf{CVL}} > ST_{\mathbf{Telhado\ Tetra\ Pak}} > ST_{\mathbf{Telhado\ de\ Zinco}}$. Comparando-se os valores do Ponto 5 (P5) aos valores dos outros dois pontos (P1 e P3), pode-se constatar como sendo os menores obtidos.

Tabela 62 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para Sólidos Totais (mg/L) em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 1 (P1), com seus respectivos índices de precipitação.

PONTO	DATA DA AMOSTRAGEM	Sólidos Totais Telhado Tetra Pak	Sólidos Totais CVL	Imax (mm/h)	Pt (mm)	IPA 7d (mm)	IPA 28d (mm)	DATA DA AMOSTRAGEM	Sólidos Totais Telhado de Zinco	Imax (mm/h)	Pt (mm)	IPA 7d (mm)	IPA 28d (mm)
P1 – 1ª SÉRIE AMOSTRAL	20/02/2008	188	654	6,0	16,0	8,0	33,0	05/03/2009	229	30,5	5,1	10,0	179,0
P1- 2ª SÉRIE AMOSTRAL	12/03/2008	251	160	30,0	36,0	227,0	292,0	10/03/2009	67	50,8	31,0	29,0	152,0
P1 – 3ª SÉRIE AMOSTRAL	09/04/2008	61	76	38,0	22,0	64,0	533,0	11/03/2009	71	209,0	72,3	95,0	228,0
P2 – 4ª SÉRIE AMOSTRAL	14/04/2008	14	166	54,0	44,0	34,0	208,0	24/03/2009	21	137,0	62,3	26,0	258,0
P1 – 5ª SÉRIE AMOSTRAL	23/04/2008	74	134	24,0	19,0	107,0	271,0	31/03/2009	20	65,0	16,0	98,0	315,0
P1 – 6ª SÉRIE AMOSTRAL	30/04/2008	47	137	170,0	169,0	19,0	270,0	06/04/2009	1	88,0	16,4	25,0	317,0
	Valor Médio	105,8	221,2	53,7	51,0	76,5	267,8	**Valor Médio**	68,2	96,7	33,85	47,2	241,5
	Valor Mínimo	14,0	76,0	6,0	16,0	8,0	33,0	**Valor Mínimo**	1,0	30,5	5,1	10,0	152,0
	Valor Máximo	251,0	654,0	170,0	169,0	227,0	533,0	**Valor Máximo**	229,0	209	72,3	98,0	317,0

Tabela 63 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para Sólidos Totais (mg/L) em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 3 (P3), com seus respectivos índices de precipitação.

PONTO	DATA DA AMOSTRAGEM	Sólidos Totais Telhado Tetra Pak	Sólidos Totais CVL	Imax (mm/h)	Pt (mm)	IPA 7d (mm)	IPA 28d (mm)	DATA DA AMOSTRAGEM	Sólidos Totais Telhado de Zinco	Imax (mm/h)	Pt (mm)	IPA 7d (mm)	IPA 28d (mm)
P3- 2ª SÉRIE AMOSTRAL	12/03/2008	166,0	180,0	30,0	36,0	227,0	292,0	10/03/2009	88,0	50,8	31,0	29,0	152,0
P3 – 3ª SÉRIE AMOSTRAL	09/04/2008	53,0	131,0	38,0	22,0	64,0	533,0	11/03/2009	203,0	209,0	72,3	95,0	228,0
P4 – 4ª SÉRIE AMOSTRAL	14/04/2008	0	90,0	54,0	44,0	34,0	208,0	24/03/2009	12,0	137,0	62,3	26,0	258,0
P3 – 6ª SÉRIE AMOSTRAL	30/04/2008	24,0	110,0	170,0	169,0	19,0	270,0	06/04/2009	1,0	88,0	16,4	25,0	317,0
	Valor Médio	60,7	127,7	53,7	51,0	76,5	267,8	**Valor Médio**	76,0	96,7	33,85	47,2	241,5
	Valor Mínimo	0	90,0	6,0	16,0	8,0	33,0	**Valor Mínimo**	1,0	30,5	5,1	10,0	152,0
	Valor Máximo	166,0	180,0	170,0	169,0	227,0	533,0	**Valor Máximo**	203,0	209	72,3	98,0	317,0

Tabela 64 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para Sólidos Totais (mg/L) em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 5 (P5), com seus respectivos índices de precipitação.

PONTO	**DATA DA AMOSTRAGEM**	Sólidos Totais Telhado Tetra Pak	Sólidos Totais CVL	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**	**DATA DA AMOSTRAGEM**	Sólidos Totais Telhado de Zinco	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**
P5 – 1ª SÉRIE AMOSTRAL	20/02/2008	524,0	657,0	6,0	16,0	8,0	33,0	05/03/2009	109,0	30,5	5,1	10,0	179,0
P5- 2ª SÉRIE AMOSTRAL	12/03/2008	173,0	383,0	30,0	36,0	227,0	292,0	10/03/2009	32,0	50,8	31,0	29,0	152,0
P5 – 3ª SÉRIE AMOSTRAL	09/04/2008	183,0	106,0	38,0	22,0	64,0	533,0	11/03/2009	36,0	209,0	72,3	95,0	228,0
P6 – 4ª SÉRIE AMOSTRAL	14/04/2008	11,0	101,0	54,0	44,0	34,0	208,0	24/03/2009	1,0	137,0	62,3	26,0	258,0
P5 – 5ª SÉRIE AMOSTRAL	23/04/2008	87,0	178,0	24,0	19,0	107,0	271,0	31/03/2009	12,0	65,0	16,0	98,0	315,0
P5 – 6ª SÉRIE AMOSTRAL	30/04/2008	1,0	82,0	170,0	169,0	19,0	270,0	06/04/2009	1,0	88,0	16,4	25,0	317,0
	Valor Médio	163,2	251,2	53,7	51,0	76,5	267,8	**Valor Médio**	31,8	96,7	33,85	47,2	241,5
	Valor Mínimo	1,0	82,0	6,0	16,0	8,0	33,0	**Valor Mínimo**	1,0	30,5	5,1	10,0	152,0
	Valor Máximo	524,0	657,0	170,0	169,0	227,0	533,0	**Valor Máximo**	109,0	209	72,3	98,0	317,0

6.4.2_Análise dos Resultados – Turbidez

Os valores médios de turbidez apresentaram-se mais elevados na 1ª Série Amostral apenas para o Telhado de Zinco e para a CVL, repetindo o comportamento obtido para os valores de sólidos totais. No entanto, para o Telhado Tetra Pak, houve uma oscilação nestes valores, que vieram a aumentar da 1ª para a 3ª Séries Amostrais para depois diminuírem na 4ª e 5ª Séries Amostrais e em seguida aumentarem novamente, possivelmente devido à variação da Intensidade Máxima de Precipitação (**$I_{máx}$**) no período.

Para o Amostrador 1 (Ponto 1 – P1) e Amostrador 3 (Ponto 3 – P3), há uma nítida tendência de aproximação entre os valores de turbidez para a CVL e Telhado Tetra Pak, ao passo que os valores para o Telhado de Zinco são em geral inferiores, e ainda menores no Amostrador 3 (Ponto 3 – P3). A Tabela 65 apresenta os valores médios, máximos e mínimos, destacando o valor da CVL da 6ª Série Amostral, que foi aproximadamente 5 vezes maior que o seu valor mais próximo, obtido na 1ª Série Amostral (38,0 contra 7,32) , para a qual há em geral uma tendência para a obtenção de valores mais elevados que para as demais séries amostrais posteriores, devido à presença de material depositado nas coberturas, e que sofre arraste após as primeiras chuvas.

Tabela 65 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para Turbidez em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura.

PONTO- SÉRIE AMOSTRAL - DATA DE AMOSTRAGEM	TURBIDEZ - COBERTURA DE ZINCO (NTU)	TURBIDEZ - COBERTURA TETRA PAK (NTU)	PONTO - SÉRIE AMOSTRAL - DATA DE AMOSTRAGEM	TURBIDEZ – CVL (NTU)
P1 – 1ª SÉRIE AMOSTRAL -20/02/2008	2,93	1,0	P1 - 1ª SÉRIE AMOSTRAL - 05/03/09	7,32
P1- 2ª SÉRIE AMOSTRAL - 12/03/2008	1,31	1,67	P1- 2ª SÉRIE AMOSTRAL - 10/03/2009	2,0
P1 – 3ª SÉRIE AMOSTRAL - 09/04/2008	0,61	4,86	P1 – 3ª SÉRIE AMOSTRAL - 11/03/2009	2,77
P2 – 4ª SÉRIE AMOSTRAL - 14/04/2008	1,01	1,31	P2 – 4ª SÉRIE AMOSTRAL - 24/03/2009	2,52
P1 – 5ª SÉRIE AMOSTRAL - 23/04/2008	0,81	0,98	P1 – 5ª SÉRIE AMOSTRAL - 31/03/2009	4,1
P1 – 6ª SÉRIE AMOSTRAL - 30/04/2008	1,06	2,56	P1 – 6ª SÉRIE AMOSTRAL - 06/04/2009	**38,0**
VALOR MÉDIO	**1,29**	**2,06**	**VALOR MÉDIO**	**3,74***
Valor Mínimo	**0,61**	**0,98**	**Valor Mínimo**	**2,0***
Valor Máximo	**2,93**	**4,86**	**Valor Máximo**	**7,32***

*** Não considera o valor da 6ª Série Amostral.**

É possível perceber uma tendência geral para haver um decaimento dos valores da 1ª para a 6ª Série Amostral, de acordo com a Tabela 65, embora não uniforme, para os três tipos de coberturas. Ainda assim, o Telhado de Zinco apresenta, entre os três, um comportamento de queda mais gradual, o que aparentemente reitera o que afirmou GHANAYEM (2001).

Diferentemente do perfil obtido para os valores de sólidos totais, a variação temporal dos valores de turbidez para os três tipos de coberturas na 1ª Série Amostral apresentou um decaimento mais ou menos uniforme apenas para o Telhado de Zinco, possivelmente devido à ação da lavagem sobre este pelas primeiras chuvas e arraste dos resíduos ("*first-flush*"). O Telhado Tetra Pak e a CVL são em geral mais elevados, com os valores médios de turbidez seguindo a relação: $Turb_{\mathbf{CVL}}$ > $Turb_{\mathbf{Telhado\ Tetra\ Pak}}$ > $Turb_{\mathbf{Telhado\ de\ Zinco}}$ (Tabelas 66 a 68), confirmando a tendência observada para os valores de sólidos totais analisados anteriormente. Caso apliquemos o valor de turbidez da 6ª Série Amostral (38,0), a diferença se amplia ainda mais para a CVL, relativamente aos demais telhados. Este valor ocorreu possivelmente devido ao valor da Intensidade Máxima de Precipitação (Imáx) no período (170 mm/h), o maior entre todas as Séries Amostrais, provocando um arraste de material sólido mais acentuado que nas demais Séries. Já os valores para o Telhado de Zinco seguem um decréscimo em que as variações da 1ª para a 6ª Série Amostral são as menores entre os três tipos de telhados, o que reflete mais uma vez o melhor desempenho dos telhados metálicos, segundo as pesquisas realizadas por GHANAYEM (2001), citado em TOMAZ (2003).

Parece não haver proporcionalidade direta entre os volumes de precipitação (e seus índices quantitativos correspondentes: Imáx, P_t, IPA 7 dias e IPA 28 dias) e os valores de turbidez, ou seja, nem sempre ocorre aumento no valor da turbidez quando aumentam os volumes de precipitação, o que pode ser devido à aleatoriedade temporal das precipitações e variações ocorridas nos procedimentos de amostragem.

As Tabelas 66 a 68 apresentam os valores médios, mínimos e máximos medidos para a Turbidez em cada série amostral e para cada tipo de cobertura nos Ponto 1, 3 e 5, com os seus respectivos índices de precipitação. Sendo que o padrão de turbidez exigido pela NBR 15527 é < 2 uT, e, para usos menos restritivos, < 5 uT, pela análise dos valores médios, mínimos e máximos observa-se que a qualidade de água de escoamento de nenhuma das coberturas apresentaria possibilidade de aproveitamento, sendo que o Telhado de Zinco mais uma vez apresentaria os melhores resultados. Entretanto, como o ponto de envio para uso da água nestes sistemas está no Ponto 7 (reservatório de armazenamento final, com capacidade de 6000 litros), somente pela análise da qualidade neste ponto é que se poderá determinar a viabilidade de aproveitamento das mesmas.

Tabela 66 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para a Turbidez (NTU) em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 1 (P1), com seus respectivos índices de precipitação.

PONTO	**DATA DA AMOSTRAGEM**	Turbidez Telhado Tetra Pak	Turbidez CVL	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**	**DATA DA AMOSTRAGEM**	Turbidez Telhado de Zinco	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**
P1 – 1ª SÉRIE AMOSTRAL	20/02/2008	1,0	7,32	6,0	16,0	8,0	33,0	05/03/2009	2,93	30,5	5,1	10,0	179,0
P1- 2ª SÉRIE AMOSTRAL	12/03/2008	1,67	2,0	30,0	36,0	227,0	292,0	10/03/2009	1,31	50,8	31,0	29,0	152,0
P1 – 3ª SÉRIE AMOSTRAL	09/04/2008	4,86	2,77	38,0	22,0	64,0	533,0	11/03/2009	0,61	209,0	72,3	95,0	228,0
P2 – 4ª SÉRIE AMOSTRAL	14/04/2008	1,31	2,52	54,0	44,0	34,0	208,0	24/03/2009	1,01	137,0	62,3	26,0	258,0
P1 – 5ª SÉRIE AMOSTRAL	23/04/2008	0,98	4,1	24,0	19,0	107,0	271,0	31/03/2009	0,81	65,0	16,0	98,0	315,0
P1 – 6ª SÉRIE AMOSTRAL	30/04/2008	2,56	38,0	170,0	169,0	19,0	270,0	06/04/2009	1,06	88,0	16,4	25,0	317,0
	Valor Médio	2,06	9,41	53,7	51,0	76,5	267,8	**Valor Médio**	1,29	96,7	33,85	47,2	241,5
	Valor Mínimo	0,98	2,0	6,0	16,0	8,0	33,0	**Valor Mínimo**	2,93	30,5	5,1	10,0	152,0
	Valor Máximo	4,86	38,0	170,0	169,0	227,0	533,0	**Valor Máximo**	0,61	209	72,3	98,0	317,0

Tabela 67 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para Turbidez (NTU) em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 3 (P3), com seus respectivos índices de precipitação.

PONTO	**DATA DA AMOSTRAGEM**	Turbidez Telhado Tetra Pak	Turbidez CVL	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**	**DATA DA AMOSTRAGEM**	Turbidez Telhado de Zinco	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**
P3- 2ª SÉRIE AMOSTRAL	12/03/2008	2,02	2,34	30,0	36,0	227,0	292,0	10/03/2009	0,99	50,8	31,0	29,0	152,0
P3 – 3ª SÉRIE AMOSTRAL	09/04/2008	1,89	4,03	38,0	22,0	64,0	533,0	11/03/2009	0,71	209,0	72,3	95,0	228,0
P4 – 4ª SÉRIE AMOSTRAL	14/04/2008	3,86	3,45	54,0	44,0	34,0	208,0	24/03/2009	0,93	137,0	62,3	26,0	258,0
P3 – 6ª SÉRIE AMOSTRAL	30/04/2008	2,13	40,5	170,0	169,0	19,0	270,0	06/04/2009	1,24	88,0	16,4	25,0	317,0
	Valor Médio	2,5	12,58	73,0	67,7	86,0	325,7	**Valor Médio**	0,97	121,2	45,5	30,7	238,7
	Valor Mínimo	1,89	2,34	30,0	22,0	19,0	208,0	**Valor Mínimo**	0,71	50,8	16,4	25,0	152,0
	Valor Máximo	3,86	40,5	170,0	169,0	227,0	533,0	**Valor Máximo**	1,24	209,0	72,3	95,0	317,0

Tabela 68 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para Turbidez (NTU) em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 5 (P5), com seus respectivos índices de precipitação.

PONTO	**DATA DA AMOSTRAGEM**	Turbidez Telhado Tetra Pak	Turbidez CVL	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**	**DATA DA AMOSTRAGEM**	Turbidez Telhado de Zinco	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**
P5 – 1ª SÉRIE AMOSTRAL	20/02/2008	1,15	7,13	6,0	16,0	8,0	33,0	05/03/2009	1,28	30,5	5,1	10,0	179,0
P5- 2ª SÉRIE AMOSTRAL	12/03/2008	1,51	2,87	30,0	36,0	227,0	292,0	10/03/2009	0,93	50,8	31,0	29,0	152,0
P5 – 3ª SÉRIE AMOSTRAL	09/04/2008	1,34	3,71	38,0	22,0	64,0	533,0	11/03/2009	0,77	209,0	72,3	95,0	228,0
P6 – 4ª SÉRIE AMOSTRAL	14/04/2008	1,34	3,24	54,0	44,0	34,0	208,0	24/03/2009	0,89	137,0	62,3	26,0	258,0
P5 – 5ª SÉRIE AMOSTRAL	23/04/2008	1,14	3,93	24,0	19,0	107,0	271,0	31/03/2009	0,72	65,0	16,0	98,0	315,0
P5 – 6ª SÉRIE AMOSTRAL	30/04/2008	1,31	39,8	170,0	169,0	19,0	270,0	06/04/2009	1,25	88,0	16,4	25,0	317,0
	Valor Médio	1,30	10,11	53,7	51,0	76,5	267,8	**Valor Médio**	0,97	96,7	33,85	47,2	241,5
	Valor Mínimo	1,14	2,87	6,0	16,0	8,0	33,0	**Valor Mínimo**	0,72	30,5	5,1	10,0	152,0
	Valor Máximo	1,51	39,8	170,0	169,0	227,0	533,0	**Valor Máximo**	1,28	209	72,3	98,0	317,0

6.4.3_Análise dos Resultados – Condutividade

As Tabelas 69 a 71 apresentam os valores médios, mínimos e máximos medidos para a condutividade em cada série amostral e para cada tipo de cobertura nos Ponto 1, 3 e 5, com os seus respectivos índices de precipitação.

Ao contrário do que sucedeu anteriormente, mesmo no Ponto 1 (P1) (onde pareceu ocorrer até aqui uma tendência geral a uma maior mescla ou aleatoriedade de dados, possivelmente devido à turbulência e mistura da entrada de águas pluviais em cada sistema quando de precipitações), bem como nos Pontos 3 (P3) e 5 (P5) (nos quais pareceu haver até aqui uma tendência a uma maior uniformidade na dispersão dos mesmos), percebe-se uma acentuada diferenciação dos valores de condutividade obtidos para a CVL em relação aos dois outros telhados (Tetra Pak e Zinco), sendo estes sempre mais elevados do que os demais telhados analisados (não inferior a 37,7 µS/cm, considerando todos os três pontos de amostragem – 1, 3 e 5), ao mesmo tempo em que tendem a se aproximarem os valores do Telhado Tetra Pak e Telhado de Zinco (valores mínimos de 4,31 µS/cm e 1,72 µS/cm, respectivamente, também considerando todos os três pontos de amostragem – 1, 3 e 5), embora este último ainda apresente os menores valores entre os três tipos de cobertura, o que é confirmado pela análise estatística (valores médios, mínimos e máximos, Tabelas 69 a 71). Além disso, mesmo com um valor de Imáx. (Intensidade Máxima de Precipitação) mais elevado, o qual foi de 209 mm/h (valor máximo) no Lote Experimental Peri-Urbano, contra 170 mm/h (valor máximo) nos sítios experimentais onde se localizam as demais coberturas, o valor de condutividade para o Telhado de Zinco ainda foi o menor entre os três tipos de telhados, confirmando as observações de GHANAYEM (2001), citado em TOMAZ (2003), para diversos tipos de telhados analisados.

Tabela 69 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para Condutividade (µS/cm) em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 1 (P1).

PONTO	**DATA DA AMOSTRAGEM**	Condutivi-dade Telhado Tetra Pak	Condut. CVL	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**	**DATA DA AMOSTRAGEM**	Condut. Telhado de Zinco	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**
P1 – 1ª SÉRIE AMOSTRAL	20/02/2008	8,89	72,2	6,0	16,0	8,0	33,0	05/03/2009	20,8	30,5	5,1	10,0	179,0
P1- 2ª SÉRIE AMOSTRAL	12/03/2008	5,75	91,5	30,0	36,0	227,0	292,0	10/03/2009	10,55	50,8	31,0	29,0	152,0
P1 – 3ª SÉRIE AMOSTRAL	09/04/2008	23,8	50,2	38,0	22,0	64,0	533,0	11/03/2009	3,65	209,0	72,3	95,0	228,0
P2 – 4ª SÉRIE AMOSTRAL	14/04/2008	5,2	45,5	54,0	44,0	34,0	208,0	24/03/2009	11,28	137,0	62,3	26,0	258,0
P1 – 5ª SÉRIE AMOSTRAL	23/04/2008	15,6	41,6	24,0	19,0	107,0	271,0	31/03/2009	7,22	65,0	16,0	98,0	315,0
P1 – 6ª SÉRIE AMOSTRAL	30/04/2008	32,2	60,1	170,0	169,0	19,0	270,0	06/04/2009	5,62	88,0	16,4	25,0	317,0
	Valor Médio	15,2	60,2	53,7	51,0	76,5	267,8	**Valor Médio**	9,9	96,7	33,85	47,2	241,5
	Valor Mínimo	5,2	41,6	6,0	16,0	8,0	33,0	**Valor Mínimo**	3,6	30,5	5,1	10,0	152,0
	Valor Máximo	32,2	91,5	170,0	169,0	227,0	533,0	**Valor Máximo**	20,8	209	72,3	98,0	317,0

Tabela 70 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para Condutividade (µS/cm) em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 3 (P3).

PONTO	DATA DA AMOSTRAGEM	Condutividade Telhado Tetra Pak	Condut. CVL	Imax (mm/h)	Pt (mm)	IPA 7d (mm)	IPA 28d (mm)	DATA DA AMOSTRAGEM	Condut. Telhado de Zinco	Imax (mm/h)	Pt (mm)	IPA 7d (mm)	IPA 28d (mm)
P3- 2ª SÉRIE AMOSTRAL	12/03/2008	6,6	105,5	30,0	36,0	227,0	292,0	10/03/2009	5,33	50,8	31,0	29,0	152,0
P3 – 3ª SÉRIE AMOSTRAL	09/04/2008	21,3	41,5	38,0	22,0	64,0	533,0	11/03/2009	2,21	209,0	72,3	95,0	228,0
P4 – 4ª SÉRIE AMOSTRAL	14/04/2008	4,46	40,5	54,0	44,0	34,0	208,0	24/03/2009	8,73	137,0	62,3	26,0	258,0
P3 – 6ª SÉRIE AMOSTRAL	30/04/2008	18,15	61,4	170,0	169,0	19,0	270,0	06/04/2009	3,93	88,0	16,4	25,0	317,0
	Valor Médio	12,6	62,2	73,0	67,7	86,0	325,7	**Valor Médio**	5,0	121,2	45,5	30,7	238,7
	Valor Mínimo	4,5	40,5	30,0	22,0	19,0	208,0	**Valor Mínimo**	2,2	50,8	16,4	25,0	152,0
	Valor Máximo	21,3	105,5	170,0	169,0	227,0	533,0	**Valor Máximo**	8,7	209,0	72,3	95,0	317,0

Tabela 71 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para Condutividade (µS/cm) em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 5 (P5).

PONTO	DATA DA AMOSTRAGEM	Condutividade Telhado Tetra Pak	Condut. CVL	Imax (mm/h)	Pt (mm)	IPA 7d (mm)	IPA 28d (mm)	DATA DA AMOSTRAGEM	Condut. Telhado de Zinco	Imax (mm/h)	Pt (mm)	IPA 7d (mm)	IPA 28d (mm)
P5 – 1ª SÉRIE AMOSTRAL	20/02/2008	6,77	69,2	6,0	16,0	8,0	33,0	05/03/2009	19,73	30,5	5,1	10,0	179,0
P5- 2ª SÉRIE AMOSTRAL	12/03/2008	6,59	110,5	30,0	36,0	227,0	292,0	10/03/2009	4,74	50,8	31,0	29,0	152,0
P5 – 3ª SÉRIE AMOSTRAL	09/04/2008	18,97	39,9	38,0	22,0	64,0	533,0	11/03/2009	1,72	209,0	72,3	95,0	228,0
P6 – 4ª SÉRIE AMOSTRAL	14/04/2008	4,31	37,7	54,0	44,0	34,0	208,0	24/03/2009	6,22	137,0	62,3	26,0	258,0
P5 – 5ª SÉRIE AMOSTRAL	23/04/2008	12,9	44,5	24,0	19,0	107,0	271,0	31/03/2009	6,91	65,0	16,0	98,0	315,0
P5 – 6ª SÉRIE AMOSTRAL	30/04/2008	13,22	59,4	170,0	169,0	19,0	270,0	06/04/2009	3,63	88,0	16,4	25,0	317,0
	Valor Médio	10,46	60,2	53,7	51,0	76,5	267,8	**Valor Médio**	7,16	96,7	33,85	47,2	241,5
	Valor Mínimo	4,31	37,7	6,0	16,0	8,0	33,0	**Valor Mínimo**	1,72	30,5	5,1	10,0	152,0
	Valor Máximo	18,97	110,5	170,0	169,0	227,0	533,0	**Valor Máximo**	19,73	209	72,3	98,0	317,0

6.4.4_Análise dos Resultados – Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Da mesma forma que em relação à variável condutividade, e diferentemente das variáveis sólidos totais e turbidez, ocorre já no Ponto 1 (P1) uma separação acentuada entre os conjuntos de valores da CVL, em sua maioria, e os conjuntos de valores das demais coberturas (Telhado Tetra Pak e Telhado de Zinco), embora alguns valores da CVL estejam mesclados com os demais (no Ponto 1, os valores das duas primeiras séries amostrais; no Ponto 3, os valores da 2ª e 3ª Séries Amostrais; e no Ponto 5, os valores da 1ª , 2ª e 3ª Séries Amostrais).

Novamente percebe-se uma tendência de que os conjuntos de valores do Telhado Tetra Pak e Telhado de Zinco estejam próximos uns dos outros, o que também já vinha ocorrendo com os parâmetros sólidos totais e turbidez; e da mesma forma, não parece ocorrer uma proporcionalidade direta entre o aumento das precipitações e o aumento dos valores de DQO, a exemplo de outras variáveis anteriormente analisadas, o que pode ser devido aos intervalos entre os eventos de precipitação de cada série amostral, e mesmo para os valores mais elevados entre os parâmetros de precipitação avaliados, por exemplo: $\mathbf{I_{máx}}$ e $\mathbf{P_t}$ na 6ª Série Amostral (respectivamente 170 mm/h e 169 mm); **IPA 7 dias** na 2ª Série Amostral (227 mm**); IPA 28 dias** na 3ª Série Amostral (533 mm).

As Tabelas 72 a 74 apresentam os valores médios, mínimos e máximos medidos para a DQO em cada série amostral e para cada tipo de cobertura nos Pontos 1, 3 e 5, com os seus respectivos índices de precipitação. Observa-se nelas, pela análise estatística, que os valores de DQO, tanto médios, como mínimos e máximos, para o Telhado Tetra Pak, são menores do que os valores para o Telhado de Zinco, ao contrário do que vinha ocorrendo anteriormente (exceto: no Ponto 1 para a 5ª e 6ª Séries Amostrais, e no Ponto 5 para a 5ª Série Amostral), com diferenças para os valores médios de: 32% no Ponto 1 (P1); 55,4% no Ponto 3 (P3); e 73,3% no Ponto 5 (P5). Tais diferenças parecem se ampliar espacialmente, crescendo com o aumento da distância do ponto de entrada (P1) do Sistema de Águas Pluviais (SAP). Caberia aqui uma análise mais aprofundada para descobrir-se a razão deste comportamento, o qual pode estar associado a um espectro mais amplo de substâncias quimicamente oxidáveis presentes nas águas pluviais, decorrentes do escoamento sobre a cobertura de zinco do Lote Experimental Peri-Urbano, como, por exemplo, compostos organometálicos.

Tabela 72 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para DQO em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 1 (P1).

PONTO	**DATA DA AMOSTRAGEM**	DQO Telhado Tetra Pak	DQO CVL	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**	**DATA DA AMOSTRAGEM**	DQO Telhado de Zinco	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**
P1 – 1ª SÉRIE AMOSTRAL	20/02/2008	7,5	20,5	6,0	16,0	8,0	33,0	05/03/2009	19,0	30,5	5,1	10,0	179,0
P1- 2ª SÉRIE AMOSTRAL	12/03/2008	5,0	19,0	30,0	36,0	227,0	292,0	10/03/2009	22,0	50,8	31,0	29,0	152,0
P1 – 3ª SÉRIE AMOSTRAL	09/04/2008	11,5	49,1	38,0	22,0	64,0	533,0	11/03/2009	17,0	209,0	72,3	95,0	228,0
P2 – 4ª SÉRIE AMOSTRAL	14/04/2008	8,5	97,9	54,0	44,0	34,0	208,0	24/03/2009	18,0	137,0	62,3	26,0	258,0
P1 – 5ª SÉRIE AMOSTRAL	23/04/2008	14,0	70,9	24,0	19,0	107,0	271,0	31/03/2009	5,2	65,0	16,0	98,0	315,0
P1 – 6ª SÉRIE AMOSTRAL	30/04/2008	30,5	54,2	170,0	169,0	19,0	270,0	06/04/2009	20,0	88,0	16,4	25,0	317,0
	Valor Médio	12,8	51,9	53,7	51,0	76,5	267,8	**Valor Médio**	16,9	96,7	33,85	47,2	241,5
	Valor Mínimo	5,0	19,0	6,0	16,0	8,0	33,0	**Valor Mínimo**	5,2	30,5	5,1	10,0	152,0
	Valor Máximo	30,5	97,9	170,0	169,0	227,0	533,0	**Valor Máximo**	22,0	209	72,3	98,0	317,0

Tabela 73 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para DQO em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 3 (P3).

PONTO	**DATA DA AMOSTRAGEM**	DQO Telhado Tetra Pak	DQO CVL	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**	**DATA DA AMOSTRAGEM**	DQO Telhado de Zinco	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**
P3- 2ª SÉRIE AMOSTRAL	12/03/2008	9,0	18,5	30,0	36,0	227,0	292,0	10/03/2009	21,0	50,8	31,0	29,0	152,0
P3 – 3ª SÉRIE AMOSTRAL	09/04/2008	9,5	33,5	38,0	22,0	64,0	533,0	11/03/2009	15,0	209,0	72,3	95,0	228,0
P4 – 4ª SÉRIE AMOSTRAL	14/04/2008	13,0	100,8	54,0	44,0	34,0	208,0	24/03/2009	15,0	137,0	62,3	26,0	258,0
P3 – 6ª SÉRIE AMOSTRAL	30/04/2008	9,0	60,3	170,0	169,0	19,0	270,0	06/04/2009	12,0	88,0	16,4	25,0	317,0
	Valor Médio	10,1	53,3	53,7	51,0	76,5	267,8	**Valor Médio**	15,7	96,7	33,85	47,2	241,5
	Valor Mínimo	9,0	18,5	6,0	16,0	8,0	33,0	**Valor Mínimo**	12,0	30,5	5,1	10,0	152,0
	Valor Máximo	13,0	100,8	170,0	169,0	227,0	533,0	**Valor Máximo**	21,0	209	72,3	98,0	317,0

Tabela 74 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para DQO em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 5 (P5).

PONTO	**DATA DA AMOSTRAGEM**	DQO Telhado Tetra Pak	DQO CVL	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**	**DATA DA AMOSTRAGEM**	DQO Telhado de Zinco	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**
P5 – 1ª SÉRIE AMOSTRAL	20/02/2008	13,0	20,0	6,0	16,0	8,0	33,0	05/03/2009	17,0	30,5	5,1	10,0	179,0
P5- 2ª SÉRIE AMOSTRAL	12/03/2008	6,0	21,0	30,0	36,0	227,0	292,0	10/03/2009	21,0	50,8	31,0	29,0	152,0
P5 – 3ª SÉRIE AMOSTRAL	09/04/2008	2,0	24,8	38,0	22,0	64,0	533,0	11/03/2009	17,0	209,0	72,3	95,0	228,0
P6 – 4ª SÉRIE AMOSTRAL	14/04/2008	13,5	81,6	54,0	44,0	34,0	208,0	24/03/2009	19,0	137,0	62,3	26,0	258,0
P5 – 5ª SÉRIE AMOSTRAL	23/04/2008	18,0	66,4	24,0	19,0	107,0	271,0	31/03/2009	6,1	65,0	16,0	98,0	315,0
P5 – 6ª SÉRIE AMOSTRAL	30/04/2008	8,0	59,2	170,0	169,0	19,0	270,0	06/04/2009	25,0	88,0	16,4	25,0	317,0
	Valor Médio	10,1	45,5	53,7	51,0	76,5	267,8	**Valor Médio**	17,5	96,7	33,85	47,2	241,5
	Valor Mínimo	2,0	20,0	6,0	16,0	8,0	33,0	**Valor Mínimo**	6,1	30,5	5,1	10,0	152,0
	Valor Máximo	18,0	81,6	170,0	169,0	227,0	533,0	**Valor Máximo**	25,0	209	72,3	98,0	317,0

6.4.5_Análise dos Resultados – Demanda Bioquímica de Oxigênio ($DBO_{5,20}$)

Apenas os resultados de DBO para o Lote Experimental Peri-Urbano serão analisados aqui, pois não foram realizadas análises de DBO no estudo desenvolvido por VASCONCELOS (2008). Assim, as Tabelas 75 a 77 a seguir apresentam os valores médios, mínimos e máximos medidos para a DQO em cada série amostral nos Ponto 1, 3 e 5, com os seus respectivos índices de precipitação.

Além dos valores do Telhado de Zinco não poderem ser comparados com os dois outros telhados (uma vez que não foi analisada a DBO para as amostras do Telhado Tetra Pak e CVL), também não foi possível comparar os valores com VMP's estipulados na NBR 15527 (ABNT, 2007), e, na falta desta, com a Portaria 518/2004 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, BRASIL, 2004), pois a variável DBO não é referenciada em ambas. Entretanto, os valores obtidos são baixos (não ultrapassando 6,1 mg/L, e isso na 1ª Série Amostral do Ponto 1, portanto uma amostra coletada no início das primeiras chuvas, e sem desvio do "*first-flush*"), se comparados por exemplo, às águas de mananciais superficiais e mais ainda ao esgoto doméstico. Os valores obtidos para este parâmetro demonstraram, portanto, o baixo grau de poluição por matéria orgânica biodegradável das águas pluviais analisadas, possivelmente pelo fato do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) instalado no Lote Experimental Peri-Urbano encontrar-se em área com baixo grau de poluição atmosférica.

Por outro lado, também pode ser observado através das Tabelas 75 a 77, que há um decaimento dos valores da DBO do Ponto 1 (Amostrador 1) para o Ponto 5 (Amostrador 5), refletindo a tendência de comportamento para as variáveis de qualidade analisadas anteriormente.

Tabela 75 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para DBO (mg/L) em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 1 (P1).

PONTO	**DATA DA AMOSTRAGEM**	DBO Telhado Tetra Pak	DBO CVL	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**	**DATA DA AMOSTRAGEM**	DBO Telhado de Zinco	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**
P1 – 1ª SÉRIE AMOSTRAL	20/02/2008	**N.A.**	**N.A.**	6,0	16,0	8,0	33,0	05/03/2009	6,1	30,5	5,1	10,0	179,0
P1- 2ª SÉRIE AMOSTRAL	12/03/2008	**N.A.**	**N.A.**	30,0	36,0	227,0	292,0	10/03/2009	2,5	50,8	31,0	29,0	152,0
P1 – 3ª SÉRIE AMOSTRAL	09/04/2008	**N.A.**	**N.A.**	38,0	22,0	64,0	533,0	11/03/2009	2,6	209,0	72,3	95,0	228,0
P2 – 4ª SÉRIE AMOSTRAL	14/04/2008	**N.A.**	**N.A.**	54,0	44,0	34,0	208,0	24/03/2009	1,0	137,0	62,3	26,0	258,0
P1 – 5ª SÉRIE AMOSTRAL	23/04/2008	**N.A.**	**N.A.**	24,0	19,0	107,0	271,0	31/03/2009	1,0	65,0	16,0	98,0	315,0
P1 – 6ª SÉRIE AMOSTRAL	30/04/2008	**N.A.**	**N.A.**	170,0	169,0	19,0	270,0	06/04/2009	1,0	88,0	16,4	25,0	317,0
	Valor Médio	**N.A.**	**N.A.**	53,7	51,0	76,5	267,8	**Valor Médio**	2,4	96,7	33,85	47,2	241,5
	Valor Mínimo	**N.A.**	**N.A.**	6,0	16,0	8,0	33,0	**Valor Mínimo**	1,0	30,5	5,1	10,0	152,0
	Valor Máximo	**N.A.**	**N.A.**	170,0	169,0	227,0	533,0	**Valor Máximo**	6,1	209	72,3	98,0	317,0

Tabela 76 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para DBO (mg/L) em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 3 (P3). Obs.: **N.A. – NÃO ANALISADO**

PONTO	**DATA DA AMOSTRAGEM**	DBO Telhado Tetra Pak	DBO CVL	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**	**DATA DA AMOSTRAGEM**	DBO Telhado de Zinco	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**
P3- 2ª SÉRIE AMOSTRAL	12/03/2008	**N.A.**	**N.A.**	30,0	36,0	227,0	292,0	10/03/2009	1,0	50,8	31,0	29,0	152,0
P3 – 3ª SÉRIE AMOSTRAL	09/04/2008	**N.A.**	**N.A.**	38,0	22,0	64,0	533,0	11/03/2009	1,4	209,0	72,3	95,0	228,0
P4 – 4ª SÉRIE AMOSTRAL	14/04/2008	**N.A.**	**N.A.**	54,0	44,0	34,0	208,0	24/03/2009	1,0	137,0	62,3	26,0	258,0
P3 – 6ª SÉRIE AMOSTRAL	30/04/2008	**N.A.**	**N.A.**	170,0	169,0	19,0	270,0	06/04/2009	1,0	88,0	16,4	25,0	317,0
	Valor Médio	**N.A.**	**N.A.**	53,7	51,0	76,5	267,8	**Valor Médio**	1,1	96,7	33,85	47,2	241,5
	Valor Mínimo	**N.A.**	**N.A.**	6,0	16,0	8,0	33,0	**Valor Mínimo**	1,0	30,5	5,1	10,0	152,0
	Valor Máximo	**N.A.**	**N.A.**	170,0	169,0	227,0	533,0	**Valor Máximo**	1,4	209	72,3	98,0	317,0

Tabela 77 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para DBO (mg/L) em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 5 (P5).

PONTO	**DATA DA AMOSTRAGEM**	DBO Telhado Tetra Pak	DBO CVL	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**	**DATA DA AMOSTRAGEM**	DBO Telhado de Zinco	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**
P5 – 1ª SÉRIE AMOSTRAL	20/02/2008	**N.A.**	**N.A.**	6,0	16,0	8,0	33,0	05/03/2009	4,0	30,5	5,1	10,0	179,0
P5- 2ª SÉRIE AMOSTRAL	12/03/2008	**N.A.**	**N.A.**	30,0	36,0	227,0	292,0	10/03/2009	1,0	50,8	31,0	29,0	152,0
P5 – 3ª SÉRIE AMOSTRAL	09/04/2008	**N.A.**	**N.A.**	38,0	22,0	64,0	533,0	11/03/2009	1,0	209,0	72,3	95,0	228,0
P6 – 4ª SÉRIE AMOSTRAL	14/04/2008	**N.A.**	**N.A.**	54,0	44,0	34,0	208,0	24/03/2009	1,0	137,0	62,3	26,0	258,0
P5 – 5ª SÉRIE AMOSTRAL	23/04/2008	**N.A.**	**N.A.**	24,0	19,0	107,0	271,0	31/03/2009	1,0	65,0	16,0	98,0	315,0
P5 – 6ª SÉRIE AMOSTRAL	30/04/2008	**N.A.**	**N.A.**	170,0	169,0	19,0	270,0	06/04/2009	1,0	88,0	16,4	25,0	317,0
	Valor Médio	**N.A.**	**N.A.**	53,7	51,0	76,5	267,8	**Valor Médio**	1,5	96,7	33,85	47,2	241,5
	Valor Mínimo	**N.A.**	**N.A.**	6,0	16,0	8,0	33,0	**Valor Mínimo**	1,0	30,5	5,1	10,0	152,0
	Valor Máximo	**N.A.**	**N.A.**	170,0	169,0	227,0	533,0	**Valor Máximo**	4,0	209	72,3	98,0	317,0

OBS.: N.A. – NÃO ANALISADO

6.4.6_Análise dos Resultados – Coliformes Totais

As Tabelas 78 a 80 apresentam os valores médios, mínimos e máximos medidos para os coliformes totais em cada série amostral e para cada tipo de cobertura nos Ponto 1, 3 e 5, com os seus respectivos índices de precipitação.

Os resultados de coliformes totais demonstraram mais uma vez a superioridade dos telhados metálicos em termos de menor contaminação microbiológica, comparativamente a outros tipos de telhados, incluindo o Telhado Tetra Pak e a CVL, e já comprovada pelos estudos de THOMAS (2001), citado em TOMAZ (2003).

E não somente o grau de contaminação para a cobertura metálica de zinco é menor que as demais coberturas estudadas, mas o decaimento dos valores de coliformes totais ao longo das 6 séries amostrais verifica-se ser mais acentuado, demonstrando a eficiência do escoamento sobre este tipo de superfície metálica, na remoção de microrganismos, e o efeito da radiação solar e aquecimento gerado neste tipo de cobertura, e mesmo a despeito dos intervalos entre as precipitações ocorridas, especialmente no Ponto 1 (P1), e para os índices de precipitação $\mathbf{I_{máx}/P_t}$.

A CVL novamente superou o Telhado Tetra Pak nos valores de coliformes totais medidos, apresentando aparentemente uma tendência à manutenção dos níveis de contaminação próximos em todas as séries amostrais, bem como em todos os pontos de amostragem (Pontos 1, 3 e 5), bem como apresentando como característica intervalos de valores mais amplos que as duas outras coberturas, tomando como base a diferença entre valores máximos e mínimos obtidos, sendo portanto, em termos de contaminação microbiológica, a menos apropriada para uso entre as três coberturas analisadas.

Cabe ressaltar o alto índice de contaminação por coliformes totais obtido para estas águas pluviais, atingindo valores para a CVL da ordem de $4{,}0 \times 10^5$ a $5{,}0 \times 10^5$, nos três pontos de amostragem (Pontos 1, 3 e 5), comparáveis ao esgoto sanitário tratado à saída da fossa séptica biodigestora. Por outro lado, para o Telhado de Zinco, houve um decaimento de 10 vezes do Ponto 3 (P3) para o Ponto 5 (P5), comprovando também a superioridade dos telhados metálicos em termos de uma menor contaminação microbiológica.

Foi possível observar um decaimento dos coliformes totais, ainda que discreto, do Ponto 1 (P1) para o Ponto 5 (P5), para a maioria dos valores de ambos os telhados.

Tabela 78 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para Coliformes Totais em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 1 (P1).

PONTO	**DATA DA AMOSTRAGEM**	Coliformes Totais Telhado Tetra Pak	Coliformes Totais CVL	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**	**DATA DA AMOSTRAGEM**	Coliformes Totais Telhado de Zinco	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**
P1 – 1ª SÉRIE AMOSTRAL	20/02/2008	$7,1 \times 10^4$	$1,8 \times 10^4$	6,0	16,0	8,0	33,0	05/03/2009	$6,2 \times 10^4$	30,5	5,1	10,0	179,0
P1- 2ª SÉRIE AMOSTRAL	12/03/2008	$4,7 \times 10^4$	$5,9 \times 10^3$	30,0	36,0	227,0	292,0	10/03/2009	$2,5 \times 10^4$	50,8	31,0	29,0	152,0
P1 – 3ª SÉRIE AMOSTRAL	09/04/2008	$1,2 \times 10^5$	$9,2 \times 10^4$	38,0	22,0	64,0	533,0	11/03/2009	$3,2 \times 10^4$	209,0	72,3	95,0	228,0
P2 – 4ª SÉRIE AMOSTRAL	14/04/2008	$1,3 \times 10^5$	$7,6 \times 10^4$	54,0	44,0	34,0	208,0	24/03/2009	$3,0 \times 10^3$	137,0	62,3	26,0	258,0
P1 – 5ª SÉRIE AMOSTRAL	23/04/2008	$1,3 \times 10^5$	$4,8 \times 10^5$	24,0	19,0	107,0	271,0	31/03/2009	$4,8 \times 10^2$	65,0	16,0	98,0	315,0
P1 – 6ª SÉRIE AMOSTRAL	30/04/2008	----------	----------	170,0	169,0	19,0	270,0	06/04/2009	$1,6 \times 10^4$	88,0	16,4	25,0	317,0
	Valor Médio	$1, 0 \times 10^5$	$1,3 \times 10^5$	53,7	51,0	76,5	267,8	**Valor Médio**	$2,3 \times 10^4$	96,7	33,85	47,2	241,5
	Valor Mínimo	$4,7 \times 10^4$	$5,9 \times 10^3$	6,0	16,0	8,0	33,0	**Valor Mínimo**	$4,8 \times 10^2$	30,5	5,1	10,0	152,0
	Valor Máximo	$1,3 \times 10^5$	$4,8 \times 10^5$	170,0	169,0	227,0	533,0	**Valor Máximo**	$6,2 \times 10^4$	209	72,3	98,0	317,0

Tabela 79 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para Coliformes Totais em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 3 (P3).

PONTO	**DATA DA AMOSTRAGEM**	Coliformes Totais Telhado Tetra Pak	Coliformes Totais CVL	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**	**DATA DA AMOSTRAGEM**	Coliformes Totais Telhado de Zinco	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**
P3- 2ª SÉRIE AMOSTRAL	12/03/2008	$1,2 \times 10^4$	$5,7 \times 10^3$	30,0	36,0	227,0	292,0	10/03/2009	$1,5 \times 10^5$	50,8	31,0	29,0	152,0
P3 – 3ª SÉRIE AMOSTRAL	09/04/2008	$1,1 \times 10^5$	$8,3 \times 10^4$	38,0	22,0	64,0	533,0	11/03/2009	$3,1 \times 10^3$	209,0	72,3	95,0	228,0
P4 – 4ª SÉRIE AMOSTRAL	14/04/2008	$9,7 \times 10^4$	$5,0 \times 10^5$	54,0	44,0	34,0	208,0	24/03/2009	$7,0 \times 10^3$	137,0	62,3	26,0	258,0
P3 – 6ª SÉRIE AMOSTRAL	30/04/2008	----------	----------	170,0	169,0	19,0	270,0	06/04/2009	$1,2 \times 10^5$	88,0	16,4	25,0	317,0
	Valor Médio	$7,2 \times 10^4$	$2,0 \times 10^5$	53,7	51,0	76,5	267,8	**Valor Médio**	$7,0 \times 10^4$	96,7	33,85	47,2	241,5
	Valor Mínimo	$1,2 \times 10^4$	$5,7 \times 10^3$	6,0	16,0	8,0	33,0	**Valor Mínimo**	$3,1 \times 10^3$	30,5	5,1	10,0	152,0
	Valor Máximo	$1,1 \times 10^5$	$5,0 \times 10^5$	170,0	169,0	227,0	533,0	**Valor Máximo**	$1,5 \times 10^5$	209	72,3	98,0	317,0

Tabela 80 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para Coliformes Totais em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 5 (P5).

PONTO	**DATA DA AMOSTRAGEM**	Coliformes Totais Telhado Tetra Pak	Coliformes Totais CVL	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**	**DATA DA AMOSTRAGEM**	Coliformes Totais Telhado de Zinco	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**
P5 – 1ª SÉRIE AMOSTRAL	20/02/2008	$3,2 \times 10^4$	$2,3 \times 10^4$	6,0	16,0	8,0	33,0	05/03/2009	$1,0 \times 10^4$	30,5	5,1	10,0	179,0
P5- 2ª SÉRIE AMOSTRAL	12/03/2008	$1,0 \times 10^4$	$5,0 \times 10^3$	30,0	36,0	227,0	292,0	10/03/2009	$6,2 \times 10^2$	50,8	31,0	29,0	152,0
P5 – 3ª SÉRIE AMOSTRAL	09/04/2008	$8,3 \times 10^4$	$7,4 \times 10^4$	38,0	22,0	64,0	533,0	11/03/2009	$1,1 \times 10^3$	209,0	72,3	95,0	228,0
P6 – 4ª SÉRIE AMOSTRAL	14/04/2008	$6,0 \times 10^4$	$4,0 \times 10^5$	54,0	44,0	34,0	208,0	24/03/2009	$3,0 \times 10^2$	137,0	62,3	26,0	258,0
P5 – 5ª SÉRIE AMOSTRAL	23/04/2008	$3,7 \times 10^4$	$4,2 \times 10^5$	24,0	19,0	107,0	271,0	31/03/2009	$9,0 \times 10^3$	65,0	16,0	98,0	315,0
P5 – 6ª SÉRIE AMOSTRAL	30/04/2008	----------	----------	170,0	169,0	19,0	270,0	06/04/2009	$1,5 \times 10^4$	88,0	16,4	25,0	317,0
	Valor Médio	$4,4 \times 10^4$	$1,8 \times 10^5$	53,7	51,0	76,5	267,8	**Valor Médio**	$6,1 \times 10^3$	96,7	33,85	47,2	241,5
	Valor Mínimo	$1,0 \times 10^4$	$5,0 \times 10^3$	6,0	16,0	8,0	33,0	**Valor Mínimo**	$3,0 \times 10^2$	30,5	5,1	10,0	152,0
	Valor Máximo	$8,3 \times 10^4$	$4,2 \times 10^5$	170,0	169,0	227,0	533,0	**Valor Máximo**	$1,5 \times 10^4$	209	72,3	98,0	317,0

6.4.7_Análise dos Resultados – Cor

Com relação aos resultados de cor para as águas pluviais, pôde-se observar:

a) A predominância quantitativa dos valores da CVL sobre o Telhado Tetra Pak e o Telhado de Zinco (com valores para a CVL muito superiores aos demais telhados), a exemplo de variáveis anteriormente analisadas, ressaltando-se a qualidade superior da água pluvial escoada no Telhado de Zinco, o que resultou na seguinte relação (Tabelas 81 a 83):

$$\textbf{Cor}_{\textbf{CVL}} > \textbf{Cor}_{\textbf{Telhado Tetra Pak}} > \textbf{Cor}_{\textbf{Telhado de Zinco}}$$

b) Não ocorreu uma correlação de proporcionalidade direta entre os parâmetros de precipitação e a cor para os eventos de precipitação em geral, a exemplo de outras variáveis até aqui analisadas, com possível exceção para as seguintes situações:

b.1) O valor de cor para a CVL na 6ª Série Amostral - Ponto 1 (P1) foi o mais elevado, ao que parece em decorrência da elevação dos valores dos índices de precipitação $\mathbf{I_{máx}}$ **e** $\mathbf{P_t}$ (respectivamente 170,0 mm/h e 169,0 mm), ;

c) Uma nítida tendência de queda dos valores do Ponto 1 (P1) para o Ponto 5 (P5) (P1:56,0 – P3: 21,0 – P5: 16,0) na 6ª Série Amostral (30.04.08), do Telhado Tetra Pak;

d) Para o Telhado de Zinco, observou-se:

d.1) Apenas no Ponto 1 (P1), houve um decaimento dos valores de cor mais uniforme e progressivo, enquanto que para os demais telhados, houve uma variação maior e mais desigual entre as séries amostrais, especialmente para a CVL, que apresentou uma tendência de elevação espaço-temporal (ao longo dos pontos de amostragem e das séries amostrais);

d.2) Na 3ª e 4ª Séries Amostrais, apesar dos baixos valores de cor, houve ainda uma tendência de diminuição espacial dos mesmos (ao longo dos pontos 1, 3 e 5);

d.3) Ocorreu uma redução de valores médios do Ponto 1 (P1) para o Ponto 5 (P5);

e) Os valores para o Telhado Tetra Pak comparados ao Telhado de Zinco foram mais próximos, porém o Telhado de Zinco ainda apresentou melhor qualidade para a água resultante do escoamento.

Tabela 81 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para a Cor em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 1 (P1).

PONTO	**DATA DA AMOSTRAGEM**	Cor Telhado Tetra Pak	Cor CVL	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**	**DATA DA AMOSTRAGEM**	Cor Telhado de Zinco	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**
P1 – 1ª SÉRIE AMOSTRAL	20/02/2008	8,0	97,0	6,0	16,0	8,0	33,0	05/03/2009	38,0	30,5	5,1	10,0	179,0
P1- 2ª SÉRIE AMOSTRAL	12/03/2008	10,0	46,0	30,0	36,0	227,0	292,0	10/03/2009	19,0	50,8	31,0	29,0	152,0
P1 – 3ª SÉRIE AMOSTRAL	09/04/2008	42,0	149,0	38,0	22,0	64,0	533,0	11/03/2009	7,0	209,0	72,3	95,0	228,0
P2 – 4ª SÉRIE AMOSTRAL	14/04/2008	7,0	87,0	54,0	44,0	34,0	208,0	24/03/2009	5,0	137,0	62,3	26,0	258,0
P1 – 5ª SÉRIE AMOSTRAL	23/04/2008	15,0	169,0	24,0	19,0	107,0	271,0	31/03/2009	1,0	65,0	16,0	98,0	315,0
P1 – 6ª SÉRIE AMOSTRAL	30/04/2008	56,0	376,0	170,0	169,0	19,0	270,0	06/04/2009	10,0	88,0	16,4	25,0	317,0
	Valor Médio	23,0	154,0	53,7	51,0	76,5	267,8	**Valor Médio**	13,3	96,7	33,85	47,2	241,5
	Valor Mínimo	7,0	46,0	6,0	16,0	8,0	33,0	**Valor Mínimo**	1,0	30,5	5,1	10,0	152,0
	Valor Máximo	56,0	376,0	170,0	169,0	227,0	533,0	**Valor Máximo**	38,0	209	72,3	98,0	317,0

Tabela 82 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para a Cor em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 3 (P3).

PONTO	**DATA DA AMOSTRAGEM**	Cor Telhado Tetra Pak	Cor CVL	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**	**DATA DA AMOSTRAGEM**	Cor Telhado de Zinco	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**
P3- 2ª SÉRIE AMOSTRAL	12/03/2008	11,0	37,0	30,0	36,0	227,0	292,0	10/03/2009	7,0	50,8	31,0	29,0	152,0
P3 – 3ª SÉRIE AMOSTRAL	09/04/2008	42,0	149,0	38,0	22,0	64,0	533,0	11/03/2009	5,0	209,0	72,3	95,0	228,0
P4 – 4ª SÉRIE AMOSTRAL	14/04/2008	9,0	107,0	54,0	44,0	34,0	208,0	24/03/2009	5,0	137,0	62,3	26,0	258,0
P3 – 6ª SÉRIE AMOSTRAL	30/04/2008	21,0	405,0	170,0	169,0	19,0	270,0	06/04/2009	12,0	88,0	16,4	25,0	317,0
	Valor Médio	20,7	174,0	53,7	51,0	76,5	267,8	**Valor Médio**	7,2	96,7	33,85	47,2	241,5
	Valor Mínimo	9,0	37,0	6,0	16,0	8,0	33,0	**Valor Mínimo**	5,0	30,5	5,1	10,0	152,0
	Valor Máximo	42,0	405,0	170,0	169,0	227,0	533,0	**Valor Máximo**	12,0	209	72,3	98,0	317,0

Tabela 83 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para a Cor em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 5 (P5).

PONTO	**DATA DA AMOSTRAGEM**	Cor Telhado Tetra Pak	Cor CVL	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**	**DATA DA AMOSTRAGEM**	Cor Telhado de Zinco	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**
P5 – 1ª SÉRIE AMOSTRAL	20/02/2008	14,0	95,0	6,0	16,0	8,0	33,0	05/03/2009	---	30,5	5,1	10,0	179,0
P5- 2ª SÉRIE AMOSTRAL	12/03/2008	10,0	37,0	30,0	36,0	227,0	292,0	10/03/2009	7,0	50,8	31,0	29,0	152,0
P5 – 3ª SÉRIE AMOSTRAL	09/04/2008	21,0	174,0	38,0	22,0	64,0	533,0	11/03/2009	4,0	209,0	72,3	95,0	228,0
P6 – 4ª SÉRIE AMOSTRAL	14/04/2008	7,0	113,0	54,0	44,0	34,0	208,0	24/03/2009	1,0	137,0	62,3	26,0	258,0
P5 – 5ª SÉRIE AMOSTRAL	23/04/2008	13,0	234,0	24,0	19,0	107,0	271,0	31/03/2009	2,0	65,0	16,0	98,0	315,0
P5 – 6ª SÉRIE AMOSTRAL	30/04/2008	16,0	390,0	170,0	169,0	19,0	270,0	06/04/2009	12,0	88,0	16,4	25,0	317,0
	Valor Médio	13,5	173,8	53,7	51,0	76,5	267,8	**Valor Médio**	5,2	96,7	33,85	47,2	241,5
	Valor Mínimo	7,0	37,0	6,0	16,0	8,0	33,0	**Valor Mínimo**	1,0	30,5	5,1	10,0	152,0
	Valor Máximo	21,0	390,0	170,0	169,0	227,0	533,0	**Valor Máximo**	12,0	209	72,3	98,0	317,0

6.4.8_Análise dos Resultados – *Escherichia coli*

Foi observado que:

a) Houve grande variação nos valores de *E. coli* para todas as séries amostrais dos telhados Tetra Pak e CVL, com a CVL superando em contaminação ao Telhado Tetra Pak na maioria das medições, exceto: no Ponto 1 (P1), na 2ª e 3ª Séries Amostrais; e Ponto 3 (P3) e Ponto 5 (P5), na 2ª Série Amostral (Tabelas 84 a 86); portanto, a relação entre os telhados foi estabelecida como:

$$\textit{E. coli}_{\text{CVL}} > \textit{E. coli}_{\text{Telhado Tetra Pak}} > \textit{E. coli}_{\text{Telhado de Zinco}}$$

b) Os níveis de contaminação por organismos coliformes fecais, de ambos os telhados (Tetra Pak e CVL), foram comparáveis ao esgoto sanitário tratado, à saída da fossa séptica biodigestora;

c) Por outro lado, o Telhado de Zinco apresentou o menor nível de presença e variação da contaminação fecal (embora os índices de precipitação também tenham apresentado grande variação para este telhado), possivelmente por sua natureza metálica, favorecendo a destruição de microrganismos em combinação com a radiação solar, bem como pela menor rugosidade do material, o que comprovou novamente a superioridade dos telhados metálicos em termos de uma menor contaminação microbiológica;

d) Os valores de *E. coli* para o Telhado Tetra Pak na 1ª Série Amostral nos pontos de amostragem 1 e 5 foram muito próximos, indicando possivelmente que pelo fato do $\mathbf{I_{max}}$ (intensidade máxima de precipitação) e a $\mathbf{P_t}$ (precipitação total) nesta série terem sido relativamente baixos (e mais baixos que o $\mathbf{I_{max}}$ e a $\mathbf{P_t}$ de todas as demais séries amostrais), não houve suficiente volume de água pluvial para arraste da matéria fecal sólida aderida à sua superfície (ou de toda a matéria sólida presente até então), o que mudou acentuadamente da 2ª Série Amostral em diante.

Tabela 84 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para *E. coli* em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 1 (P1).

PONTO	**DATA DA AMOSTRAGEM**	*E. coli* Telhado Tetra Pak	*E. coli* CVL	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**	**DATA DA AMOSTRAGEM**	*E. coli* Telhado de Zinco	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**
P1 – 1ª SÉRIE AMOSTRAL	20/02/2008	$2,1 \times 10^{1}$	$3,0 \times 10^{2}$	6,0	16,0	8,0	33,0	05/03/2009	Zero	30,5	5,1	10,0	179,0
P1- 2ª SÉRIE AMOSTRAL	12/03/2008	$1,5 \times 10^{4}$	$9,0 \times 10^{2}$	30,0	36,0	227,0	292,0	10/03/2009	Zero	50,8	31,0	29,0	152,0
P1 – 3ª SÉRIE AMOSTRAL	09/04/2008	$7,3 \times 10^{3}$	$3,7 \times 10^{3}$	38,0	22,0	64,0	533,0	11/03/2009	Zero	209,0	72,3	95,0	228,0
P2 – 4ª SÉRIE AMOSTRAL	14/04/2008	$2,2 \times 10^{2}$	$1,2 \times 10^{4}$	54,0	44,0	34,0	208,0	24/03/2009	Zero	137,0	62,3	26,0	258,0
P1 – 5ª SÉRIE AMOSTRAL	23/04/2008	$7,0 \times 10^{2}$	$2,6 \times 10^{3}$	24,0	19,0	107,0	271,0	31/03/2009	Zero	65,0	16,0	98,0	315,0
P1 – 6ª SÉRIE AMOSTRAL	30/04/2008	----	----	170,0	169,0	19,0	270,0	06/04/2009	Zero	88,0	16,4	25,0	317,0
	Valor Médio	$4,7 \times 10^{3}$	$3,9 \times 10^{3}$	53,7	51,0	76,5	267,8	**Valor Médio**	Zero	96,7	33,85	47,2	241,5
	Valor Mínimo	$2,1 \times 10^{1}$	$3,0 \times 10^{2}$	6,0	16,0	8,0	33,0	**Valor Mínimo**	Zero	30,5	5,1	10,0	152,0
	Valor Máximo	$1,5 \times 10^{4}$	$1,2 \times 10^{4}$	170,0	169,0	227,0	533,0	**Valor Máximo**	Zero	209	72,3	98,0	317,0

Tabela 85 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para *E. coli* em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 3 (P3).

PONTO	**DATA DA AMOSTRAGEM**	*E. coli* Tetra Pak	*E. coli* CVL	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**	**DATA DA AMOSTRAGEM**	*E. coli* Telhado de Zinco	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**
P3- 2ª SÉRIE AMOSTRAL	12/03/2008	$2,8 \times 10^{3}$	$9,0 \times 10^{2}$	30,0	36,0	227,0	292,0	10/03/2009	Zero	50,8	31,0	29,0	152,0
P3 – 3ª SÉRIE AMOSTRAL	09/04/2008	$8,1 \times 10^{3}$	$9,6 \times 10^{3}$	38,0	22,0	64,0	533,0	11/03/2009	Zero	209,0	72,3	95,0	228,0
P4 – 4ª SÉRIE AMOSTRAL	14/04/2008	$2,7 \times 10^{2}$	$2,1 \times 10^{4}$	54,0	44,0	34,0	208,0	24/03/2009	Zero	137,0	62,3	26,0	258,0
P3 – 6ª SÉRIE AMOSTRAL	30/04/2008	----	----	170,0	169,0	19,0	270,0	06/04/2009	$1,0 \times 10^{2}$	88,0	16,4	25,0	317,0
	Valor Médio	$3,7 \times 10^{3}$	$1,0 \times 10^{4}$	53,7	51,0	76,5	267,8	**Valor Médio**		96,7	33,85	47,2	241,5
	Valor Mínimo	$2,7 \times 10^{2}$	$9,0 \times 10^{2}$	6,0	16,0	8,0	33,0	**Valor Mínimo**	$2,5 \times 10^{1}$	30,5	5,1	10,0	152,0
	Valor Máximo	$8,1 \times 10^{3}$	$2,1 \times 10^{4}$	170,0	169,0	227,0	533,0	**Valor Máximo**	$1,0 \times 10^{2}$	209	72,3	98,0	317,0

Tabela 86 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para *E. coli* em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 5 (P5).

PONTO	**DATA DA AMOSTRAGEM**	*E. coli* Tetra Pak	*E. coli* CVL	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**	**DATA DA AMOSTRAGEM**	*E. coli* Telhado de Zinco	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**
P5 – 1ª SÉRIE AMOSTRAL	20/02/2008	$1,9 \times 10^{1}$	$4,0 \times 10^{2}$	6,0	16,0	8,0	33,0	05/03/2009	Zero	30,5	5,1	10,0	179,0
P5- 2ª SÉRIE AMOSTRAL	12/03/2008	$2,1 \times 10^{3}$	$5,0 \times 10^{2}$	30,0	36,0	227,0	292,0	10/03/2009	Zero	50,8	31,0	29,0	152,0
P5 – 3ª SÉRIE AMOSTRAL	09/04/2008	$1,0 \times 10^{4}$	$1,2 \times 10^{4}$	38,0	22,0	64,0	533,0	11/03/2009	Zero	209,0	72,3	95,0	228,0
P6 – 4ª SÉRIE AMOSTRAL	14/04/2008	$2,5 \times 10^{2}$	$2,4 \times 10^{4}$	54,0	44,0	34,0	208,0	24/03/2009	Zero	137,0	62,3	26,0	258,0
P5 – 5ª SÉRIE AMOSTRAL	23/04/2008	$3,3 \times 10^{2}$	$1,1 \times 10^{3}$	24,0	19,0	107,0	271,0	31/03/2009	Zero	65,0	16,0	98,0	315,0
P5 – 6ª SÉRIE AMOSTRAL	30/04/2008	----	----	170,0	169,0	19,0	270,0	06/04/2009	$3,0 \times 10^{2}$	88,0	16,4	25,0	317,0
	Valor Médio	$2,6 \times 10^{3}$	$7,6 \times 10^{3}$	53,7	51,0	76,5	267,8	**Valor Médio**	$5,0 \times 10^{1}$	96,7	33,85	47,2	241,5
	Valor Mínimo	$1,9 \times 10^{1}$	$4,0 \times 10^{2}$	6,0	16,0	8,0	33,0	**Valor Mínimo**	Zero	30,5	5,1	10,0	152,0
	Valor Máximo	$1,0 \times 10^{4}$	$2,4 \times 10^{4}$	170,0	169,0	227,0	533,0	**Valor Máximo**	$3,0 \times 10^{2}$	209	72,3	98,0	317,0

6.4.9_Análise dos Resultados – Dureza Total

De acordo com as Tabelas 87 a 89, foi constatado que:

a) Para os valores de dureza total das águas pluviais, foi notado que novamente a CVL superou o Telhado Tetra Pak e o Telhado de Zinco, embora os valores para o Telhado Tetra Pak e o Telhado de Zinco tenham estado bastante próximos, sendo porém este último o que uma vez mais apresentou os menores valores, chegando mesmo a registrar dureza nula;

b) Não pareceu ter havido correlação direta entre os índices de precipitação e os valores de dureza total para os eventos de precipitação;

c) As águas pluviais escoadas nos três tipos de cobertura poderiam ser classificadas como moles, pois mesmo a CVL não ultrapassou os 50 mg/L, de acordo com RICHTER e NETTO (1995);

d) Do ponto de vista da saúde pública, não há objeções ao consumo de águas duras;

e) Para cada tipo de uso possível para estas águas pluviais, estudos posteriores se fazem necessários visando sua adequação.

Tabela 87 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para Dureza Total em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 1 (P1).

PONTO	**DATA DA AMOSTRAGEM**	Dureza Total Telhado Tetra Pak	Dureza Total CVL	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**	**DATA DA AMOSTRAGEM**	Dureza Total Telhado de Zinco	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**
P1 – 1ª SÉRIE AMOSTRAL	20/02/2008	2,8	25,2	6,0	16,0	8,0	33,0	05/03/2009	5,1	30,5	5,1	10,0	179,0
P1- 2ª SÉRIE AMOSTRAL	12/03/2008	2,0	38,8	30,0	36,0	227,0	292,0	10/03/2009	11,2	50,8	31,0	29,0	152,0
P1 – 3ª SÉRIE AMOSTRAL	09/04/2008	5,2	15,8	38,0	22,0	64,0	533,0	11/03/2009	3,1	209,0	72,3	95,0	228,0
P2 – 4ª SÉRIE AMOSTRAL	14/04/2008	2,0	16,4	54,0	44,0	34,0	208,0	24/03/2009	3,7	137,0	62,3	26,0	258,0
P1 – 5ª SÉRIE AMOSTRAL	23/04/2008	3,8	13,7	24,0	19,0	107,0	271,0	31/03/2009	2,5	65,0	16,0	98,0	315,0
P1 – 6ª SÉRIE AMOSTRAL	30/04/2008	11,1	18,6	170,0	169,0	19,0	270,0	06/04/2009	1,5	88,0	16,4	25,0	317,0
	Valor Médio	4,5	21,4	53,7	51,0	76,5	267,8	**Valor Médio**	4,5	96,7	33,85	47,2	241,5
	Valor Mínimo	2,0	13,7	6,0	16,0	8,0	33,0	**Valor Mínimo**	1,5	30,5	5,1	10,0	152,0
	Valor Máximo	11,1	38,8	170,0	169,0	227,0	533,0	**Valor Máximo**	11,2	209	72,3	98,0	317,0

Tabela 88 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para Dureza Total em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 3 (P3).

PONTO	**DATA DA AMOSTRAGEM**	Dureza Total Telhado Tetra Pak	Dureza Total CVL	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**	**DATA DA AMOSTRAGEM**	Dureza Total Telhado de Zinco	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**
P3- 2ª SÉRIE AMOSTRAL	12/03/2008	2,6	21,8	30,0	36,0	227,0	292,0	10/03/2009	4,1	50,8	31,0	29,0	152,0
P3 – 3ª SÉRIE AMOSTRAL	09/04/2008	5,0	11,9	38,0	22,0	64,0	533,0	11/03/2009	Zero	209,0	72,3	95,0	228,0
P4 – 4ª SÉRIE AMOSTRAL	14/04/2008	2,0	14,5	54,0	44,0	34,0	208,0	24/03/2009	4,1	137,0	62,3	26,0	258,0
P3 – 6ª SÉRIE AMOSTRAL	30/04/2008	5,4	23,0	170,0	169,0	19,0	270,0	06/04/2009	3,0	88,0	16,4	25,0	317,0
	Valor Médio	3,7	17,8	53,7	51,0	76,5	267,8	**Valor Médio**	2,8	96,7	33,85	47,2	241,5
	Valor Mínimo	2,0	11,9	6,0	16,0	8,0	33,0	**Valor Mínimo**	Zero	30,5	5,1	10,0	152,0
	Valor Máximo	5,4	23,0	170,0	169,0	227,0	533,0	**Valor Máximo**	4,1	209	72,3	98,0	317,0

Tabela 89 – Valores Médios, Mínimos e Máximos para Dureza Total em cada Série Amostral e para cada tipo de cobertura no Ponto 5 (P5).

PONTO	**DATA DA AMOSTRAGEM**	Dureza Total Telhado Tetra Pak	Dureza Total CVL	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**	**DATA DA AMOSTRAGEM**	Dureza Total Telhado de Zinco	**Imax (mm/h)**	**Pt (mm)**	**IPA 7d (mm)**	**IPA 28d (mm)**
P5 – 1ª SÉRIE AMOSTRAL	20/02/2008	2,4	23,0	6,0	16,0	8,0	33,0	05/03/2009	---	30,5	5,1	10,0	179,0
P5- 2ª SÉRIE AMOSTRAL	12/03/2008	3,4	47,3	30,0	36,0	227,0	292,0	10/03/2009	9,2	50,8	31,0	29,0	152,0
P5 – 3ª SÉRIE AMOSTRAL	09/04/2008	5,0	11,7	38,0	22,0	64,0	533,0	11/03/2009	Zero	209,0	72,3	95,0	228,0
P6 – 4ª SÉRIE AMOSTRAL	14/04/2008	2,0	11,3	54,0	44,0	34,0	208,0	24/03/2009	2,5	137,0	62,3	26,0	258,0
P5 – 5ª SÉRIE AMOSTRAL	23/04/2008	3,8	13,3	24,0	19,0	107,0	271,0	31/03/2009	2,5	65,0	16,0	98,0	315,0
P5 – 6ª SÉRIE AMOSTRAL	30/04/2008	3,8	20,0	170,0	169,0	19,0	270,0	06/04/2009	3,0	88,0	16,4	25,0	317,0
	Valor Médio	3,4	21,1	53,7	51,0	76,5	267,8	**Valor Médio**	3,4	96,7	33,85	47,2	241,5
	Valor Mínimo	2,0	11,3	6,0	16,0	8,0	33,0	**Valor Mínimo**	Zero	30,5	5,1	10,0	152,0
	Valor Máximo	5,0	20,0	170,0	169,0	227,0	533,0	**Valor Máximo**	9,2	209	72,3	98,0	317,0

6.5_Análise dos VMP's – Valores Máximos Permitidos – para as variáveis correlacionadas aos índices de precipitação

A Tabela 90 exibe os valores máximos permitidos (VMP's) para as variáveis de qualidade que foram correlacionadas aos índices de precipitação no Lote Experimental Peri-Urbano, visando verificar o atendimento aos mesmos por parte de das duas coberturas analisadas: Telhado Tetra Pak (TTP) e CVL, sendo que o valor médio foi calculado pela média das médias de cada ponto de amostragem (média de P1, P3 e P5), e o valores mínimos e máximos também foram considerados entre os três pontos de amostragem.

Notou-se que:

a) Para a turbidez, o TTP chegou a atender o VMP apenas para usos menos restritivos, de acordo com ABNT (2007), ANA (2005) – Classes 1 e 3, porém a CVL os extrapolou;

b) A cor foi extrapolada para ambos os telhados, mas a CVL superou o TTP;

c) A DQO e a condutividade, embora não tendo seus VMP's prescritos em nenhuma das normas, foram claramente mais elevadas para a CVL;

d) Em relação à dureza total, os valores para a CVL e o TTP ficaram muito abaixo do VMP prescrito por MS (2004), entretanto a CVL superou o TTP, sendo que o valor máximo do TTP esteve bastante próximo do valor mínimo para a CVL;

e) Quanto à contaminação microbiológica, novamente a CVL superou o TTP, embora o valor mínimo para os coliformes totais tenha sido menor para a CVL e não para o TTP, sendo que ambos os telhados superaram os VMP's prescritos;

f) Finalmente, os valores de sólidos totais para a CVL também superaram os do TTP, embora não tenha sido possível avaliar os VMP's, assim como para as variáveis DQO e condutividade.

Tabela 90 - Variáveis de qualidade e seus VMP's, comparados aos valores médios, mínimos e máximos obtidos para as águas pluviais.

VARIÁVEIS DE QUALIDADE DE ÁGUAS PLUVIAIS	UNIDADE	ANA (2005) CLASSE 1	ANA (2005) CLASSE 3	ABNT (2007)	MS (2004)	MÉDIA DOS VALORES - CVL	VALORES MÍNIMOS E MÁXIMOS - CVL	MÉDIA DOS VALORES – Tetra Pak	VALORES MÍNIMOS E MÁXIMOS - Tetra Pak
TURBIDEZ	(NTU)	< 2,0	< 5,0	**< 2,0 (< 5,0) [A]**	< 1,0	10,7	2,0 – 40,5	1,95	0,98 – 4,86
COR	(mg PtCl/L)	< 10	< 30	< 15,0	15,0	167,27	37,0 – 405,0	19,07	7,0 – 56,0
DEMANDA QUÍM ICA DE OXIGÊNIO	(mg O_2/L)	----	----	----	----	50,23	18,5 – 100,8	11,0	2,0 – 30,5
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO	(mg O_2/L)	< 10	< 20	----	----	---	---	----	----
CONDUTIVIDADE	mS/cm	----	----	----	----	60,90	37,7 – 110,5	12,75	4,31 – 32,2
DUREZA TOTAL	(mg/L)	----	----	----	500	20,10	11,3 – 38,8	3,87	2,0 – 11,1
COLIFORMES TOTAIS	(UFC/100 mL)	----	----	ND	ND	$1,7 \times 10^5$	$5,0 \times 10^3$ - $5,0 \times 10^5$	$7,2 \times 10^4$	$1,0 \times 10^4$- $1,3 \times 10^5$
E. COLI	(UFC/100 mL)	ND	≤ 200	ND	ND	$7,2 \times 10^3$	$3,0 \times 10^2$ – $2,4 \times 10^4$	$3,7 \times 10^3$	$1,9 \times 10^1$ – $1,5 \times 10^4$
SÓLIDOS TOTAIS	(mg/L)	----	----	----	----	200,03	76,0 – 657,0	109,9	Zero - 524,0

A – Turbidez menor que 2,0 NTU, porém para usos menos restritivos 5,0 NTU

6.6_Análise dos Pontos 6 e 7 do SAP do Lote Experimental Peri-Urbano

A análise dos valores das variáveis de qualidade para as águas pluviais nos Pontos 6 e 7, que são, respectivamente: tanque de *first-flush* (volume: 310 litros) e tanque de armazenamento final (volume: 6000 litros) do SAP do Lote Experimental Peri-Urbano (Tabelas 62 a 89), demonstrou que:

a) Para os valores de: pH e oxigênio dissolvido, não houve alteração significativa;
b) Para os valores de turbidez, parece ter havido tendência de elevação no Ponto 6 (possivelmente por acúmulo de sólidos em suspensão), com posterior decréscimo no Ponto 7 (por efeito de diluição em um grande volume), considerando principalmente os valores médios e mínimos, mas também os máximos;
c) Para os valores de cor, baseado nos valores médios e máximos, houve aumento no Ponto 6, com posterior decréscimo no Ponto 7;
d) Quanto à condutividade, parece ter ocorrido certa variação dos Pontos 1 a 5, e depois uma tendência geral de aumento para o Ponto 6, seguida de um novo aumento no Ponto 7, indicando a elevação progressiva do teor de sólidos totais dissolvidos nestes pontos de armazenamento do sistema de águas pluviais;
e) Os cloretos exibiram tendência de elevação especialmente no Ponto 7, e menor no Ponto 6;
f) Tanto a dureza total, como a DBO e a DQO apresentaram oscilação espacial acentuada, porém não parecendo indicar acúmulo nestes pontos;
g) Para a série nitrogenada, os valores de NTK permaneceram num patamar comum (< 1,0 mg/L), enquanto para o nitrogênio amoniacal houve uma tendência de acumulação maior no Ponto 6, seguida do Ponto 7, invertendo-se para o nitrogênio nitrato (acúmulo maior no ponto 7 e depois no Ponto 6, considerando-se as médias, e acúmulo maior no Ponto 7, considerando-se os valores mínimos e máximos), para, finalmente, tender ao acúmulo para o nitrogênio nitrito nos Pontos 6 e 7, progressivamente, considerando-se os valores médios e máximos. Conclui-se que houve a presença de substâncias poluentes em diferentes estágios de degradação, mas com acumulação acentuada nesses dois pontos de armazenamento das águas pluviais;
h) Também os teores de fosfato total deram evidências de acúmulo, especialmente no Ponto 6, considerando-se os valores máximos e médios, e no Ponto 7, considerados os valores mínimos;

i) Os coliformes totais sofreram maior acúmulo no Ponto 6 (tendo em vista os valores médios e máximos), mas também no Ponto 7 (com base nos valores máximos), enquanto que os coliformes fecais exibiram um número maior também no Ponto 6, mas não foram detectados no Ponto 7;

j) Os sólidos totais e sólidos totais voláteis apresentaram-se em maior teor no Ponto 6, a partir da análise dos valores máximos, da mesma forma que os sólidos dissolvidos totais (confirmando a análise para a condutividade) e sólidos dissolvidos voláteis, para depois virem a decair um pouco no Ponto 7.

6.7_Análise Estimativa das Cargas Poluentes Aplicadas e Seu Potencial de Retenção/Remoção no SAP do Lote Experimental Peri-Urbano

Tomando-se em consideração os valores máximos de concentração para as variáveis de qualidade: DBO, DQO, sólidos totais, série nitrogenada e fosfato total, as Tabelas 91 a 94 apresentam uma análise das cargas poluentes aplicadas e seu potencial de retenção/remoção no SAP do Lote Experimental Peri-Urbano, baseada no volume diário precipitado registrado para o referido sistema em cada série amostral.

Para tanto, foi estabelecido o valor do coeficiente de *runoff* (ou coeficiente de escoamento superficial direto, equivalente à parcela de água que escoa superficialmente) para o Telhado de Zinco, cujo valor é de 0,8 (TOMAZ, 2003), para uma área de captação de cerca de 14,375 m^2.

A partir do coeficiente de *runoff*, foi calculado o volume de água com potencial para ser captado no Lote Experimental Peri-Urbano, a partir da equação abaixo:

$$\mathbf{V_p = (C.A.P) \div 1000}, \text{ onde:}$$

$\mathbf{V_p}$ = volume de precipitação diária (m^3);
C = coeficiente de escoamento superficial direto ou coeficiente de *runoff* (adimensional) – 0,8;
A = área de captação para o Telhado de Zinco (m^2) – 14, 375 m^2;
P = precipitação diária, ou $\mathbf{P_t}$ (precipitação diária total), em mm para cada série amostral.

Obtidos estes valores, foi calculado em seguida o valor das cargas poluentes aplicadas à entrada do SAP – Ponto 1, e cargas poluentes à sua saída – Ponto 7, para cada série amostral, através da relação:

$$\mathbf{C' = (X \cdot V_p) \div 1000}\text{, onde:}$$

C' = Carga do poluente (em kg/dia); **X** = Concentração do poluente (em kg/m^3); $\mathbf{V_p}$ = volume de precipitação diária (em m^3).

E finalmente, de acordo com a diferença entre ambas (entrada e saída do SAP – Ponto 1 e Ponto 7), foi calculada a eficiência de retenção/remoção de cada poluente em função de suas cargas.

Pôde ser observado que (Tabelas 91 a 94):

a) Ocorreu grande variação espaço-temporal nas concentrações dos poluentes e nas vazões das águas pluviais captadas, o que teria correspondido a grandes variações nas eficiências de remoção das cargas poluentes;

b) As variações nas eficiências de remoção das cargas poluentes não pareceram ser proporcionais às magnitudes das vazões pluviais captadas, assim como quando as variáveis de qualidade foram analisadas anteriormente em termos de concentrações;

c) Para a DQO as eficiências de remoção foram bastante inferiores à DBO, embora ambas apresentassem baixos valores, podendo indicar um conteúdo menor de matéria orgânica decomponível em contrapartida à presença de componentes inorgânicos degradáveis tais como compostos organometálicos à base de zinco, por exemplo, entre outros metais;

d) A remoção de sólidos totais apresentou índices mais elevados, no entanto faz-se recomendável a adoção de tratamentos complementares (filtração, por exemplo);

e) A remoção dos macronutrientes nitrogênio e fósforo foi caracterizada pela irregularidade e baixos níveis para a maior parte das frações nitrogenadas, sendo que aparentemente houve certo grau de conversão de nitrogênio amoniacal a nitrato, o qual permaneceu no SAP, sem sofrer posterior transformação. Isso sugere a necessidade de pós-tratamento, dependendo dos níveis atingíveis;

f) Por outro lado, o fosfato total permaneceu inalterado em sua passagem pelo SAP, o que sugere uma vez mais a necessidade de pós-tratamento, dependendo dos níveis potenciais de contaminação das águas pluviais.

Considerando-se os apenas os volumes de armazenamento de águas pluviais no Lote Experimental Peri-Urbano, são apresentados na Tabela 95 alguns valores, para efeito de estimativa de sua capacidade de retenção no mesmo de acordo com a necessidade de seus usuários.

Tabela 91 - Variáveis de qualidade DQO e DBO, com suas cargas poluentes e eficiências de retenção/remoção nas 6 séries amostrais das águas pluviais.

DQO Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1 (mg/L)	Ponto 7 (mg/L)	C' ENTRADA (P1) (Kg/dia)	C' SAÍDA (P7) (Kg/dia)	EFICIÊNCIA DE RETENÇÃO/ REMOÇÃO (%)	**DBO** Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1 (mg/L)	Ponto 7 (mg/L)	C' ENTRADA (P1) (Kg/dia)	C' SAÍDA (P7) (Kg/dia)	EFICIÊNCIA DE RETENÇÃO/ REMOÇÃO (%)
Primeira Série	19,0	14,0	$1,11435 \times 10^{-3}$	$8,211 \times 10^{-4}$	26,32	**Primeira Série**	6,1	1,4	$3,58 \times 10^{-4}$	$8,2 \times 10^{-5}$	77,05
Segunda Série	22,0	14,0	$7,843 \times 10^{-3}$	$4,991 \times 10^{-3}$	36,36	**Segunda Série**	2,5	< 1,0	$8,91 \times 10^{-4}$	$3,56 \times 10^{-4}$	60,00
Terceira Série	17,0	15,0	$1,413465 \times 10^{-2}$	$1,247175 \times 10^{-2}$	11,76	**Terceira Série**	2,6	< 1,0	$2,162 \times 10^{-3}$	$8,31 \times 10^{-4}$	61,54
Quarta Série	----	15,0	-----	$1,074675 \times 10^{-2}$	-----	**Quarta Série**	----	< 1,0	----	$7,16 \times 10^{-4}$	----
Quinta Série	5,2	5,0	$9,568 \times 10^{-4}$	$9,2 \times 10^{-4}$	3,85	**Quinta Série**	< 1,0	< 1,0	$1,84 \times 10^{-4}$	$1,84 \times 10^{-4}$	----
Sexta Série	20,0	21,0	$3,772 \times 10^{-3}$	$3,9606 \times 10^{-3}$	**- 5,00**	**Sexta Série**	< 1,0	< 1,0	$1,886 \times 10^{-4}$	$1,886 \times 10^{-4}$	----

Tabela 92 - Variáveis de qualidade sólidos totais e NTK, com suas cargas poluentes e eficiências de retenção/remoção nas 6 séries amostrais das águas pluviais.

Sólidos Totais Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1 (mg/L)	Ponto 7 (mg/L)	C' ENTRADA (P1) (Kg/dia)	C' SAÍDA (P7) (Kg/dia)	EFICIÊNCIA DE RETENÇÃO/ REMOÇÃO (%)	**NTK** Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1 (mg/L)	Ponto 7 (mg/L)	C' ENTRADA (P1) (Kg/dia)	C' SAÍDA (P7) (Kg/dia)	EFICIÊNCIA DE RETENÇÃO/ REMOÇÃO (%)
Primeira Série	229,0	99,0	$1,3431 \times 10^{-2}$	$5,806 \times 10^{-3}$	56,77	**Primeira Série**	< 1,0	< 1,0	$5,865 \times 10^{-5}$	$5,865 \times 10^{-5}$	----
Segunda Série	67,0	53,0	$2,3885 \times 10^{-2}$	$1,8894 \times 10^{-2}$	20,89	**Segunda Série**	< 1,0	< 1,0	$3,565 \times 10^{-4}$	$3,565 \times 10^{-4}$	----
Terceira Série	71,0	< 1,0	$5,9033 \times 10^{-2}$	$8,31 \times 10^{-4}$	98,59	**Terceira Série**	< 1,0	< 1,0	$8,3145 \times 10^{-4}$	$8,3145 \times 10^{-4}$	----
Quarta Série	----	7,6	----	$5,445 \times 10^{-3}$	----	**Quarta Série**	----	< 1,0	$7,1645 \times 10^{-4}$	$7,1645 \times 10^{-4}$	----
Quinta Série	19,6	< 1,0	$3,606 \times 10^{-3}$	$1,84 \times 10^{-4}$	94,90	**Quinta Série**	< 1,0	< 1,0	$1,84 \times 10^{-4}$	$1,84 \times 10^{-4}$	----
Sexta Série	< 1,0	< 1,0	$1,89 \times 10^{-4}$	$1,89 \times 10^{-4}$	----	**Sexta Série**	< 1,0	< 1,0	$1,886 \times 10^{-4}$	$1,886 \times 10^{-4}$	----

Tabela 93 - Variáveis de qualidade nitrogênio amoniacal e nitrogênio nitrato, com suas cargas poluentes e eficiências de retenção/remoção nas 6 séries amostrais das águas pluviais.

Nitrogênio Amoniacal Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1 (mg/L)	Ponto 7 (mg/L)	C' ENTRADA (P1) (Kg/dia)	C' SAÍDA (P7) (Kg/dia)	EFICIÊNCIA DE RETENÇÃO/ REMOÇÃO (%)	**Nitrogênio Nitrato** Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1 (mg/L)	Ponto 7 (mg/L)	C' ENTRADA (P1) (Kg/dia)	C' SAÍDA (P7) (Kg/dia)	EFICIÊNCIA DE RETENÇÃO/ REMOÇÃO (%)
Primeira Série	0,72	0,28	$4,2 \times 10^{-5}$	$1,6 \times 10^{-5}$	61,11	**Primeira Série**	0,1	0,079	$5,865 \times 10^{-6}$	$4,63335 \times 10^{-6}$	21,00
Segunda Série	0,12	0,13	$4,3 \times 10^{-5}$	$4,6 \times 10^{-5}$	**- 8,33**	**Segunda Série**	0,002	0,144	$7,13 \times 10^{-7}$	$5,1336 \times 10^{-5}$	**- 7100,00**
Terceira Série	0,04	0,14	$3,3 \times 10^{-5}$	$1,16 \times 10^{-4}$	**- 250,00**	**Terceira Série**	0,002	0,090	$1,6629 \times 10^{-6}$	$7,48305 \times 10^{-5}$	**- 4400,00**
Quarta Série	----	0,15	----	$1,07 \times 10^{-4}$	----	**Quarta Série**	----	0,123	----	$8,812335 \times 10^{-5}$	-----
Quinta Série	0,13	0,07	$2,4 \times 10^{-5}$	$1,3 \times 10^{-5}$	46,15	**Quinta Série**	0,168	0,510	$3,0912 \times 10^{-5}$	$9,384 \times 10^{-5}$	**- 203,57**
Sexta Série	0,24	0,11	$4,5 \times 10^{-5}$	$2,1 \times 10^{-5}$	54,17	**Sexta Série**	0,0374	0,4899	$7,05364 \times 10^{-6}$	$9,239514 \times 10^{-5}$	**- 1209,89**

Tabela 94 - Variáveis de qualidade nitrogênio nitrato e fosfato total, com suas cargas poluentes e eficiências de retenção/remoção nas 6 séries amostrais das águas pluviais.

Nitrogênio Nitrito Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1 (mg/L)	Ponto 7 (mg/L)	C' ENTRADA (P1) (Kg/dia)	C' SAÍDA (P7) (Kg/dia)	EFICIÊNCIA DE RETENÇÃO/ REMOÇÃO (%)	**Fosfato Total** Ponto de Amostragem // Série Amostral	Ponto 1 (mg/L)	Ponto 7 (mg/L)	C' ENTRADA (P1) (Kg/dia)	C' SAÍDA (P7) (Kg/dia)	EFICIÊNCIA DE RETENÇÃO/ REMOÇÃO (%)
Primeira Série	0,0231	0,0239	$1,355 \times 10^{-6}$	$1,402 \times 10^{-6}$	**- 3,46**	**Primeira Série**	0,1339	0,1339	$7,853 \times 10^{-6}$	$7,853 \times 10^{-6}$	-----
Segunda Série	0,0022	0,0044	$7,843 \times 10^{-7}$	$1,569 \times 10^{-6}$	**- 100,00**	**Segunda Série**	0,0833	0,0833	$2,970 \times 10^{-5}$	$2,970 \times 10^{-5}$	-----
Terceira Série	0,0022	0,0052	$1,829 \times 10^{-6}$	$4,323 \times 10^{-6}$	**- 136,36**	**Terceira Série**	0,0392	0,0392	$2,970 \times 10^{-5}$	$2,970 \times 10^{-5}$	-----
Quarta Série	----	0,0014	-----	$1,003 \times 10^{-6}$	-----	**Quarta Série**	----	----	-----	-----	-----
Quinta Série	0,0065	0,0012	$1,196 \times 10^{-6}$	$2,208 \times 10^{-7}$	81,54	**Quinta Série**	0,0639	0,0639	$2,970 \times 10^{-5}$	$2,970 \times 10^{-5}$	-----
Sexta Série	0,0060	0,0016	$1,132 \times 10^{-6}$	$3,018 \times 10^{-7}$	73,33	**Sexta Série**	0,0580	0,0580	$1,094 \times 10^{-5}$	$1,094 \times 10^{-5}$	-----

Tabela 95 - Potencial de armazenamento das águas pluviais para o SAP do Lote Experimental Peri-Urbano.

Série Amostral	P_t (mm)	V_p (m^3)	Arm_{Lote} (%)
Primeira Série	5,1	0,05865	0,93
Segunda Série	31,0	0,3565	5,66
Terceira Série	72,3	0,83145	13,20
Quarta Série	62,3	0,71645	11,37
Quinta Série	16,0	0,184	2,92
Sexta Série	16,4	0,1886	2,99

Pode ser percebido que existe um potencial de armazenamento de águas pluviais "ocioso" no SAP do Lote Experimental Peri-Urbano, bem mais elevado do que aquele que foi utilizado nesta pesquisa, uma vez que a vazão máxima captada para um único evento de precipitação ocupou apenas 13,2 % de sua capacidade total, que é de cerca de 6,3 m^3.

Dependendo da disponibilidade de espaço físico e também de recursos econômicos, um SAP poderia conter em sua configuração uma série de módulos conjugados seqüenciais para a captação de volumes cada vez maiores de águas pluviais, de acordo com as necessidades de utilização deste recurso por parte do usuário, especialmente industrial, bem como grandes condomínios.

6.8_Desinfecção por Ultravioleta através de LED's/DUV – Breve Descrição do Desenvolvimento dos Experimentos e Seus Resultados

Como forma de diminuir a contaminação microbiológica nos telhados, já verificada anteriormente nesta pesquisa, experimentos em laboratório e com o uso de uma unidade protótipo de desinfecção por ultravioleta foram desenvolvidos para águas pluviais coletadas do SAP do LAEG-1 (tanque de armazenamento final de volume 6 m^3, o qual recebe as águas pluviais captadas do Telhado Tetra Pak, construído a partir de telhas prensadas à base de embalagens de leite longa vida recicladas), sendo o padrão de avaliação da contaminação microbiológica o grupo coliforme (totais e fecais).

Os experimentos foram realizados em etapas que incluíram a determinação do protocolo experimental, planejamento dos ensaios em laboratório (utilizando a turbidez e condutividade como parâmetro de apoio nas medições) e ensaios com o protótipo (Figuras 72 a 74), sendo realizados inicialmente em fluxo contínuo e posteriormente em sistema de batelada. Também como forma de testar a viabilidade de maximizar o uso da tecnologia LED-DUV, foram realizados posteriormente

ensaios com peróxido de hidrogênio associado à radiação ultravioleta, cujos resultados são apresentados nas Tabelas 96 e 97.

Abaixo, seguem os resultados dos ensaios apenas com radiação ultravioleta, anteriores aos ensaios conjuntos ultravioleta-peróxido de hidrogênio. As Figuras 72 a 74 e 76 a 79 apresentam os esquemas do sistema de desinfecção em escala de bancada, bem como fotos. Além disso, é apresentado um layout sugestivo para a realização de experimentos com esgoto sanitário tratado na saída da fossa séptica biodigestora (FSB) do Lote Experimental Peri-Urbano (Figura 75), o qual foi proposto (mas não realizado) durante a pesquisa.

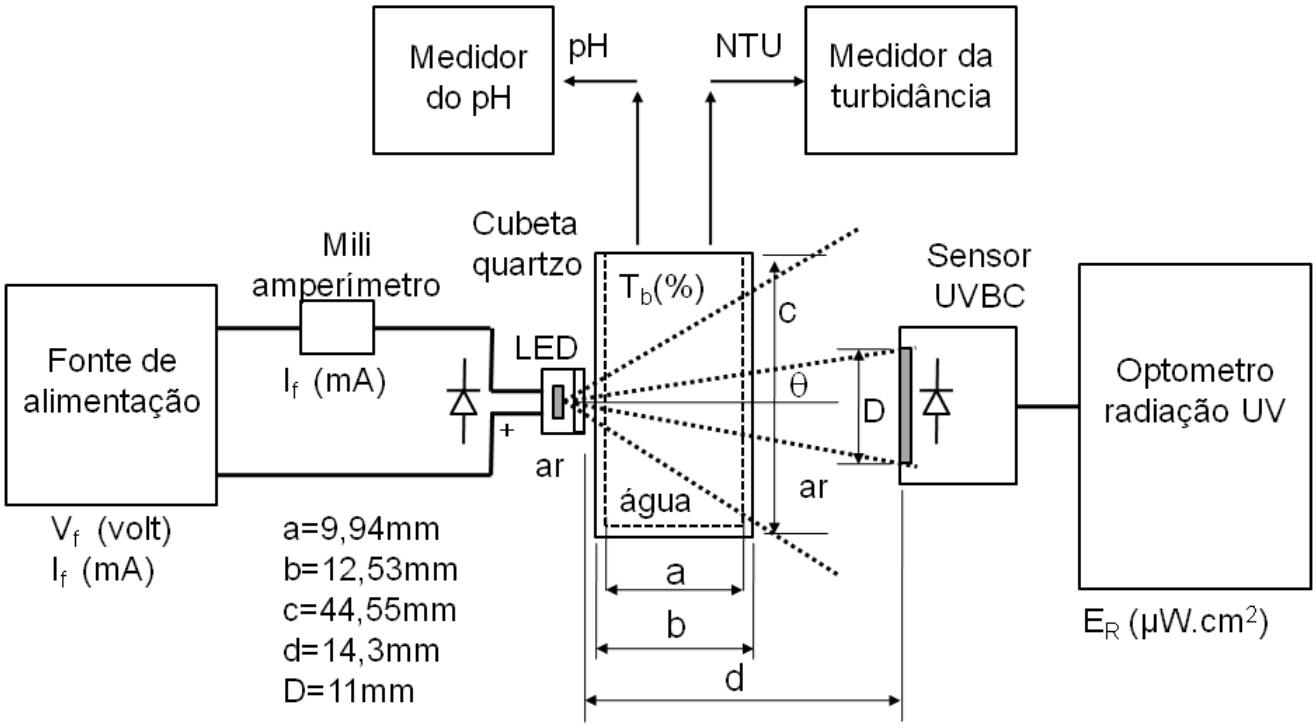


Figura 73 - Esquema do sistema de desinfecção LED-DUV em escala de bancada.

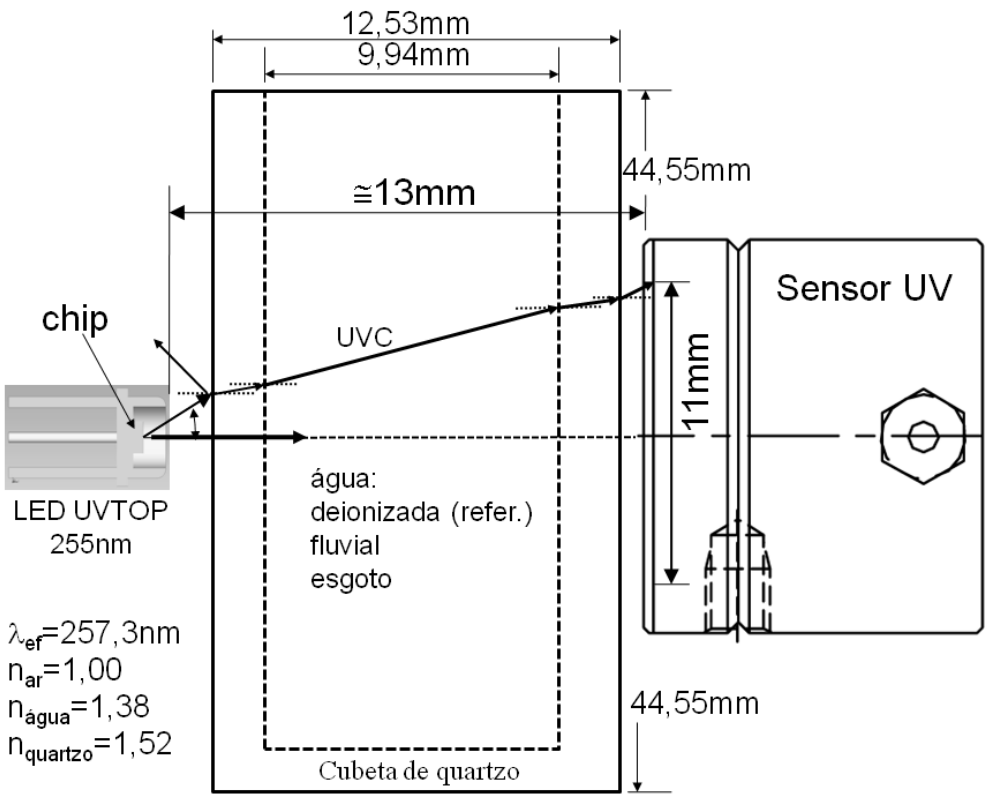


Figura 74 - Ilustração de detalhe da montagem do sistema de desinfecção LED-DUV em escala de bancada.

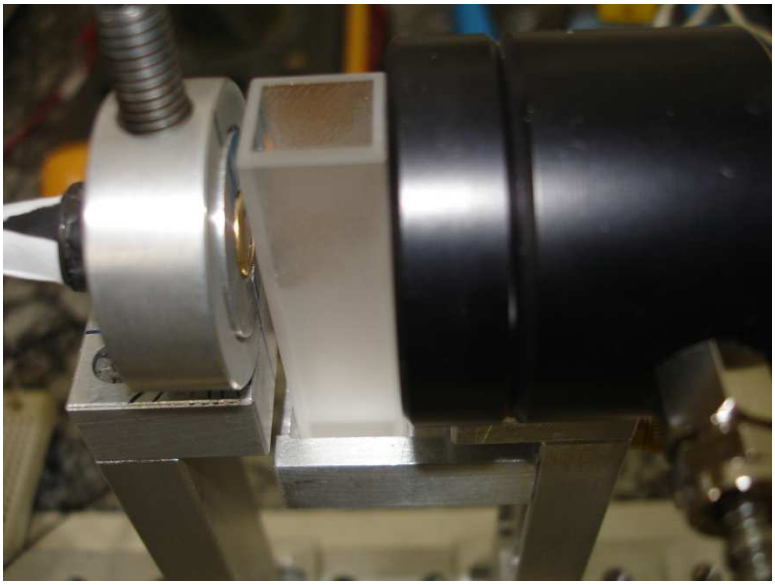


Figura 75 - Ilustração de detalhe da montagem do sistema de desinfecção LED-DUV em escala de bancada, mostrando a cubeta acoplado aos dispositivo de irradiação UV.

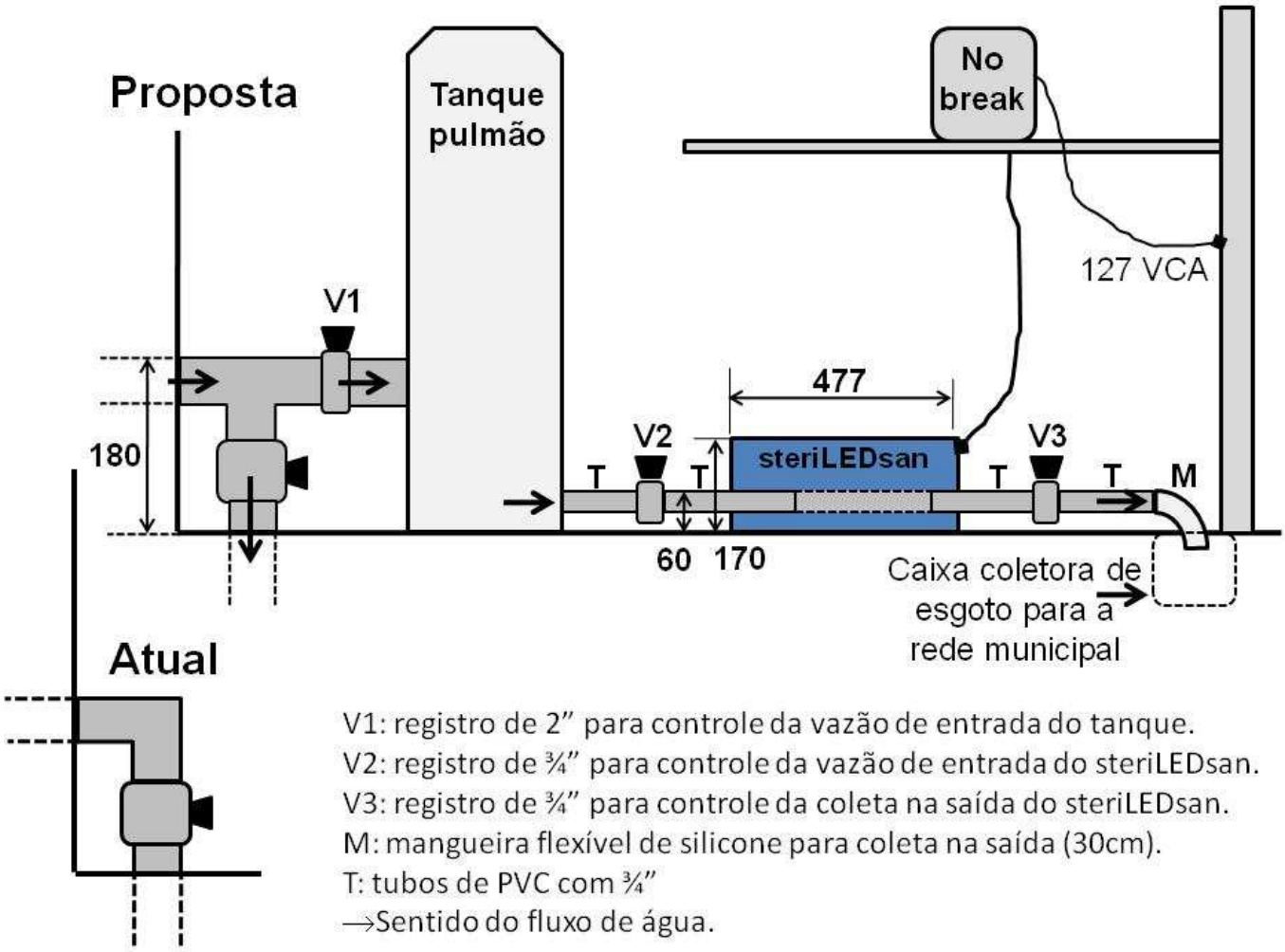
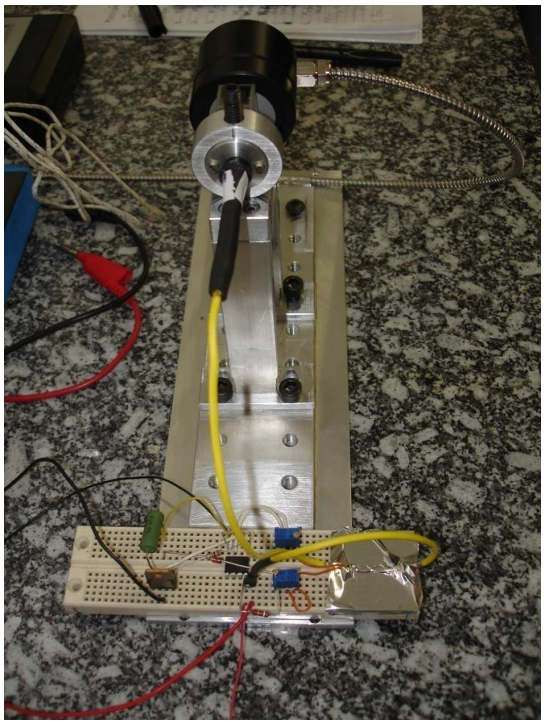


Figura 76 - Esquema sugestivo para a montagem de experimentos LED-DUV no Lote Experimental Peri-Urbano.

A partir do resumo dos experimentos realizados para batelada (ver adiante), pôde ser verificado que existe viabilidade de uso desta tecnologia para a desinfecção das águas pluviais geradas em um lote urbano ou peri-urbano, porém novos experimentos se fazem necessários visando aperfeiçoá-la, não somente para uso pluvial, mas com potencial também no reuso de esgoto sanitário tratado, a exemplo daquele gerado na fossa séptica biodigestora do Lote Experimental Peri-Urbano, cujo esquema sugestivo é apresentado na Figura 75.

Figura 77 - Ilustração de detalhe da montagem do sistema de desinfecção LED-DUV em escala de bancada, mostrando os aparelhos utilizados nas medições de turbidez.



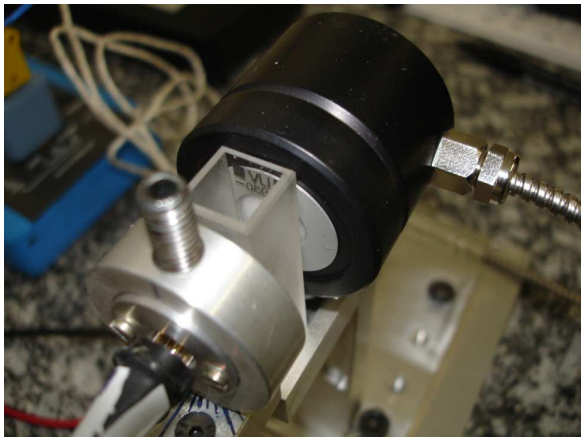


Figura 78 - Ilustração de detalhe da montagem do sistema de desinfecção LED-DUV em escala de bancada, mostrando os componentes utilizados na irradiação UV.

Figura 79 - Vista geral-1 da área de experimentos em escala de bancada para o sistema de desinfecção LED-DUV.

Figura 80 - Vista geral-2 da área de experimentos em escala de bancada para o sistema de desinfecção por ultravioleta.

Tabela 96 - Resultados dos ensaios conjuntos ultravioleta – peróxido de hidrogênio para a desinfecção de águas pluviais.

DATA DO TESTE	DATA DE LEITURA	DOSAGEM DE PERÓXIDO (mL)	UVA	UVC	CONTÍNUO (CW)	PULSADO (PWM)	Tempo de Exposição ao UV (min.)	Diluição (análise coliformes)	RESULTADOS Placa 1 e Placa 2 (Duplicata)	
									Placa 1	Placa 2
05.10.2010	06.10.2010	1,0	X		X		15	10^{-7}	nada	3,0 x 10^{7} (CT)
05.10.2010	06.10.2010	1,0	X		X		15	10^{-5}	2,0 x 10^{5} (CT)	3,0 x 10^{5} (CT)
05.10.2010	06.10.2010	1,0	X		X		15	10^{-3}	1,0 x 10^{3} (CT)	1,0 x 10^{3} (CT)
05.10.2010	06.10.2010	1,0		X	X		15	10^{-7}	1,0 x 10^{7} (CT)	1,0 x 10^{7} (CT)
05.10.2010	06.10.2010	1,0		X	X		15	10^{-5}	1,0 x 10^{5} (CT)	2,0 x 10^{5} (CT)
05.10.2010	06.10.2010	1,0		X	X		15	10^{-3}	nada	1,0 x 10^{3} (CT)
05.10.2010	06.10.2010	3,0	X		X		15	10^{-7}	1,0 x 10^{7} (CT)	1,0 x 10^{7} (CT)
05.10.2010	06.10.2010	3,0	X		X		15	10^{-5}	nada	1,0 x 10^{5} (CT)
05.10.2010	06.10.2010	3,0	X		X		15	10^{-3}	nada	nada
05.10.2010	06.10.2010	3,0		X	X		15	10^{-7}	nada	2,0 x 10^{7} (CT)
05.10.2010	06.10.2010	3,0		X	X		15	10^{-5}	1,0 x 10^{5} (**CF**)	1,0 x 10^{5} (CT)
05.10.2010	06.10.2010	3,0		X	X		15	10^{-3}	1,0 x 10^{3} (**CF**)	1,0 x 10^{3} (CT)
05.10.2010	06.10.2010	5,0	X		X		15	10^{-7}	nada	nada
05.10.2010	06.10.2010	5,0	X		X		15	10^{-5}	nada	nada
05.10.2010	06.10.2010	5,0	X		X		15	10^{-3}	nada	8,0 x 10^{3} (CT)
05.10.2010	06.10.2010	5,0		X	X		15	10^{-7}	nada	nada
05.10.2010	06.10.2010	5,0		X	X		15	10^{-5}	nada	1,0 x 10^{5} (CT)
05.10.2010	06.10.2010	5,0		X	X		15	10^{-3}	nada	1,0 x 10^{3} (CT)
06.10.2010	07.10.2010	1,0	X			X	10	10^{-7}	nada	nada
06.10.2010	07.10.2010	1,0	X			X	10	10^{-5}	nada	1,0 x 10^{5} (CT)
06.10.2010	07.10.2010	1,0	X			X	10	10^{-3}	nada	4,0 x 10^{3} (CT)
06.10.2010	07.10.2010	1,0		X		X	10	10^{-7}	nada	nada
06.10.2010	07.10.2010	1,0		X		X	10	10^{-5}	nada	nada
06.10.2010	07.10.2010	1,0		X		X	10	10^{-3}	nada	nada
06.10.2010	07.10.2010	---	---	---	---	---	---	10^{-7}	**BRUTA** - nada	**BRUTA** - nada
06.10.2010	07.10.2010	---	---	---	---	---	---	10^{-5}	**BRUTA** - nada	**BRUTA** - nada
06.10.2010	07.10.2010	---	---	---	---	---	---	10^{-3}	**BRUTA** - 4,0 x 10^{3} (CT)	**BRUTA** - 3,0 x 10^{3} (CT)

OBS.: CT – Coliformes Totais; CF - Coliformes Fecais.

Tabela 97 - Resultados dos ensaios conjuntos ultravioleta – peróxido de hidrogênio para a desinfecção de águas pluviais (continuação).

DATA DO TESTE	DATA DE LEITURA	DOSAGEM DE PERÓXIDO (mL)	UVA	UVC	CONTÍNUO (CW)	PULSADO (PWM)	Tempo de Exposição ao UV (min.)	Diluição (análise coliformes)	RESULTADOS Placa 1 e Placa 2 (Duplicata)	
									Placa 1	Placa 2
14.10.2010	15.10.2010	1,0		X	X		10	10^{-3}	nada	nada
14.10.2010	15.10.2010	3,0	X			X	10	10^{-5}	nada	nada
14.10.2010	15.10.2010	5,0		X		X	10	10^{-7}	nada	nada
14.10.2010	15.10.2010	1,0		X	X		10	10^{-5}	nada	nada
14.10.2010	15.10.2010	3,0	X			X	10	10^{-3}	nada	$2,0 \times 10^{3}$ (CT)
14.10.2010	15.10.2010	5,0	X			X	10	10^{-5}	nada	$1,0 \times 10^{5}$ (CT)
14.10.2010	15.10.2010	1,0	X		X		10	10^{-7}	nada	nada
14.10.2010	15.10.2010	1,0		X	X		10	10^{-7}	nada	$1,0 \times 10^{7}$ (CT)
14.10.2010	15.10.2010	1,0	X		X		10	10^{-5}	nada	nada
14.10.2010	15.10.2010	5,0		X		X	10	10^{-3}	nada	nada
14.10.2010	15.10.2010	5,0	X			X	10	10^{-7}	nada	$1,0 \times 10^{7}$ (CT)
14.10.2010	15.10.2010	3,0		X		X	10	10^{-3}	nada	$9,0 \times 10^{3}$ (CT)
14.10.2010	15.10.2010	1,0	X		X		10	10^{-3}	nada	$1,0 \times 10^{3}$ (CT)
14.10.2010	15.10.2010	5,0	X			X	10	10^{-3}	nada	nada
14.10.2010	15.10.2010	3,0		X		X	10	10^{-5}	nada	$1,0 \times 10^{5}$ (CT)
14.10.2010	15.10.2010	5,0		X		X	10	10^{-5}	nada	nada
14.10.2010	15.10.2010	3,0	X			X	10	10^{-7}	nada	nada
14.10.2010	15.10.2010	3,0		X		X	10	10^{-7}	nada	nada

OBS.: CT – Coliformes Totais; CF - Coliformes Fecais.

6.8.1_Resultados Coliformes Totais e Fecais para o Teste de Irradiância Com LED / DUV – SteriledSan realizado em 26/11/2009:

UFC: Unidades Formadoras de Colônias COLI TOT: Coliformes totais COLI FEC: Coliformes fecais.

Eficiência atingida: sem eficiência

- Entrada 1 : 1,1 x 10^5 UFC (COLI TOT) + 100 UFC (COLI FEC)

- Vazão 1 : 1,92 x 10^4 (COLI TOT) + 100 UFC (COLI FEC)

- Vazão 2 : 2,0 x 10^4 (COLI TOT) / sem coli fec

- Vazão 3 : 2,4 x 10^4 (COLI TOT) / sem coli fec

- Irradiância Batelada Por 5 Minutos**:** 5 x 10^5 UFC (COLI TOT) / sem coli fec

- Irradiância Batelada Por 10 Minutos: 1,7 x 10^5 UFC (COLI TOT) / sem coli fec

- Irradiância Batelada Por 15 Minutos: 4,2 x 10^5 UFC (COLI TOT) / sem coli fec

6.8.2_Resultados Coliformes Totais e Fecais para o Teste De Irradiância com LED / DUV – SteriledSan realizado em 03 e 04/12/2009:

Eficiência atingida: redução de aproximadamente 3 logs

- Controle da Mangueira (entrada): 1,4 x 10^4 UFC (COLI TOT) / sem coli fec;

- Controle do Steriledsan (entrada): 1,4 x 10^4 UFC (COLI TOT) / sem coli fec;

- Vazão Mínima: 9,0 x 10^3 (COLI TOT) / sem coli fec

- Irradiância Batelada Por 10 Minutos: 8,0 x 10^2 UFC (COLI TOT) / sem coli fec

- Irradiância Batelada Por 15 Minutos: 4,0 x 10^2 UFC (COLI TOT) / sem coli fec

- Irradiância Batelada Por 20 Minutos: 1,0 x 10^2 UFC (COLI TOT) / sem coli fec

- Irradiância Batelada Por 30 Minutos: 6,0 x 10^1 UFC (COLI TOT) / sem coli fec

6.8.3_Resultados Coliformes Totais e Fecais para o Teste De Irradiância com LED / DUV – SteriledSan Realizado Em 20/01/2010:

Eficiência atingida: redução de aproximadamente 1 log

- Entrada : 2,0 x 10^4 UFC (COLI TOT) + ausência de coli fec

- Irradiância Batelada Por 30 Minutos: 1,35 x 10^3 UFC (COLI TOT) / 5,0 x 10^1 UFC (COLI FEC)

6.8.4_Resultados Coliformes Totais e Fecais para o Teste de Irradiância com LED / DUV – SteriledSan realizado em 26/01/2010:

Eficiência atingida: redução de aproximadamente 4 logs

- Entrada : 4,1 x 10^6 UFC (COLI TOT) + 1,0 x 10^6 (COLI FEC)

- Irradiância Batelada Por 30 Minutos: 1,0 x 10^2 UFC (COLI TOT) / ausência de coli fec.

- Irradiância Batelada Por 40 Minutos: 1,0 x 10^2 UFC (COLI TOT) / ausência de coli fec.

6.8.5_Resultados coliformes totais e fecais para o teste de irradiância com LED / DUV – SteriledSan realizado em 01/02/2010:

Eficiência atingida: redução de aproximadamente 2 logs

- Entrada : 6,4 x 10^3 UFC (COLI TOT) / Ausência de Coli Fec.

- Irradiância Batelada Por 30 Minutos: 2,8 x 10^2 UFC (COLI TOT) / Ausência de Coli Fec.

- Irradiância Batelada Por 25 Minutos: 1,9 x 10^2 UFC (COLI TOT) / Ausência de Coli Fec.

- Irradiância Batelada Por 20 Minutos: 2,0 x 10^1 UFC (COLI TOT) / Ausência de Coli Fec.

- Irradiância Batelada Por 15 Minutos: 4,1 x 10^2 UFC (COLI TOT) / Ausência de Coli Fec.

- Irradiância Batelada Por 10 Minutos: 1,7 x 10^2 UFC (COLI TOT) / Ausência de Coli Fec.

- Irradiância Batelada Por 5 Minutos: 8,0 x 10^2 UFC (COLI TOT) / Ausência de Coli Fec.

- Irradiância Batelada Por 2 Minutos: 6,0 x 10^2 UFC (COLI TOT) / Ausência de Coli Fec.

De acordo com WHO (2006), a redução ou inativação de bactérias em unidades *log* esperada para tratamento de águas residuárias em geral fica entre 2 e 4, portanto, apenas para efeito de comparação com as águas pluviais, a eficiência de inativação pela aplicação de raios ultravioleta ainda necessita de incremento, razão pela qual foram realizados ensaios com o auxílio de peróxido de hidrogênio (Tabelas 96 e 97), pois a tecnologia disponível ainda requer melhorias para sua plena aplicação em escala de lote domiciliar, conforme planejado inicialmente para esta pesquisa.

6.9_APRESENTAÇÃO E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS PARA A FOSSA SÉPTICA BIODIGESTORA (FSB)

Na presente pesquisa, foram retiradas amostras da entrada e saída da fossa séptica biodigestora nos seguintes pontos: Entrada – diretamente da primeira caixa, a cerca de 20 cm de profundidade, de modo a se evitar a captação dos sólidos sobrenadantes, quase sempre presentes em grande quantidade na superfície da lâmina líquida (volume aproximado de 2 litros); Saída – registro de esfera de 50 mm [7], instalado na caixa coletora [6] (Figuras 9-a e 9-b - volume aproximado de 2 litros).

Os ensaios para as variáveis físico-químicas e biológicas analisadas para a entrada e saída da fossa séptica biodigestora do lote experimental peri-urbano, foram efetuados de acordo com a 20ª edição do Standard Methods For Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998), no Laboratório de Saneamento do Campus da USP em São Carlos .

A escolha destas variáveis foi baseada em OHNUMA JR (2006), o qual promoveu a partida do sistema no ano de 2005. Após a partida, foram realizadas campanhas de amostragem da entrada e saída da mesma, em períodos de operação alternados, visando verificar sua eficiência ao longo do tempo, em termos de remoção de matéria orgânica, nutrientes, sólidos e coliformes, confrontando os valores obtidos com:

1 - A legislação ambiental que prescreve os padrões para lançamento de efluentes em corpos receptores (CONAMA 357/2005);

2 - As diretrizes estabelecidas pelo documento “Orientação para Apresentação de Projeto Visando a Aplicação de Água de Reuso Proveniente de Estação de Tratamento de Esgoto Doméstico na Agricultura” (CETESB, 2001), quando existentes;

3 - As normas internacionais da OMS (WHO, 2006), para a aplicação de esgoto sanitário na agricultura, como originalmente previsto por OHNUMA JR. (2008), cuja proposta era a de reuso do efluente da fossa séptica biodigestora para fins de fertirrigação do telhado verde instalado no lote experimental peri-urbano, conforme anteriormente mencionado (Figuras 4 a 7), e USEPA (2004), para fins de reuso urbano de esgoto sanitário.

As Tabelas 98 a 100 mostram os resultados obtidos para as variáveis físico-químicas e biológicas analisadas durante uma série de 15 campanhas de amostragem, realizadas ao longo de períodos alternados de atividade da fossa biodigestora, instalada no lote experimental peri-urbano nas imediações da cidade de São Carlos, Brasil.

Tabela 98 – Resultados das variáveis físico-químicas e biológicas analisadas para a fossa séptica biodigestora (FSB) do lote experimental peri-urbano de São Carlos, Brasil – 1/3.

PARÂMETRO	UNIDADE	31.08.2006 SAÍDA	22.11. 2006 ENTRADA	22.11. 006 SAÍDA	14. 06.2007 ENTRADA	14.06.2007 SAÍDA	13. 07.2007 ENTRADA	13.07.2007 SAÍDA	01.08.2007 ENTRADA	01.08.2007 SAÍDA	19.02.2008 ENTRADA	19.02.2008 SAÍDA
pH	--------	7,50	7,90	7,60	8,03	7,72	7,96	7,62	7,93	7,62	8,21	8,06
TURBIDEZ	(NTU)	67,1	620,0	200,0	426,0	25,0	141,0	52,7	144,0	30,2	172,0	85,9
ABSORVÂNCIA	--------	--------	--------	--------	1,314	1,528	2,645	2,470	2,50	1,65	0,762	0,734
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)	(mg O_2/L)	758,0	1164,0	716,0	1486,0	296,0	604,0	341,0	884,0	334,0	536,0	364,0
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO)	(mg O_2/L)	311,0	492,0	78,0	627,0	63,0	175,0	92,0	348,0	88,0	363,0	258,0
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	(mg O_2/L)	2,6	2,1	1,6	ZERO	3,5	1,3	1,7	0,8	1,9	0,8	0,5
NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL	(mg N/L)	--------	--------	--------	365,0	294,0	400,0	426,0	471,0	376,0	288,0	290,0
NITROGÊNIO AMONIACAL	(mg N/L)	309,0	376,0	209,0	327,0	282,0	380,0	416,0	446,0	371,0	272,0	285,0
NITROGÊNIO NITRITO	(mg N/L)	1,4	< 0,001	1,44	< 0,001	0,25	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	ND	ND
NITROGÊNIO NITRATO	(mg N/L)	2,1	2,52	1,14	2,46	0,37	2,71	0,94	2,26	0,29	1,34	0,29
FOSFATO TOTAL	(mg PO_4^{3-}/L)	29,0	121,0	125,0	86,0	64,0	50,0	80,0	36,0	28,0	16,0	8,9
COLIFORMES TOTAIS	(UFC/100 mL)	$2,3 \times 10^5$	$3,7 \times 10^8$	$2,7 \times 10^6$	$4,9 \times 10^7$	$1,1 \times 10^5$	$9,4 \times 10^7$	$8,0 \times 10^5$	$8,7 \times 10^9$	$7,2 \times 10^5$	$9,6 \times 10^9$	$8,5 \times 10^6$
E. COLI	(UFC/100 mL)	$5,0 \times 10^3$	$1,3 \times 10^8$	$2,0 \times 10^3$	$5,5 \times 10^5$	$7,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^5$	$4,0 \times 10^2$	$6,1 \times 10^6$	$2,0 \times 10^2$	$8,1 \times 10^5$	$9,0 \times 10^2$
SÓLIDOS TOTAIS	(mg/L)	--------	--------	--------	1309,0	986,0	1500,0	1382,0	1488,0	1064,0	2346,0	1014,0
SÓLIDOS TOTAIS FIXOS	(mg/L)	--------	--------	--------	405,0	664,0	599,0	738,0	538,0	731,0	726,0	618,0
SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS	(mg/L)	60,0	888,0	456,0	904,0	322,0	901,0	644,0	950,0	333,0	1620,0	396,0
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	(mg/L)	1492,0	398,0	45,0	490,0	62,0	202,0	175,0	224,0	33,0	428,0	116,0
SÓLIDOS SUSPENSOS FIXOS	(mg/L)	--------	--------	--------	67,0	13,0	27,0	36,0	14,0	4,0	15,0	12,0
SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS	(mg/L)	--------	--------	--------	423,0	49,0	175,0	139,0	210,0	29,0	413,0	104,0
SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS	(mg/L)	--------	--------	--------	819,0	924,0	1298,0	1207,0	1264,0	1031,0	1918,0	898,0
SÓLIDOS DISSOLVIDOS FIXOS	(mg/L)	--------	--------	--------	338,0	651,0	572,0	702,0	524,0	727,0	711,0	606,0
SÓLIDOS DISSOLVIDOS VOLÁTEIS	(mg/L)	--------	--------	--------	481,0	273,0	726,0	505,0	740,0	304,0	1207,0	292,0

Tabela 99– Resultados das variáveis físico-químicas e biológicas analisadas para a fossa séptica biodigestora (FSB) do lote experimental peri-urbano de São Carlos, Brasil – 2/3.

PARÂMETRO	UNIDADE	18 / 09 / 2008 ENTRADA	18/ 09 / 2008 SAÍDA	15 / 10 / 2008 ENTRADA	15 / 10 / 2008 SAÍDA	25 / 11 / 2008 ENTRADA	25/ 11/ 2008 SAÍDA	10/ 02/ 2009 ENTRADA	10 / 02 / 2009 SAÍDA	18 / 03 / 2009 ENTRADA	18 / 03 / 2009 SAÍDA
pH	--------	7,90	8,05	7,87	7,70	8,26	8,08	8,21	7,32	8,31	7,86
TURBIDEZ	(NTU)	--------	--------	185,0	57,6	112,0	37,5	83,8	22,6	90,9	31,3
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)	(mg O_2/L)	541,9	363,2	766,0	260,0	1223,0	883,0	502	288	2270	1290
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO)	(mg O_2/L)	--------	--------	239,0	97,0	--------	--------	--------	--------	--------	--------
NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL	(mg N/L)	--------	--------	379,1	334,0	--------	--------	497,2	114,3	321,0	266,0
NITROGÊNIO AMONIACAL	(mg N/L)	--------	--------	60,3	60,3	--------	--------	343,7	254,7	293,0	262,0
NITROGÊNIO NITRITO	(mg N/L)	--------	--------	--------	--------	--------	--------	ND	0,04	0,0015	0,0118
NITROGÊNIO NITRATO	(mg N/L)	--------	--------	0,596	0,102	--------	--------	0,8	0,035	0,003	0,008
FOSFATO TOTAL	(mg PO_4^{3-}/L)	--------	--------	67,8	54,5	46,7	50,1	69,7	97,2	60,8	65,4
COLIFORMES TOTAIS	(UFC/100 mL)	--------	--------	--------	--------	$5,7 \times 10^5$	$5,4 \times 10^4$	$1,1 \times 10^7$	$4,7 \times 10^5$	$2,9 \times 10^8$	$9,7 \times 10^7$
E. COLI	(UFC/100 mL)	--------	--------	--------	--------	$1, 0 \times 10^5$	$1, 0 \times 10^3$	$7,3 \times 10^6$	$2,5 \times 10^5$	$4,,0 \times 10^8$	$2,0 \times 10^6$
SÓLIDOS TOTAIS	(mg/L)	--------	--------	6938,0	847,0	1736,0	918,0	1569,0	824,0	994,0	580,0
SÓLIDOS TOTAIS FIXOS	(mg/L)	--------	--------	971,0	389,0	759,0	663,0	429,0	470,0	710,0	474,0
SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS	(mg/L)	--------	--------	5967,0	458,0	977,0	255,0	1140,0	354,0	284,0	106,0
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	(mg/L)	--------	--------	1752,0	31,0	454,0	31,0	237,0	15,0	11,0	20,0
SÓLIDOS SUSPENSOS FIXOS	(mg/L)	--------	--------	252,0	< 1,0	20,0	4,0	10,0	4,0	< 1,0	< 1,0
SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS	(mg/L)	--------	--------	1500,0	31,0	434,0	27,0	227,0	11,0	11,0	20,0
SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS	(mg/L)	--------	--------	5186,0	816,0	1282,0	887,0	1332,0	809,0	983,0	560,0
SÓLIDOS DISSOLVIDOS FIXOS	(mg/L)	--------	--------	719,0	389,0	739,0	659,0	419,0	466,0	710,0	474,0
SÓLIDOS DISSOLVIDOS VOLÁTEIS	(mg/L)	--------	--------	4467,0	427,0	543,0	228,0	913,0	343,0	273,0	86,0

Tabela 100 – Resultados das variáveis físico-químicas e biológicas analisadas para a fossa séptica biodigestora (FSB) do lote experimental peri-urbano de São Carlos, Brasil – 3/3.

PARÂMETRO	UNIDADE	11 /05 / 2009 ENTRADA	11/ 05 / 2009 SAÍDA	12 / 08 / 2009 ENTRADA	12 / 08 / 2009 SAÍDA	09/ 09 / 2009 ENTRADA	09/ 09/ 2009 SAÍDA	20/ 10/ 2009 ENTRADA	20/ 10/ 2009 SAÍDA	02 /12 / 2009 ENTRADA	02 / 12 / 2009 SAÍDA
pH	--------	8,19	7,74	--------	--------	8,05	8,07	7,96	8,05	8,24	8,05
TURBIDEZ	(NTU)	174,0	72,6	--------	--------	202,0	34,7	168,0	92,1	97,3	71,7
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)	(mg O_2/L)	646,0	259,0	811,0	753,0	812,0	183,0	1467,0	1084,0	660,0	422,0
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO)	(mg O_2/L)	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	407,0	283,0
NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL	(mg N/L)	350,2	301,0	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------
NITROGÊNIO AMONIACAL	(mg N/L)	332,4	289,1	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------
NITROGÊNIO NITRITO	(mg N/L)	< 0,001	< 0,001	--------	--------	0,0043	0,0019	--------	--------	--------	--------
NITROGÊNIO NITRATO	(mg N/L)	1,044	0,225	--------	--------	0,661	0,421	--------	--------	--------	--------
FOSFATO TOTAL	(mg PO_4^{3-}/L)	105,0	109,0	51,0	48,4	--------	--------	89,1	81,0	57,0	55,0
COLIFORMES TOTAIS	(UFC/100 mL)	$4,6 \times 10^8$	$3,9 \times 10^5$	$1,7 \times 10^5$	$3,2 \times 10^6$	$3,8 \times 10^6$	$2,0 \times 10^3$	$2,3 \times 10^5$	$1,4 \times 10^5$	$2,0 \times 10^6$	$2,3 \times 10^7$
E. COLI	(UFC/100 mL)	$7,6 \times 10^6$	$3,0 \times 10^4$	$1,1 \times 10^6$	$3,0 \times 10^3$	$1,9 \times 10^7$	$2,0 \times 10^2$	$1,6 \times 10^6$	ND	$4,4 \times 10^5$	$4,5 \times 10^8$
SÓLIDOS TOTAIS	(mg/L)	1116,0	996,0	--------	--------	--------	--------	1648,0	937,0	1354,0	921,0
SÓLIDOS TOTAIS FIXOS	(mg/L)	640,0	639,0	--------	--------	--------	--------	621,0	653,0	723,0	145,0
SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS	(mg/L)	476,0	357,0	--------	--------	--------	--------	1027,0	284,0	631,0	776,0
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	(mg/L)	316,0	255,0	--------	--------	--------	--------	448,0	62,0	208,0	130,0
SÓLIDOS SUSPENSOS FIXOS	(mg/L)	< 1,0	< 1,0	--------	--------	--------	--------	47,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS	(mg/L)	316,0	255,0	--------	--------	--------	--------	401,0	62,0	208,0	130,0
SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS	(mg/L)	800,0	741,0	--------	--------	--------	--------	1200,0	875,0	1146,0	791,0
SÓLIDOS DISSOLVIDOS FIXOS	(mg/L)	640,0	639,0	--------	--------	--------	--------	574,0	653,0	723,0	145,0
SÓLIDOS DISSOLVIDOS VOLÁTEIS	(mg/L)	160,0	102,0	--------	--------	--------	--------	626,0	222,0	423,0	646,0

6.9.1_Análise do perfil das medidas do potencial hidrogeniônico (pH) para a FSB

Observa-se que os valores de pH analisados para a fossa séptica biodigestora permaneceram numa faixa entre 7,87 e 8,31 (entrada) e 7,32 e 8,08 (saída) (Figura 80 e Tabela 101), parecendo demonstrar a geração de alcalinidade durante o processo de biodigestão anaeróbia, embora apresentando em quase toda a série de dados uma tendência para um valor menor na saída da fossa séptica biodigestora, relativamente à sua entrada. A razão para este comportamento pode estar na geração de CO_2, também resultante da biodigestão anaeróbia, contrabalançando a alcalinidade gerada, ou na passagem do esgoto através do material filtrante, promovendo o abaixamento do pH por um processo de acidificação. Alternativamente, tal comportamento poderia ser explicado pelo efeito de tamponamento devido à presença de bicarbonato no meio interno do reator, ou à presença de sódio devido ao uso de sabões em aparelho(s) sanitário(s) cuja descarga foi direcionada ao sistema de biodigestão anaeróbia existente no lote experimental peri-urbano.

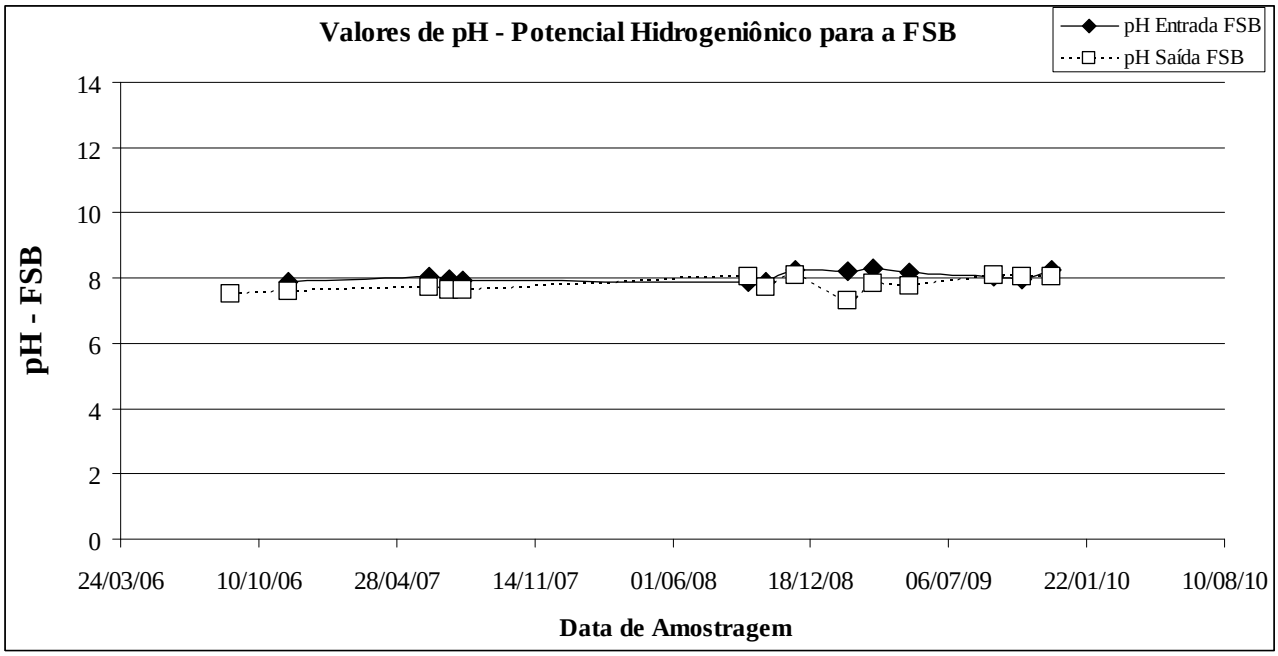


Figura 81. Valores de pH medidos ao longo do período de operação da fossa séptica biodigestora do lote experimental peri-urbano de São Carlos.

Tabela 101 – Valores de potencial hidrogeniônico (pH) à entrada e saída da FSB do lote experimental peri-urbano de São Carlos.

DATA	**31.08.06**	**22.11.06**	**14.06.07**	**13.07.07**	**01.08.07**	**19.02.08**	**18.09.08**	**15.10.08**	**25.11.08**
Entrada	----	7,90	8,03	7,96	7,93	8,21	7,90	7,87	8,26
Saída	7,50	7,60	7,72	7,62	7,62	8,06	8,05	7,70	8,08
DATA	**10.02.09**	**18.03.09**	**11.05.09**	**09.09.09**	**20.10.09**	**02.12.09**	**Mínimo**	**Máximo**	**Média**
Entrada	8,21	8,31	8,19	8,05	7,96	8,24	7,87	8,31	8,07
Saída	7,32	7,86	7,74	8,07	8,05	8,05	7,32	8,08	7,80

6.9.2_Análise do Perfil da Série de Sólidos para a FSB

Os resultados da série de sólidos para a fossa séptica biodigestora (Figuras 81 a 85 e Tabelas 102 a 104) indicaram a ocorrência de grandes variações na composição do esgoto afluente à mesma, e conseqüentemente, variações também à sua saída. Tais variações podem ter sido devidas a fatores tais como:

a) As cargas de mistura água/esterco bovino efetuadas na fossa séptica biodigestora (Tabela 6): estas cargas acarretaram um grande aporte de sólidos ao sistema, sólidos estes representados nas diversas frações analisadas, especialmente sólidos voláteis e suspensos, mas também sólidos dissolvidos, à medida em que o processo de biodigestão anaeróbia se desenvolveu. Foi visualmente constatado ao longo do tempo de operação que tais sólidos, em função de sua quantidade e da presença de matéria celulósica, não são de fácil degradação, permanecendo por longos intervalos na primeira caixa;

b) Amostragem: o projeto EMBRAPA para a fossa séptica biodigestora não previu um sistema de amostragem adequado, visto que na amostragem direta, massas maiores ou menores de sólidos sobrenadantes foram colhidas, provavelmente interferindo na composição das amostras coletadas, em face de possíveis variações temporais nos processos de transferência de massa entre a fase sólida suspensa (sólidos em suspensão), em processo de hidrólise, e a fase líquida já dissolvida (sólidos dissolvidos), alterando assim os resultados obtidos;

c) Presença indesejada de oxigênio dissolvido: a turbulência decorrente do processo de transporte dos despejos sanitários pode ter sido a causadora da introdução de oxigênio dissolvido no

sistema, causando interferências no processo de biodigestão anaeróbia, alterando a biota com a presença de bactérias anaeróbias facultativas;

d) Interferências no processo de biodigestão anaeróbia devidas à presença de matéria mineral (areia, argila, etc.) e/ou águas pluviais introduzidas no sistema, durante o transporte dos despejos.

Os resultados obtidos são apresentados na Figura 81 sob a forma de dois fluxogramas, representando esquematicamente as seqüências em que são desdobradas as frações de sólidos em suas determinações analíticas, resultados esses baseados em valores médios, configurando em um balanço geral para o sistema. As Tabelas 102 e 103 apresentam os valores médios, valores mínimos, valores máximos, as somas dos valores (Σ), as eficiências de remoção e os intervalos de variação para as eficiências de remoção obtidas para cada fração analisada, à entrada e à saída da fossa séptica biodigestora.

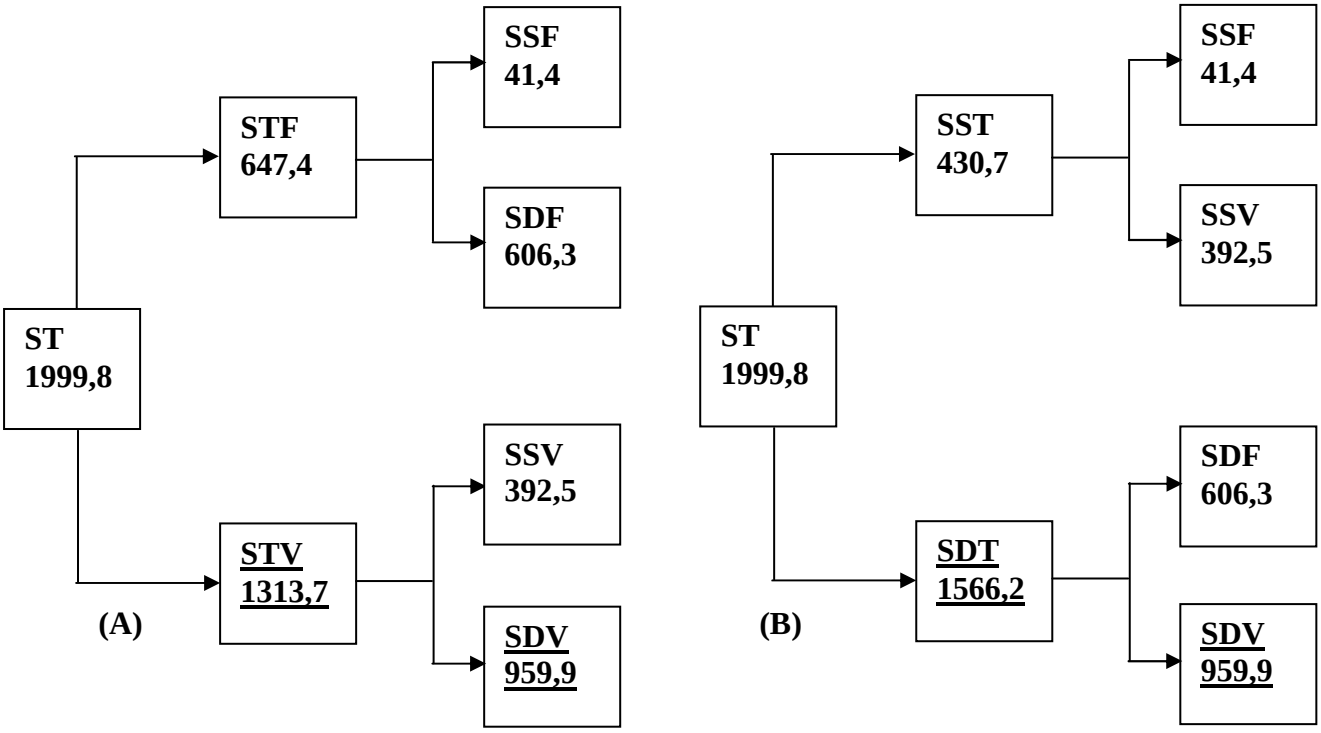


Figura 82. Fluxogramas (A) e (B) dos balanços de sólidos para as frações da série de sólidos analisados para a fossa séptica biodigestora, com base em valores médios (valores em mg/L). Legenda: Sólidos Totais – ST; Sólidos Totais Fixos – STF; Sólidos Totais Voláteis – STV; Sólidos Suspensos Totais – SSV; Sólidos Suspensos Fixos – SSF; Sólidos Suspensos Voláteis – SSV; Sólidos Dissolvidos Totais – SDT; Sólidos Dissolvidos Fixos – SDF; Sólidos Dissolvidos Voláteis – SDV.

Tabela 102 – Valores mínimos, máximos, médios e somatórios para os sólidos na entrada da fossa séptica biodigestora (valores em mg/L).

FRAÇÃO DE SÓLIDOS - ENTRADA DA FSB	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	VALOR MÉDIO	SOMATÓRIO (Σ)	EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO (%)	INTERVALO DAS EFICIÊNCIAS DE REMOÇÃO
SÓLIDOS TOTAIS - ST	994,0	6938,0	1999,8	21998	38,88	7,87 a 87,79 %
SÓLIDOS TOTAIS FIXOS – STF	405,0	971,0	647,4	7121	6,15	**- 63,95** a 79,94 %
SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS - STV	284,0	5967,0	1313,7	15765	54,52	**- 22,98** a 92,32 %
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS – SST	11,0	1752,0	430,7	5168	60,88	**- 45,00** a 98,23 %
SÓLIDOS SUSPENSOS FIXOS – SSF	1,0	252,0	41,4	455	43,29	**- 33,33** a 43,29 %
SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS - SSV	11,0	1500,0	392,5	4318	56,03	**- 81,82** a 97,93 %
SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS – SDT	800,0	5186,0	1566,2	17228	29,87	**- 12,82** a 84,26 %
SÓLIDOS DISSOLVIDOS FIXOS – SDF	338,0	739,0	606,3	6669	0,56	**- 92,6** a 79,94 %
SÓLIDOS DISSOLVIDOS VOLÁTEIS - SDV	160,0	4467,0	959,9	10559	90,44	**- 52,72** a 90,44 %

Tabela 103 – Valores mínimos, máximos, médios, somatórios, eficiências de remoção e seus intervalos para os sólidos na saída da fossa séptica biodigestora (valores em mg/L).

FRAÇÃO DE SÓLIDOS - ENTRADA DA FSB	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	VALOR MÉDIO	SOMATÓRIO (Σ)
SÓLIDOS TOTAIS - ST	994,0	6938,0	1999,8	21998
SÓLIDOS TOTAIS FIXOS - STF	405,0	971,0	647,4	7121
SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS - STV	284,0	5967,0	1313,7	15765
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS – SST	11,0	1752,0	430,7	5168
SÓLIDOS SUSPENSOS FIXOS - SSF	1,0	252,0	41,4	455
SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS - SSV	11,0	1500,0	392,5	4318
SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS - SDT	800,0	5186,0	1566,2	17228
SÓLIDOS DISSOLVIDOS FIXOS - SDF	338,0	739,0	606,3	6669
SÓLIDOS DISSOLVIDOS VOLÁTEIS - SDV	160,0	4467,0	959,9	10559

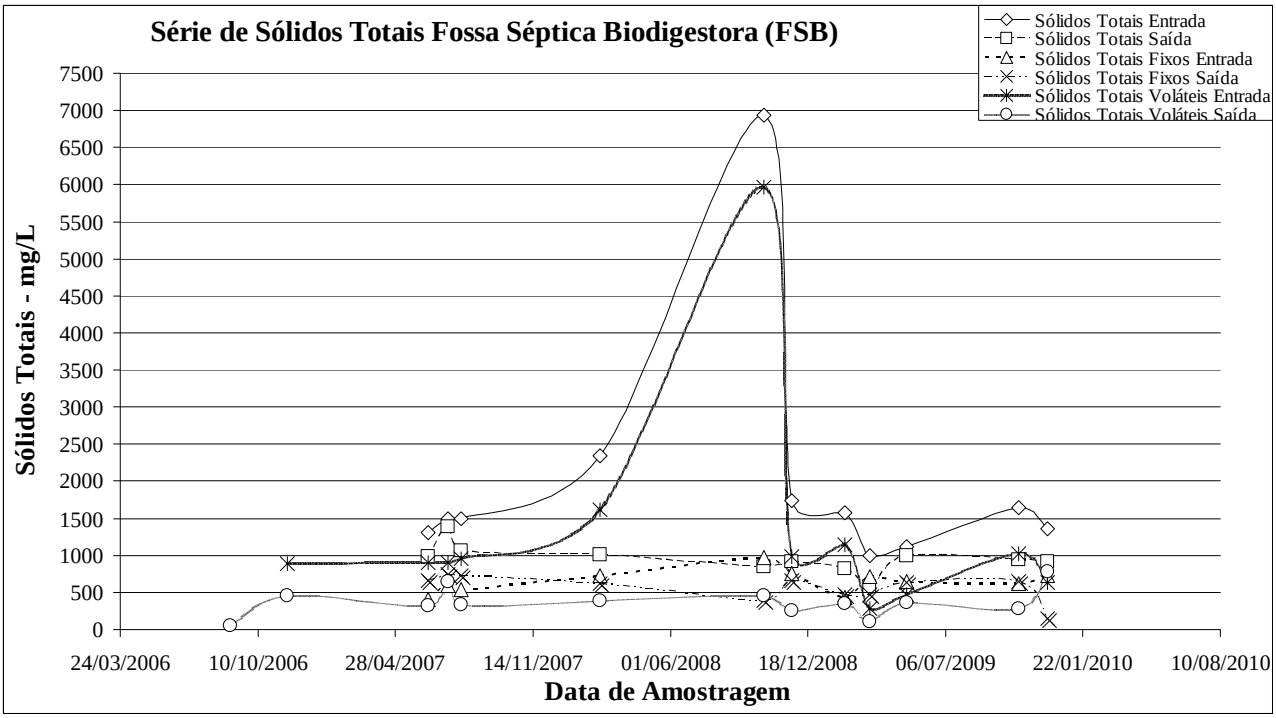


Figura 83. Valores da Série de Sólidos Totais medidos para a Fossa Séptica Biodigestora Modelo EMBRAPA, em mg/L.

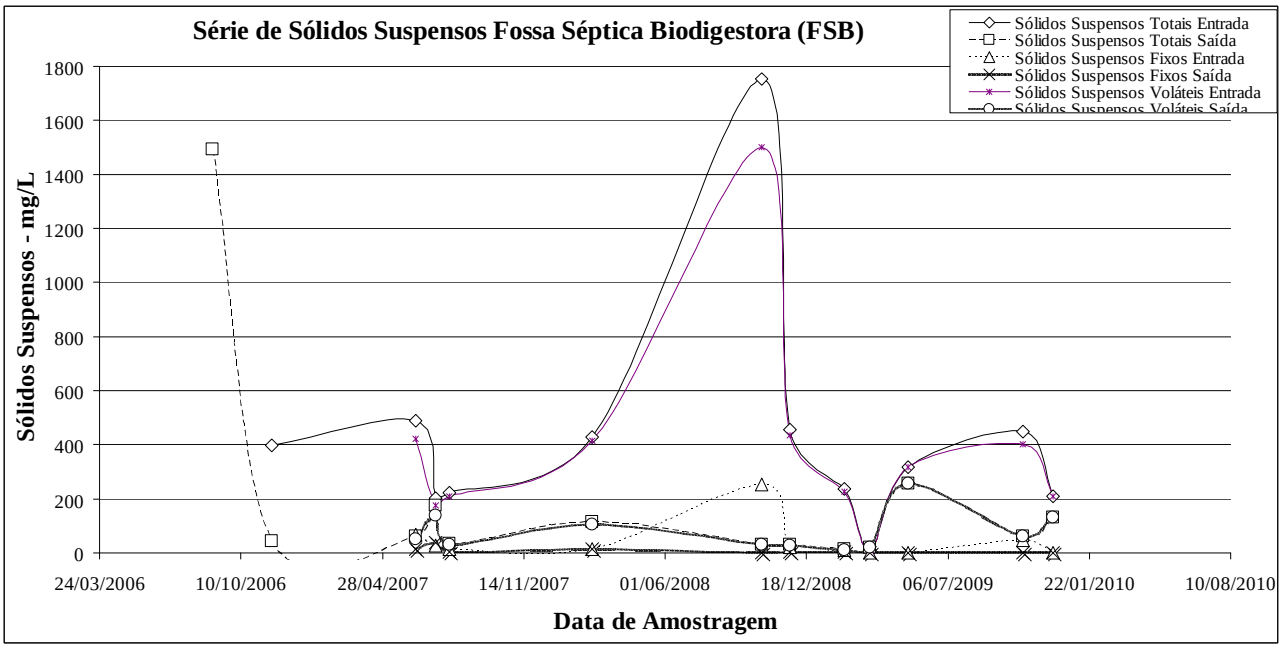


Figura 84. Valores da Série de Sólidos Suspensos medidos para a Fossa Séptica Biodigestora Modelo EMBRAPA, em mg/L.

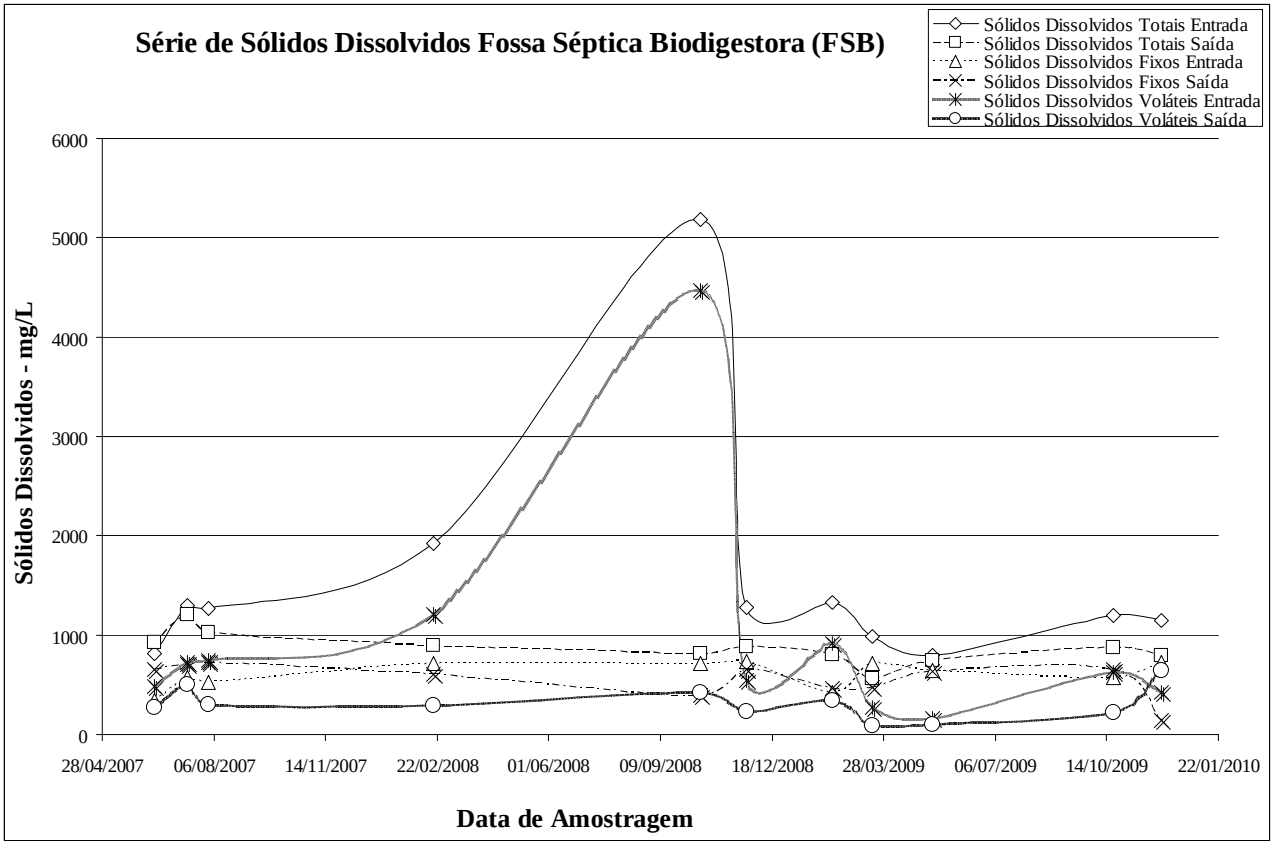


Figura 85. Valores da Série de Sólidos Dissolvidos medidos para a Fossa Séptica Biodigestora Modelo EMBRAPA, em mg/L.

A matéria orgânica pode ser de natureza biodegradável ou não-biodegradável, e ser correlacionada aos teores de DBO e DQO, uma vez que, em geral, os sólidos voláteis (SV) são presumidos serem em sua maioria matéria orgânica (de natureza dissolvida ou coloidal), os SSV serem matéria orgânica representativa da presença de microrganismos, e os sólidos fixos (SF) serem em sua maioria matéria inorgânica/mineral, presumivelmente inerte, embora alguma matéria orgânica possa não sofrer combustão e alguns sólidos inorgânicos possam sofrer quebra sob altas temperaturas, sendo a razão entre sólidos voláteis e fixos usada para caracterizar águas residuárias com respeito ao seu conteúdo de matéria orgânica, de acordo com METCALF AND EDDY (2003) e BOTELHO & LYRA (1974). A partir dos valores médios das Tabelas 102 e 103, foi observado que:

1 – Houve grande variação nos valores de todas as frações da série de sólidos à entrada, e, por conseqüência, à saída da fossa séptica biodigestora, e nas suas eficiências de remoção;

2 - Foram observados também valores de STF maiores na saída em relação à entrada, fato que, aliado à baixa eficiência de remoção desta fração sólida, parece evidenciar o acúmulo de STF ao longo do sistema (matéria inorgânica/mineral), o que ocorreu para diversas datas de amostragem:

14.06.2007, 13.07.2007, 01.08.2007, 10.02.2009, e 20.10.2009, havendo também valores muito próximos para a entrada e saída em 11.05.2009. Sua ocorrência pode ter sido devida ao carreamento de matéria mineral decorrente de precipitações para o interior da primeira caixa, ou à perda do material filtrante existente na última caixa, evidenciada, talvez, pelos valores maiores de SSF na saída do que na entrada da FSB;

3 - A predominância relativa, na entrada da fossa séptica biodigestora, das frações (Figura 81A e 81B): Sólidos Totais Voláteis (STV), Sólidos Dissolvidos Voláteis (SDV, como um desdobramento dos STV) e Sólidos Dissolvidos Totais (SDT, como um desdobramento dos ST) sobre as demais frações, pode ser um indicativo de:

3.1 – STV/SDV: Analisando-se a fração ST (1999,8 mg/L) = STV (1313,7 mg/L) + STF (647,4 mg/L) (com uma variação de - 38,7 mg/L devida ao cálculo baseado na média dos valores), percebe-se a ocorrência de um maior teor de matéria orgânica (STV) em relação à matéria inorgânica/mineral (STF) no meio anaeróbio, numa proporção aproximada de 65,69% (STV) sobre 32,37% (STF) (com uma variação de 1,94%, devida a um valor a mais na série amostral de STV);

3.2 - Levando-se em conta o desdobramento da fração: STV (1313,7 mg/L) = SDV (959,9 mg/L) + SSV (392,5 mg/L) (com uma variação de + 38,7 mg/L devida ao cálculo baseado na média dos valores), ocorreu um maior teor de matéria orgânica sob a forma dissolvida/coloidal (SDV) do que sob forma suspensa (SSV) (Figura 81A), o que dá indícios da presença tanto de uma população de microrganismos (SSV) como de matéria orgânica dissolvida bruta (SDV) a ser digerida;

3.3 - Por sua vez, esta matéria inorgânica/mineral encontra-se, do mesmo modo que na relação STV (1313,7 mg/L) = SDV (959,9 mg/L) + SSV (392,5 mg/L), predominantemente dissolvida: STF (647,4 mg/L) = SDF (606,3 mg/L ≈ 93,65%) + SSF (41,4 mg/L ≈ 6,35%) (Figura 81A).

Conclui-se ter ocorrido uma grande quantidade tanto de matéria orgânica como inorgânica na forma dissolvida, sendo que esta última, dependendo da natureza química dos compostos presentes, pode ter gerado interferências no processo de biodigestão anaeróbia, o que também seria indicado por uma menor fração relativa de SSV na relação STV (1313,7 mg/L) = SDV (959,9 mg/L) + SSV (392,5 mg/L), representativa de um menor número de microrganismos presentes;

3.4 – Uma elevada relação SDV/STV (> 0,8), pode indicar que a matéria orgânica presente é de natureza não-biodegradável, de acordo com BOTELHO & LYRA (1974), demandando talvez processos de tratamento mais variados e avançados. No caso dos despejos na entrada da fossa séptica biodigestora, a relação SDV/STV foi de 0,69 (Tabela 104, baseada em média aritmética), enquanto na saída foi de 0,81 (Tabela 104, igualmente baseada em média aritmética), embora atingindo valores superiores a 0,8 nas séries amostrais individuais, tanto à entrada como à saída, aproximando-se e por diversas vezes superando o valor apontado. Este poderia ser mais uma vez um indicativo de interferência, ou mesmo de inibição parcial no processo de degradação anaeróbia, principalmente como um fator associado a outros anteriormente apontados. A presença de lignina dissolvida é um exemplo de material constituinte dos despejos que requer tratamento por forte alcalinização dos mesmos (pH = 12,0). A lignina poderia estar associada à presença de celulose, advinda da mistura de esterco bovino adicionado como inóculo, quando de sua coleta na área de pastagem (BOTELHO & LYRA, 1974) (ver Tabela 6);

Tabela 104 – Valores obtidos para a relação SDV/STV à entrada e saída da fossa séptica biodigestora.

DATA	SDV (mg/L(/STV (mg/L) - Entrada	SDV (mg/L) / STV (mg/L) - Saída
14.06.07	481/904 = 0,53	273/ 322 = **0,85**
13.07.07	726/901 = **0,81**	505/644 = 0,78
01.08.07	740/950 = 0,79	304/333 = **0,91**
19.02.08	1207/1620 = 0,74	292/396 = 0,74
15.10.08	4467/5967 = 0,75	427/458 = **0,93**
25.11.08	543/977 = 0,56	228/255 = **0,89**
10.02.09	913/1140 = **0,80**	343/354 = **0,97**
18.03.09	273/284 = **0,96**	86/106 = **0,96**
11.05.09	160/476 = 0,34	102/357 = 0,29
20.10.09	626/1027 = 0,61	222/284 = 0,78
02.12.09	423/631 = 0,67	646/776 = **0,83**

3.5 – SDT: Na relação ST = SDT + SST, o teor de sólidos dissolvidos totais - SDT (Figura 81B), predominou sobre o teor de sólidos suspensos totais (SST), numa proporção de 1566,2 mg/L ≈ 78,32% (SDT) para 430,7 mg/L ≈ 21,54% (SST), indicando maior quantidade de matéria dissolvida, em sua maior parte de origem orgânica, demonstrada pela relação SDT = SDV + SDF (959,9 mg/L ≈ 61,29% - SDV, contra 606,3 mg/L ≈ 38,71% - SDF). De acordo com BOTELHO &

LYRA (1974), se o teor de SDT for muito elevado, embora o despejo seja biodegradável, seu tratamento por métodos biológicos poderá ser dificultado na prática devido a problemas de pressão osmótica;

3.6 – Ocorreu uma grande variação nos intervalos das eficiências de remoção das frações sólidas (Tabela 103), especialmente de sólidos suspensos voláteis e sólidos dissolvidos fixos, demonstrando um desequilíbrio no balanço de sólidos na fossa séptica biodigestora, provocado pelo seu aporte excessivo ao sistema anaeróbio, o que demanda dispositivos específicos para a sua efetiva remoção;

4 – Houve predominância da presença de matéria orgânica em suspensão, representada pelos SSV, no desdobramento da fração SST = SSV (392,5 mg/L ≈ 91,13%) + SSF (41,4 mg/L ≈ 9,61%) (Figura 81B). Embora a determinação de SST seja algo arbitrária, dependendo do tamanho de poros do papel filtro usado, ou seja, mais sólidos suspensos totais são obtidos conforme se reduz tal tamanho, e por esta e outras razões o teste careça de uma base fundamental (METCALF AND EDDY, 2003), este parâmetro é importante como medida do desempenho de processos de tratamento convencionais, e para a necessidade de filtração do efluente nas aplicações de reuso (METCALF AND EDDY, 2003). Também convém salientar que o teste é um dos dois padrões para efluentes universalmente utilizados, juntamente com a DBO_5, pelos quais o desempenho de plantas de tratamento é avaliado para fins de controle legal (METCALF AND EDDY, 2003), embora não constando da Resolução CONAMA 357/2005 (MINISTÉRIO do MEIO AMBIENTE, BRASIL, 2005).

Em síntese, o balanço de sólidos para a fossa séptica biodigestora parece apontar para a presença de uma grande quantidade de matéria orgânica em sua maior parte dissolvida, além de outra parte desta em suspensão, cuja relação SDV/STV, aliada a uma quantidade menor de matéria inorgânica/mineral dissolvida, e outra não-dissolvida que parece ter apresentado acumulação, ocasionaram conjuntamente interferências no processo de biodigestão anaeróbia, provocando oscilações no desempenho da fossa séptica biodigestora. No entanto, percebe-se pela análise dos valores de STF e STV na entrada e saída da FSB que predominaram os STV à entrada, ao passo que na saída predominaram os STF (considerando-se tanto os valores médios como máximos e mínimos e ainda os somatórios), apontando possivelmente para a mineralização da matéria orgânica presente ou para a introdução aleatória de matéria mineral/inorgânica advinda do meio externo à FSB, por meio de chuvas, por exemplo.

Quanto às eficiências de remoção de cada fração sólida analisada, verificou-se que (Figura 85):

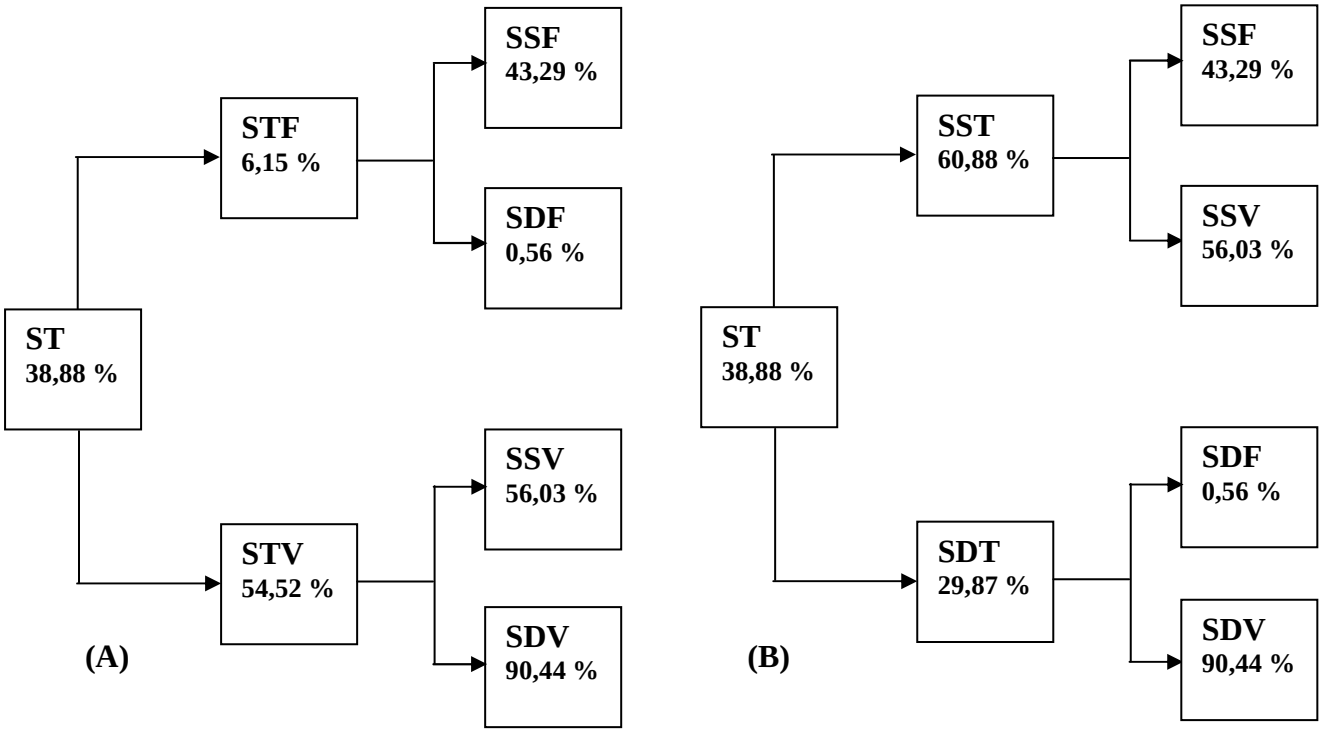


Figura 86. Fluxogramas (A) e (B) dos balanços de sólidos para as frações da série de sólidos analisados para a fossa séptica biodigestora, com as eficiências de remoção para cada fração. Legenda: Sólidos Totais – ST; Sólidos Totais Fixos – STF; Sólidos Totais Voláteis – STV; Sólidos Suspensos Totais – SSV; Sólidos Suspensos Fixos – SSF; Sólidos Suspensos Voláteis – SSV; Sólidos Dissolvidos Totais – SDT; Sólidos Dissolvidos Fixos – SDF; Sólidos Dissolvidos Voláteis – SDV.

1 – Considerando a relação ST = STF + STV, o menor percentual de remoção ocorreu para os sólidos totais fixos (STF), e no desdobramento desta fração em sólidos suspensos fixos (SSF) e sólidos dissolvidos fixos (SDF), o menor percentual coube a este último. A presença de sólidos dissolvidos fixos acumulados no meio interno do reator, com baixo percentual de remoção, pode ser um indicativo da existência de substâncias recalcitrantes, interferentes e/ou inibidoras do processo de degradação anaeróbia;

2 – Ao passo que ocorreu uma baixa remoção de sólidos dissolvidos fixos (SDF), houve uma maior eficiência de remoção para as frações de sólidos que representam a presença de matéria orgânica: STV/SSV/SDV, e em especial para esta última fração, representativa da matéria orgânica dissolvida ou sob forma coloidal (ver Figura 85A). Entretanto, tal remoção poderia ter sido maior, considerando a elevada relação SDV/STV a qual parece indicar que a matéria orgânica presente é

de natureza não-biodegradável (BOTELHO & LYRA, 1974), demandando talvez processos de tratamento mais variados e sofisticados para sua remoção, conforme já apontado;

3 – Também comparativamente à baixa remoção de sólidos dissolvidos fixos (SDF – 0,56%), ocorreu uma maior eficiência de remoção da matéria orgânica em suspensão (SSV – 56,03%), numa proporção um pouco maior do que para a fração desta sob forma inorgânica (SSF – 43,29%), embora bastante superior à eficiência de remoção da fração inorgânica presente sob a forma dissolvida (SDF – 0,56%);

4 - Considerando a relação SST = SSF + SSV (Figura 10B), ocorreu uma remoção um pouco mais acentuada para os SSV (56,03%), mas ambos os percentuais são significativamente maiores do que os percentuais de remoção para os sólidos fixos, uma vez mais confirmando a maior remoção da matéria orgânica relativamente à matéria inorgânica/mineral presente no meio interno da fossa séptica biodigestora.

Sendo assim, pode ser verificado que a eficiência de remoção dos sólidos dissolvidos foi maior que a dos sólidos suspensos, embora para estes últimos pudesse haver um potencial de obtenção de eficiências maiores, dificultada talvez pela elevada relação SDV/STV, indicativa da presença de matéria orgânica de natureza não-biodegradável. Por outro lado, ambas as eficiências de remoção, ou seja, tanto para os sólidos dissolvidos como para os sólidos suspensos, foram acentuadamente superiores à eficiência de remoção dos sólidos fixos, os quais, além disso, apresentaram resultados maiores na saída do que na entrada da fossa séptica biodigestora, demonstrando sua acumulação no sistema, ou a liberação de matéria mineral/inorgânica do meio filtrante existente na terceira caixa.

6.9.3_Análise do Perfil das Séries de DBO e DQO para a FSB

Uma vez que a legislação brasileira de controle da poluição ambiental, através da Resolução CONAMA 357 (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, BRASIL, 2005) utiliza como parâmetro de controle a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), foram efetuadas algumas análises periódicas de DBO para que, a partir do estabelecimento de uma relação matemática entre DBO e DQO, os valores de DBO pudessem ser calculados visando à verificação de sua eficiência de remoção para o efetivo cumprimento desta legislação. Há que se considerar ainda que: 1) A relação DBO/DQO é bastante usada na operação de sistemas de tratamento, visando intervenções nos processos, dado seu

tempo de realização de cerca de três horas, ao contrário da DBO, cujos resultados demoram cinco dias para serem obtidos; B) O fato dos parâmetros físico-químicos e biológicos para esgoto sanitário serem amplamente conhecidos, permitindo comparações, a fim de avaliar se a relação DBO/DQO encontra-se dentro dos valores esperados; C) A digestão anaeróbia, que ocorre após o oxigênio do meio ter sido totalmente consumido, praticamente não influi na DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), uma vez que o oxigênio necessário à oxidação do material orgânico provém do oxigênio combinado de um composto qualquer (ROCHA & FUKUDA, 1973).

Uma fossa séptica reduz a concentração dos sólidos sedimentáveis e a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), cuja percentagem de redução pode ser ampliada pelo prolongamento do tempo de detenção (BATALHA, 1989). No caso da fossa séptica biodigestora, que dispõe de três câmaras em série, houve retenção de sólidos sedimentáveis na primeira caixa, mas não foi possível determinar qual seria a influência das câmaras em série na eficiência de remoção de matéria orgânica pelo sistema anaeróbio, o que poderia ser avaliado em pesquisas posteriores, com eventuais estudos envolvendo modificações em sua configuração.

Os valores de DQO e DBO, à entrada e saída da fossa séptica biodigestora, e suas respectivas eficiências de remoção, podem ser observados nas Tabelas 105 e 106, bem como representados graficamente nas Figuras 86 a 89. Observa-se que a eficiência mínima situou-se abaixo da prevista (35% - Tabela 4, contra o valor de 28,93% para a data de 19.02.08) na NBR 7229 (ABNT, 1993), porém acima do máximo previsto (55% - Tabela 4, contra os valores de 84,15%, 89,95%, 74,71% e 59,41% respectivamente nas datas de 22.11.06, 14.06.07, 01.08.07 e 15.10.08), considerando-se os valores médios e máximos atingidos.

Tabela 105 – Valores de DBO à entrada e à saída da Fossa Séptica Biodigestora (FSB) Modelo EMBRAPA, com médias, máximos e mínimos, e suas respectivas eficiências de remoção.

DATA	DBO (mg/L) Entrada	DBO (mg/L) Saída	EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO (%)
31.08.06	---	311	---
22.11.06	492	78	84,15
14.06.07	627	63	89,95
13.07.07	175	92	47,43
01.08.07	348	88	74,71
19.02.08	363	258	28,93
15.10.08	239	97	59,41
02.12.09	407	208	48,89
Média	370,25	126,29	61,92
Máximo	627	258	89,95
Mínimo	175	63	28,93

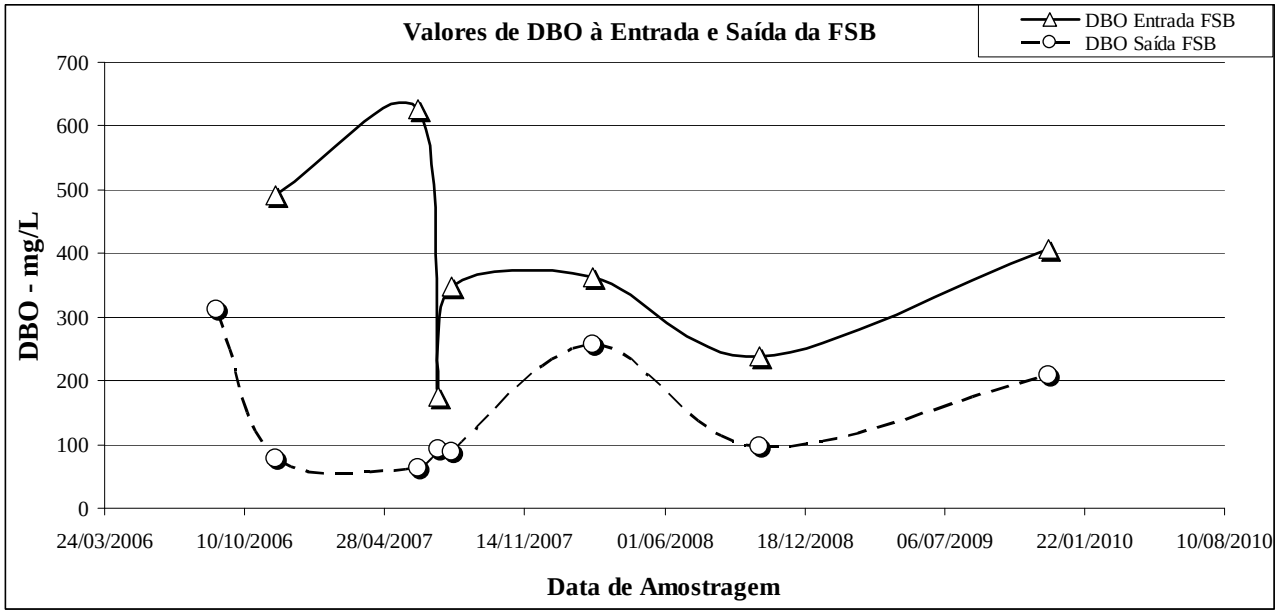


Figura 87. Valores da DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) medidos à Entrada e Saída da Fossa Séptica Biodigestora (FSB) Modelo EMBRAPA, em mg/L.

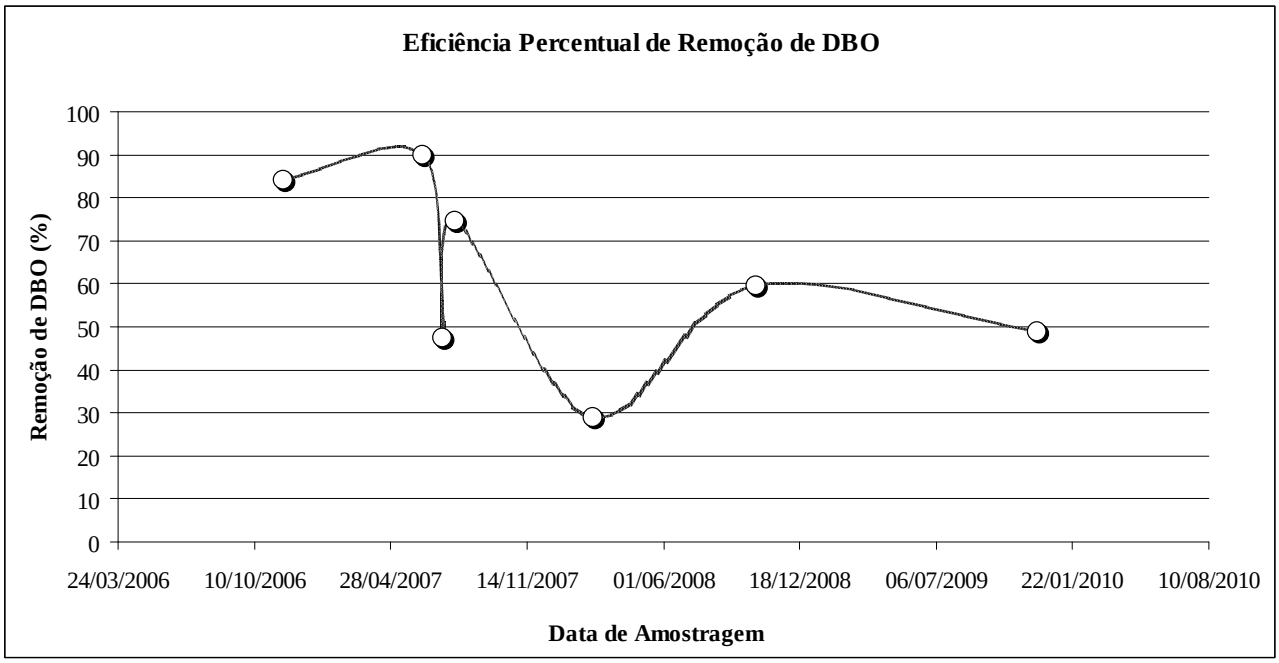


Figura 88. Valores da Eficiência Percentual de Remoção da DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), medidos para a Fossa Séptica Biodigestora (FSB) Modelo EMBRAPA.

Tabela 106 – Valores de DQO à Entrada e à Saída da Fossa Séptica Biodigestora (FSB) Modelo EMBRAPA, com médias, máximos e mínimos, e respectivas eficiências de remoção.

DATA	DQO (mg/L) Entrada	DQO (mg/L) Saída	EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO (%)
31.08.06	---	758	---
22.11.06	1164	716	38,49
14.06.07	1486	296	80,08
13.07.07	604	341	43,54
01.08.07	884	334	62,22
19.02.08	536	364	32,09
18.09.08	542	363	33,03
15.10.08	766	260	66,06
25.11.08	1223	883	27,80
10.02.09	502	288	42,63
18.03.09	2270	1290	43,17
11.05.09	646	259	59,91
12.08.09	811	753	7,15
09.09.09	812	183	77,46
20.10.09	1467	1084	26,11
02.12.09	660	422	36,06
Média	945,69	522,40	45,05
Máximo	2270,00	1290,00	80,08
Mínimo	502,00	183,00	7,15

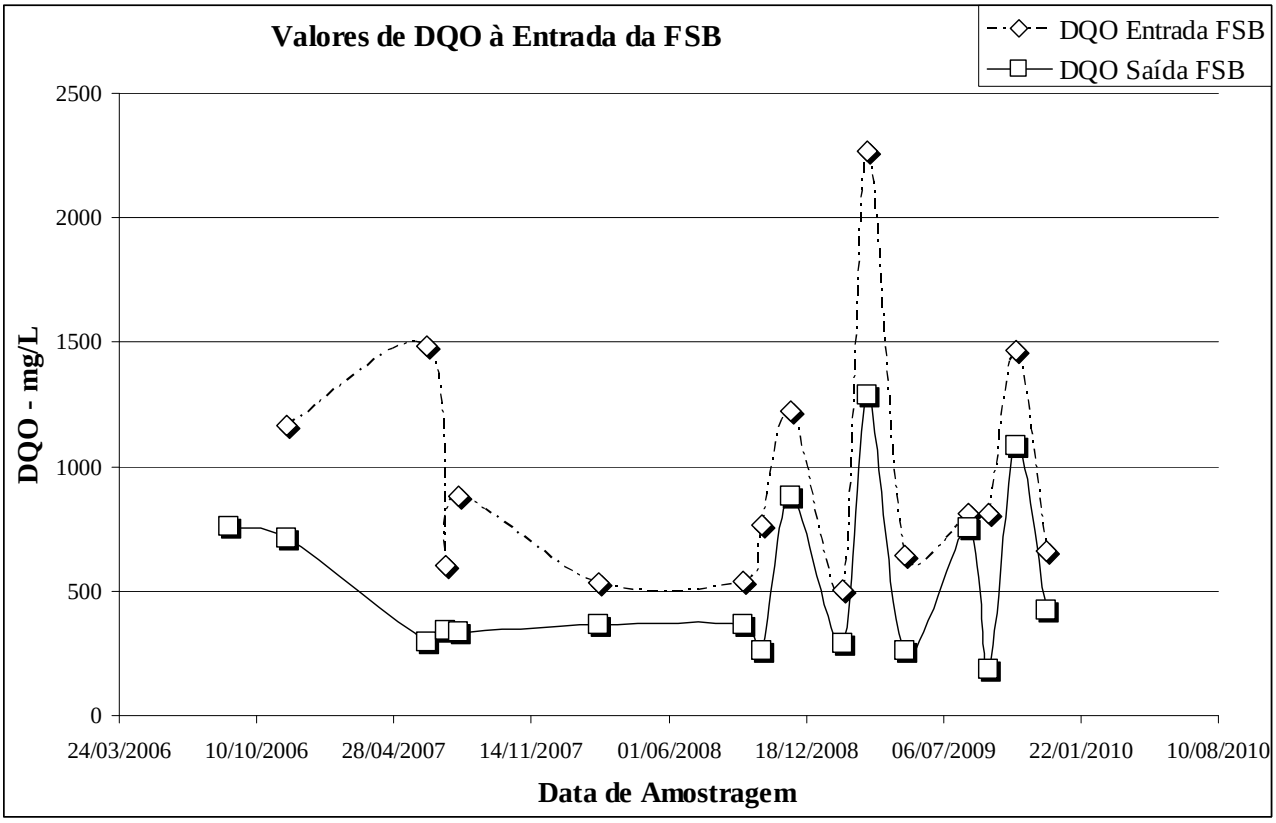


Figura 89. Valores da DQO (Demanda Química de Oxigênio) medidos à Entrada e Saída da Fossa Séptica Biodigestora (FSB) Modelo EMBRAPA, em mg/L.

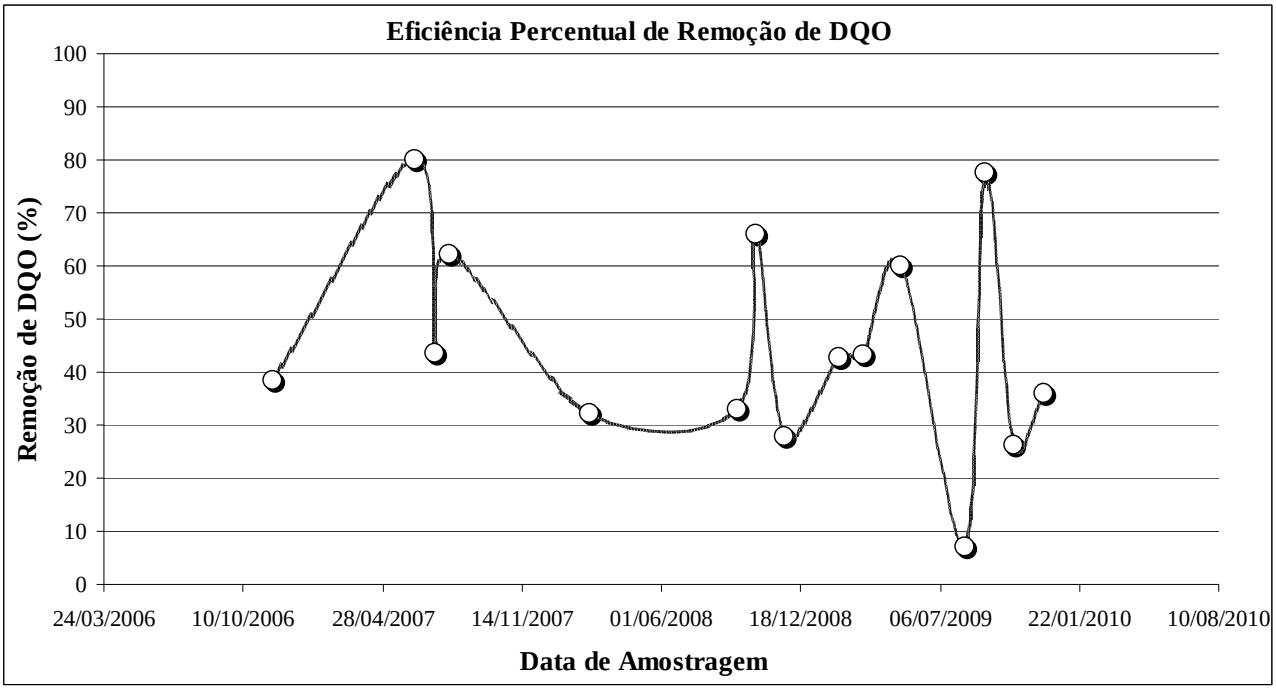


Figura 90. Valores da Eficiência Percentual da Remoção de DQO (Demanda Química de Oxigênio) medidos para a Fossa Séptica Biodigestora (FSB) Modelo EMBRAPA.

6.9.3.1_Relações DBO/DQO, DQO/DBO e DQO/DBO/Sólidos para a FSB

Baseado no estudo das relações entre a DBO e a DQO dos despejos à entrada da FSB, e eventualmente também de suas relações com os sólidos presentes, é possível realizar o controle operacional de um dado sistema de tratamento, bem como obter indicações quanto à presença de matéria orgânica biodegradável ou não-biodegradável presente em um determinado despejo, e também avaliar os processos a serem utilizados em seu tratamento.

Quando certo despejo apresenta relação DQO/DBO muito elevada (por exemplo, 2 ou 3), isto indica a presença de matéria orgânica não-biodegradável. Se a "matéria orgânica estável" presente é causadora ou não de poluição, é possível saber através do conhecimento do processo do qual ela se origina, ou através da realização de ensaios ou estudos de natureza específica (BOTELHO & LYRA, 1974). Este foi o comportamento do despejo sanitário à entrada da fossa séptica biodigestora, confirmando o que já fora observado quanto à presença de sólidos (elevada relação SDV/STV), também indicativa da presença de matéria orgânica de natureza não-biodegradável.

Há duas alternativas a serem consideradas neste caso: se a matéria orgânica de natureza não-biodegradável não tiver importância sanitária (exemplo: celulose) e houver interesse em remover a parte biodegradável, é possível pensar no uso de tratamentos convencionais de esgotos sanitários. O efluente resultante deste(s) tratamento(s) terá baixa DBO e a DQO será parcialmente reduzida no que corresponde à sua fração biodegradável. Parte da matéria orgânica não biodegradável e em suspensão poderá ser também removida por floculação biológica, enquanto a que estiver em solução permanecerá praticamente inatacada. Sendo assim, o efluente deste sistema de tratamento poderá ter ainda uma alta DQO, mas com a premissa de não exercer dano ao corpo receptor (BOTELHO & LYRA, 1974). Entre os tratamentos convencionais mencionados, seria grandemente recomendada uma seção para remoção da matéria sólida presente no esgoto afluente, à montante do sistema anaeróbio, evitando o aporte ao mesmo de matéria celulósico, entre outros resíduos sólidos em excesso.

Por outro lado, se a matéria orgânica não biodegradável for um dos obstáculos à disposição final de um efluente, pouca coisa poderá ser feita através de tratamentos biológicos, buscando-se então a aplicação de tratamentos físico-químicos específicos (BOTELHO & LYRA, 1974).

A Tabela 107 apresenta os resultados das relações DBO/DQO e DQO/DBO, usadas respectivamente com a finalidade de controle operacional e de análise da tratabilidade dos despejos à entrada e à saída da fossa séptica biodigestora (FSB).

Tabela 107 – Relações DBO/DQO e DQO/DBO para o esgoto sanitário à entrada e à saída da fossa séptica biodigestora.

DATA	Relação DBO/DQO Entrada	Relação DBO/DQO Saída	Relação DQO/DBO Entrada	Relação DQO/DBO Saída
31.08.06	---	0,41	---	2,44
22.11.06	0,42	0,11	2,37	9,18
14.06.07	0,42	0,21	2,37	4,70
13.07.07	0,29*	0,27	3,45	3,71
01.08.07	0,39	0,26	2,54	3,79
19.02.08	0,68	0,71	1,48	1,41
15.10.08	0,31	0,37	3,20	2,68
02.12.09	0,62	0,67	1,62	1,49
Média	0,45	0,38	2,43	3,68
Máximo	0,68	0,71	3,45	9,18
Mínimo	0,29	0,11	1,48	1,41

***** Houve adição de mistura esterco bovino/água ao biodigestor em 02/07/2007(ver Tabela 6).

A variação temporal dos valores de DQO demonstrou que, enquanto os valores de DQO à entrada e saída da FSB apresentaram ligeira tendência à elevação, seus valores de eficiência de remoção exibiram tendência de queda. Para a DBO ocorreu uma tendência de aproximação entre os valores de entrada e saída, ou seja, diminuição de valores na entrada e simultânea elevação na saída, acompanhada também de uma tendência ainda mais acentuada de queda na sua eficiência de remoção, comparada à eficiência de remoção de DQO (Figuras 105 e 106). Tal comportamento pode estar associado a interferências no processo de biodigestão anaeróbia devido: A) À presença de matéria orgânica não biodegradável (conforme já mencionado) e/ou eventuais substâncias químicas no despejo sanitário; B) Uma gradativa perda de eficiência do material filtrante da última caixa; C) À combinação de ambos estes fatores e outros a eles associados.

Outras causas possíveis são ainda mencionadas por SPEECE (1996): inadequado balanço tanto de micronutrientes como macronutrientes; diferença entre a presença de metais traço e sua efetiva biodisponibilidade; pH e temperatura; resposta à toxicidade; limitações de transferência de massa para os poluentes presentes no meio em relação aos consórcios microbianos; tempo de metabolização adequado para estes poluentes; fonte de carbono para a síntese celular; doadores e aceptores de elétrons.

6.9.3.2_Relações DBO/N/P e DQO/N/P para a FSB

De acordo com a literatura, as relações clássicas apontadas para a DBO e DQO (correspondendo à medida da matéria orgânica em relação à quantidade de nutrientes requerida por bactérias tanto aeróbias como anaeróbias) e os nutrientes nitrogênio (como nitrogênio amoniacal) e fósforo são: para a DBO: DBO:N:P = 100:5:1, em sistemas aeróbios, embora tais relações podem variar, devido à complexidade do processo de nutrição em comunidades microbianas heterogêneas, e em função das diferentes condições operacionais nestes sistemas (SANT'ANNA JUNIOR, 2010; METCALF AND EDDY, 2003); e para a DQO: DQO:N:P = 350:7:1 (GERARDI, 2003). Para águas residuárias industriais, diferentes relações são apontadas, entre elas: Nitrogênio (N): Fósforo (P): Enxofre (S): 10: 13,2: 2,6, e de 1 a 2 mg por 100 gramas de biomassa, respectivamente, sendo que os valores de nitrogênio e fósforo são consistentes com os valores para estes componentes estimados com base na composição da biomassa celular (METCALF AND EDDY, 2003). Ainda, de modo a manter a máxima atividade metanogênica, as concentrações desejáveis na fase líquida para o nitrogênio, fósforo e enxofre devem ser da ordem de 50, 10 e 5 mg/L (METCALF AND EDDY, 2003; SPEECE, 1996).

A quantidade de nitrogênio e fósforo que têm de estar disponíveis no digestor pode ser determinada a partir da quantidade de substrato, medida sob a forma de DQO, do lodo de alimentação do digestor. Os requisitos nutricionais para digestores anaeróbios variam grandemente sob diferentes valores de carga orgânica (Figura 90). Com o aumento da carga orgânica (medida em DQO), há um correspondente aumento nas necessidades nutricionais em termos de nitrogênio e fósforo.

Em geral, relações DQO:N:P = 1000:7:1 e DQO:N:P = 350:7:1 têm sido utilizadas para resíduos altamente concentrados e para baixas cargas orgânicas, respectivamente. Estas relações apresentam uma razão C/N de no mínimo 25:1, a qual é sugerida para uma produção de gás ótima. Se uma destas relações é usada, assume-se que o nitrogênio compreende cerca de 12%, e o fósforo, cerca de 2% do peso seco de células bacterianas (que constituem o lodo), de acordo com a Tabela 108. Estas relações são baseadas na fórmula empírica comum para o material celular, $C_2H_7O_2N$ (GERARDI, 2003).

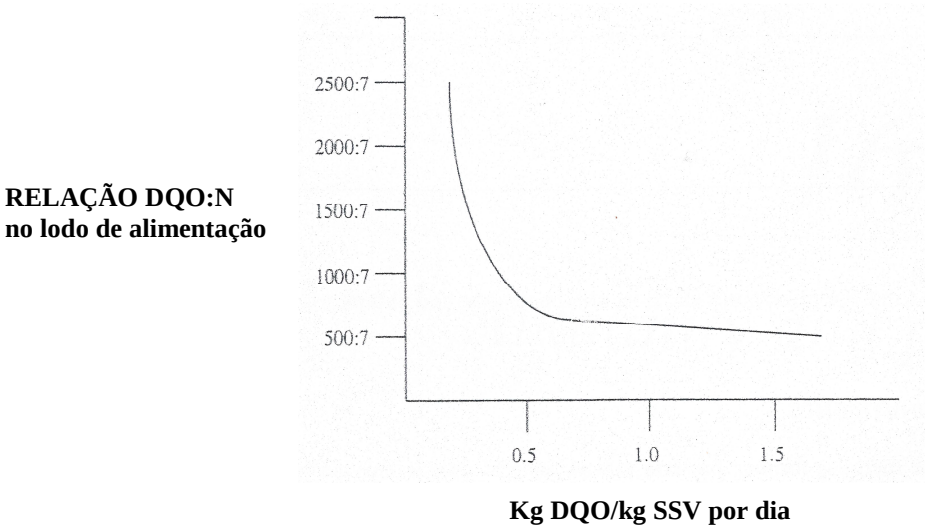


Figura 91 – Relações DQO:N utilizadas para a determinação das necessidades nutricionais do lodo de alimentação em um digestor anaeróbio.

Tabela 108 – Composição elementar das células bacterianas (peso seco).

Elemento	Composição percentual aproximada
Carbono	50
Oxigênio	20
Nitrogênio	12
Hidrogênio	8
Fósforo	2
Enxofre	1
Potássio	1
Outros	6

Assumindo que 10% da DQO alimentada a um digestor anaeróbio é convertida em novas células bacterianas ($C_2H_7O_2N$), o que corresponde a um produto de crescimento de 0,1 kg de SSV/kg de DQO removida, pode-se calcular a quantidade de nitrogênio e fósforo requerida (GERARDI, 2003), conforme o exemplo abaixo:

DQO afluente = 10.000 mg/L;

Eficiência de tratamento = 80%;

DQO removida = 8000 mg/L;

Crescimento da biomassa (0,1 x 8000) = 800 mg SSV/L;

Nitrogênio requerido (0,12 x 800) = 96 mg/L;

Fósforo requerido (0,02 x 800) = 16 mg/L.

Aplicando o mesmo procedimento de cálculo à FSB, com base no valor médio da DQO e numa eficiência em torno de 60%, teremos:

DQO afluente = 945,69 mg/L;
Eficiência de tratamento = 60%;
DQO removida = 567,41 mg/L;
Crescimento da biomassa (0,1 x 567,41) = 56,74 mg SSV/L;
Nitrogênio requerido (0,12 x 56,74) = **6,81 mg/L;**
Fósforo requerido (0,02 x 56,74) = **1,13 mg/L.**

Se for considerado o valor máximo obtido para a DQO, teremos, como máxima necessidade nutricional:

DQO afluente = 2270 mg/L;
Eficiência de tratamento = 60%;
DQO removida = 1362 mg/L;
Crescimento da biomassa (0,1 x 1362) = 136,2 mg SSV/L;
Nitrogênio requerido (0,12 x 136,2) = **16,34 mg/L**;
Fósforo requerido (0,02 x 800) = **2,72 mg/L**

Verifica-se, tanto através dos procedimentos de cálculo acima, como pela Tabela 109, que nenhuma das relações DBO/N/P e DQO/N/P foram atendidas, demonstrando um desbalanceamento nutricional no meio interno da FSB, o qual prejudicou o desempenho do processo de biodigestão anaeróbia nela desenvolvido.

Tabela 109 – Relações DBO:N:P e DQO:N:P para a FSB**.**

DATA	Relação DBO:N:P Entrada	Relação DBO:N:P Saída	Relação DQO:N:P Entrada	Relação DQO:N:P Saída
31.08.06	-----	100:99,36:9,32	-----	350:142,68:13,39
22.11.06	100:76,42:24,60	100:267,95:160,26	350:113,06:36,38	350:102,16:61,10
14.06.07	100:52,15:13,72	100:447,62:101,59	350:77,02:20,26	350:333,45:75,68
13.07.07	100:217,14:28,57	100:452,17:86,96	350:220,20:28,97	350:426,98:82,11
01.08.07	100:128,16:10,34	100:421,59:31,82	350:176,58:14,25	350:388,77:29,34
19.02.08	100:74,93:4,41	100:110,46:3,45	350:177,61:10,45	350:274,04:8,56
18.09.08	-----	-----	-----	-----
15.10.08	100:25,23:28,37	100;62,16:56,19	350:27,55:30,98	350:81,17:73,36
25.11.08	-----	-----	350:---:13,36	350:---:19,86
10.02.09	-----	-----	350:239,63:48,60	350:309,53:118,12
18.03.09	-----	-----	350:45,18:9,37	350:71,08:17,74
11.05.09	-----	-----	350:180,09:56,89	350:390,68:147,30
12.08.09	-----	-----	350:---:22,01	350:---:22,50
09.09.09	-----	-----	-----	-----
20.10.09	-----	-----	350:---:21,26	350:---:26,15
02.12.09	100: -- : 14,00	100: -- : 26,44	350:---:30,23	350:---:45,62

6.9.4_Análise da Série Nitrogenada e Fósforo para a FSB

Na análise do consumo de nitrogênio para a FSB, observa-se que ocorreu certo grau de remoção de Nitrogênio Total Kjeldahl e nitrogênio amoniacal (Tabela 112 e Figura 91). Conforme anteriormente explanado, e contrariamente à natureza do processo anaeróbio, no qual não há nitrificação, os resultados pareceram indicar sua ocorrência, provavelmente por certa disponibilidade de oxigênio atmosférico devida à turbulência ocasionada pelo transporte do esgoto sanitário e/ou pela penetração de ar nas caixas (por dificuldade na vedação de suas tampas).

Considerados em seu conjunto (Tabelas 112 e 113 e Figuras 91 e 92), nota-se uma grande variação nos valores de remoção do N_{amon} (nitrogênio amoniacal), e variações ainda maiores para o NTK (Nitrogênio Total Kjeldahl), demonstrando o processo irregular de aproveitamento dos nutrientes nitrogenados na FSB. Ocorreu acúmulo de NTK (13.07.2007 e 19.02.2008), e o processo de nitrificação ocorreu aparentemente sem uma correlação direta com teores maiores ou menores de oxigênio dissolvido (OD) presente, pois em determinados momentos houve acúmulo de N_{amon} (13.07.2007 e 19.02.2008), apesar de certos autores assinalarem haver teores limitantes à nitrificação para determinados parâmetros, entre eles o oxigênio dissolvido (Tabela 112). Em outro momento o consumo de N_{amon} foi nulo, embora não tenha sido medido o teor de oxigênio dissolvido (15.10.2008).

Tabela 110 – Valores de pH, temperatura e OD limitantes para a nitrificação (CARVALHO JUNIOR, 2008).

Temperatura (°C)	OD (mg/L)	pH	Referência
25	2,0	7,5 ± 0,5	**CARRERA** *et. al.* (2005)
20	> 1,0	8,2	**VILLAVERDE** *et. al.* (1997)
16	4,0	7,5	**ROSTRON** *et. al.* (2001)
15	2,5	7,2	**ARAVINTHAN** *et. al.* (1998)

Tabela 111 – Composição típica do esgoto sanitário bruto para as frações nitrogenadas e fósforo (baseado em METCALF AND EDDY, 2003).

Contaminantes	Unidade	Concentração		
		Baixa	Média	Alta
Nitrogênio (Total como N)	mg/L	20	40	70
Nitrogênio Orgânico	mg/L	8	15	25
Amônia Livre	mg/L	12	25	45
Nitritos	mg/L	zero	zero	Zero
Nitratos	mg/L	zero	zero	Zero
Fósforo orgânico	mg/L	1	2	4
Fósforo inorgânico	mg/L	3	5	8

Tabela 112 – Percentuais de remoção de Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) e Nitrogênio Amoniacal (Namon.) à entrada e saída da FSB, confrontados com teores de oxigênio dissolvido (OD).

DATA	**Percentual de remoção de NTK para a FSB (%)**	**Percentual de remoção de N_{amon} para a FSB (%)**	**Teor de Oxigênio Dissolvido (OD) presente na entrada da FSB (mg/L)**	**Teor de Oxigênio Dissolvido (OD) presente na saída da FSB (mg/L)**
31.08.06	----	----	----	2,6
22.11.06	----	44,41	2,1	1,6
14.06.07	19,45	13,76	zero	3,5
13.07.07	**- 6,50**	**- 9,47**	1,3	1,7
01.08.07	20,17	16,82	0,8	1,9
19.02.08	**- 0,69**	**- 4,78**	0,8	0,5
15.10.08	11,90	Zero	----	----
10.02.09	77,01	25,89	----	----
18.03.09	17,13	10,58	----	----
11.05.09	14,05	13,03	----	----
Média	19,06	12,25	1,0	1,97
Máximo	77,01	44,41	2,1	2,6
Mínimo	**- 6,50**	**- 9,47**	zero	0,5

Tabela 113 - Percentuais de redução de Nitrogênio Nitrato ($N–NO_3^-$) e Nitrogênio Nitrito ($N- NO_2^-$) para a FSB**.**

DATA	Percentual de remoção de N – NO_3^- para a FSB (%)	Percentual de remoção de N - NO_2^- para a FSB (%)
22.11.06	54,76	**- 1439,00**
14.06.07	84,96	**- 249,00**
13.07.07	65,31	zero
01.08.07	87,17	zero
19.02.08	78,36	zero
15.10.08	82,89	----
10.02.09	95,62	**- 0,04**
18.03.09	**- 166,67**	**- 686,67**
11.05.09	78,45	zero
09.09.09	36,31	55,81
Média	49,72	**- 257,66**
Máximo	95,62	55,81
Mínimo	**- 166,67**	**- 1439,00**

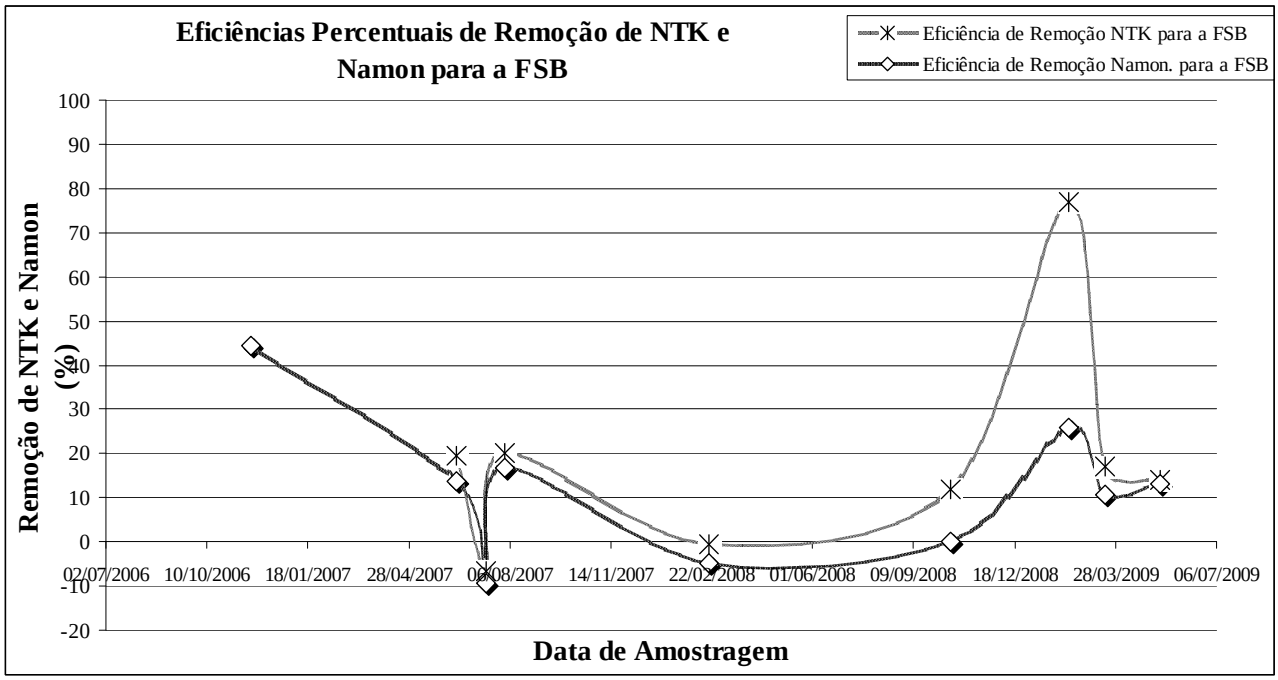


Figura 92 – Eficiências percentuais de remoção de Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) e nitrogênio amoniacal (Namon) para a FSB.

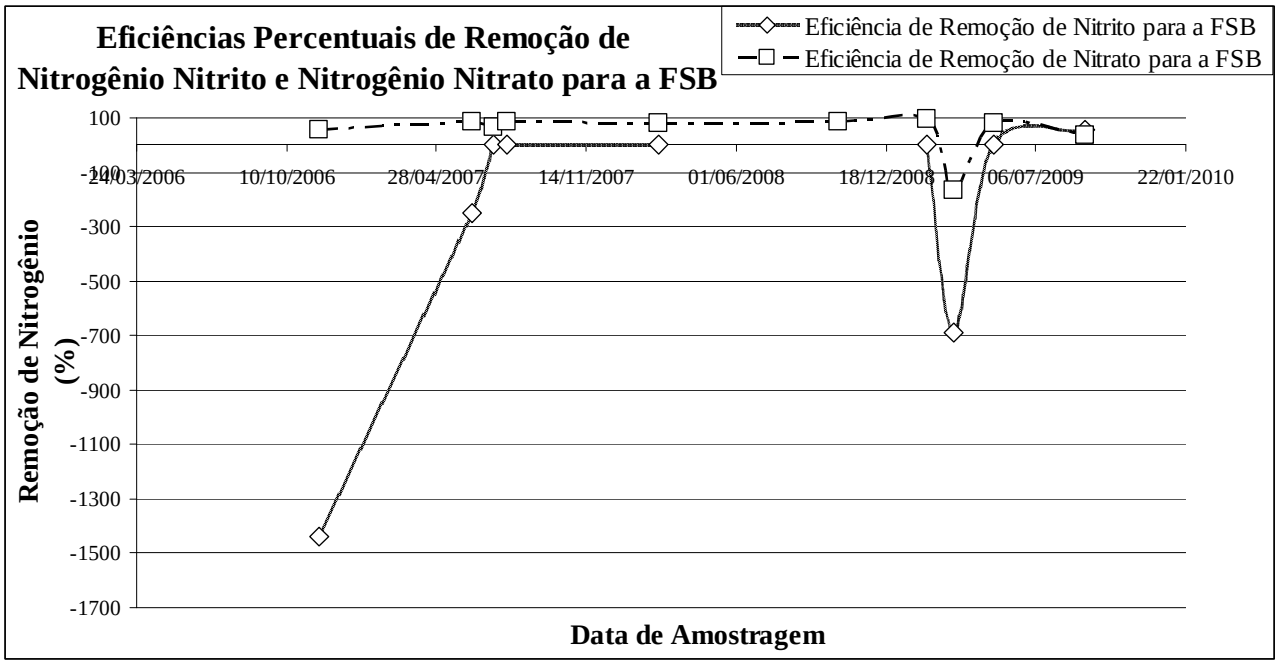


Figura 93 – Eficiências percentuais de remoção de Nitrogênio Nitrito e Nitrogênio Nitrato para a FSB.

Por outro lado, parece ter ocorrido também desnitrificação, a partir da conversão de valores reduzidos de nitrato na entrada da FSB (Tabela 113 e Figura 92), valores esses próximos aos valores típicos para o esgoto sanitário bruto (Tabela 111). De acordo com SANT'ANNA JUNIOR (2010), o nitrogênio na forma de nitrato e nitrito é encontrado nos esgotos domésticos em pequenas concentrações, da ordem de 1 mg/L; o nitrogênio amoniacal é encontrado em quantidades relativamente variáveis, entre 10 e 60 mg/L, e o NTK na faixa entre 20 a 70 mg/L. Os percentuais de remoção obtidos para o nitrato são apresentados na Tabela 113.

Na data de amostragem de 18.03.2009 não ocorreu desnitrificação, havendo acúmulo de nitrato, embora com teores na entrada e saída bastante baixos. O nitrito apresentou acumulação nas datas de amostragem: 22.11.06, 14.06.07, 10.02.09 e 18.03.09. Em apenas uma data de amostragem apresentou remoção de 55,81%, mas para teores bastante baixos. Este comportamento pode ser explicável considerando-se o nitrito como forma nitrogenada intermediária no processo de nitrificação (nitrogênio amoniacal a nitrito e depois a nitrato), apresentando, portanto, quantidades variáveis ao longo do processo. As Figuras 93 a 95 apresentam graficamente os resultados da série nitrogenada para a FSB.

Considerando-se ainda as relações DBO: N: P e DQO: N: P analisadas anteriormente (Tabela 109), parece ter sido confirmada a ocorrência de um desbalanceamento nutricional para o

nitrogênio no meio interno da FSB, o qual uma vez mais evidencia o prejuízo ao desempenho do processo de biodigestão anaeróbia, não se descartando também a possibilidade de que os níveis de nitrogênio total e especialmente amoniacal apresentados tenham causado certo grau de inibição ao processo anaeróbio, pois foram reportados níveis de amônia livre da ordem de 100 a 150 mg N/L como causadores de inibição em culturas não adaptadas (DE BAERE *et. al.*,1984). A amônia livre é a mais tóxica das formas de nitrogênio amoniacal para as bactérias metanogênicas, uma vez que a amônia livre ou moléculas não ionizadas podem penetrar a membrana celular das mesmas.

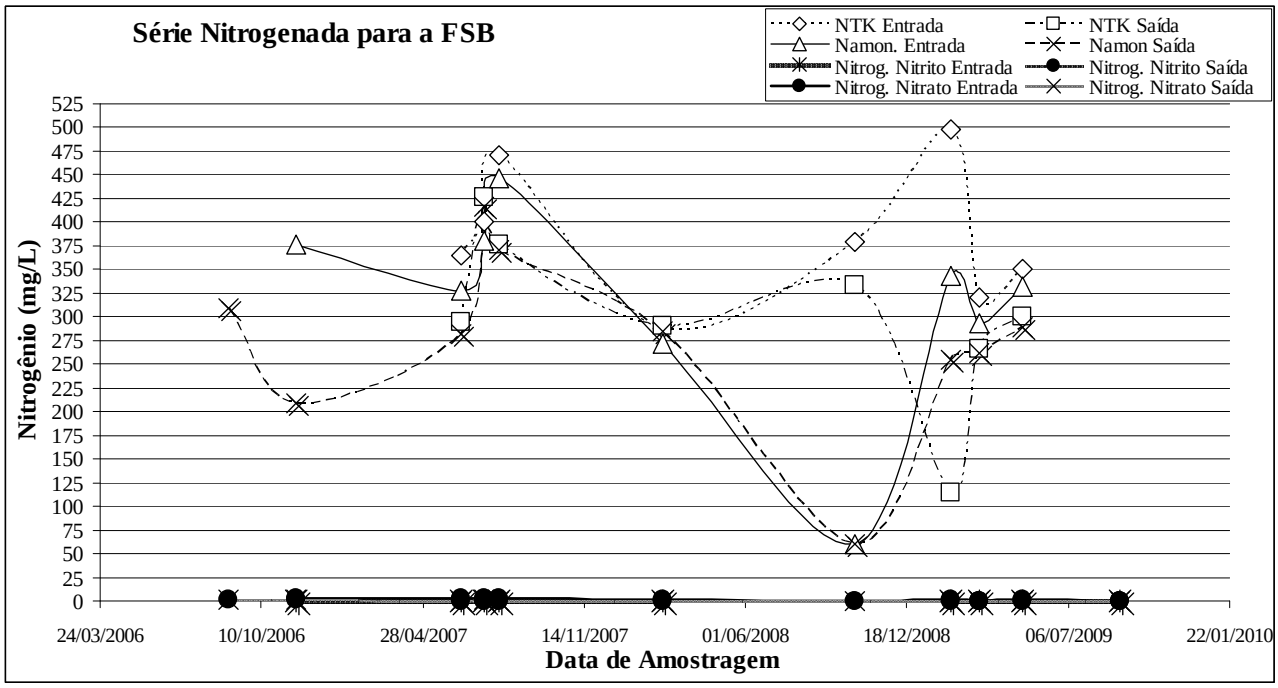


Figura 94 – Valores da série nitrogenada para a FSB (Nitrogênio Total Kjeldahl – NTK, nitrogênio amoniacal – Namon, nitrogênio nitrato – N Nitrato, nitrogênio nitrito – N Nitrito), em mg/L.

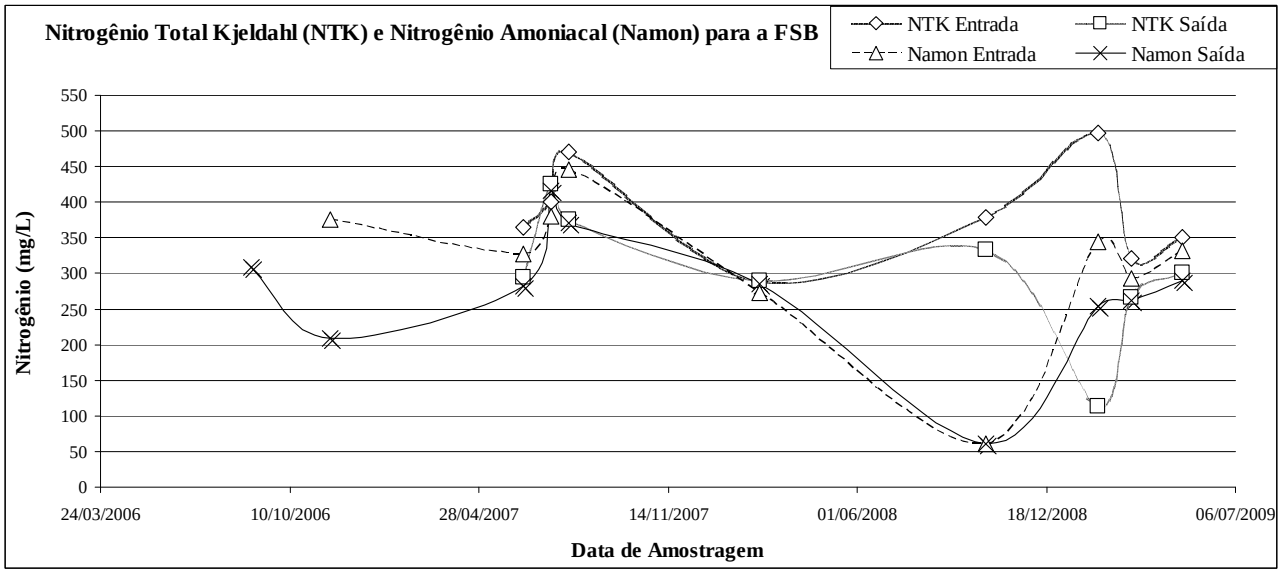


Figura 95 – Valores de Nitrogênio Total Kjeldahl – NTK e nitrogênio amoniacal – Namon. para a FSB, em mg/L.

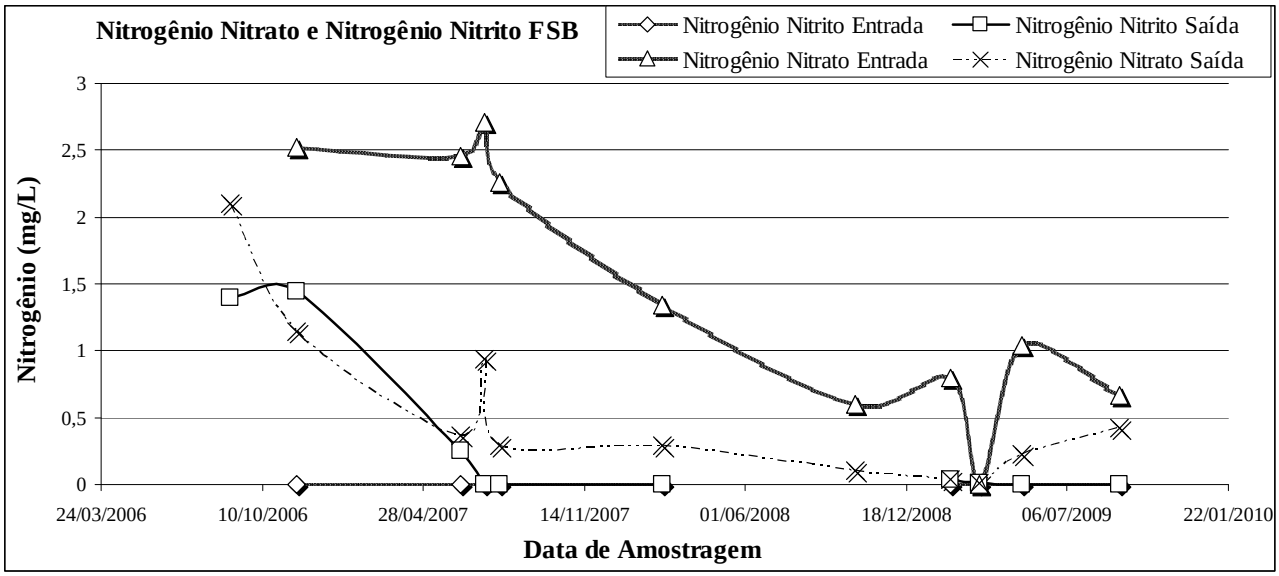


Figura 96 – Valores de nitrogênio nitrito e nitrogênio nitrato para a FSB, em mg/L.

Esta toxicidade está associada a outros fatores, como o pH do meio, o qual, se mantido neutro no meio interno do reator, pode evitar a toxicidade pela amônia (KHANAL, 2009). A forma mais abundante de nitrogênio inorgânico encontrada nas águas residuárias é o íon amônio (NH_4^+),

cujo equilíbrio com a forma não ionizada (NH_3), representado na equação a seguir, é fortemente dependente do pH (SANT'ANNA JUNIOR, 2010):

$$NH_3 + H^+ \leftrightarrow NH_4^+$$

Para valores de pH menores ou iguais a 7, muito comuns em águas naturais, a forma ionizada é predominante. Para valores de pH na faixa de 8 a 9 a fração na forma não ionizada cresce acentuadamente de 8 para 70%, e acima de pH 11, a forma não ionizada é dominante. Embora ambas as formas sejam tóxicas à vida aquática, uma vez que o pH oscilou numa faixa entre 7,87 a 8,31 na entrada da FSB, portanto predominantemente alcalino, há indícios de disponibilidade de amônia livre no meio, a qual deve ter influenciado no aumento de sua toxicidade (SANT'ANNA JUNIOR, 2010).

Os valores de nitrogênio nitrito e nitrogênio nitrato apresentaram tendência de queda ao longo do tempo, conforme pode ser visto pela Figura 92, o que pode ser um indicativo de queda na atividade das bactérias nitrificantes, causada talvez pela diminuição do oxigênio disponível (embora evidentemente indesejado para o processo anaeróbio). A Tabela 114 apresenta um resumo de toda a série nitrogenada analisada para a FSB, com seus valores mínimos, máximos e médias.

Tabela 114 - Resumo da série nitrogenada analisada para a FSB, com seus valores mínimos, máximos e médias.

DATA	Nitrogênio Total Kjeldahl Entrada da FSB	Nitrogênio Total Kjeldahl Saída da FSB	Nitrogênio Amoniacal Entrada da FSB	Nitrogênio Amoniacal Saída da FSB	Nitrogênio Nitrito Entrada da FSB	Nitrogênio Nitrito Saída da FSB	Nitrogênio Nitrato Entrada da FSB	Nitrogênio Nitrato Saída da FSB
31.08.06	----	----	----	309,0	----	1,4	----	2,1
22.11.06	----	----	376,0	209,0	< 0,001	1,44	2,52	1,14
14.06.07	365,0	294,0	327,0	282,0	< 0,001	0,25	2,46	0,37
13.07.07	400,0	426,0	380,0	416,0	< 0,001	< 0,001	2,71	0,94
01.08.07	471,0	376,0	446,0	371,0	< 0,001	< 0,001	2,26	0,29
19.02.08	288,0	290,0	272,0	285,0	ND	ND	1,34	0,29
15.10.08	379,1	334,0	60,3	60,3	----	----	0,596	0,102
10.02.09	497,2	114,3	343,7	254,7	ND	0,04	0,8	0,035
18.03.09	321,0	266,0	293,0	262,0	0,0015	0,0118	0,003	0,008
11.05.09	350,2	301,0	332,4	289,1	< 0,001	< 0,001	1,044	0,225
09.09.09	----	----	----	----	0,0043	0,0019	0,661	0,421
Média	383,94	300,16	314,49	273,81	0,0012	0,3147	1,44	0,538
Máximo	497,2	426,0	446,0	416,0	0,0043	1,44	2,71	2,1
Mínimo	288,0	114,30	60,3	60,3	ND	ND	0,003	0,008

Em relação ao fósforo, foi observado que, de modo similar ao nitrogênio, houve acúmulo no meio interno da FSB, nas datas de amostragem: 22.11.2006; 13.07.2007; 25.11.2008; 10.02.2009; 18.03.2009; e 11.05.2009, evidenciando novamente um desbalanceamento nutricional, não somente em proporção com o nitrogênio e a matéria orgânica (relação DQO:N:P – Tabela 109), mas também em quantidade, pois os valores situaram-se muito acima daqueles apontados na composição típica do esgoto doméstico (Tabela 111), mas com um baixo grau de aproveitamento (Tabela 116). Fosfatos, polifosfatos e ortofosfatos são comuns em esgotos domésticos, em decorrência do uso de produtos de limpeza, sendo que cerca de 50% do fósforo pode estar na forma inorgânica (SANT'ANNA JUNIOR, 2010). Uma quantidade mais elevada como a que se apresentou na FSB deve ter sido causada pela presença de sabões e/ou detergentes nos despejos sanitários.

As Figuras 96 e 97 e as Tabelas 115 e 116 apresentam gráfica e descritivamente os valores de fosfato à entrada e saída da FSB para cada data de amostragem, com seus mínimos, máximos e médias, e as eficiências percentuais de remoção de fosfato obtidas.

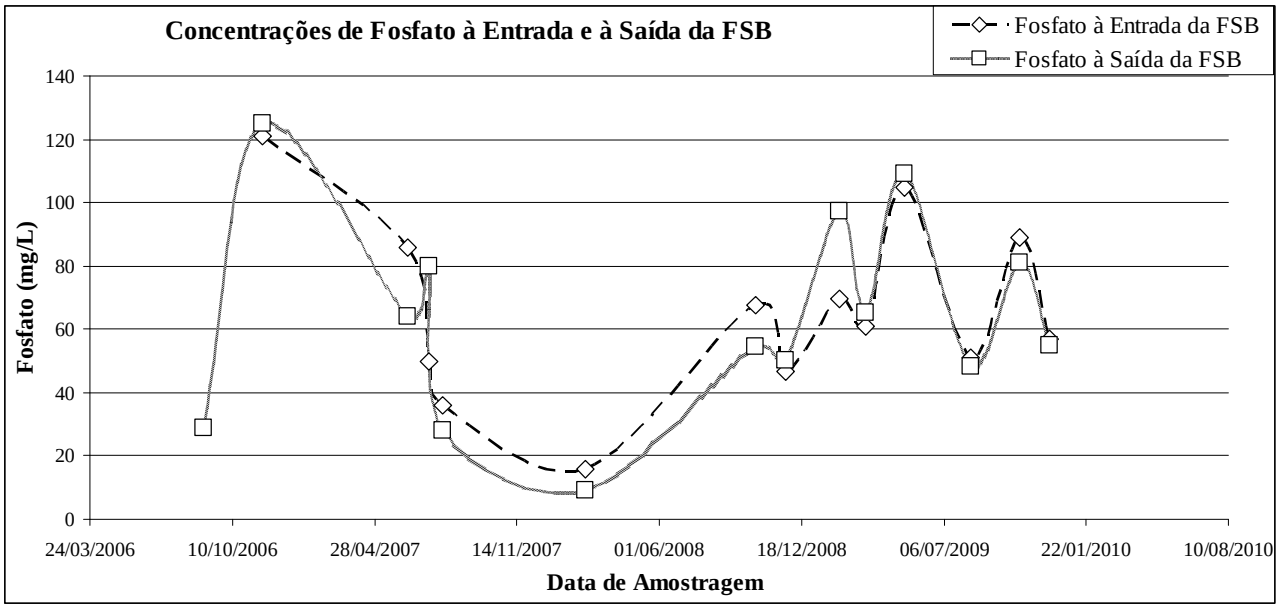


Figura 97 – Valores de fosfato à entrada e saída da FSB.

Tabela 115 - Valores de fosfato à entrada e saída da FSB para cada data de amostragem, com seus mínimos, máximos e médias.

DATA	**31.08.06**	**22.11.06**	**14.06.07**	**13.07.07**	**01.08.07**	**19.02.08**	**15.10.08**	**25.11.08**	**10.02.09**
Entrada	----	121,0	86,0	50,0	36,0	16,0	67,8	46,7	69,7
Saída	29,0	125,0	64,0	80,0	28,0	8,9	54,5	50,1	97,2
DATA	**18.03.09**	**11.05.09**	**12.08.09**	**20.10.09**	**02.12.09**	**Mínimo**	**Máximo**	**Média**	
Entrada	60,8	105,0	51,0	89,1	57,0	16,0	121,0	65,8	
Saída	65,4	109,0	48,4	81,0	55,0	8,9	125,0	64,0	

Tabela 116 – Eficiências percentuais de remoção de fosfato para a FSB para cada data de amostragem.

DATA	**22.11.06**	**14.06.07**	**13.07.07**	**01.08.07**	**19.02.08**	**15.10.08**	**25.11.08**	**10.02.09**
Eficiência de remoção de fosfato (%)	**- 3,31**	25,58	**- 60,00**	22,22	44,37	19,62	**- 7,28**	**- 39,45**
DATA	**18.03.09**	**11.05.09**	**12.08.09**	**20.10.09**	**02.12.09**	**Mínimo**	**Máximo**	**Média**
Eficiência de remoção de fosfato (%)	**- 7,57**	**- 3,81**	5,10	9,09	3,51	**- 60,00**	44,37	0,62

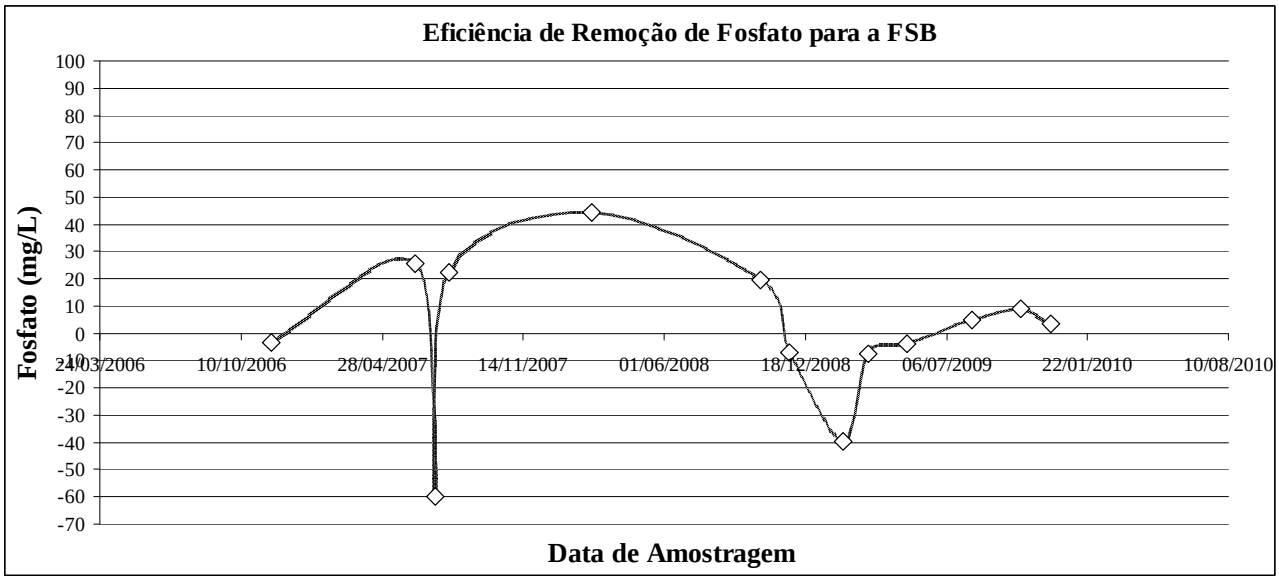


Figura 98 – Eficiências de remoção percentual de fosfato para a FSB.

6.9.5_Análise de Coliformes Totais e Fecais para a FSB

Coliformes totais e fecais apresentam, como percentual de remoção aproximado, cerca de 10% e 35% em sistemas de tratamento primário, respectivamente, e de 90% a 99%, em sistemas de tratamento secundário, para ambos (LEME, 2007). Em se tratando de um sistema considerado de tratamento primário, a FSB superou estas expectativas de remoção, pois atingiu percentuais entre 39,13 e 99,99% para os coliformes totais, e entre 96,57 e 100% para os coliformes fecais, alcançando, portanto, níveis de remoção compatíveis com um sistema de tratamento secundário (considerados somente estes dois parâmetros), bem como superou também o valor de 55%, indicado por BATALHA (1989) (Figuras 98 e 99 e 100 a 102, e Tabelas 117 a 120) , excetuando-se os valores de 12.08.2009 e 02.12.2009 para os coliformes totais; e o valor de 02.12.2009 para os coliformes fecais (Tabelas 117 e 118).

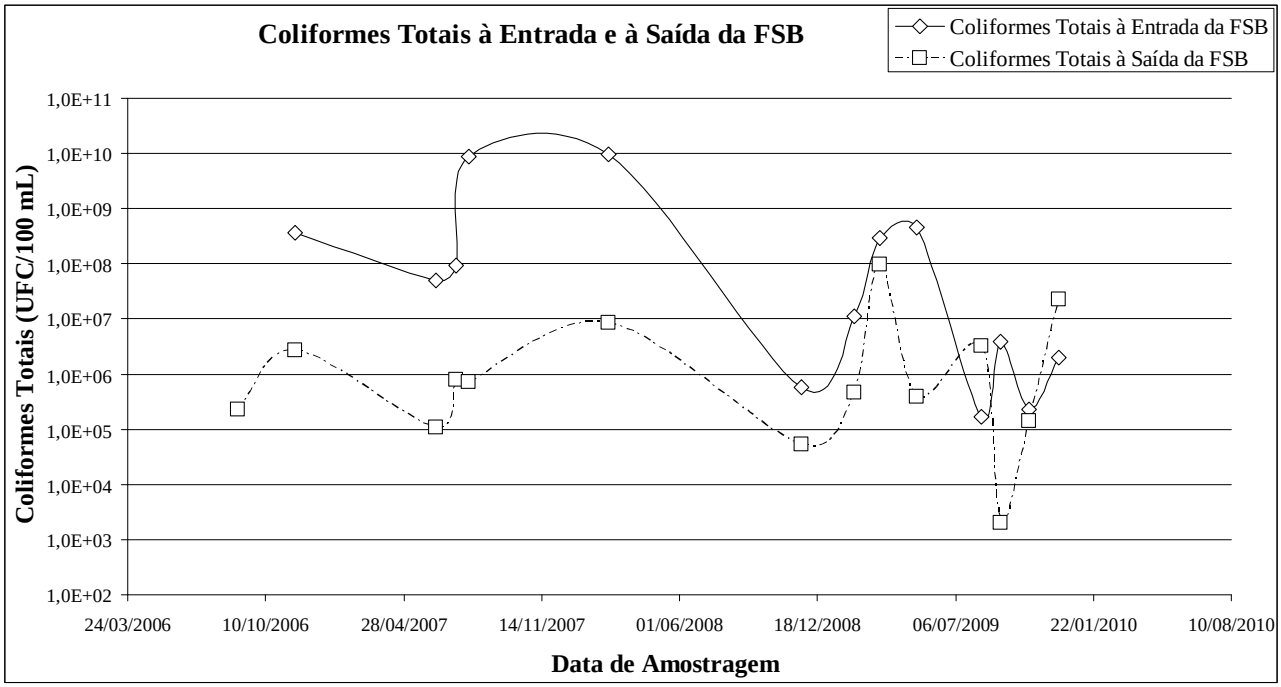


Figura 99 – Valores de coliformes totais à entrada e à saída da FSB.

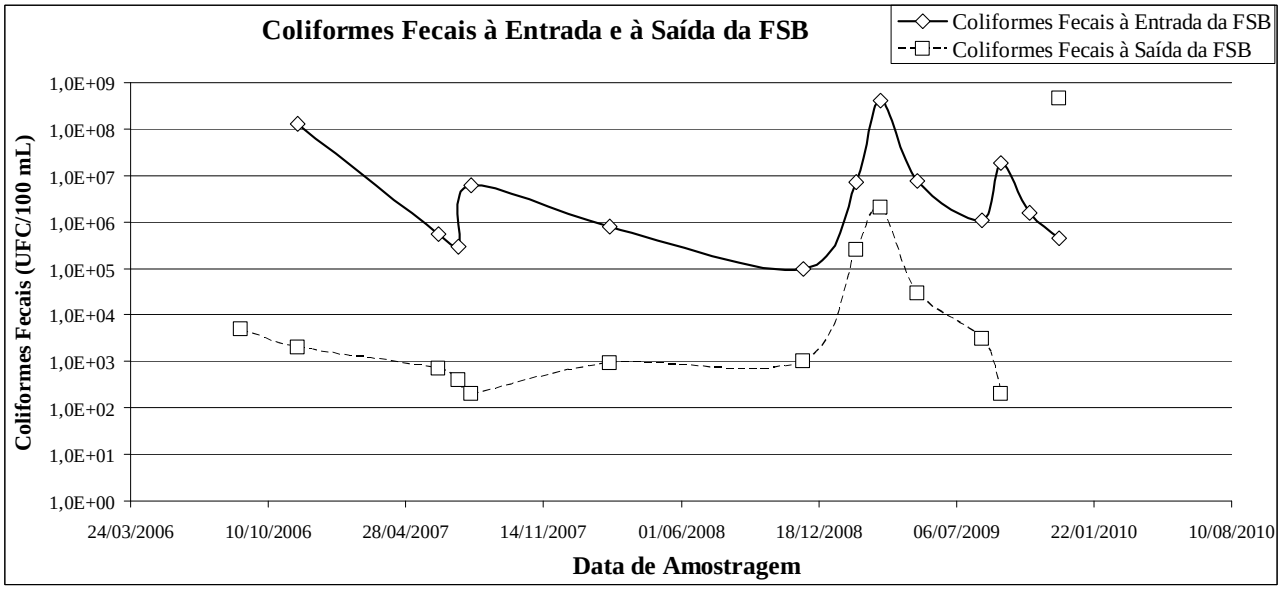


Figura 100 – Valores de coliformes fecais à entrada e à saída da FSB.

Tabela 117 - Valores de coliformes totais à entrada e saída da FSB para cada data de amostragem, com seus mínimos, máximos e médias.

DATA	**31.08.06**	**22.11.06**	**14.06.07**	**13.07.07**	**01.08.07**	**19.02.08**	**25.11.08**	**10.02.09**	**18.03.09**
Entrada	----	$3,7 \times 10^8$	$4,9 \times 10^7$	$9,4 \times 10^7$	$8,7 \times 10^9$	$9,6 \times 10^9$	$5,7 \times 10^5$	$1,1 \times 10^7$	$2,9 \times 10^8$
Saída	$2,3 \times 10^5$	$2,7 \times 10^6$	$1,1 \times 10^5$	$8,0 \times 10^5$	$7,2 \times 10^5$	$8,5 \times 10^6$	$5,4 \times 10^4$	$4,7 \times 10^5$	$9,7 \times 10^7$
DATA	**11.05.09**	**12.08.09**	**09.09.09**	**20.10.09**	**02.12.09**	**Mínimo**	**Máximo**	**Média**	
Entrada	$4,6 \times 10^8$	$1,7 \times 10^5$	$3,8 \times 10^6$	$2,3 \times 10^5$	$2,0 \times 10^6$	$1,7 \times 10^5$	$9,6 \times 10^9$	$1,5 \times 10^9$	
Saída	$3,9 \times 10^5$	$3,2 \times 10^6$	$2,0 \times 10^3$	$1,4 \times 10^5$	$2,3 \times 10^7$	$2,0 \times 10^3$	$9,7 \times 10^7$	$9,8 \times 10^6$	

Tabela 118- Valores de coliformes fecais à entrada e saída da FSB para cada data de amostragem, com seus mínimos, máximos e médias.

DATA	**31.08.06**	**22.11.06**	**14.06.07**	**13.07.07**	**01.08.07**	**19.02.08**	**25.11.08**	**10.02.09**	**18.03.09**
Entrada	----	$1,3 \times 10^8$	$5,5 \times 10^5$	$3,0 \times 10^5$	$6,1 \times 10^6$	$8,1 \times 10^5$	$1,0 \times 10^5$	$7,3 \times 10^6$	$4,0 \times 10^8$
Saída	$5,0 \times 10^3$	$2,0 \times 10^3$	$7,0 \times 10^2$	$4,0 \times 10^2$	$2,0 \times 10^2$	$9,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^3$	$2,5 \times 10^5$	$2,0 \times 10^6$
DATA	**11.05.09**	**12.08.09**	**09.09.09**	**20.10.09**	**02.12.09**	**Mínimo**	**Máximo**	**Média**	
Entrada	$7,6 \times 10^6$	$1,1 \times 10^6$	$1,9 \times 10^7$	$1,6 \times 10^6$	$4,4 \times 10^5$	$1,0 \times 10^5$	$4,0 \times 10^8$	$4,4 \times 10^7$	
Saída	$3,0 \times 10^4$	$3,0 \times 10^3$	$2,0 \times 10^2$	zero	$4,5 \times 10^8$	zero	$4,5 \times 10^8$	$3,2 \times 10^7$	

Tabela 119 – Eficiências percentuais de remoção de coliformes totais para a FSB para cada data de amostragem, com seus mínimos, máximos e médias.

DATA	**22.11.06**	**14.06.07**	**13.07.07**	**01.08.07**	**19.02.08**	**25.11.08**	**10.02.09**	**18.03.09**
Eficiência de remoção de CT (%)	99,27	99,775	99,149	99,992	99,991	90,526	95,727	66,552
DATA	**11.05.09**	**12.08.09**	**09.09.09**	**20.10.09**	**02.12.09**	**Mínimo**	**Máximo**	**Média**
Eficiência de remoção de CT (%)	99,915	**-1782,35**	99,947	39,13	**-1050,00**	**-1782,35**	99,992	**-141,728**

Tabela 120 – Eficiências percentuais de remoção de coliformes fecais para a FSB para cada data de amostragem, com seus mínimos, máximos e médias.

DATA	**22.11.06**	**14.06.07**	**13.07.07**	**01.08.07**	**19.02.08**	**25.11.08**	**10.02.09**	**18.03.09**
Eficiência de remoção de CF (%)	99,998	99,873	99,867	99,997	99,889	99,00	96,575	99,50
DATA	**11.05.09**	**12.08.09**	**09.09.09**	**20.10.09**	**02.12.09**	**Mínimo**	**Máximo**	**Média**
Eficiência de remoção de CF (%)	99,605	99,727	99,999	100,00	**-102173,0**	**-102173,0**	100,00	**-7767,59**

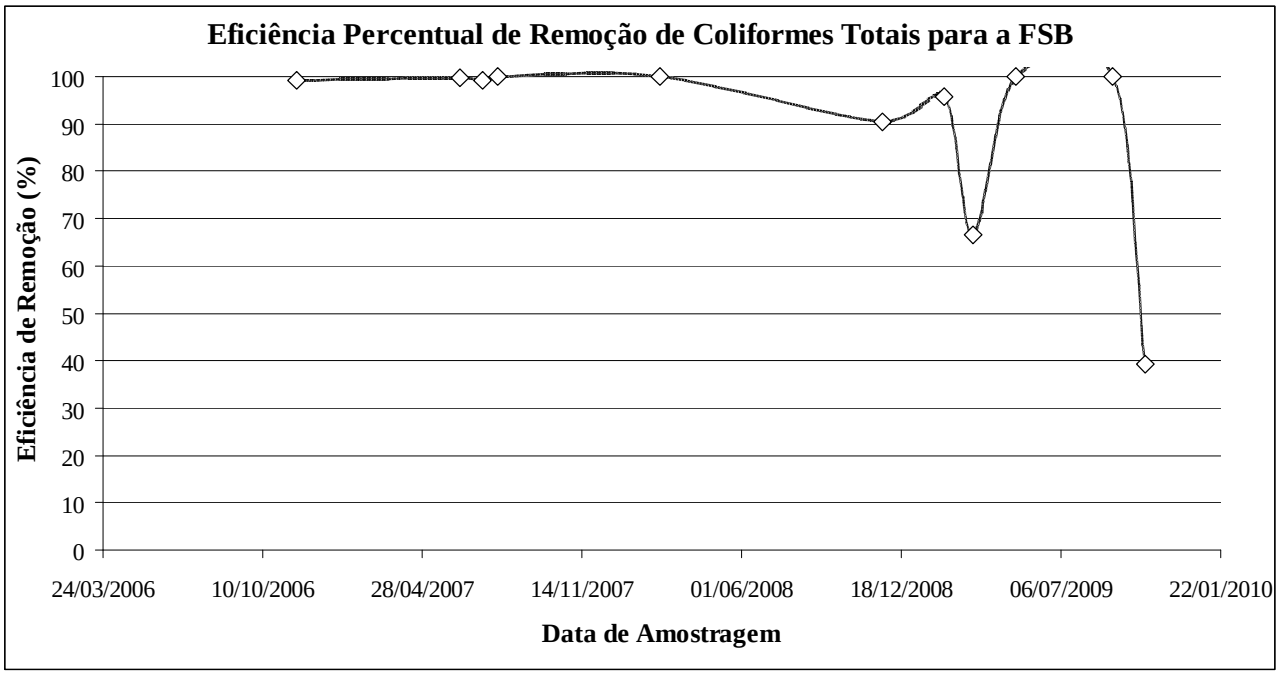


Figura 101 – Eficiência de remoção percentual de coliformes totais para a FSB.

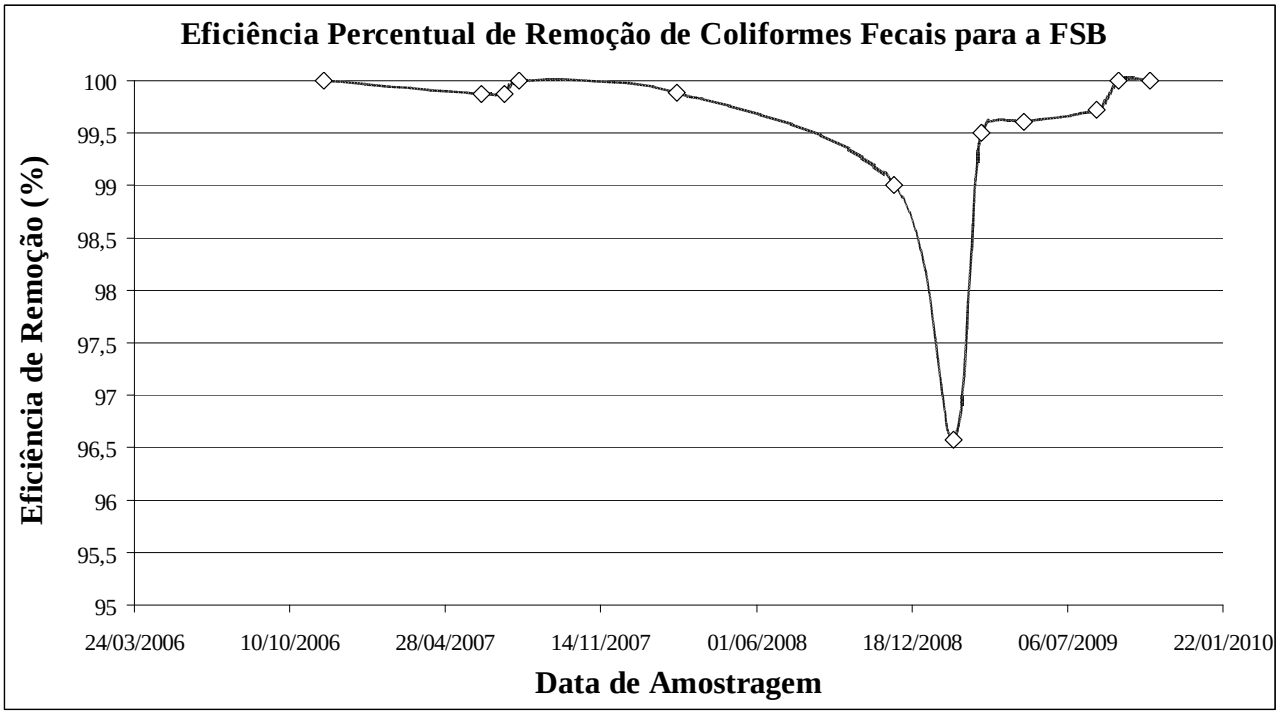


Figura 102 – Eficiência de remoção percentual de coliformes fecais para a FSB.

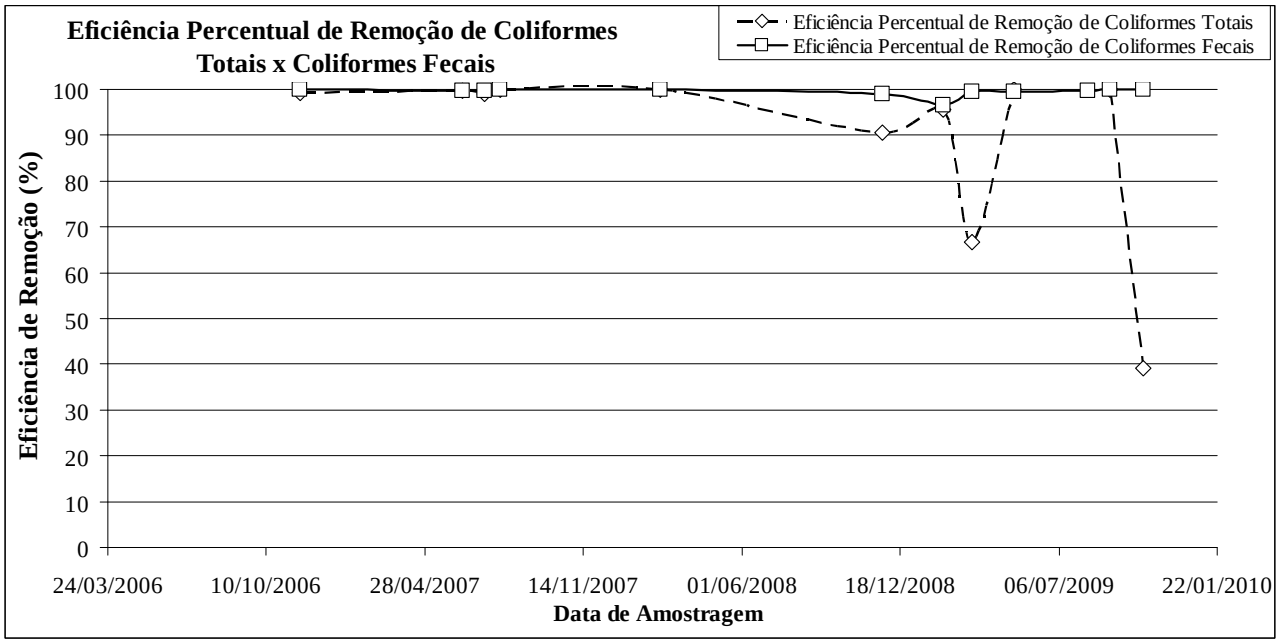


Figura 103 – Comparação entre as eficiências de remoção de coliformes totais e fecais.

Como seria esperado, observa-se: 1 - Um teor menor de coliformes fecais em relação aos coliformes totais. Porém, na última data de amostragem (02.12.2009) iniciou-se uma inversão de valores à entrada e à saída da FSB, com os valores da entrada superando os valores da saída, para ambos (coliformes totais e fecais), denotando provavelmente a perda da eficiência de retenção pelo material filtrante da última (terceira) caixa, possivelmente com desprendimento de material aderido às partículas de material filtrante; 2 - Entre coliformes totais e fecais houve uma maior eficiência de remoção para os coliformes fecais na FSB.

6.9.6_Análise da Turbidez para a FSB

A Tabela 121 e a Figura 103 apresentam os valores de turbidez obtidos para a FSB. De acordo com o documento “Orientação para Apresentação de Projeto Visando a Aplicação de Água de Reuso Proveniente de Estação de Tratamento de Esgoto Doméstico na Agricultura” (CETESB, 2001), que busca estabelecer orientações da CETESB para disciplinar a prática de reúso de água proveniente de uma estação de tratamento de esgoto doméstico na aplicação em culturas, definindo critérios mínimos e exigências técnicas a serem atendidos de maneira a proteger o meio ambiente e

a saúde pública, a turbidez não é mencionada como sendo uma característica a ser controlada para fins de reuso do esgoto sanitário na agricultura.

Por outro lado, a turbidez, por estar associada à presença de sólidos suspensos, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e de detritos orgânicos, algas e bactérias, plâncton em geral, etc., pode interferir na qualidade da água para reuso, na dependência da finalidade para a qual será aplicado este reuso, requerendo tratamento.

Os padrões da EPA (Environmental Protection Agency) (USEPA, 2004), preconizam, para reuso urbano, um VMP para a turbidez ≤ 2,0 NTU, enquanto a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) estabelece um VMP ≤ 100 NTU, para classe 2 – águas destinadas à recreação de contato primário (tais como natação e mergulho, conforme Resolução CONAMA 274/00 (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, BRASIL, 2000), irrigação de hortaliças e de plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com as quais o público possa vir a ter contato direto, e à aqüicultura e à atividade de pesca.

Se não houver contato humano ou a irrigação for para culturas arbóreas, cerealíferas ou forrageiras, a classe será 3; ainda, o limite de coliformes termotolerantes, 4.000/100 mL; e o de DBO, 10 mg/L. Para uso em navegação e harmonia paisagística a classe será 4. Assim, de acordo com esses padrões, os VMP's para turbidez na saída da fossa séptica biodigestora foram extrapolados, implicando em tratamentos complementares para esta variável de qualidade, como a filtração, fato que demanda estudos complementares posteriores .

No caso específico da fossa séptica biodigestora, ocorreu um aumento conjunto da turbidez e dos coliformes ao final das amostragens, o que parece confirmar o desprendimento de sólidos a partir do material filtrante existente na última caixa da FSB, diminuindo a qualidade da água produzida e certamente provocando interferências à sua aplicação. Uma análise das eficiências de remoção demonstrou ainda mais que tratamentos adicionais para o esgoto sanitário tratado fazem necessários, pois os mesmos oscilaram entre 26,31% e 94,13% (Tabela 122 e Figura 104).

Tabela 121 - Valores de turbidez à entrada e saída da FSB para cada data de amostragem, com seus mínimos, máximos e médias.

DATA	**31.08.06**	**22.11.06**	**14.06.07**	**13.07.07**	**01.08.07**	**19.02.08**	**15.10.08**	**25.11.08**	**10.02.09**
Entrada	----	620,0	426,0	141,0	144,0	172,0	185,0	112,0	83,8
Saída	67,1	200,0	25,0	52,7	30,2	85,9	57,6	37,5	22,6
DATA	**18.03.09**	**11.05.09**	**09.09.09**	**20.10.09**	**02.12.09**	**Mínimo**	**Máximo**	**Média**	
Entrada	90,9	174,0	202,0	168,0	97,3	83,3	620,0	201,2	
Saída	31,3	72,6	34,7	92,1	71,7	22,6	200,0	62,9	

Tabela 122 – Eficiências percentuais de remoção de turbidez para a FSB para cada data de amostragem, com seus mínimos, máximos e médias.

DATA	22.11.06	14.06.07	13.07.07	01.08.07	19.02.08	15.10.08	25.11.08	10.02.09
Eficiência de remoção de Turbidez (%)	67,74	94,13	62,62	79,03	50,06	68,86	66,52	73,03
DATA	**18.03.09**	**11.05.09**	**09.09.09**	**20.10.09**	**02.12.09**	**Mínimo**	**Máximo**	**Média**
Eficiência de remoção de Turbidez (%)	65,57	58,27	82,82	45,18	26,31	26,31	94,13	64,63

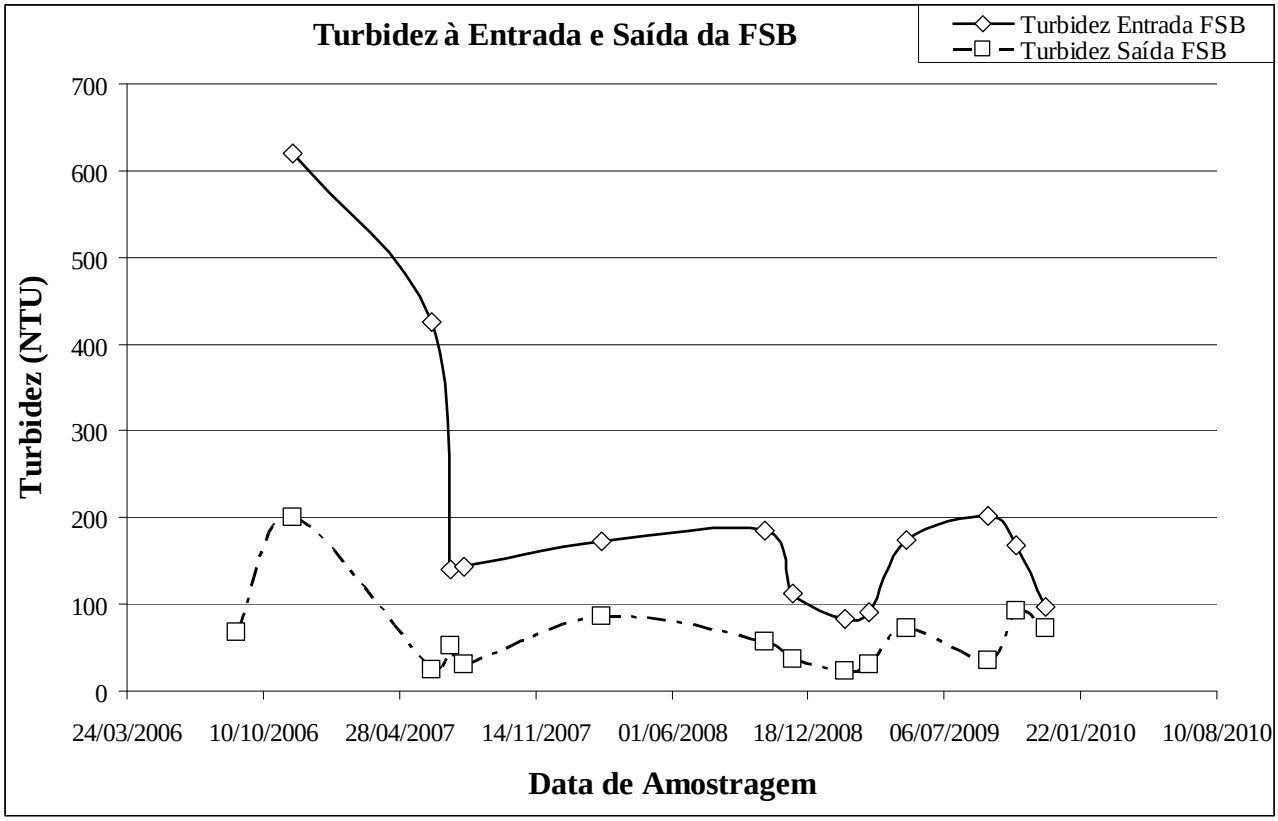


Figura 104 – Valores de turbidez à entrada e à saída da FSB.

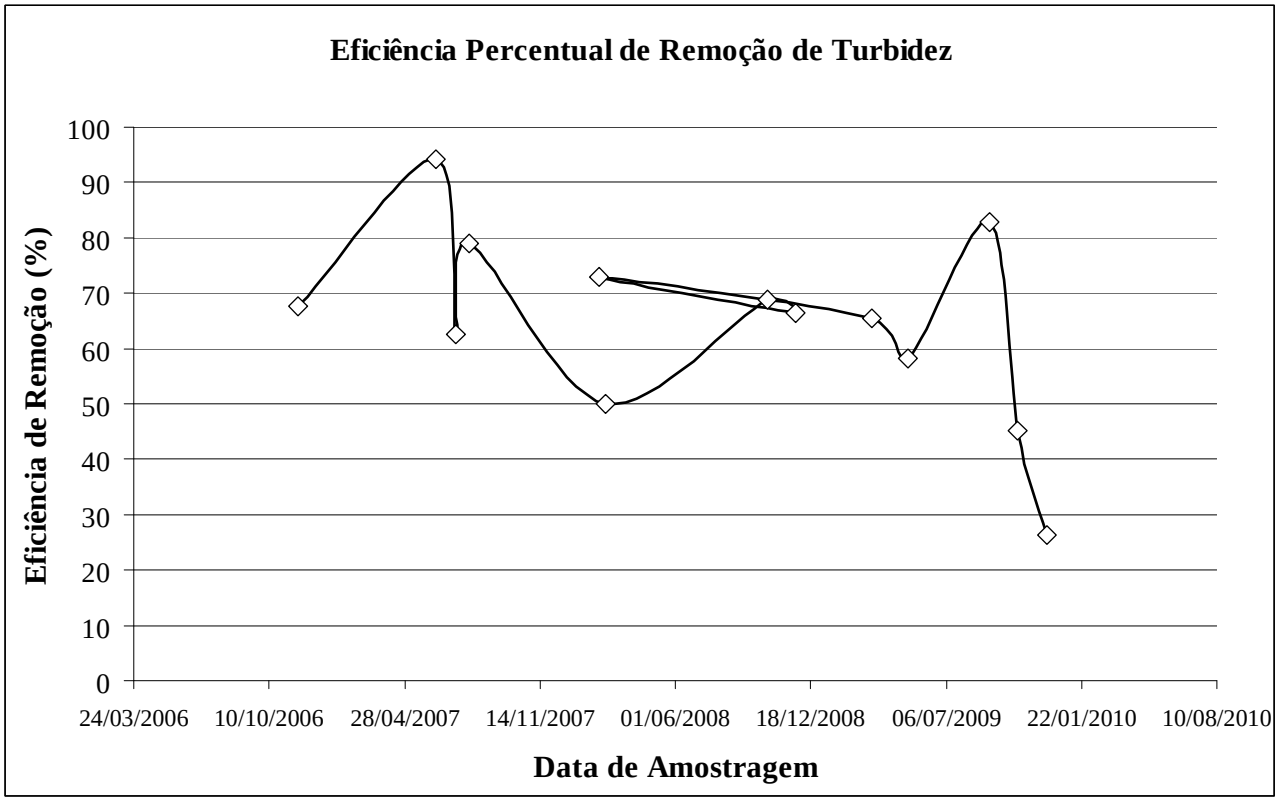


Figura 105 – Eficiência de remoção percentual de turbidez para a FSB.

6.9.7_Análise dos Valores Máximos Permitidos (VMP's) de acordo com normas brasileiras e internacionais para a FSB

De acordo com a Tabela 123 , foram verificados os VMP's para as variáveis de qualidade obtidas na análise do efluente da fossa séptica biodigestora (FSB), tendo em vista o seu potencial de reuso especialmente para fins agrícolas, conforme pretendido anteriormente por OHNUMA JR. (2008). Foram tomadas em consideração: a Resolução CONAMA 357/2004 (BRASIL, 2004); os padrões internacionais da OMS (WHO, 2006); e o documento da CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo) "Orientação para Apresentação de Projeto Visando a Aplicação de Água de Reuso Proveniente de Estação de Tratamento de Esgoto Doméstico na Agricultura" (CETESB, 2001).

Com base na Tabela 123, pôde ser observado que apenas as variáveis: pH, DBO e nitrogênio nitrato teriam seus VMP's enquadrados dentro de algum dos padrões utilizados. Para as demais haveria necessidade de tratamentos complementares visando seu enquadramento, inclusive para fins de reuso. No entanto, pela análise das cargas poluentes, pode-se perceber o potencial de retenção das mesmas no lote domiciliar.

Tabela 123 – Variáveis físico-químicas e biológicas analisadas para a fossa séptica biodigestora do Lote Experimental Peri-Urbano de São Carlos, Brasil, e seus Valores Máximos Permitidos (VMP's) de acordo com normas e recomendações nacionais e internacionais.

VARIÁVEIS DE QUALIDADE PARA A FOSSA SÉPTICA BIODIGESTORA	UNIDADE	CETESB (2001)	CONAMA 357/05 (2005) – CLASSE 2	EPA (2004) – Reuso Urbano (A)	OMS (2006)	MÉDIA DOS VALORES - FSB	VALORES MÍNIMOS E MÁXIMOS - FSB	CARGAS POLUENTES MÁXIMAS DIÁRIAS RETIDAS ($KG/M^3.DIA$)	POTENCIAL DE RETENÇÃO DE CARGAS POLUENTES NO LOTE ($KG/M^3.DIA$)
pH	----	---	6,0 – 9,0	≤ 10,0	6,5 – 8,0	7,80	7,32 – 8,08	----	----
TURBIDEZ	(NTU)	---	< 100	≤ 2,0	---	62,9	22,6 – 200,0	----	----
DEMANDA QUÍM ICA DE OXIGÊNIO	(mg O_2/L)	---	---	---	---	522,40	183,0 – 1290,0	0,365	0,292 (80,08%)
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO	(mg O_2/L)	---	< 5,0	---	110 - 400	126,29	63,0 – 258,0	0,073	0,0657 (89,95%)
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	(mg O_2/L)	---	> 5,0	---	---	1,53	Zero – 3,5	----	----
NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL	(mg N/L)	---	---	---	< 5,0	300,16	114,3 – 426,0	0,121	0,0932 (77,01%)
NITROGÊNIO AMONIACAL	(mg N/L)	---	< 2,0	---	---	273,81	60,3 – 416,0	0,1178	0,0523 (44,41%)
NITROGÊNIO NITRITO	(mg N/L)	---	1,0	---	---	ND	0,3147 – 1,44	0,00041	0,00023 (55,81%)
NITROGÊNIO NITRATO	(mg N/L)	10	10,0	---	---	0,008	0,5 – 2,1	0,000595	0,000569 (95,62%)
FOSFATO TOTAL	(mg PO_4^{3-}/L)	---	0,03	---	---	64,0	8,9 – 125,0	0,0354	0,0157 (44,17%)
COLIFORMES TOTAIS	(UFC/100 mL)	$< 10^3$	1000	---	---	$9,8 \times 10^6$	$2,0 \times 10^3 – 9,7 \times 10^7$	----	----
E. COLI	(UFC/100 mL)	---	---	ND	$10^3 - 10^4$ (B)	$3,2 \times 10^7$	Zero – $4,5 \times 10^8$	----	----
SÓLIDOS TOTAIS	(mg/L)	---	---	---	---	1999,8	994,0 – 6938,0	1,965	1,725 (87,79%)
SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS	(mg/L)	---	< 500	---	< 2000	1566,20	800,0 – 5186,0	1,469	1,238 (84,26%)
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	(mg/L)	---	---	---	< 50	430,7	11,0 – 1752,0	0,496	0,487 (98,23)

ND – NÃO DETECTÁVEL (A) Nos locais onde o contato humano não é permitido, o limite é de 200 coliformes fecais /100 mL, 30 mg/L de SS e 30 mg/L de DBO (B) PARA CULTURAS DE ALFACE E CEBOLA.

6.10_Proposta de um Modelo de Gestão Integrada de Águas Urbanas em Escala de Lote Residencial: Alcances e Limitações

A partir de todas as análises de variáveis de qualidade até aqui desenvolvidas, buscou-se determinar neste capítulo quais seriam os possíveis alcances e as limitações envolvidas no desenvolvimento de um novo modelo de gestão integrada das águas urbanas ("Sistema de Drenagem e Reuso 'Inteligente'" - **SiDRI**), na escala em que foi focada esta pesquisa, a de lote residencial ou domiciliar, dentro do qual foram abrangidas duas vertentes principais: o aproveitamento das águas pluviais e o esgotamento sanitário.

Em seguida, a partir do modelo pretendido, tentou-se delinear alguns elementos básicos para o que seria uma nova política pública voltada à gestão das águas urbanas, sem pretensão de esgotar a discussão, antes, pelo contrário, dar início à mesma. São estes:

- A universalização do atendimento pelos serviços de saneamento em todo o Brasil, que somente poderá ser atingida com políticas públicas sérias e com a priorização de sistemas simplificados de infraestrutura sanitária, que aliem eficiência a baixos custos de implantação e operação (CHERNICHARO, 1997);
- A gestão descentralizada e participativa, porém com elementos de incentivo ao usuário através da redução de tributação, estimulando a adoção de medidas estruturais na escala de lote domiciliar;
- Do uso racional da água e do reuso controlado, com base em sistemas "*onsite*", de gerenciamento simplificado para o usuário, com baixo custo de implantação, manutenção e operação, e de fácil e segura operação e manutenção, e que além disso privilegiem não somente a segurança e saúde humana mas também a ambiental, e a inclusão e consciência social e hídrica, com co-responsabilidade do usuário (a exemplo das associações de bacia);
- Incentivo econômico progressivo ao usuário com maior grau de armazenamento local de volumes (por meio de isenções ou de outro instrumento econômico);
- Reversão de recursos direcionados para a criação de um fundo público, destinado primariamente à implantação das medidas estruturais abordadas neste trabalho de pesquisa (águas pluviais urbanas e esgotamento sanitário em nível de lote domiciliar), e, em segunda instância, para mitigação dos efeitos de enchentes e inundações em regiões delimitadas;
- Mercado de troca de volumes armazenados e compensação de cargas poluentes, com águas pluviais e esgoto sanitário tratado enfocados como recurso natural de valor econômico, inseridos neste mercado;

- Busca de mecanismos de intenso diálogo, a nível institucional e social, com outras políticas públicas relacionadas, a exemplo da Política Nacional de Defesa Civil com a Política Nacional de Recursos Hídricos, abordada por VENDRUSCOLO E KOBIYAMA (2007);

- Efetiva consideração e instrumentalização do direito adquirido ao cidadão de acesso à água e ao saneamento no ambiente urbano, a partir da gestão adequada e compartilhada das águas urbanas.

A adoção de medidas estruturais e não-estruturais para a gestão destas águas, certamente pode resultar em avanços que venham a fomentar uma melhoria da atual situação brasileira, tanto nas questões envolvendo a problemática das enchentes e inundações, como do balanço quantidade-qualidade das águas disponíveis para captação e uso no meio urbano, com a possibilidade ainda de apresentação de contrapartidas econômicas para o usuário, através de subsídios para a implantação das medidas estruturais aqui adotadas, e da redução de impostos para a adoção do novo modelo, por meio, por exemplo, da implantação domiciliar de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e de tratamento "*onsite*" de esgotos domésticos, tais como os utilizados nesta pesquisa.

Embora os resultados do presente estudo indiquem que o novo modelo de gestão de águas urbanas e a conseqüente política pública dele proveniente requeiram adequações (devido à sobrecarga de sólidos e admissão de elementos estranhos ao processo de biodigestão anaeróbia, e, no tocante ao SAP, tendo parte das variáveis de qualidade não atendidas, ou seja, 10, entre as 38 estudadas), sua implantação representa uma possibilidade de solução para problemas urbanos antigos e atuais, tais como enchentes, inundações, alagamentos, escassez, assoreamento, eutrofização e acidificação de mananciais, deslizamentos e escorregamentos, poluição difusa, entre outros.

Ainda há que se considerar que a inexistência ou a não-realização destas e outras medidas tende apenas ao agravamento das condições encontradas hoje nas cidades brasileiras, advindas dos problemas ambientais acima arrolados, todos ligados direta ou indiretamente ao presente modelo de gestão hídrica, e a política pública dele resultante.

A Tabela 124 apresenta alguns dos alcances e limitações configuradas pelos dados levantados ao longo deste estudo, novamente sem a pretensão de esgotar tema tão amplo e vasto.

Tabela 124 - Alcances e limitações para o modelo de gestão integrada de águas urbanas em escala de lote residencial (**SiDRI**).

ALCANCES	LIMITAÇÕES
1 – Variáveis de qualidade analisadas e em acordo com seus parâmetros legais (VMP's): 1.1 – Variáveis FSB: : pH, DBO e nitrogênio nitrato 1.2 – Variáveis SAP: pH, turbidez, DBO, NTK, N_{amon}, $N_{nitrito}$, $N_{nitrato}$, cloretos, dureza total, SDT, metais: Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn) Cobre (Cu) e Cromo (Cr). Obs.: demais variáveis: VMP's não previstos (a discutir em futura pesquisa)	1 – Variáveis de qualidade analisadas e em desacordo com seus parâmetros legais (VMP's): 1.1 – Variáveis FSB: as demais variáveis já analisadas 1.2 – Variáveis SAP: cor, fosfato total, coliformes totais e fecais, SST, metais: Chumbo (Pb), Cádmio (Cd), Alumínio (Al), Bário (Ba), Níquel (Ni). Obs.: demais variáveis: VMP's não previstos (a discutir em futura pesquisa)
2 - Tecnologia selecionada: 2.1 – FSB: em consonância com os atuais requisitos legais de gestão descentralizada; alternativa de retenção, com possibilidade adicional de infiltração subsuperficial e fertirrigação segura no lote; alternativa viável técnico-comercial (com disponibilidade mercadológica dos elementos necessários para sua montagem) de tratamento "*onsite*"; permite controle "*onsite*" de volumes e de cargas poluentes; custo de implantação economicamente acessível; sistema de operação simplificada; baixíssimo custo de manutenção; proporciona economia e uso racional de água no lote domiciliar, com redução de consumo de água da rede de abastecimento público; sugestão para aplicação de incentivo econômico-ambiental através de desconto progressivo de acordo com redução de cargas poluentes; permite reuso controlado e seletivo; permite modularidade de acordo com a ocorrência de incrementos nas vazões tratadas	2 - Tecnologia selecionada: 2.1 – FSB: requer adequações de dimensionamento e projeto a fim de proporcionar grau de funcionamento satisfatório na remoção dos poluentes determinados **(ver Seção "Conclusões e Sugestões" deste trabalho)**
3 - Tecnologia selecionada: 3.1 – SAP: em consonância com os atuais requisitos legais de gestão descentralizada; alternativa de detenção; alternativa viável técnico-comercial (com disponibilidade mercadológica dos elementos necessários para sua montagem) de captação/armazenamento e tratamento "*onsite*"; permite controle "*onsite*" de volumes e de cargas poluentes; custo de implantação subsidiável, de acordo com a demanda por sua implantação; proporciona economia e uso racional	3 - Tecnologia selecionada: 3.1 – SAP: demanda melhorias na tecnologia de tratamento dos poluentes **(ver Seção "Conclusões e Sugestões" deste trabalho)**; pode requerer subsídios econômicos públicos para sua implantação, especialmente por classes C-D-E

(continuação Tabela 124 - Alcances e limitações para o modelo de gestão integrada de águas urbanas em escala de lote residencial) de água no lote domiciliar, com redução de consumo de água da rede de abastecimento público; sistema de operação simplificada; baixíssimo custo de manutenção; possibilita aplicação de incentivo econômico-ambiental através de desconto progressivo de acordo com grau de armazenamento de água no lote domiciliar; sugestão para aplicação de incentivo econômico-ambiental através de desconto progressivo de acordo com redução de cargas poluentes; permite modularidade de acordo com a ocorrência de incrementos nas vazões captadas	
4 – FSB e SAP: Economia de recursos hídricos, com reversão para criação de fundo público, visando implantação de medidas estruturais e não-estruturais na drenagem urbana	4 – Custos de implantação a serem amortizados (FSB: cerca de 1678 reais; SAP: cerca de 1900,00 reais – somente kit de água de chuva, afora instalações)
5 – FSB e SAP: atendem requisitos de segurança e saúde humana e ambiental	5 – FSB e SAP: Ainda requerem melhorias nos respectivos sistemas de desinfecção LED-DUV de esgoto sanitário tratado e águas pluviais (em desenvolvimento)
6 – Permitem a mitigação de impactos hidrológicos, ambientais, econômicos e sociais, causadores diretos ou indiretos de desastres naturais: enchentes, inundações, alagamentos, escassez, assoreamento, eutrofização e acidificação de mananciais, deslizamentos e escorregamentos, poluição difusa, já mencionados, entre outros fenômenos naturais, e suas conexões com os fenômenos resultantes das atuais mudanças climáticas	
7 – Permitem vislumbres das interfaces entre as políticas públicas brasileiras: Política Nacional de Recursos Hídricos; Lei 11.445/2007 (estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico); Política Nacional de Meio Ambiente; Política Nacional de Defesa Civil	7 – Possíveis dificuldades e resistências resultantes da criação e implementação de uma nova política (“Política Nacional de Gestão de Águas Urbanas”)
8 – Inexistência de um marco regulatório para a problemática das enchentes e inundações aliada às mudanças climáticas: geração de uma nova política pública abrangente para as águas urbanas: A “Política Nacional de Gestão de Águas Urbanas”	8 – Idem (7)

7_CONCLUSÕES E SUGESTÕES

CONCLUSÕES:

- No estudo comparativo entre as coberturas, o Telhado de Zinco sobressaiu-se em termos de qualidade superior para as águas pluviais escoadas nos três sítios experimentais, seguido do Telhado Tetra Pak e por fim, da CVL, sendo portanto, a melhor alternativa de cobertura a ser escolhida para uso no **SiDRI**. Entretanto, em termos de retenção de volumes escoados, a situação favorece a CVL.

- De modo geral não houve uma correlação de proporcionalidade direta entre as variações dos valores das variáveis de qualidade e as variações dos índices de precipitação, tanto instantâneos como acumulados, embora isto tenha ocorrido em episódios isolados. Isto pode ter sido devido a:

- Variações temporais das precipitações;

- Variações nos procedimentos e tempos de amostragem e análise (em média decorridos cerca de 1 semana a 15 dias entre a amostragem e a finalização das análises em laboratório, em função das quantidades de amostras em processo de coleta seqüenciado, e também devido ao número de variáveis de qualidade analisadas, cerca de 38);

- Variações das vazões e regimes de escoamentos internamente a cada SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais), bem como pela retenção de volumes agregados no balanço de massas dos referidos sistemas instalados nos três sítios experimentais, e ainda devido a diferenças construtivas entre os mesmos, embora em suas montagens tenha sido buscada a máxima uniformidade de configuração possível;

- Também pode ser necessário considerar o grau de poluição atmosférica nas áreas onde os SAP's se acham instalados.

- Os valores de pH oscilaram num intervalo entre 6,02 a 7,28, portanto entre o levemente ácido e o ligeiramente alcalino, não caracterizando as águas pluviais como agressivas a canalizações e estruturas em geral. Ocorreu tendência à uma ligeira acidificação das mesmas ao longo do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais), a qual pode estar relacionada à interação química com compostos organometálicos ou à presença de matéria orgânica em baixa concentração (também podendo ser relacionada à cor), o que evidenciaria a necessidade de higienização periódica de todo sistema, especialmente nos pontos de acumulação de volumes de água, como os Pontos 6 e 7.

- Por outro lado, a presença de oxigênio dissolvido em valores próximos ao ponto de saturação poderiam ocasionar corrosão a tubulações ou estruturas com as quais as águas pluviais entrassem em contato.

- Os valores de turbidez e cor indicaram a necessidade de tratamento complementar para as águas pluviais (filtração em areia/carvão ativado, ou outro meio a ser indicado por estudos posteriores).
- Foi apresentada tendência de acúmulo de sólidos dissolvidos totais, condutividade e cloretos no Ponto 7, tornando o tanque de armazenamento final uma vez mais objeto de cuidados especiais em sua manutenção e limpeza. Também faz-se notar que a presença de cloretos caracteriza-se como indesejada e inesperada em águas pluviais.
- Os baixos teores de dureza total permitiriam a utilização das águas pluviais analisadas para a lavagem de utensílios domésticos, roupas e instalações sanitárias.
- Embora os valores de pH tenham indicado ligeira acidificação das águas pluviais ao longo do SAP, os valores das variáveis de qualidade diretamente indicativas de sua presença, DBO e DQO, não corresponderam à esta tendência; no entanto, a degradação dos macronutrientes nitrogênio e fósforo poderiam ainda, além dos fatores anteriormente apontados, serem responsáveis por esta variação, tendo havido inclusive uma tendência de "envelhecimento" das águas pluviais apontada pelos valores de nitrogênio nitrato medidos.
- A presença de coliformes totais e fecais (em níveis até mesmo comparáveis com o do esgoto sanitário bruto) inviabiliza o uso direto das águas pluviais e o uso potável, requerendo processos de desinfecção das mesmas, seja por cloração, seja pela tecnologia ultravioleta testada, seja por outros procedimentos a serem verificados em estudos posteriores.
- A presença de sólidos de natureza diversificada torna obrigatória a adoção de processos de filtração das águas pluviais (além das variáveis turbidez e cor já apontadas).
- Os metais analisados na pesquisa e que extrapolaram os valores máximos permitidos também inviabilizam o uso para fins potáveis, e provocam a demanda por estudos complementares para a verificação dos usos possíveis para as águas pluviais analisadas. O SAP se mostrou inadequado para a remoção dos metais analisados na pesquisa.
- A capacidade do SAP para retenção de cargas poluentes e volumes de água de chuva apresentou um largo excedente, apesar de sua incapacidade de tratamento para parte dos mesmos.
- A fossa séptica biodigestora (FSB) apresentou baixo desempenho na remoção da maioria dos poluentes medidos, o que foi devido em grande parte à sobrecarga de sólidos na sua entrada, bem como ao sistema de amostragem inadequado e à presença indesejada de oxigênio dissolvido e possivelmente de substâncias químicas interferentes (produtos de limpeza).
- A eliminação destes fatores, aliada a processos de desinfecção de seu efluente final tratado, poderia viabilizar a utilização da FSB, além de sua interligação com unidades de tratamento já bastante conhecidas, como os filtros anaeróbios.

SUGESTÕES:

Sugere-se que, na continuidade deste trabalho, possa ser feito um estudo complementar visando detectar a ocorrência e grau de influência dos fatores supramencionados (de acordo com o que já foi exposto nas Conclusões).

Em consonância principalmente com a análise global de todos os resultados das variáveis físico-químicas e biológicas já desenvolvida, e tomando por princípio buscar, antes de tudo, as formas mais simples e econômicas para equacionamento dos problemas de poluição e de gestão de volumes apresentados, são sugeridos estudos e/ou adequações dentro do "Sistema de Drenagem e Reuso 'Inteligente'" (**SiDRI**), para:

Especificamente para o SAP – Águas Pluviais:

1) Remanejamento do tanque de "*first-flush*" (volume: 310 litros) para após os coletores de águas pluviais, e antes dos amostradores, ou instalação de outro tanque idêntico antes dos amostradores, conservando o que já está instalado após estes;
2) Instalação de filtro de areia (PROSAB, 2006) ou filtro composto de areia e carvão ativado após o tanque de "*first-flush*", visando principalmente à remoção de sólidos, turbidez e fósforo (o qual está associado à presença de sólidos) das águas pluviais;
3) Promover tanto a pré como a pós- desinfecção automatizada das águas pluviais, como mecanismo de eliminação de cor / matéria orgânica (pré-desinfecção), coliformes (pós-desinfecção), e sólidos de natureza orgânica (pré-desinfecção);

Especificamente para a FSB – Esgoto Sanitário:

1) Instalação de sistema de pré-tratamento na FSB para a remoção de sólidos, envolvendo gradeamento grosseiro e gradeamento fino, peneiramento e caixa de areia;
2) Promover a pós- desinfecção automatizada do esgoto sanitário tratado, após implantação do sistema de pré-tratamento para a remoção de sólidos em excesso;
3) Desenvolver um sistema para fertirrigação subsuperficial do esgoto sanitário tratado oriundo da FSB, como mecanismo de assimilação no solo para os macronutrientes nitrogênio e fósforo, e dos sólidos em geral;
4) Instalação de filtro anaeróbio como alternativa (porém não a única) de tratamento conjugado com a FSB para o esgoto sanitário tratado dela oriundo;

5) Aperfeiçoar o sistema de filtração da última caixa da FSB (investigar o aumento do número de camadas filtrantes e a introdução de elementos filtrantes de outra natureza);
6) Eliminar a provável introdução de águas pluviais à entrada da FSB;
7) Melhorias na estanqueidade das caixas da FSB, evitando a entrada de oxigênio atmosférico;
8) Avaliar posteriormente a influência da temperatura sobre o processo de biodigestão anaeróbia, no local do Lote Experimental Peri-Urbano em que a FSB foi instalada;
9) Eliminação do provável processo de turbulência dos despejos anteriormente à entrada na FSB;
10) Eliminação do provável aporte de sabões e/ou detergentes ao afluente à FSB;
11) Instalação de um tanque de mistura e equalização dos despejos à entrada da mesma, e após o sistema de pré-tratamento, que deverá também servir para eliminação do oxigênio dissolvido causador de interferências no processo de tratamento anaeróbio da FSB;
12) Projeto de um sistema de amostragem adequado para a entrada e saída da FSB, evitando erros na caracterização do afluente e efluente do sistema;

Para ambos os sistemas: SAP – Águas Pluviais e FSB – Esgoto Sanitário:

1) Modularização total (do sistema completo) ou parcial (de unidades isoladas do sistema) dos sistemas de tratamento de esgoto sanitário e de águas pluviais, de acordo com a característica de cada poluente e com o processo de tratamento requerido para sua remoção, como forma de melhorar sua eficiência de remoção (exemplo: Na FSB, acrescentar uma quarta caixa imediatamente após a primeira, para retenção do excesso de sólidos na entrada, e outra caixa anterior à última, para elevação do tempo de detenção hidráulico e tempo de retenção celular, e melhoria da eficiência de remoção de matéria orgânica e macronutrientes);
2) Melhorar o sistema de desinfecção por radiação ultravioleta, e se necessário, dado o nível promissor, porém ainda insuficiente, de desenvolvimento para aplicação local desta tecnologia, associá-la à desinfecção com cloro em pastilhas, visando operação e manutenção simplificada e de baixo custo, na utilização tanto para as águas pluviais como para o esgoto sanitário tratado;
3) Promover a diluição do esgoto sanitário tratado com águas pluviais no próprio lote domiciliar, como forma alternativa de redução do teor de nitrogênio em excesso por diluição com águas doces (WHO, 2006);

- Um novo modelo de gestão de águas urbanas, e sua conseqüente política pública, elaborada a partir da implantação do **SiDRI**, ainda que com suas necessárias adequações, poderiam

ser sugeridos diante do fato de que representam uma alternativa de solução para os problemas de gestão das águas urbanas enfrentados atualmente, notadamente a poluição ambiental e a gestão de volumes de águas de escoamento geradas nos lotes residenciais (ver capítulo 6.10 - Proposta de um Modelo de Gestão Integrada de Águas Urbanas em Escala de Lote Residencial: Alcances e Limitações).

- Em função dos resultados obtidos, recomenda-se o aproveitamento das águas pluviais para fins não-potáveis, e, segundo estudos posteriores, adequar seus requisitos de qualidade às imposições de cada tipo de uso. Também se faz imperativa a desinfecção prévia das águas pluviais, entre outros procedimentos sugeridos para a remoção dos poluentes nas águas pluviais e esgoto sanitário gerado no Lote Experimental Peri-Urbano, já sugeridos;

- Os Pontos 6 e 7 do SAP (Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais) do Lote Experimental Peri-Urbano são indicados como pontos de especial cuidado, por terem apresentado acúmulo de diversos poluentes, porém ao mesmo tempo em que oferecem volumes de diluição para os mesmos, devendo ser prioritariamente monitorados;
- Algumas variáveis de qualidade, indicadas ao longo desta pesquisa, especialmente certos metais detectados nas águas pluviais, devem ser objeto de estudo específico para a determinação da viabilidade técnico-econômica de sua remoção, tendo em vista as limitações funcionais do sistema de águas pluviais;
- Segundo a capacidade de aproveitamento das águas pluviais, alguns possíveis usos puderam ser apontados ao longo do trabalho, conquanto sejam recomendados estudos posteriores para sua verificação: lavagem de roupas e utensílios domésticos, bem como em instalações sanitárias; irrigação de jardins e áreas arborizadas; lavagem de pisos e fins ornamentais; lavagem de veículos, entre outros.

8_ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3P TECHNIK. Informações sobre o aproveitamento das águas de chuva. Disponível em: http:// www.agua-de-chuva.com/. Acesso em 16.01.2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA) (2005). Conservação e Reúso da Água em Edificações. São Paulo: Prol Editora Gráfica, jun. 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA)/FIESP/CIESP (2005). Manual de Conservação e Reuso de Água Para a Indústria. São Paulo. 90 p.

AKAN, A. O. (1993). Urban Stormwater Hydrology: A Guide To Engineering Calculations. Lancaster, Pa.: Technomic Pub. Co.,c1993. 268 p.

APHA (THE AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION) (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20ª ed. USA, 1998.

APHA (THE AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION) (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21ª ed. USA, 2005.

ARAVINTHAN, V.; TAKIZAWA, S.; FUJITA, K.; KOMATSU, K. (1998). Factors affecting nitrogen removal from domestic wastewater using immobilized bacteria. Water Science and Technology. v. 38, n. 1, p. 193-202.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNlCAS (ABNT, 1982). NBR- 7229 – Construção e instalação de fossas sépticas e disposição dos efluentes finais. Rio de Janeiro. Mar. 1982. 37 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNlCAS (ABNT, 1993). NBR- 7229 - 1993 - Projeto, Construção e Operação de Sistemas de Tanques Sépticos. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT, 2007). Norma Brasileira ABNT NBR-15527:2007–"Água de Chuva – Aproveitamento de Coberturas em Áreas Urbanas para Fins Não Potáveis – Requisitos".

ATHANASIADIS, K.; HELMREICH, B.; WILDERER, P.A. (2004). Acta Hydrochimica et Hydrobiologica, Vol. 6, pgs. 419-428.

AZEVEDO NETTO, J. M.; HESS, M. L. (1970). Tratamento de Águas Residuárias. Separata da Revista DAE,). São Paulo, SP, 1970.

BALLO, S.; SIU, M.; HOU, L.; CHANG, J. (2009). Pollutants in Stormwater Runoff in Shanghai (China): Implications for Management of Urban Runoff Pollution. Progress in Natural Science, Vol.19, pgs. 873-880.

BARTH, F. T. (1992). Curso de Gerenciamento de Recursos Hídricos do DAEE/FCTH, 1992.

BATTALHA, B.-H., L. (1989). Série Manuais: Fossa Séptica. 2ª Edição, São Paulo: CETESB, 20 p.

BATTALHA, B.-H., L. & PARLATORE, A. C. (1993). Controle da Qualidade de Água para Consumo Humano: Bases Conceituais e Operacionais. CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). São Paulo, 1993. 198 p.

BENETTI & BIDONE, IN: TUCCI, C. E. M. (2001). Hidrologia Ciência e Aplicação. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, vol. 4, EDUSP/ABRH, 1993: 943p.

BENINI, R. M.; MENDIONDO, E. M.; MARTIOLI, C. & TONISSI, F. B. (2003). Cenários Ambientais Visando a Mitigação de Enchentes Decorrentes da Implantação do Campus II - USP, São Carlos – SP. São Carlos, SP. Dissertação. Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP). 122p.

BOLLMANN, Harry Alberto; MARQUES, David M.L. da Motta (2006). Influência da densidade populacional nas relações entre matéria orgânica carbonácea, nitrogênio e fósforo em rios urbanos situados em áreas com baixa cobertura sanitária. Eng. Sanit. Ambient. , Rio de Janeiro, v. 11, n. 4, 2006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522006000400007&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 22 Out 2007.

BORGES, N. B. (2009). Caracterização e pré-tratamento de lodo de fossas e de tanques sépticos. São Carlos, 2009. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 121 p.

BOTELHO, M. H. C.; LYRA, P. G. (1974). Interpretação das análises sanitárias de despejos tendo em vista seus tratamentos. Revista DAE nº 97, Setembro/1974. São Paulo, SP.

BRAILLE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. (1993). Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais. São Paulo: CETESB, 1993. 764 p.

CARRERA, J.; VICENT, T.; LAFUENTE, J. (2004). Effect of influent COD/N ratio on biological nitrogen removal (BNR) from high-strength ammonium industrial wastewater. Process Biochemistry. v. 39, n.12, p. 2035-2041.

CARVALHO JR., O. (2008). Nova Configuração de Biofiltro Aerado Submerso Utilizado no Pós-Tratamento do Efluente de Reator UASB. São Carlos, SP. 141 p. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP).

CETESB (2008). Qualidade das Águas Interiores no Estado De São Paulo - Série Relatórios - Índices de Qualidade das Águas, Critérios de Avaliação da Qualidade dos Sedimentos e Indicador de Controle de Fontes - Apêndice B. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo, 2008.

CETESB (2009 e 2011). Variáveis de Qualidade das Águas. Disponíveis em: http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp. e http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/109-variaveis-de-qualidade-das-aguas

CETESB (2001). Orientação para Apresentação de Projeto Visando a Aplicação de Água de Reuso Proveniente de Estação de Tratamento de Esgoto Doméstico na Agricultura. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/publicacoes-e-relatorios/1-publicacoes-/-relatorios

CHANG, M.; MCBROOM, M. W. ; SCOTT BEASLEY, R. (2004). Roofing as a Source of Nonpoint Water Pollution. Journal of Environmental Management, Vol. 73, pgs. 307-315.

CHAUDHRY, F. H. (2000). Aproveitamento de recursos hídricos. In: **CASTELLANO, E. G.; CHAUDHRY, F. H. (eds.)**. Desenvolvimento Sustentado: Problemas e Estratégias. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, p. 27 – 37.

CHERNICHARO, C. A. L. (1997). Reatores Anaeróbios. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997. 246 p.

COWEN, W. F.; LEE, G. F. (1976). Phosphorus availability in particulate materials transported by urban runoff. Journal of Water Pollution Control Federation, 48(3): 580-591, Mar., 1976.

CROLL, B. T.; HAYES, C. R. (1988). Nitrate and Water Supplies in The United Kingdom. Environmental Pollution, v. 50, p. 163-187.

DACACH, N. G. (1990). Saneamento Básico. EDC – Editora Didática e Científica.

DE BAERE, L. A.; DEVOCHT, M.; VAN ASSCHE, P.; AND VERSTRAETE, W. (1984). Influence of High NaCl and NH_4Cl Salt Levels on Methanogenic Associations. Water Research 18(5):543-548.

DERÍSIO, J.C. (1992). Introdução ao Controle de Poluição Ambiental. CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). São Paulo, 1992. 201 p.

DIAS, V. D. (2001). Radiação Ultravioleta e Ozônio Aplicados Como Métodos Alternativos de Desinfecção de Efluentes Secundários de Esgoto Sanitário. São Carlos, SP. 150 p. Dissertação. Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP).

DIAS, L.E. & GRIFFITH, J.J. (1998). Conceituação e Caracterização de Áreas Degradadas. In: **DIAS, L.E. & MELLO, J.W.U. (1998.)**. Recuperação de Áreas Degradadas.Viçosa: UFV, p.1-7.

"DISPOSITIVO A BASE DE LED (DIODO EMISSOR DE LUZ) DUV (ULTRAVIOLETA PROFUNDO) PARA APLICAÇÕES SANITÁRIAS" (2008). Patente de Invenção.

DI GIOVANNI, G. (2009). As Estruturas Elementares Das Políticas Públicas. Caderno de Pesquisa n° 82. Núcleo de Estudos de Políticas Públicas – NEPP. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

DRINKING WATER AND HEALTH (1977). Washington : National Academy of Sciences, 1977. National Research Council, Safing Drinking Water Committee. 939 p.

EMBRAPA (2002). Utilização de uma Fossa Séptica Biodigestora para Melhoria do Saneamento Rural e Desenvolvimento da Agricultura Orgânica. Comunicado Técnico n° 46. Maio, 2002. São Carlos, SP.

EMBRAPA (2004). Embrapa, Instrumentação Agropecuária. *Embrapa apresenta Fossa Biodigestora na AveSui 2004*. São Carlos/SP. Disponível em: <http://www.cnpdia.embrapa.br/menutop_imprensa_avessui.html>. Acesso em: 09 set. 2004.

EVANS CA, COOMBES PJ, DUNSTAN RH. (2006). Wind, Rain and Bacteria: The Effect of Weather on the Microbial Composition of Roof-Harvested Rainwater. Water Res 2006;40:37–44.

FAO – Organização das Nações Unidas - Food and Agriculture Organization (2007). Relatório Água: uma Responsabilidade Compartilhada. Roma, 2007. UN-WATER/WWAP/2007/02, 568 p. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org /ulis/cgi-bin/ExtractPDF.pl?catno=149519&look=new_sp&ll=3> Acesso em: 15 jan. 2008.

FAUSTINO, A. S. (2007). Estudos físico-químicos do efluente produzido por Fossa Séptica Biodigestora e o impacto do seu uso no solo. São Carlos, SP. 120 p. Dissertação. Universidade Federal de São Carlos.

FÁVARO *et al*. (2006). Avaliação da Qualidade de Sedimentos em Relação aos Contaminantes Inorgânicos - Projeto de Pesquisa: Avaliação da qualidade de sedimentos do reservatório Billings, braço Rio Grande, em relação aos contaminantes inorgânicos - Autores: Déborah I.T. Fávaro, Eleine Bostelmann, Sandra R. Damatto, Fernando Campagnoli, Bárbara P. Mazzilli - Área FAPESP: 1.06.99.00-7 - Química , sub-área: 1.06.04.00-6 - Química Analítica

FENDRICH & OLIYNIK (2002). Manual de Aproveitamento de Águas Pluviais: Manual de Utilização das Águas Pluviais: 100 Maneiras Práticas. 1ª Edição. Editora Chain. Curitiba, PR.

FERREIRA, I. V. L. (2005). Fotocatálise Heterogênea com TiO_2 Aplicada ao Tratamento de Esgoto Sanitário Secundário. São Carlos, SP. 187 p. Tese. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

FORSTER J. (1996). Patterns of Roof Runoff Contamination and their Potential Implications on Practice and Regulation of Treatment and Local Infiltration. Water Sci Technol 1996; 33(6):39–48.

FORSTER, J. (1999). Variability of Roof Runoff Quality**.** Water Science and Technology, 1999 39 (5): 137-144.

GALAVOTI, R. C.; OHNUMA JR., A. A.; ANDRADE, J. P. M.; MENDIONDO, E. M. (2007). Tecnologias de Saneamento como Medidas Descentralizadoras para a Preservação de Recursos Hídricos em Bacias Urbanas. VII Encontro Nacional de Águas Urbanas, Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). São Carlos, S. P.

GALAVOTI, R. C.; OHNUMA JR., A. A.; ANDRADE, J. P. M.; MENDIONDO, E. M. (2007a). Irrigação Subsuperficial de Áreas Arborizadas como Mecanismo para Sequestro de Carbono através do Reuso de Esgotos Sanitários Tratados como Fonte Radicular de Nutrientes. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos/8º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). São Paulo, S. P.

GALAVOTI, R. C.; OHNUMA JR., A. A.; ANDRADE, J. P. M.; MENDIONDO, E. M. (2007b). Sustainable Handling of the River Basin/River/Floodplain System for the Conservation of Water Resources in Urban Areas. Kalmar ECO-TECH'07 - International Conference on Technologies for Waste and Wastewater Treatment, Energy from Waste, Remediation of Contaminated Sites and Emissions Related to Climate

GALAVOTI, R. C.; VASCONCELLOS, A. F.; OHNUMA JR., A. A.; ANDRADE, J. P. M.; ALMEIDA NETO, P.; BOTTINO, F.; MENDIONDO, E. M. (2007c). Subsurface Irrigation of Arboreal Areas as a Mechanism for Carbon Sequestration through Treated Sanitary Wastewater as a Radicular Nutrient Source. Kalmar ECO-TECH'07 - International Conference on Technologies for Waste and Wastewater Treatment, Energy from Waste, Remediation of Contaminated Sites and Emissions Related to Climate.

GERARDI, M. H. (2003). The Microbiology of Anaerobic Digesters. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, c2003. 177 p.

GHANAYEM, M. (2001). Environmental considerations with respect to rainwater harvesting. Palestine, Applied Research Institute - Jerusalem. Germany: 2001, Rainwater International Systems. Setembro/2001, Manheim.

GOMES, L. A. (1981). Aspectos qualitativos das águas pluviais urbanas. Dissertação (Mestrado). São Carlos, SP. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 105 p.

GUILHERME, L. B. (2006). Aproveitamento de Águas de Chuva da Cidade de Natal para Fins Potáveis. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária. 150 p.

HAGOPIAN, D. S.; RILEY, J. G. (1998). A closer look to the bacteriology of nitrification. Aquacultural Engineering, 18, 223-244, 1998.

HAUGHTON, G & HUNTER, C. (1994). Sustainable Cities. Regional Policies and Development Series 7. Jessica Kingsley Publishers and Regional Studies Association. 357 p.

HEIJERICK, D.G., JANSSEN, C.R., KARLEN, C., WALLINDER, I.O., LEYGRAF, C. (2002). Bioavailability of Zinc in Runoff Water from Roofing Materials. Chemosphere 47, 1073–1080.

HEYWORTH, J. S.; ROWE, T. (2005). Consumption Of Tank Rainwater And Influence Of Recent Rainfall On The Risk Of Gastroenteritis Among Young Children In Rural South Australia. 12th International Rainwater Catchment Systems Conference. New Delhi, 2005**.**

HINRICHSEN D., ROBEY B., UPADHYAY, U.D. (1998). Solutions for a Water-Short World. Baltimore, MD, Johns Hopkins University, School of Public Health, Population Information

Program, September (Population Reports, Series M, No. 14; http:// www.infoforhealth.org/pr/m14edsum.shtml).

HUANG, J.; DU, P.; AO, C.; HO, M.; LEI, M. ; ZHAO, D.; WANG, Z. (2007). Multivariate Analysis for Stormwater Quality Characteristics Identification from Different Urban Surface Types in Macau. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, Vol. 79, pgs. 650-654.

IMHOFF, K. (1986). Manual de Tratamento de Águas Residuárias. Karl Imhoff e Klaus Imhoff. Tradução de Max Lothar Hess. São Paulo : Edgard Blucher, 1986. Tradução da 26º edição alemã: Taschenbuch der Stadtentwässerung. 301 p.

KATO, M. T. (1994). The Anaerobic Treatment of Low Strength Soluble Wastewaters. Ph.D. Thesis. Agricultural University of Wageningen, The Netherlands.

KAWAI, H.; BEZERRA, J. F. M.; COSTA, J. R.; OHNO, R. H.; VIDAL, W. L.; JORDÃO, E. P. (1991). Avaliação de Desempenho de Estações de Tratamento de Esgotos. São Paulo: CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), 1991. 38 p. (Série Manuais).

KHANAL, K. K. (2009). Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production: Principles and Applications. Wiley Blackwell

KIBLER, D. F. (1982). Urban Stormwater Hydrology. Washington : American Geophysical Union, 1982. Water Resources Monograph Series 7. 271 p.

KUJAWA-ROELEVELD, K. & ZEEMAN, G. (2006). Anaerobic Treatment in Decentralised and Source-Separation-Based Sanitation Concepts. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology (2006), 5:115-139.

JORDÃO, E. P. E PESSOA, C. A. Tratamento de esgotos domésticos. 4ª ed. Rio de Janeiro, 2005. 932 p.

LEME, E. J. A. (2007). Manual Prático de Tratamento de Águas Residuárias. São Carlos: EDUFSCAR, 2008. 595 p.

LEOPOLD, L. B. (1986). Hydrology for Urban Land Planning. Washington: US Government Printing Office (Geological Survey Circular 554. In: **TUCCI, C.E.M. (2001).** Hidrologia Ciência e Aplicação. 2ª Edição.

LYE, D.J. (2009). Rooftop Runoff as a Source of Contamination: A Review. Science of the Total Environment, doi:10.1016/j.scitotenv.2009.07.011.

MAGALHÃES JR., A. P. (2010). Indicadores Ambientais e Recursos Hídricos: Realidades e Perspectivas Para o Brasil a Partir da Experiência Francesa. 2ª Edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 688 p.

MAY, SIMONE (2004). Estudo da Viabilidade do Aproveitamento de Água de Chuva Para Consumo Não Potável Em Edificações. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 159 p.

MAY, SIMONE (2009). Caracterização, tratamento e reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-17082009-082126/>. Acesso em: 2012-02-24.

MENDIONDO, E. M., MARTINS, E. S. R. P., BERTONI, J. C. (2002). Gestão de Incertezas Hidrológicas no Auxílio às Políticas Hídricas para o Manejo Integrado de Bacias. In: XIX Congreso Nacional del Água, Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina – Anales – 13 a 16 de Agosto de 2002.

METCALF AND EDDY, INC. (1991). Wastewater Engineering - Treatment, Disposal and Reuse. 3a Edição, New York, Mc Graw-Hill.

MINISTÉRIO DA SAÚDE, BRASIL (2004). PORTARIA N.º 518, DE 25 DE MARÇO DE 2004. Disponível em: http://www.agrolab.com.br/portaria%20518_04.pdf. Acesso: 15.08.2009.

MINISTÉRIO DA SAÚDE, BRASIL (2011). PORTARIA N.º 2914, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011. Disponível em: www.agenciapcj.org.br/novo/images/stories/portaria-ms-2914.pdf. Acesso em 24.02.2012.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, BRASIL (2005). CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. RESOLUÇÃO N.º 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf . Acesso: 15.08.2009.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, BRASIL (2005). CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. RESOLUÇÃO N.º 274, DE 29 DE NOVEMBRO DE 2000. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/praias/res_conama_274_00.pdf. Acesso: 15.08.2009.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. RESOLUÇÃO N.º 396, DE 03 DE ABRIL DE 2008. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562. Acesso: 15.08.2009.

MOREIRA-NORDEMANN, L. M.; GIRARD, P.; POPPI, N. Ré (1997). Química da precipitação atmosférica na cidade de Campo Grande - MS. Rev. Bras. Geof., São Paulo, v. 15, n. 1, mar. 1997. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-261X1997000100004&lng=pt&nrm=iso>. acesso em 11 maio 2010. doi: 10.1590/S0102-261X1997000100004

NAKAZONE, L. M. (2005). Implantação de reservatórios de detenção em conjuntos habitacionais: a experiência da CDHU. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, 305 p.

OHNUMA, A. A. (2006). Medidas Não-Convencionais de Reservação d'Água para o Controle da Poluição em Lote Domiciliar. Ciências da Engenharia Ambiental - SHS/ EESC/USP. Qualificação de Doutorado. São Carlos – SP. Mar/2006.

OHNUMA, A. A. (2008). Medidas não convencionais de reservação d'água e controle da poluição hídrica em lotes domiciliares. Tese de Doutorado. Ciências da Engenharia Ambiental - SHS/ EESC/USP. São Carlos – SP.

OWUSU-ASANTE, Y. ; NDIRITU, J. (2009). The Simple Modelling Method for Storm- and Grey-Water Quality Management Applied to Alexandra Settlement. Water AS, Vol. 35, pgs. 615-626.

OPAS/OMS – Água e Saúde (2006). Washington, D.C. Disponível na Internet em: http://www.idec.org.br/. Acesso em 12.06.2007.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (OMS) (2007). Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos. Disponível em: http://www.opas.org.br/ambiente/temas.cfm?id=29&area=Conceito. Acesso em 3.Maio. 2007.

PAULA JUNIOR, D. R.; MORAES, L. M.; CHERNICHARO, C. A. L.; PONTES, P. P.; CASSINI, S. T.; GONÇALVES, R. F.; BELLI FILHO, P.; SOARES, A. M. (2003). Estabilização Anaeróbia de Lodos. In: CASSINI, S. T. (Coord.). Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Orgânicos e Aproveitamento de Biogás. Rio de Janeiro: ABES. Cap. 3, p.64-93.

PENNINGTON, S. L. ; WEBSTER-BROWN, J. G. (2008). Stormwater Runoff Quality from Copper Roofing, Auckland, New Zealand. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, Vol. 42: 99-108.

POLKOWSKA, Z., KOT, A., WIERGOWSKI, M., WOLSKA, L., WOLOWSKA, K., NAMIESNIK, J. (2000). Organic pollutants in precipitation: determination of pesticides andpolycyclic aromatic hydrocarbons in Gdansk, Poland. Atmospheric Environment 34, 1233–1245.

POLKOWSKA, Z., GORECKI, T., NAMIESNIK, J., (2002). Quality of Roof Runoff Waters from an Urban Region (Gdansk, Poland). Chemosphere 49, 1275–1283.

PORTO, M.F.A. (1995). Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.L. e BARROS, M.T. Drenagem Urbana. UFRGS Ed. da Universidade/ABRH, Porto Alegre, 1995, p.(387-428) 1995.

PROSAB (2006). Uso Racional da Água em Edificações / Ricardo Franci Gonçalves (Coord.). Rio de Janeiro: ABES, 2006.

RICHTER, C.A. e NETTO. J. M. A. (1995). Tratamento de água – Tecnologia atualizada. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1995. 332 p.

ROCHA, A. R.; FUKUDA, F. (1973). Considerações sobre a técnica de análise Demanda Química (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Oxigênio Dissolvido (OD). Revista DAE, nº 93, Dez.. 1973.

ROSTRON, W. M.; STUCKEY D. C.; YOUNG, A. A. (2001). Nitrification of high strength ammonia wastewaters: comparative study of immobilisation media. Water Research. v. 35, n. 5, p. 1169-1178.

SANT'ANNA JR., G. L. (2010). Tratamento Biológico de Efluentes: Fundamentos e Aplicações. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 398 p.

SARTOR J. P., BOYD G. (1972). Water Pollution Aspects of Street Surface Contaminants. In: EPA-R2-72-081, US. Washington DC, USA: Environmental Protection Agency; 1972.

SILVA, M. O. S. A. (1977). Análises Físico-Químicas para Controle de Estações de Tratamento de Esgotos. 1ª Edição. São Paulo, CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 226 p.

SÖDERLUND, G., *et al.* (1972). Comparision of Discharges From Urban Stormwater Runoff, Mixed Storm Overflow and Treated Sewage. In: JUNKIES, S. H. ed., Advances in Water Pollution Research. Oxford, Pergamon Press, 309-322, 1972.

SÖDERLUND, G., *et al.* (1972). Physicochemical and Microbiological Properties of Urban Stormwater Runoff. In: JUNKIES, S. H. ed., Advances in Water Pollution Research. Oxford, Pergamon Press, I(2) 1-10, 1972.

SPEECE, R.E. (1996). Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters. Archae Press. Nashville, Tenessee. 393 p.

TELLES, D. D.; COSTA, R. H. P. G. (2007). Reúso da água: conceitos, teorias e práticas**.** Coordenadores: Dirceu D'Alkmin Telles e Regina Helena Pacca Guimarães Costa. Edgard Blücher, São Paulo, 2007. 311 p.

THOMAS, T. (2001). Bacteriological quality of water in DRWH – Rural Development. Germany

TOMAZ, P. (2003). Aproveitamento de Água de Chuva: Para áreas urbanas e fins não potáveis. 2. ed. São Paulo: Navegar Editora, 2003. 180p.

TSAKOVSKI, S., *et al.*(2009). Chemical Composition of Water From Roofs in Gdansk, Poland, Environmental Pollution (2009), doi:10.1016/j.envpol.2009.07.037.

TUCCI, C.E.M. (1995). Inundações Urbanas. In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.L. e BARROS, M.T. Drenagem Urbana. UFRGS Ed. da Universidade/ABRH, Porto Alegre, p.(15-36) 1995.

TUCCI, C. E. M. (1998). Modelos Hidrológicos, 1ª ed., Editora da Universidade, 669 p.

TUCCI, C. E. M. (2001). Hidrologia Ciência e Aplicação. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, vol. 4, EDUSP/ABRH, 1993: 943p.

TUCCI, C.E.M. & MARQUES, D.M.L.M. (2001). Avaliação e Controle da Drenagem Urbana. Organizadores: Carlos E. M. Tucci, David M. L. da Motta Marques. Porto Alegre : ABRH, 2001.

TUCCI, C. A. M (2002). Gerenciamento da Drenagem Urbana, Revista Brasileira de Recursos Hídricos, ABRH, Porto Alegre, v/7, n.1, Jan./Mar.2002, p.5-28, 2002.

TUCCI, C.E.M. (2003). Águas urbanas. In: TUCCI, C.E.M.; BERTONI, J.C. (Org.) Inundações urbanas na América do Sul**.** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Cap.2, p.11-44.

USEPA (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2004). Guidelines for Water Reuse. Disponível em: http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/pubs0402.html Acesso em Novembro/2011.

VAN METRE, P. C. ; MAHLER, B. J. (2003). The Contribution of Particles Washed from Rooftops to Contaminant Loading to Urban Streams. Chemosphere, Vol. 52, pgs. 1727-1741.

VASCONCELOS, A.F. (2008). Análise da qualidade da água pluvial para sistemas de aproveitamento com separadores automáticos. São Carlos, SP. 95 p. Monografia. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

VECCHIA, F.; NOLASCO, G. C. Cubierta Verde Ligera (CVL): un ensayo experimental. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, v. 1, p. 1-14. Argentina, 2006.

VENDRUSCOLO, S.; KOBIYAMA, M. (2007). Interfaces entre a Política Nacional de Recursos Hídricos e a Política Nacional de Defesa Civil, com relação aos desastres hidrológicos, no Brasil. In: Jornadas Internacionales sobre Gestión del Riesgo de Inundaciones y Deslizamientos de Laderas. Brasil. Mayo 2007.

VIEIRA, S. M. M.; ALÉM SOBRINHO, P. (1983). Resultado de operação e recomendações para o projeto de sistema de decanto-digestor e filtro anaeróbio para tratamento de esgotos sanitários. Revista DAE, São Paulo, 44(135):51-7, dez. 1983.

VILLAVERDE, S.; GARCÍA, P. A.; FDZ-POLANCO, F. (1997). Influence of pH over nitrifying biofilm activity in submerged biofilters. Water Research. v. 31, n. 5, p. 1180-1186.

VOSGUERITCHIAN, A. B. (2006). A Abordagem dos Sistemas de Avaliação de Sustentabilidade da Arquitetura nos Quesitos Ambientais de Energia, Materiais e Água, e Suas Associações às

Inovações Tecnológicas. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. 247 p.

WALLINDER, I.O., VERBIEST, P., HE, W., LEYGRAF, C. (2000). Effects of Exposure Direction and Inclination on the Runoff Rates of Zinc and Copper Roofs. Corrosion Science 42, 1471–1487.

WALLINDER, I.O., LEYGRAF, C., KARLEN, C., HEIJERICK, D., JANSSEN, C.R. (2001). Atmospheric Corrosion of Zinc Based Materials: Runoff Rates, Chemical Speciation and Ecotoxicity Effects. Corrosion Science 43, 809–816.

WASTEWATER ENGINEERING: TREATMENT, DISPOSAL, REUSE. (2003). 4TH Edition. Revisada por G Tchobanoglous; F. Burton; H. D. Stensel.New York. McGraw-Hill. (McGraw-Hill Series in Civil and Environmental Engineering.

WEEKS, C.R. (1981). Pollution in Urban Storm Waterrunoff. In: Urban Stormwater Quality: Management and Planning. Ed. By Bem Chie Yen. Water Resources Publication, 1981. Acessos em: 04.08.2009 e 08.08.2011.

WHIPPLE, W. *et al.* (1974). Unrecorded Pollution From Urban Runoff. Journal of Water Pollution Control Federation, 46(5), 873-875, May/1974

WIEBL, S. R. *et al.* (1964). Urban Land Runoff as Factor in Stream Pollution. Journal of Water Pollution Control Federation, 36(7), 914-924, July/1964.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - W.H.O. (2006). WHO Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Vol.2. 222 p.