

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM
PROTÓTIPO DE ESTAÇÃO COMPACTA PARA
TRATAMENTO DE ESGOTOS EM UNIDADES
RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES**

LUCAS ACHAVAL SILVA

ORIENTADOR: MARCO ANTONIO ALMEIDA DE SOUZA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E
RECURSOS HÍDRICOS**

PUBLICAÇÃO: PTARH. DM - 162/2014

BRASÍLIA/DF: 15 DE ABRIL DE 2014.

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE ESTAÇÃO
COMPACTA PARA TRATAMENTO DE ESGOTOS EM UNIDADES
RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES**

LUCAS ACHAVAL SILVA

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE
BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E
RECURSOS HÍDRICOS.**

APROVADA POR:

**Prof. Marco Antonio Almeida de Souza, PhD. (ENC-UnB)
(ORIENTADOR)**

**Prof. Yovanka Pérez Ginoris, DSc. (ENC-UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**Prof. Paula Loureiro Paulo, PhD. (UFMS)
(EXAMINADOR EXTERNO)**

BRASÍLIA, 15 DE ABRIL DE 2014.

FICHA CATALOGRÁFICA

ACHAVAL, LUCAS SILVA	
DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE ESTAÇÃO COMPACTA PARA TRATAMENTO DE ESGOTOS EM UNIDADES RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES [Distrito Federal], 2014.	
xviii, 173p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2014). Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.	
1. Estação compacta. 3. Tratamento de esgotos	2. Sistemas descentralizados de esgotos. 4. Residências unifamiliares
I. ENC/FT/UnB	II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ACHAVAL, L. S. (2014). *Desenvolvimento e avaliação de um protótipo de estação compacta para tratamento de esgoto em unidades residenciais unifamiliares*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-162/2014, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 173p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Lucas Achaval Silva.

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO MESTRADO: Desenvolvimento e avaliação de um protótipo de estação compacta para tratamento de esgoto em unidades residenciais unifamiliares.

GRAU: Mestre

ANO: 2014

É concedida à Universidade de Brasília permissão para produzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado poderá ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Lucas Achaval Silva
SQS 406, Bloco U, Apt. 201
CEP: 70.255-210 – Brasília – DF – Brasil.
lucas_achaval@hotmail.com

Dedico a toda minha família, em especial aos meus pais Lourdes Achaval Silva e Paulo Roberto Gonçalves da Silva e a minha irmã Luanne Achaval Silva pelo apoio, confiança e motivação em todas as minhas decisões. A minha avó Ana Salvatierra (*in memoriam*) por ser exemplo de sabedoria e fé. A minha namorada Luisa Helena Amorim, pelo companheirismo e incentivo nos momentos difíceis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me garantir a força necessária para superar todas as dificuldades, me auxiliar na escolha dos melhores caminhos e, principalmente, por me amparar sempre.

A toda minha família, que não mediu esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida. Em especial aos meus pais, Paulo Roberto Gonçalves da Silva e Lourdes Achaval Silva, por serem meu exemplo de vida, amor, companheirismo, persistência e honestidade. A minha irmã Luanne Achaval Silva por estar sempre ao meu lado e me apoiar em todas as decisões. A minha prima Michelle Bastos pelo apoio técnico no desenvolvimento deste trabalho.

A minha namorada Luisa Helena Amorim pelo companheirismo, dedicação, compreensão, por sempre apoiar todas as minhas decisões e sempre estar ao meu lado em toda a trajetória do mestrado.

A todos os professores do Programa de Tecnologias Ambientais e Recursos Hídricos da UnB, Marco Antônio, Yovanka Pereza, Sérgio Koide, Cristina Brandão, Carlos Lima, Conceição Alves, Dirceu Reis, Lenora Gomes, Ariuska Carla, Ricardo Minoti, João Bosco, Nestor Campana, e Oscar Cordeiro Netto pela transmissão de conhecimentos, essenciais em minha formação como mestre. Um agradecimento especial à Yovanka, por sempre estar disposta a ajudar no desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu querido orientador Marco Antônio, por transmitir sua experiência e conhecimentos, além da paciência, compreensão, dedicação e, principalmente, pelo grande crescimento que obtive trabalhando ao seu lado.

Essencial foi também o apoio da Marcilene e da Valdenis (com toda sua família), partes fundamentais para a execução desse trabalho. Muito obrigado, Valdenis, por ter confiado em meu projeto e aberto sua casa para mim!

O meu muito obrigado também aos meus queridos colegas de mestrado, por partilharem esses últimos anos comigo. Em especial, gostaria de agradecer o companheirismo e o apoio do Leonardo Piau, Olga, Adriane, Luis Carlos, Diana Jimena, Maria Elisa, Luiz Gustavo, Patricia Bermond, Arthur Tavares, Caroline Alvarenga, Fabiano Silva, Reuel Lopes e Ana Maria.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento científico e Tecnológico - CNPq, pela ajuda financeira por meio de bolsa de estudos, indispensável para que eu pudesse me dedicar ao projeto.

Finalmente agradeço a FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos / Agência Brasileira de Inovação, que foi a financiadora do projeto no qual este trabalho faz parte.

RESUMO

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE ESTAÇÃO COMPACTA PARA TRATAMENTO DE ESGOTOS EM UNIDADES RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES.

Muitos são os inconvenientes causados por lançamentos indiscriminados de esgoto nos corpos d'água. Considerando a situação sanitária do Brasil e que parte da sua população não é atendida por rede coletora de esgoto, este trabalho teve o objetivo de desenvolver um protótipo de estação compacta para tratamento de esgotos sanitários gerados por unidades residenciais unifamiliares.

A metodologia de pesquisa baseou-se no estudo, averiguação da viabilidade e emprego de associação de alguns processos de tratamento de esgoto sanitário que pudessem ser aproveitados em sistemas compactos. A metodologia foi dividida nas seguintes etapas: concepção do sistema; construção do protótipo concebido; instalação do protótipo em residência térrea unifamiliar; operação, manutenção, controle e monitoramento do protótipo durante sete meses e avaliação do protótipo e da tecnologia aplicada.

Foi concebido um protótipo modular compacto com formato circular e dividido em três câmaras: a primeira composta por um Tanque Imhoff modificado com decantador laminar, a segunda por um filtro anaeróbio, e a terceira por um filtro anaeróbio com um Decantador Laminar Secundário, fabricado em fibra de vidro e instalado em uma casa térrea no Distrito Federal (DF). O protótipo concebido e operado sob condições reais obteve, na fase estabilizada, eficiência média de remoção de 84,68% de DBO₅, 81,15% de DQO, 87,14% de SST, 100% de SSed, 47,01% de ST, 48,54% de STV, 45,13% de STF, 25,17% de fósforo total, 33,09 % de nitrito e 68,50% de nitrato.

O efluente do protótipo concebido está em conformidade para lançamento em corpos d'água de nove das treze legislações de Unidades da Federação para características analisadas de Temperatura, pH, DQO, DBO, SST e SSed. Portanto, o protótipo se mostrou uma boa alternativa para tratamento de esgoto doméstico *in situ*.

Palavras-chave: Tratamento de esgoto; estação compacta; sistemas descentralizados de esgotos; residências unifamiliares.

ABSTRACT

DEVELOPMENT AND EVALUATION OF A PROTOTYPE OF A COMPACT PLANT FOR SEWAGE TREATMENT IN SINGLE-FAMILY RESIDENCES.

Many are the drawbacks caused by indiscriminate sewage discharges into water bodies. Considering the sanitation condition of Brazil and that part of the population is not served by sanitary sewer, this study aimed to develop a prototype compact station for treatment of sewage generated by single-family residential units.

The research methodology was based on the study, investigation of the feasibility and use of association of some processes of wastewater treatment that could be used in compact systems. The methodology consisted of the following steps: system design; construction of the designed prototype; prototype installation in a single-family residence; operation, maintenance, control and monitoring of the prototype for seven months and evaluation of the prototype and of the applied technology.

A compact modular prototype has been designed with a circular shape and is divided into three chambers: the first consists of a modified Imhoff Tank having a laminar settler basin, the second is an anaerobic biofilter, and the third is composed by an anaerobic biofilter coupled to a secondary laminar settling tank. The prototype was manufactured in fiber glass and was installed in a single-family house in the Brazilian Federal District (DF). The prototype designed and operated under actual conditions obtained in the stabilized phase average removal efficiencies of 84.68% for BOD₅, 81.15% for COD, 87.14% for TSS, 100% for SS_{ed}, 47.01% for ST, 48.54% for STV, 45.13 % for STF, 25.17% for total phosphorus, 33.09 % for nitrite and 68.50 % for nitrate.

It was showed that the effluent of the prototype is in accordance to the wastewater discharges requirements in water bodies established by nine of the thirteen laws of the Brazilian Federative Units, considering the measured parameters Temperature, pH, COD, BOD, TSS and SS_{ed}. Therefore, the prototype proved to be a good alternative for treatment of domestic sewage *in situ*.

Keywords: Sewage treatment; compact plant; decentralized sewerage systems; single-family residences

SUMÁRIO

1	- INTRODUÇÃO	1
2	- OBJETIVOS	4
2.1	- OBJETIVO GERAL	4
2.2	- OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
3	- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1	- SANEAMENTO BÁSICO	5
3.1.1	- Esgoto Sanitário.....	6
3.1.2	- Esgotamento sanitário no Brasil	9
3.1.3	- Esgotamento Sanitário do Distrito Federal.....	11
3.2	- SISTEMAS TRADICIONAIS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS.....	16
3.3	- NÍVEIS DE TRATAMENTO DOS ESGOTOS.....	23
3.4	- TRATAMENTO DE ESGOTO EM INSTALAÇÕES COMPACTAS	25
3.4.1	- Sistemas de tratamento compactos e modulares comerciais	40
3.5	- Novas Tecnologias de Tratamento.....	47
3.5.1	- Processo Eletroquímico	47
3.5.2	- Radiação UV.....	51
3.5.3	- Processos Oxidativos Avançados (POA)	52
3.6	- REÚSO DE ÁGUA.....	54
3.7	- MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO DE ESTAÇÕES COMPACTAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS	57
3.7.1	- Fibra de vidro.....	60
3.8	- LEGISLAÇÕES E CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS	63
3.8.1	- Condições e Padrões para lançamento de Efluentes Líquidos	63
3.8.2	- Avaliação do atendimento aos critérios adotados pela Agência Nacional de Águas (ANA).	67
4	- METODOLOGIA DA PESQUISA	68
4.1	- ETAPA DE CONCEPÇÃO DO SISTEMA	69
4.2	- ETAPA DE CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO DO SISTEMA.....	70
4.3	- ETAPA DE INSTALAÇÃO DO PROTÓTIPO	71
4.4	- ETAPA DE OPERAÇÃO, MANUTENÇÃO, CONTROLE E MONITORAMENTO DO PROTÓTIPO INSTALADO.....	71
4.5	- ETAPA DE AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO E DA TECNOLOGIA PRODUZIDA	73
4.5.1	- Avaliação do Protótipo comparado à Literatura Acadêmica e Sistemas Comerciais.....	74
4.5.2	- Avaliação do atendimento às legislações ambientais	74
5	- RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	76
5.1	- CONCEPÇÃO	76
5.2	- ETAPA DE CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO DO SISTEMA.....	81
5.2.1	- Construção da base cilíndrica	82
5.2.2	- Construção das peças internas.	83
5.2.3	- Fabricação do meio Filtrante	85
5.2.4	- Montagem do protótipo	86
5.2.5	- Teste da estação compacta.....	88
5.3	- ETAPA DE INSTALAÇÃO DO PROTÓTIPO	89

5.4	- ETAPA DE OPERAÇÃO, MANUTENÇÃO, CONTROLE E MONITORAMENTO DO PROTÓTIPO INSTALADO.....	93
5.5	- ETAPA DE AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO E DA TECNOLOGIA PRODUZIDA.....	99
5.5.1	Característica do esgoto bruto.....	99
5.5.2	Temperatura, pH, alcalinidade e condutividade	104
5.5.3	DBO ₅	107
5.5.4	DQO.....	113
5.5.5	Série de Sólidos (ST, STV, STF, SST e SSed).....	119
5.5.6	NTK, Nitrito, Nitrato, Fósforo Total.	134
5.5.7	Óleos e Graxas	137
5.5.8	Atendimento às legislações ambientais	137
6	- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	141
6.1	- CONCLUSÕES	141
6.2	- RECOMENDAÇÕES	144
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	146
	APÊNDICES	155
	APÊNDICE A- DIMENSIONAMENTO DO PROTÓTIPO DE ESTAÇÃO COMPACTA DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO.....	156
	APÊNDICE B - PLANTAS BAIXAS, CORTES E VISTA DO PROTÓTIPO DE ESTAÇÃO COMPACTA DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO.	171

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1- Principais características físicas dos esgotos domésticos, baseados em Metcalf&Eddy (1991), Jordão e Pessoa (2009) e Von Sperling (2005).....	7
Tabela 3.2- Principais micro-organismos e parasitas presentes nos esgoto doméstico bruto, de acordo com Metcalf&Eddy (1991) e Von Sperling (2005).	8
Tabela 3.3- Principais características químicas dos esgotos domésticos, baseado em Metcalf&Eddy (1991) e Von Sperling (2005).	8
Tabela 3.4- Comparativo das concentrações do Decreto 18.328 com as de 2010, relativa a alguns parâmetros (Adasa, 2011).....	15
Tabela 3.5 – Características do Esgoto Doméstico para o Distrito Federal (Adasa, 2011).	15
Tabela 3.6- Características, vantagens e desvantagens da Lagoa de Estabilização (Von Sperling 2005, Metcalf&Eddy 1991 e Jordão e Pessoa 2009).	19
Tabela 3.7- Características, vantagens e desvantagens da Disposição no Solo dos Efluentes (Von Sperling 2005 e Metcalf&Eddy 1991).	20
Tabela 3.8- Características, vantagens e desvantagens dos Reatores Anaeróbios (Chernicharo 2007, Metcalf&Eddy 1991 e Jordão e Pessoa 2009).	21
Tabela 3.9- Características, vantagens e desvantagens dos Sistemas Lodos Ativados (Von Sperling, 2002, Jordão e Pessoa, 2009 e Metcalf&Eddy, 1991).	22
Tabela 3.10- Características, vantagens e desvantagens do Reator Aeróbio com Biofilme (Von Sperling, 2005 e Jordão e Pessoa 2009).	22
Tabela 3.11- Níveis de tratamento de esgoto (Metcalf & Eddy, 1991; Jordão e Pessoa, 2009; e Von Sperling, 2005).....	24
Tabela 3.12 a- Resumo dos estudos sobre desempenho de estações compactas apresentadas neste tópico. ...	38
Tabela 3.13 - Potencial de oxidação de alguns oxidantes (Francisco, 2009, modificado).....	52
Tabela 3.14- Tipos de Processos Oxidativos Avançados (POA) (Francisco, 2009).....	54
Tabela 3.15 - Instrumentos Legais dos estados que tratam de lançamento de efluentes domésticos em corpos d'água.	64
Tabela 4.1- Métodos de exame da parte 1.	72
Tabela 4.2- Métodos de exame da parte 2.	73
Tabela 5.1- Dimensões do protótipo e das câmaras que o compõe.	81
Tabela 5.2a- Número de análises realizadas para cada característica qualidade.	94
Tabela 5.3a- Consumo de água na residência onde o protótipo foi instalado.....	97
Tabela 5.4- Vazão média de esgoto diária e per capita	98
Tabela 5.5 a- Características do esgoto bruto onde o protótipo foi instalado.	100
Tabela 5.6- Resultados da Temperatura nos quatro pontos coletados do protótipo.....	105
Tabela 5.7- Resultados de pH nos quatro pontos coletados do protótipo.	105
Tabela 5.8- Resultados de alcalinidade do efluente nos quatro pontos coletados do protótipo.	106
Tabela 5.9- Resultados de condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) dos efluentes nos quatro pontos coletados do protótipo.	107
Tabela 5.10- Resultados da concentração de DBO_5 na fase 1, inicialização, nos quatro pontos coletados do protótipo.....	109
Tabela 5.11- Resultados da concentração de DBO_5 da fase 2, já estabilizado, nos quatro pontos coletados do protótipo.....	109
Tabela 5.12- Concentração de DBO_5 e eficiência do protótipo e de cada câmara, nas fases de inicialização e estabilizada.	110
Tabela 5.13- Resultados da concentração de DQO na fase 1, inicialização, nos quatro pontos coletados do protótipo.....	114
Tabela 5.14- Resultados da concentração de DQO na fase 2, estabilizado, nos quatro pontos coletados do protótipo.....	115
Tabela 5.15- Concentração de DQO e eficiência do protótipo e de cada câmara, nas fases de inicialização e estabilizada.	115

Tabela 5.16- Resultados da concentração de ST na fase 1, inicialização, nos quatro pontos coletados do protótipo.....	119
Tabela 5.17- Resultados da concentração de ST na fase 2, estabilizada, nos quatro pontos coletados do protótipo.....	120
Tabela 5.18- Concentração de ST e eficiência do protótipo e de cada câmara, na fases de inicialização e estabilizada.....	120
Tabela 5.19- Resultados da concentração de STV na fase 1, inicialização, nos quatro pontos coletados do protótipo.....	122
Tabela 5.20- Resultados da concentração de STV na fase 2, estabilizada, nos quatro pontos coletados do protótipo.....	123
Tabela 5.21- Concentração de STV e eficiência do protótipo e de cada câmara, nas fases de inicialização e estabilizada.....	124
Tabela 5.22- Resultados da concentração de STF na fase 1, inicialização, nos quatro pontos coletados do protótipo.....	125
Tabela 5.23- Resultados da concentração de STF na fase 2, estabilizada, nos quatro pontos coletados do protótipo.....	126
Tabela 5.24- Concentração de STF e eficiência do protótipo e de cada câmara, na fase de inicialização e na estabilizada.....	127
Tabela 5.25- Resultados da concentração de SST na fase 1, inicialização, nos quatro pontos coletados do protótipo.....	128
Tabela 5.26- Resultados da concentração de SST na fase 2, inicialização, nos quatro pontos coletados do protótipo.....	129
Tabela 5.27- Concentração de SST e eficiência do protótipo e em cada câmara, na fase de inicialização e na estabilizada.....	130
Tabela 5.28- Resultados da concentração de SSed na fase 1, inicialização, nos quatro pontos coletados do protótipo.....	132
Tabela 5.29- Resultados da concentração de SSed na fase 2, sistema estabilizado, nos quatro pontos coletados do protótipo.....	133
Tabela 5.30- Concentração de SSed e eficiência do protótipo em cada câmara e total, na fase de inicialização e na estabilizada.....	133
Tabela 5.31- Resultados da concentração de Nitrito nas fases 1e 2 nos quatro pontos coletados do protótipo.....	134
Tabela 5.32- Concentração de nitrito e eficiência do protótipo e em cada câmara.....	135
Tabela 5.33- Resultados da concentração de Nitrato na fase 1e 2 nos quatro pontos coletados do protótipo.....	135
Tabela 5.34- Concentração nitrato e eficiência do protótipo e em cada câmara.....	136
Tabela 5.35- Resultados da concentração de Fósforo Total na fase 1e 2 nos quatro pontos coletados do protótipo.....	137
Tabela 5.36 – Limites preconizados nas legislações do Brasil e dos estados para o lançamento de efluente sanitários em corpos d’água.....	138
Tabela 5.37– Avaliação da conformidade ou não do protótipo concebido em função dos limites preconizados nas legislações do Brasil e dos estados.....	139

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1- Percentual de domicílios atendidos por rede geral de esgoto, em ordem decrescente, segundo as Unidades da Federação (IBGE, 2010).	10
Figura 3.2–Volume coletado e tratado de esgoto em cada estado do Brasil (IBGE, 2011).	10
Figura 3.3- Índice de coleta de esgotos por Região Administrativa no DF (CAESB, 2011).	11
Figura 3.4 - Situação do Esgotamento Sanitário do Distrito Federal dividida em áreas de atendimento (Caesb, 2013).	13
Figura 3.5–Localização das unidades operacionais do Sistema de Esgotamento Sanitário e Bacias Hidrográficas do Distrito Federal(Caesb, 2013).	14
Figura 3.6- Concentrações médias e eficiências típicas de remoção dos principais sistemas de tratamento de esgotos doméstico (Von Sperling, 2005).	18
Figura 3.7- (a) Detalhe da primeira câmara do tanque séptico modificado; (b) Pontos de amostragem no tanque séptico; (c) Vista geral dos leitos cultivados com macrófitas com mudas e touceiras após 1 mês de plantio, quadrados; e (d) retangulares (Valentim, 1999).	26
Figura 3.8- (a) Diagrama do reator UASB e do filtro anaeróbico; (b) Diagrama do reator RAC e do filtro anaeróbico (Javarez Júnior, 2007).	27
Figura 3.9- Esquema geral do sistema proposto no estudo (Silva e Nour, 2005).	29
Figura 3.10-(A) Esquema do filtro anaeróbico com recheio de bambu; (B) Vista externa do filtro anaeróbico; (C) Vista interna do filtro anaeróbico, com o recheio de bambu (Tonetti <i>et al.</i> 2010).	31
Figura 3.11- (A) Esquema do filtro de areia; (B) Vista externa do filtro de areia (C) Vista interna do filtro de areia, (Tonetti <i>et al.</i> 2010).	31
Figura 3.12- Configuração dos quatro protótipos avaliados (Chernicharo e Sousa, 2005).	33
Figura 3.13- Sistema compacto de tratamento de esgotos, configurações 1 e 2 (Chernicharo e Sousa, 2005).	33
Figura 3.14 - Sistema compacto de tratamento de esgotos, configurações 3 e 4 (Chernicharo e Sousa, 2005).	33
Figura 3.15- Protótipos construído em alvenaria. (a) Processo de construção dos 27 protótipos; (b) Visão dos protótipos já em funcionamento; (c) Os protótipos com a matéria orgânica; (d) Tubulação que alimenta o sistema, (Sartori, 2010).	34
Figura 3.16- (a) Esquema da ETE compacta UASB. (b) Esquema da ETE compacta UASB + Biofiltros Aerados Submersos (BFs), (Bof <i>et al.</i> , 2001).	35
Figura 3.17-Vista geral e corte esquemático da unidade de tratamento biológico (Alves <i>et al.</i> 2004).	37
Figura 3.18- Vista geral e corte esquemático da unidade de desinfecção, (Alves <i>et al.</i> 2004).	37
Figura 3.19- Sistema compacto de tratamento de esgoto, “Compact system” (Hidrus, 2012).	40
Figura 3.20- Sistema modular de tratamento de esgoto (Delta, 2012).	41
Figura 3.21- Detalhamento do sistema modular de tratamento de esgoto (Delta, 2012).	41
Figura 3.22- ETE compacta, Modelo ALP-Micro-0500 (Alphenz, 2012).	42
Figura 3.23- Estação compacta, Mini-Estação (Organum, 2012).	43
Figura 3.24-Estação compacta, Ecofiber (Hemfibra, 2012).	44
Figura 3.25- Estação compacta de lodos ativados (Tecnosan, 2012).	45
Figura 3.26- Estação compacta de tratamento de esgoto “Eco Hidrosul” (Hidrosul, 2012).	46
Figura 3.27- Estação compacta de tratamento de esgoto “Family” (Mizumo, 2012).	46
Figura 4.1 - Diagrama com as etapas da metodologia de pesquisa proposta.	68
Figura 5.1- Fluxograma da concepção do protótipo.	76
Figura 5.2- (a) Desenho da vista do topo do protótipo. (b) Vista da câmara 1 – T.I.M. Tanque Imhoff Modificado. (c) Vista câmara 2- F.A.1, Filtro Anaeróbico 1; (d) Vista da câmara 3 – F.A.2 + D.L.S, Filtro anaeróbico 2 e Decantador Laminar Secundário.	78
Figura 5.3- Processo de fabricação do protótipo. (a) Cilindro feito de ferro utilizado como molde para base cilíndrica; (b) Pistola de laminação (<i>Spray-up</i>); (c) Estrutura circular de ferro; (d) As três placas sendo laminadas concêntricamente.	83
Figura 5.4– Processo de Fabricação, (a) Laminação nos moldes de madeira para confecção das peças internas, (b) Placa de fibra de vidro depois de seca e desenformada.	83

Figura 5.5– Processo de fabricação, (a) Colando as placas com cola quente no processo de montagem das peças; (b) Montagem do Decantador Laminar Secundário; (c) Câmara de sedimentação laminar do Tanque Imhoff, vista de cima e (d) Câmara de sedimentação laminar do Tanque Imhoff, vista lateral.	84
Figura 5.6– (a) Conexões, tubos para condução do esgoto para o fundo e calhas coletoras; (b) Detalhe do tubo de distribuição da câmara 1 e 2.	85
Figura 5.7– Processo de fabricação do meio filtrante, (a) Rolos de conduítes utilizados, (b) Conduíte utilizado, cortado a 3 cm, (c) Conduíte sendo cortado utilizando uma “guia” de madeira adaptada à maquina e (d) Conduítes cortados conforme a especificação.	85
Figura 5.8– (a) Processo de montagem do protótipo, etapa de laminação das peças internas e instalação das canaletas e dos tubos de condução e distribuição; (b) Processo concluído.	86
Figura 5.9– Processo de montagem do protótipo, (a) e (b) Etapa de laminação das placas perfuradas, (c) Etapa de laminação das placas do fundo e (d) Reforço do fundo com cimento.	87
Figura 5.10 – (a) Tampa do protótipo no processo de fabricação. (b) Tampa do protótipo com o respirador.	87
Figura 5.11 – (a) Orifício feito para colocar o recheio na câmara 3; e (b) Protótipo pintado.	88
Figura 5.12- Teste da estação compacta. (a) Entrada da água na estação; (b) Saída da água na câmara 1; (c) Saída da água na câmara 2; e (d) Saída da água na câmara 3.	89
Figura 5.13- Localização exata da casa em que foi instalado o protótipo e seu posicionamento geográfico.	90
Figura 5.14- Fluxograma do antigo esgotamento sanitário e a nova configuração.	91
Figura 5.15– Processo de instalação do protótipo, (a) ligação hidráulica da ultima caixa de inspeção até o protótipo, (b) Escavação do terreno que recebeu o protótipo, (c) Nivelamento e preparação do fundo para receber o protótipo, (d) Realização da ligação hidráulica do protótipo até o sumidouro da casa.	92
Figura 5.16– Fase de acabamento da instalação, (a) Construção do anel de tijolos de concreto ao redor do protótipo, (b) replantio da grama que foi retirada.	92
Figura 5.17- (a) Coletor de esgoto bruto; (b) Forma de esgotar o coletor de esgoto bruto.	95
Figura 5.18- Coletor utilizado nos pontos B, C e D.	96
Figura 5.19- Retirada da espuma da Câmara.	96
Figura 5.20- Consumo mensal de água e média de esgoto gerado por mês.	98
Figura 5.21- Gráfico box-plot da concentração do esgoto bruto para DBO ₅ e DQO.	103
Figura 5.22- Gráfico box-plot da concentração do esgoto bruto para ST, STV, STF e SST.	104
Figura 5.23- Gráfico da concentração de DBO ₅ nos efluentes dos quarto pontos coletados ao longo do monitoramento, nas fases 1 e 2.	108
Figura 5.24- Box -Plot do resultado da concentração de DBO ₅ nas fases 1.	111
Figura 5.25- Box -Plot do resultado da concentração de DBO ₅ na fase 2.	111
Figura 5.26- Gráfico da concentração de DQO nos efluentes dos quarto pontos coletados ao longo do monitoramento, nas fases 1 e 2.	113
Figura 5.27- Box-plot do resultado da concentração de DQO nas fases 1.	116
Figura 5.28- Box -Plot do resultado da concentração de DQO nas fases 2.	117
Figura 5.29- Box -Plot do resultado da concentração de ST nas fases 1.	121
Figura 5.30- Box -Plot do resultado da concentração de ST nas fases 2.	122
Figura 5.31- Box-plot do resultado da concentração de STV na fase 1.	124
Figura 5.32- Box -Plot do resultado da concentração de STV nas fases 2.	125
Figura 5.33- Box-plot do resultado da concentração de STF na fase 1.	127
Figura 5.34- Box-plot do resultado da concentração de STF na fase 2.	128
Figura 5.35- Box-plot do resultado da concentração de SST na fase 1.	130
Figura 5.36- Box -Plot do resultado da concentração de SST nas fases 2.	131
Figura A.0.1- Contribuição diária de esgoto (C) e de lodo fresco (L _r) por tipo de prédio e de ocupante (ABNT, 1993).	157
Figura A.0.2- Período de detenção dos despejos, por faixa de contribuição diária (ABNT, 1993).	157
Figura A.0.3- Taxa de acumulação total de lodo (K), em dias, por intervalo entre limpezas e temperaturas do mês mais frio (ABNT, 1993).	158
Figura A.0.4- Profundidade útil mínima e máxima, por faixa de volume útil (ABNT, 1993).	158
Figura A.0.5– Contribuição diária de despejos e de carga orgânica por tipo de prédio e de ocupantes (ABNT, 1993 e 1997).	159

Figura A.0.6- Tempo de detenção hidráulica de esgotos (T), por faixa de vazão e temperatura do esgoto, em dias, (ABNT, 1997). 160

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIACÕES E NOMENCLATURAS.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Al – Alumínio

ANA – Agência Nacional de Águas

BF – Biofiltro Aerado Submerso

CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal

CE – Ceará

CERH-MG – Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais

CF – Coliformes Fecais

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

CONSEMA – MT – Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Estado de Mato Grosso

COPAM –MG – Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais

COT – Carbono Orgânico Total

D.L.S – Decantador Laminar Secundário

DBO – Demanda bioquímica de oxigênio

DNA – ácido desoxirribonucléico

DQO – Demanda química de oxigênio

E.B – Esgoto Bruto

ENC – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

ETEB-Sul – Estação de Tratamento de Esgoto Brasília Sul

FA – Filtro Anaeróbico

FACHO-DF – Federação dos Condomínios Horizontais do Distrito Federal

FB – Filtro Biológico

FBP – Filtro Biológico Percolador

Fe – Ferro

FEMA – Fundo Estadual do Meio Ambiente

FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

G – Grafite

GO – Goiás

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
K – Potássio
LAA – Laboratório de Análise de Água
MBBR – Moving Bed Biofilm Reactor
MBR – Membrane Bio Reactor
MG – Minas Gerais
MS – Mato Grosso do Sul
MT – Mato Grosso
N – Nitrogênio
NBR – Norma Brasileira
NMP – Número Máximo Provável
NTK – Nitrogênio total Kjeldhal
O & M – Operação e Manutenção
OMS – Organização Mundial de Saúde
pH – potencial hidrogeniônico
PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento
POA – Processo Oxidativo Avançado
PR – Paraná
PRFV - Plástico Reforçado com Fibra de Vidro
PRODES – Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas
Pt – Fósforo total
PTARH – Programa de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos
PVA – Poly Vinyl Alcohol
PVC – Policloreto de polivinila
RAC – Reator Aeróbio Compartimentado
RAFA – Reator Aneróbio de Fluxo Ascendente
RBC – Reatores Biológicos de Contato
RJ – Rio de Janeiro
RNA – Ácido Ribonucléico
RO – Rondônia
RS – Rio Grande do Sul
RTM – Modelagem por Transferência de Resina
Sabesp – Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná

SC – Santa Catarina

SIESG – Sistema de Esgotamento Sanitário do Distrito Federal

SP – São Paulo

SSed– Sólidos Sedimentáveis

SST – Sólidos em suspensão totais

ST – Sólidos Totais

STF – Sólidos Totais Fixos

STV – Sólidos Totais Voláteis

T.I.M – Tanque Imhoff Modificado

TDH – Tempo de detenção hidráulica

THM –Trihalometano

UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket (Reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo)

UFV – Universidade Federal de Viçosa

UnB – Universidade de Brasília.

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas

US – Ultrassom

UV – Ultravioleta

1 - INTRODUÇÃO

O saneamento básico é de suma importância para a população, uma vez que sua ausência pode tornar o ambiente insalubre. Nesse sentido, é necessário tornar sadio o espaço em que a população vive. Um dos caminhos pelos quais se pode conseguir isso é por meio do abastecimento com água potável, coleta e disposição de forma adequada dos resíduos sólidos, líquidos e gasosos gerados e da drenagem urbana, além do controle de doenças transmissíveis.

Nesse contexto, a gestão mais eficiente dos recursos hídricos se torna indispensável, uma vez que o crescimento da população e o desenvolvimento da indústria levam à degradação da qualidade e a redução da quantidade desses recursos. Dessa forma, a aplicação de tecnologia de tratamento de água e de águas residuárias torna-se um instrumento indispensável.

A Lei Federal nº 6938, que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, define poluição como a “degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que, direta ou indiretamente, prejudiquem a saúde, a segurança e o bem estar da população; criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; afetem desfavoravelmente a biota; comprometam as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente ou lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos”.

Muitos são os inconvenientes causados por lançamentos indiscriminados de esgoto nos corpos d'água. Entre eles estão o aumento da matéria orgânica solúvel, de compostos tóxicos e íons de metais pesados, de cor, de turbidez, de nutrientes, de óleos, de substâncias flutuantes, de ácidos, de matérias em suspensão e da temperatura.

Para evitar esses inconvenientes e atender às exigências ambientais que preveem padrões de qualidade para o efluente e o corpo receptor, torna-se necessária a aplicação de tecnologias de tratamento de esgoto. Os sistemas de tratamento de esgoto principais e mais utilizados, conforme Von Sperling (2005), Jordão e Pessoa (2009) e Metcalf & Eddy (1991), são classificados em Lagoas de Estabilização, Disposição no Solo dos Efluentes, Sistemas Anaeróbios e Sistemas Aeróbios, como Lodos Ativados e Reatores Aeróbios com Biofilme.

Mesmo com os avanços em saneamento básico, o levantamento realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE, (2010), consubstanciado nos resultados da Pesquisa Nacional de Saneamento (PNSB) referente ao ano de 2008, mostrou que pouco mais da metade dos municípios brasileiros (55,2%) possuía serviço de esgotamento sanitário por rede coletora. Já no Distrito Federal, 86,3% dos domicílios (maior percentual do País) são atendidos por rede geral coletora de esgoto, seguido por São Paulo (82,1%) e Minas Gerais (68,9%). Verificou-se que a média nacional é de 44% e os estados com os menores percentuais de domicílios atendidos correspondem ao Amapá (3,5%), Pará (1,7%) e Rondônia (1,6%).

Outro dado importante constatado na referida pesquisa IBGE, (2010) é que apenas 28,52% dos municípios tratam o esgoto coletado. Em relação ao tipo de tratamento, apenas 16,28% tratam a nível secundário e 2,66% a nível terciário. O que agrava esse panorama é que os dados retratam os municípios que possuem rede coletora e tratamento do esgoto, municípios cuja rede coletora não atende a toda a população - normalmente só a que vive na região central. Portanto, de modo geral, as populações distantes das regiões centrais não são atendidas pelo tratamento de esgoto.

No Brasil, a maior parte da população que não é atendida por rede coletora de esgoto tem acesso a tratamento de esgoto em nível primário por meio de sistemas de fossas sépticas, cuja eficiência de redução da carga poluidora é baixa. Além disso, para garantir o tratamento primário é necessário que as fossas sejam dimensionadas de acordo com as normas da ABNT, (1993) e (1997), em sua NBR-7229/93 e NBR-13969/97, respectivamente, o que normalmente não acontece. Isso faz com que os riscos sanitários e ambientais continuem a existir.

Com o intuito de minimizar os riscos ambientais e algumas necessidades, o reúso da água se torna uma ferramenta muito importante na preservação dos recursos hídricos. De acordo com resolução N° 54 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), o reúso de água é o aproveitamento da água residuária (água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não) que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas, classificadas para fins urbanos, agrícolas e florestais, ambientais, industriais e aquicultura (Brasil, 2006).

Defronte a essa situação sanitária e considerando que a população que está fora dos centros urbanos também é carente de recursos financeiros, vem a seguinte indagação: será possível criar um sistema de tratamento de esgoto unifamiliar, de baixo custo, compacto e construído com material leve, que possa tratar de forma eficiente os esgotos gerados por essa parcela da população?

Considerando essa indagação, podem ser levantadas as seguintes hipóteses:

- O desempenho dos sistemas de tratamento de esgotos até então apresentados não satisfaz em vários requisitos as condicionantes ambientais, no padrões de reúso de água e lançamento em corpos d'água.
- É possível conceber e comercializar um sistema de tratamento de esgotos para pequenas comunidades que apresente custo mais baixo do que os que se encontram atualmente no mercado, apresentando uma eficiência maior de remoção de contaminantes, constituído de uma única peça compacta e leve e que possua flexibilidade suficiente para se adequar a diferentes legislações e requisitos locais.

Diante disso, o presente trabalho se justifica pelo fato de que existem populações isoladas e periféricas que não são atendidas por nenhum sistema de tratamento de esgotos ou são atendidas por sistemas falhos. Além disso, as pesquisas científicas voltadas a este tipo de tecnologia, que envolvem os requisitos citados anteriormente, ainda têm muito a avançar. Outro ponto

Portanto, este trabalho é o início de uma linha de pesquisa que aspira ter consequências como servir de base para pesquisas futuras, além de impacto tecnológico e possibilitar que o modelo seja aplicado, minimizando assim problemas de saúde pública. Aspira-se também causar impacto econômico por meio da concepção de modelo economicamente viável para populações isoladas que minimize o impacto ambiental (reduzindo riscos de contaminação dos recursos hídricos) e o impacto social (minimizando riscos para saúde pública e colaborando para a melhora na qualidade de vida).

2 - OBJETIVOS

2.1 - OBJETIVO GERAL

O objetivo geral da pesquisa foi desenvolver um protótipo de estação compacta para tratamento de esgotos sanitários gerados por unidades unifamiliares, destinado a ser instalado *in situ*, e que apresente dimensões e peso que facilitem seu transporte.

2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Constituem-se objetivos específicos do trabalho:

- (1) Conceber um sistema de tratamento compacto de esgoto a partir de pesquisa bibliográfica, levantamento de mercado e seleção de processos e operações e de materiais e equipamentos considerados “adequados”.
- (2) Construir o protótipo do sistema de tratamento compacto de esgoto concebido anteriormente.
- (3) Instalar em uma residência o protótipo concebido e construído, selecionando uma unidade unifamiliar para que este funcione sob condições reais.
- (4) Operar, manter, controlar, monitorar e avaliar o desempenho do protótipo instalado em condições reais de funcionamento.

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - SANEAMENTO BÁSICO

A promoção da saúde foi definida pela Organização Mundial de Saúde (OMS) na conferência de Ottawa em 1986 como a capacitação das pessoas e comunidades para modificarem os determinantes da saúde em benefício da própria qualidade de vida. Já em 1990 a Organização Mundial de Saúde/Organização Panamericana da Saúde (OPAS/OMS) completou a definição como “a soma das ações da população, dos serviços de saúde, das autoridades sanitárias e de outros setores sociais e produtivos, dirigidas ao desenvolvimento das melhores condições de saúde individual e coletiva” (Salazar, 2004).

Neste contexto, o saneamento ambiental é utilizado como instrumento de promoção da saúde e tem como objetivo “alcançar níveis crescentes de salubridade ambiental, compreendendo o abastecimento de água em quantidade e dentro dos padrões de potabilidade vigentes, o manejo de esgotos sanitários, de águas pluviais, de resíduos sólidos e emissões atmosféricas, o controle ambiental de vetores e reservatórios de doenças, a promoção sanitária e o controle ambiental do uso e ocupação do solo e prevenção e controle do excesso de ruídos, tendo como finalidade promover e melhorar as condições de vida urbana e rural” (OPAS, 2005). Colocada de outra forma pela OMS: “Saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico do Homem que exercem ou podem exercer efeito contrário sobre seu bem estar físico, social ou mental”.

Diante do exposto, a oferta de saneamento básico é fundamental em termos de qualidade de vida, uma vez que sua ausência pode causar a poluição dos recursos hídricos, trazendo prejuízo à saúde da população e, principalmente, contribuindo para o aumento da mortalidade infantil.

Neste sentido, segundo o IBGE (2011) a ampliação dos investimentos em todos os setores do saneamento básico seriam revertidos em redução dos gastos, entre outros, com internação de enfermos e limpeza de corpos d'água. Assim, a conscientização rápida em relação ao saneamento básico se torna imprescindível para a construção de um futuro melhor para toda a população.

3.1.1 - Esgoto Sanitário

Segundo a NBR 9648 (ABNT, 1986), esgoto sanitário é o “despejo líquido constituído de esgotos domésticos e industriais, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária”. Ainda segundo a mesma norma, esgoto doméstico é o despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas.

Já sob o ponto de vista de Von Sperling (1996), o esgoto sanitário é formado por esgoto doméstico, águas de infiltração e despejos industriais, sendo que:

- O esgoto doméstico é proveniente das residências, do comércio e das repartições públicas. A taxa de retorno é de 80% da vazão da água distribuída;
- As águas de infiltração são as que penetram na rede coletora de esgoto através de juntas defeituosas das tubulações, paredes de poços de visita, etc. A taxa de infiltração depende das juntas das tubulações, dos tipos de elementos de inspeção, do tipo de solo e da posição do lençol freático. Os valores médios são de 0,3 a 0,5 L/s.km;
- Os despejos industriais são efluentes de indústrias que, devido às características favoráveis, são admitidos na rede de esgoto. Os esgotos industriais ocorrem em pontos específicos da rede coletora e suas características dependem da indústria.

De acordo com a Funasa (2006), sob o aspecto sanitário, o destino adequado dos dejetos humanos visa, fundamentalmente, aos seguintes objetivos: evitar a poluição do solo e dos mananciais de abastecimento de água; evitar o contato de vetores com as fezes; propiciar a promoção de novos hábitos higiênicos na população; e promover o conforto e atender ao senso estético.

Já sob os aspectos econômicos, os objetivos do destino adequado do esgoto sanitário são (Funasa, 2006): aumentar a vida média do homem pela redução da mortalidade em consequência da redução dos casos de doenças; diminuir as despesas com o tratamento de doenças evitáveis; reduzir o custo do tratamento de água de abastecimento pela prevenção da poluição dos mananciais; controlar a poluição das praias e locais de recreação com o objetivo de promover o turismo; e preservar a fauna aquática, especialmente os criadouros de peixes.

O esgoto tem como característica “[...] aproximadamente, 99,9% de água. A fração restante inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como os micro-organismos. Portanto, é devido a essa fração de 0,1% que há necessidade de tratar o esgoto” (Von Sperling, 2005).

Determinações físicas, químicas e biológicas são usadas para a caracterização dos esgotos domésticos. Componentes como os nutrientes são importantes pelo efeito de eutrofização que causam aos corpos d’água e, por isso, no processo de tratamento de esgoto a série nitrogenada e fósforo são determinantes. Segundo Uehara (1989), “organismos vivos liberados dos dejetos humanos, como vírus, bactérias, vermes e protozoários são encontrados no esgoto”. “Alguns são de suma importância na decomposição da matéria orgânica complexa, transformando-a em compostos orgânicos mais simples e estáveis. Outros, entretanto, são causadores de doenças e são denominados de organismos patogênicos”.

Portanto, o conhecimento das características físicas (Tabela 3.1), biológicas (Tabela 3.2) e químicas (Tabela 3.3) dos esgotos é de suma importância para o tratamento de água e águas residuárias, auxiliando na escolha do sistema de tratamento de esgoto mais adequado para o efluente que se pretende tratar.

Tabela 3.1- Principais características físicas dos esgotos domésticos, baseados em Metcalf&Eddy (1991), Jordão e Pessôa (2009) e Von Sperling (2005).

Componentes	Descrição
Sólidos totais	<u>Sólidos suspensos:</u> Frações dos sólidos orgânicos e inorgânicos retidos em filtros de papel com abertura e dimensões padronizadas são divididos em fixos (minerais, não incineráveis e inertes dos sólidos suspensão) e orgânicos. <u>Sólidos dissolvidos:</u> Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos não retidos nos filtros de papel descritos acima. Estão divididos em fixos (minerais dos sólidos dissolvidos) e voláteis (componentes orgânicos dos sólidos dissolvidos). <u>Sólidos sedimentáveis:</u> Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que se sedimenta em uma hora no <i>Cone Imhoff</i> que se aproxima da indicação da sedimentação em um tanque de decantação.
Temperatura	É pouco superior à da água de abastecimento, mais estável que a temperatura do ar e varia conforme as estações do ano. Influenciada pela atividade microbiana, solubilidade dos gases e viscosidade do líquido.
Coloração	Para esgoto fresco é um pouco cinza e, para esgoto séptico, cinza escuro ou preto.
Odor	O esgoto fresco possui odor oleoso, relativamente desagradável e o esgoto séptico possui odor fétido, por conta do gás sulfídrico e de outros produtos da decomposição. Já os esgotos dos despejos industriais possuem odores característicos, que dependem do processo industrial.
Turbidez	Dá-se por uma grande variedade de sólidos em suspensão, sendo que os esgotos mais frescos ou mais concentrados geralmente possuem maior turbidez.

Tabela 3.2- Principais micro-organismos e parasitas presentes nos esgoto doméstico bruto, de acordo com Metcalf&Eddy (1991) e Von Sperling (2005).

Componentes	Descrição
Bactérias	Organismos unicelulares que apresentam várias formas e tamanhos. São muito importantes no tratamento de águas residuárias, sendo as principais responsáveis pela estabilização da matéria orgânica. Algumas bactérias são patogênicas e causam, principalmente, doenças intestinais.
Fungos	Em sua maioria são organismos aeróbios, uni ou multicelulares e heterotróficos. Assim como as bactérias, são importantes na decomposição da matéria orgânica, podendo crescer em condições de baixo pH.
Protozoários	Organismos predominantemente aeróbios ou facultativos, unicelulares e sem parede celular. Alimentam-se de bactérias, algas e outros micro-organismos e são indispensáveis no tratamento biológico por manterem o equilíbrio entre os diversos grupos. Alguns protozoários são patogênicos.
Vírus	Organismos parasitas formados pela associação de material genético (DNA ou RNA) e uma carapaça protéica. Devido ao seu tamanho, são de difícil remoção nos tratamentos de água ou esgoto e causam doenças.
Algas	Organismos autotróficos e fotossintetizantes que contém clorofila. No meio aquático, quando as condições são favoráveis, se reproduzem rapidamente e cobrem córregos, lagos e reservatórios em grandes colônias flutuantes chamadas florações, características da eutrofização de lagos. Sua presença prejudica o abastecimento de água causando sabor e odor.
Helmintos	Organismos superiores de vida livre. Normalmente são parasitas de animais e plantas, cuja presença de seus ovos nos esgotos pode causar doenças.

Tabela 3.3- Principais características químicas dos esgotos domésticos, baseado em Metcalf&Eddy (1991) e Von Sperling (2005).

Componentes	Descrição
Matéria orgânica	Mistura heterogênea de diversos compostos orgânicos, sendo seus principais componentes as proteínas, os carboidratos e os lipídios. Podem ser determinados por: a) Determinação indireta: DBO ₅ – Demanda Bioquímica de Oxigênio: é a quantidade de oxigênio consumido para estabilizar bioquimicamente o material orgânico biodegradável contido no esgoto sob condição aeróbia, no teste de incubação durante cinco dias a 20° C. DQO – Demanda Química de Oxigênio: é a quantidade de oxigênio consumida para oxidação da matéria orgânica contida no esgoto estimada através da reação química utilizando o dicromato de potássio como reagente, sob condição ácida e quente. DBO Última – Demanda Bioquímica Última de Oxigênio: representa o consumo total de oxigênio ao final de vários dias requerido pelos micro-organismos para a estabilização bioquímica da matéria orgânica. b) Determinação direta: COT – Carbono Orgânico Total: é uma medida direta da matéria orgânica carbonácea e é determinado por meio da conversão do carbono orgânico em gás carbônico.
Nitrogênio Total	Nutriente indispensável para o desenvolvimento dos micro-organismos no tratamento biológico. O Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) corresponde ao nitrogênio orgânico e a amônia. <i>Nitrogênio orgânico</i> , encontrado na forma de proteínas, aminoácidos e ureia. <i>Amônia</i> , produzida como primeiro estágio do nitrogênio orgânico. <i>Nitrato</i> , estágio intermediário da oxidação da amônia, praticamente ausente no esgoto bruto. <i>Nitrato</i> , produto final da oxidação da amônia, praticamente ausente no esgoto bruto.
Fósforo Total	É indispensável no tratamento biológico, existente na forma: a) Fósforo orgânico, combinado à matéria orgânica. b) Fósforo inorgânico, ortofosfato e polifosfato.
pH	Indicador das características ácidas ou básicas do esgoto, sendo pH 7 uma solução neutra. Os processos de oxidação biológica normalmente tendem a reduzir o pH.
Alcalinidade	Indicador da capacidade tampão do meio e resistência às variações do pH devido à presença de bicarbonato, carbonato e íon hidroxila (OH ⁻).
Cloretos	Procedentes da água de abastecimento e dos dejetos humanos
Óleos e graxas	Frações da matéria orgânica solúveis em hexanos, sendo sua fonte, os esgotos domésticos e alimentos utilizados.

3.1.2 - Esgotamento sanitário no Brasil

Na avaliação das condições de saúde da população, é indispensável que se leve em consideração a existência de esgotamento sanitário. O acesso ao saneamento básico é fundamental tanto para o controle, quanto para a redução de doenças. Pesquisas comprovam que a coleta de esgotos domésticos traz significativa melhoria na qualidade ambiental, não só das áreas residenciais, mas também de todo o entorno. No entanto, ela não é capaz de eliminar grande parte dos efeitos ambientais nocivos decorrentes do lançamento de esgotos em corpos d'água.

Como resultado da Pesquisa Nacional de Saneamento - PNSB referente ao ano de 2008, realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), verifica-se que pouco mais da metade dos municípios brasileiros (55,2%) de um total de 5564, possuíam serviço apropriado de esgotamento sanitário por rede coletora. O resultado foi pouco superior ao observado na pesquisa anterior, realizada em 2000, que registrava 52,2% de um total de 5507 municípios. Em 2008, a proporção de municípios com rede de coleta de esgoto foi bem inferior à de municípios com rede geral de distribuição de água (99,4%), manejo de resíduos sólidos (100%) e manejos de águas pluviais (94,5%). É importante ressaltar que a estatística de acesso à rede coletora de esgoto refere-se apenas à existência do serviço no município, sem considerar a extensão da rede, a qualidade do atendimento, o número de domicílios atendidos ou se o esgoto, depois de recolhido, é tratado.

De acordo com IBGE (2010) o Distrito Federal possui 86,3% dos domicílios atendidos por rede geral coletora de esgoto, sendo o maior percentual do país como mostra a Figura 3.1, seguido por São Paulo (82,1%) e Minas Gerais (68,9%). A média nacional é de 44% e as piores proporções ficaram com os estados do Amapá (3,5%), Pará (1,7%) e Rondônia (1,6%).

Dos municípios do Brasil, apenas 55% possuem rede coletora de esgoto e apenas 28% tratam o esgoto coletado. Em relação ao tipo de tratamento do esgoto coletado, apenas 16,28% tratam a nível secundário e 2,66% nível terciário, de acordo com IBGE (2010). A pesquisa contabiliza os municípios que possuem rede coletora, porém, estes municípios não fazem a cobertura completa com a rede.

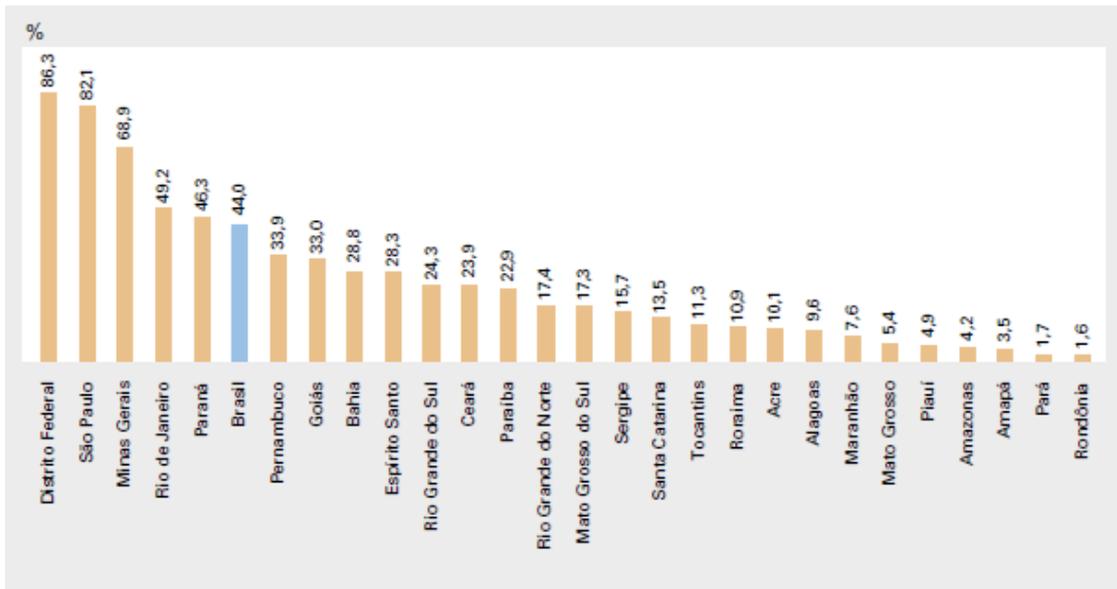


Figura 3.1- Percentual de domicílios atendidos por rede geral de esgoto, em ordem decrescente, segundo as Unidades da Federação (IBGE, 2010).

A Figura 3.2 mostra um panorama nacional do volume coletado e tratado de esgoto sanitário em cada estado brasileiro, com destaque para o Distrito Federal que apresenta situação muito acima da média nacional (IBGE, 2011).

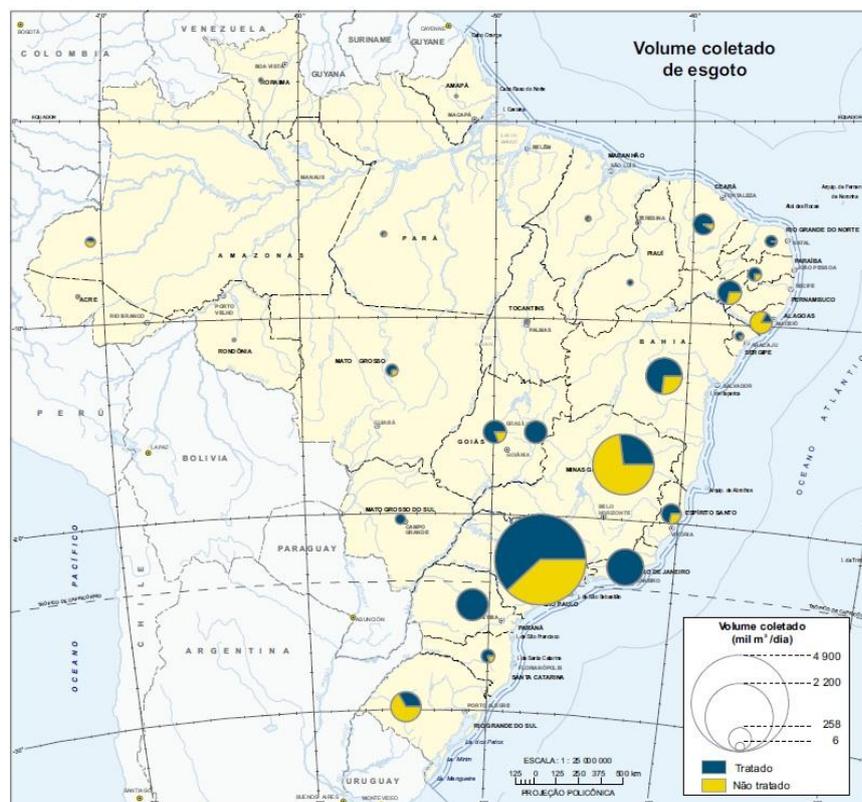


Figura 3.2–Volume coletado e tratado de esgoto em cada estado do Brasil (IBGE, 2011).

Mesmo que a situação sanitária no Brasil esteja aquém do ideal, pode-se perceber uma evolução nos últimos anos em relação a melhorias e ampliações no serviço de coleta de esgoto sanitário. Segundo IBGE (2010), em 2008, 79,9% dos municípios com coleta de esgoto estavam ampliando ou melhorando seu serviço, contra 58% em 2000. A região Centro-Oeste destacou-se por passar de 50%, em 2000, para 78% em 2008, juntamente com o Nordeste, que passou de 47,6% para 73,1% no mesmo período. Neste aspecto, a Região Sudeste, com 85,4% apresentou o melhor desempenho em 2008, seguida pela Centro-Oeste com 78% e Sul com 77,5%. No ano de 2008, as ampliações ou melhorias no serviço de coleta de esgoto sanitário aumentaram 88% em relação às redes coletoras e 78,6% em às ligações prediais.

De acordo com IBGE (2011), no Atlas de Saneamento 2011, feito com base no PNSB de 2008, existe um longo caminho a ser trilhado em relação ao esgotamento sanitário no Brasil, tendo em vista a melhoria da qualidade de vida da população e a sustentabilidade ambiental.

3.1.3 - Esgotamento Sanitário do Distrito Federal

Com base na Figura 3.3 da Caesb (2011), em sua Sinopse do Sistema de Esgotamento Sanitário do Distrito Federal (SIESG), que mostra o índice de coleta de esgotos por Região Administrativa no DF, pode-se concluir que este índice no DF é de 92,33%.

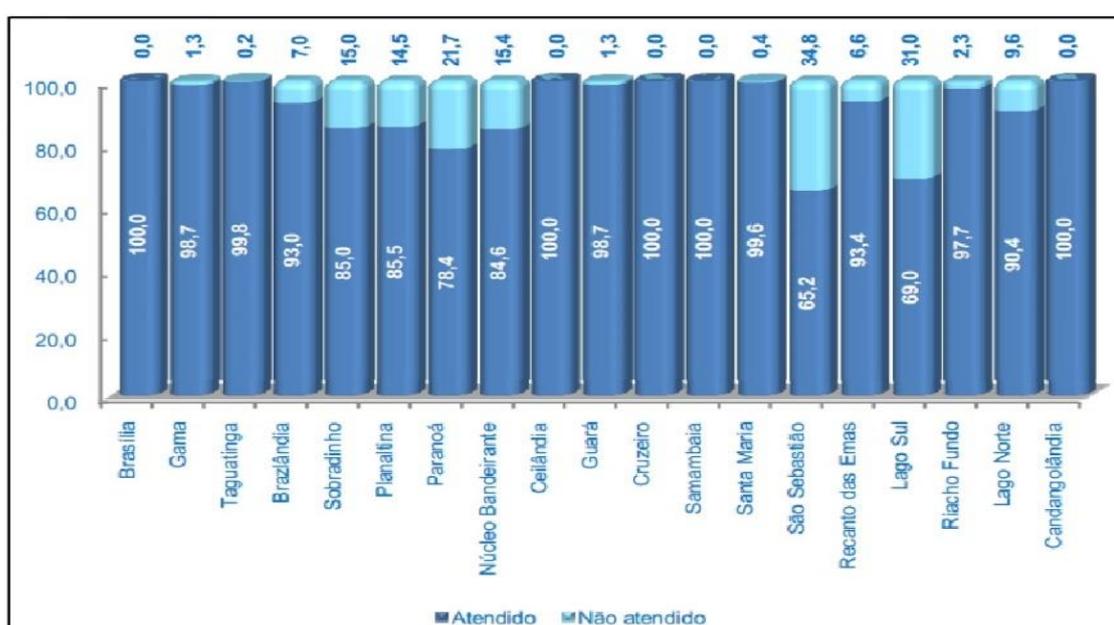


Figura 3.3- Índice de coleta de esgotos por Região Administrativa no DF (CAESB, 2011).

Em outra sinopse da Caesb (2013), o volume mensal de esgoto coletado é 9.900.710 m³ e desse total, 100% é tratado, tendo a rede uma extensão de 5.128.066 metros e 481.906 ligações ativas de esgoto. A Figura 3.4 mostra a situação do esgotamento sanitário do Distrito Federal dividida em áreas atendidas, áreas não atendidas, áreas com obras em andamento e áreas com o projeto pronto/em desenvolvimento. No entanto, algumas das regiões em azul claro (obras em andamento), como Vicente Pires e Lago Sul, e azul escuro (projeto pronto/em desenvolvimento), como Sobradinho, já possuem, na maioria das residências, sistemas unifamiliares de tratamento de esgoto.

Já a Figura 3.5 mostra as unidades operacionais do sistema de esgotamento sanitário e bacias hidrográficas do Distrito Federal, nas quais estas unidades se encontram. Pode-se assim concluir que boa parte do Distrito Federal está coberta por estações de tratamento de esgoto em funcionamento. As regiões ainda não atendidas estão em processo de construção das ETE ou com os seus projetos concluídos.

MAPA DAS ÁREAS DE ATENDIMENTO DOS SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO DF

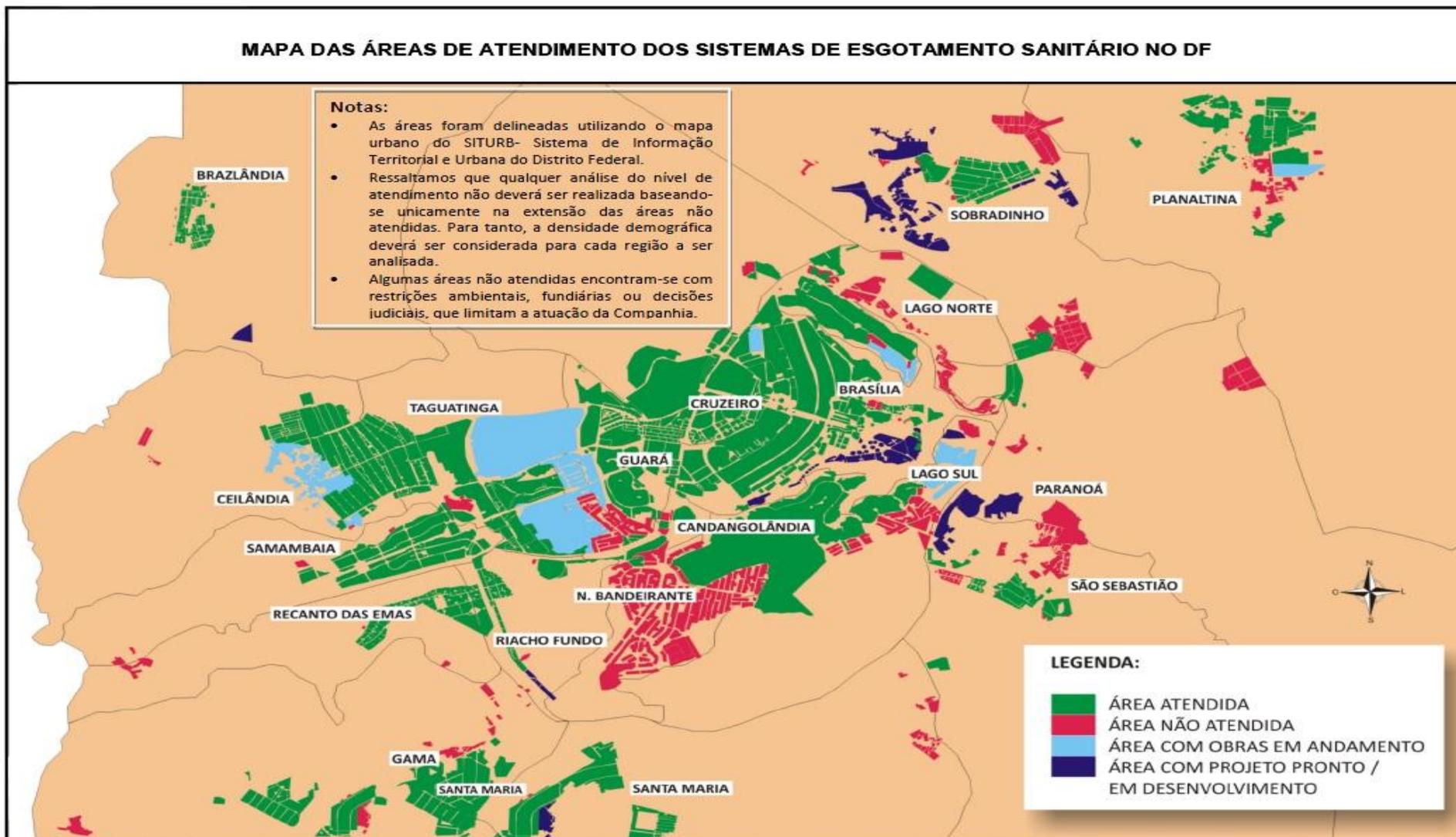


Figura 3.4 - Situação do Esgotamento Sanitário do Distrito Federal dividida em áreas de atendimento (Caesb, 2013).

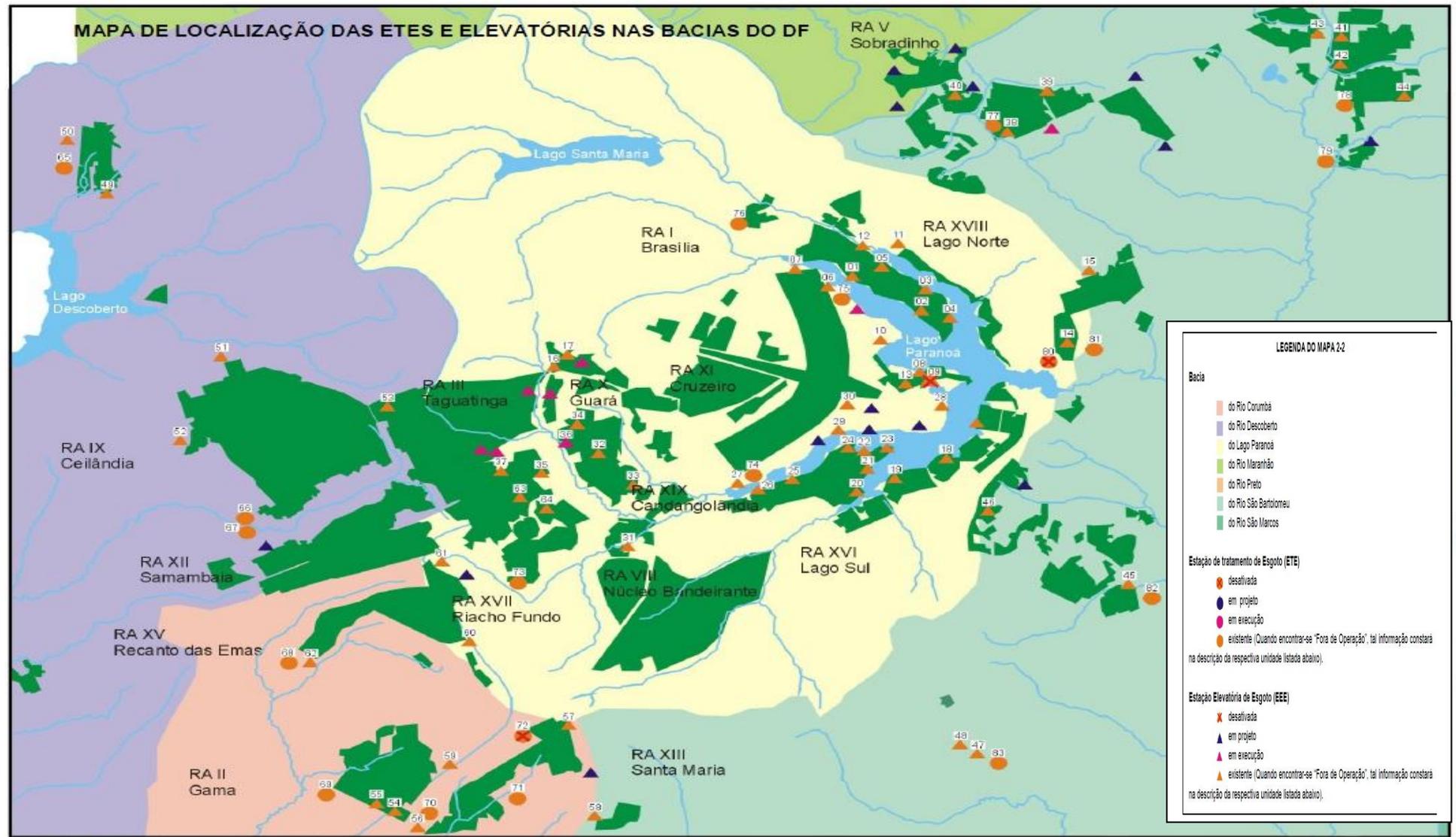


Figura 3.5–Localização das unidades operacionais do Sistema de Esgotamento Sanitário e Bacias Hidrográficas do Distrito Federal(Caesb, 2013).

O decreto decreto n° 18.328 de 18/06/1997 -DF, trata do lançamento de efluentes líquidos na rede coletora de esgoto e mostra as características do esgoto doméstico do Distrito Federal (Adasa, 1997), porém, uma nota Técnica de 27/06/2011 formulada pela Adasa (2011) propõe revisão do Decreto Distrital n° 18.328 e relata que “A qualidade dos esgotos domésticos gerados no Distrito Federal foi alterada significativamente nesta última década, principalmente em função da redução no consumo *per capita* de água, e consequente aumento da concentração dos poluentes que compõem os esgotos domésticos”. O consumo de água *per capita* no Distrito Federal na época da elaboração do Decreto Distrital 18.328/1997 era de 250 L/Hab.dia e hoje é de 177 L/Hab.dia. A nota aponta também que os efluentes tipicamente domésticos atuais não se enquadram ao Decreto, como mostra a Tabela 3.4, o que ressalta a necessidade de adequação da legislação.

Tabela 3.4- Comparativo das concentrações do Decreto 18.328 com as de 2010, relativa a alguns parâmetros (Adasa, 2011).

CONSTITUINTES	CONCENTRAÇÃO (Mg/L)	
	MÉDIA (Decreto 18.328)	MÉDIA (ETE's 2010)
Sólidos Suspensos	300	338
DBO	300	460
DQO	450	820
TKN	50	77
Fósforo Total	6	11

A nota técnica propõe alteração dos valores constantes no Decreto Distrital n° 18.328 para valores apresentados na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Características do Esgoto Doméstico para o Distrito Federal (Adasa, 2011).

Constituintes	Unidade de Medida	Concentrações Médias
Sólidos Totais	mg/L	600
DBO	mg/L	480
DQO	mg/L	860
Nitrogênio Total	mg/L	80
Nitrogênio Orgânico	mg/L	24
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	56
Nitrito	mg/L	0
Nitrato	mg/L	0
Fósforo Total	mg/L	10
Cloreto*	mg/L	73
Óleos e Graxas**	mg/L	150

*A concentração de Cloreto foi alterada considerando-se um aumento nas concentrações médias desse constituinte em 47%. ** A concentração de óleos e graxas adotada foi à mesma utilizada no Decreto Distrital 18.328/1997.

3.2 - SISTEMAS TRADICIONAIS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

No tratamento de esgotos, os principais e tradicionais sistemas são classificados em Sistemas de Lagoas de Estabilização, Disposição no Solo dos Efluentes, Sistemas Anaeróbios, Sistemas de Lodos Ativados e Reatores Aeróbios com Biofilme.

A Figura 3.6, mostra as concentrações médias e eficiências típicas de remoção nos esgotos domésticos nos principais sistemas de tratamento.

a) Sistema de Lagoas de Estabilização

Os principais sistemas de Lagoas de Estabilização, para o tratamento de esgoto, como mostra a Tabela 3.6, baseados em Von Sperling (2005), Metcalf & Eddy (1991) e Jordão e Pessoa (2009) são: Lagoas Facultativas; Sistema de Lagoas Anaeróbias - Facultativas Associadas; Lagoas Aeradas Facultativas; Lagoas Aeradas de Mistura Completa - Lagoas de Sedimentação; Lagoas Anaeróbias de Alta Taxa; Lagoas de Maturação e Lagoas de Polimento.

b) Disposição de Efluentes no Solo

De acordo com Metcalf & Eddy (1991), a Disposição de Efluentes no Solo é um sistema de tratamento natural. Entre os processos envolvidos que também fazem parte dos sistemas convencionais estão sedimentação, filtração, transferência gasosa, adsorção, troca iônica, precipitação química, oxidação e redução, conversão e degradação biológica. Os processos que acontecem somente nos sistemas naturais são os de fotossíntese, fotooxidação e crescimento das plantas.

Os principais sistemas de disposição controlada de esgoto são, com base em Von Sperling (2005) e Metcalf & Eddy (1991), infiltração, infiltração rápida, infiltração subsuperficial, escoamento superficial e terras úmidas construídas, caracterizados na Tabela 3.7.

c) Reatores Anaeróbios

Por ser considerado caro e problemático, o tratamento anaeróbio não era utilizado. No entanto, com o desenvolvimento da pesquisa, este tipo de sistema apresentou-se mais compacto, com grande capacidade de reter grande quantidade de biomassa, baixos valores de TDH (Tempo de Detenção Hidráulica) e garantia de elevado grau de estabilização do lodo, de acordo com Chernicharo (2007).

Com base em Chernicharo (2007), Metcalf & Eddy (1991) e Jordão e Pessôa (2009), o tratamento anaeróbio é classificado, por conveniência, em dois grupos: Sistemas Convencionais e Sistemas de Alta Taxa, como mostra a Tabela 3.8.

d) Sistema de Lodos Ativados e Variantes

Os sistemas de lodos ativados, com base em Von Sperling (2002), Jordão e Pessôa (2009) e Metcalf & Eddy (1991), devem levar em consideração para selecionar o tipo de reator, os critérios de carga, a produção de lodo, a necessidade de oxigênio e transferência, as exigências nutricionais e o controle de organismos filamentosos. Os principais Sistemas de Lodos Ativados são o Sistema Lodos Ativados Convencional, Sistema de Lodos Ativados por Aeração Prolongada e Sistema de Lodos Ativados com Fluxo Intermitente, como mostra a Tabela 3.9.

e) Reatores Aeróbios com Biofilme

Os principais Reatores Aeróbios com Biofilme, baseados em Von Sperling (2005) e Jordão e Pessôa (2009), são os Filtros Biológicos Percoladores de Baixa Carga, os Filtros Biológicos Percoladores de Alta Carga, Reatores Biológicos de Contato (RBC) e o Filtro Aeróbio Submerso, como mostra a Tabela 3.10.

Sistema	Qualidade média do efluente								Eficiência média de remoção						
	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	SS (mg/L)	Amônia-N (mg/L)	N total (mg/L)	P total (mg/L)	CF (NMP/10 0ml)	Ovos helm. (ovo/L)	DBO ₅ (%)	DQO (%)	SS (%)	Amônia-N (%)	N total (%)	P total (%)	CF (unid. log)
Tratamento primário (tanques sépticos)	200-250	400-450	100-150	>20	>30	>4	10 ⁴ -10 ⁶	>1	30-35	25-35	55-65	<30	<30	<35	<1
Tratamento primário convencional	200-250	400-450	100-150	>20	>30	>4	10 ⁴ -10 ⁶	>1	30-35	25-35	55-65	<30	<30	<35	<1
Tratamento primário avançado (a)	60-150	150-250	30-90	>20	>30	<2	10 ⁴ -10 ⁷	>1	45-60	55-75	60-90	<30	<30	75-90	≈1
Lagoa facultativa	50-80	120-200	60-90	>15	>20	>4	10 ⁴ -10 ⁷	<1	75-85	65-80	70-80	<50	<60	<35	1-2
Lagoa anaeróbia - lagoa facultativa	50-80	120-200	60-90	>15	>20	>4	10 ⁴ -10 ⁷	<1	75-85	65-80	70-80	<50	<60	<35	1-2
Lagoa aerada facultativa	50-80	120-200	60-90	>20	>30	>4	10 ⁴ -10 ⁷	>1	75-85	65-80	70-80	<30	<30	<35	1-2
Lagoa aerada mistura completa - lagoa sedimentação	50-80	120-200	40-60	>20	>30	>4	10 ⁴ -10 ⁷	>1	75-85	65-80	80-87	<30	<30	<35	1-2
Lagoa anaeróbia + lagoa facult. + lagoa de maturação	40-70	100-180	50-80	10-15	15-20	<4	10 ⁴ -10 ⁴	<1	80-85	70-83	73-83	50-65	50-65	>50	3-5
Lagoa anaeróbia + lagoa facult. + lagoa de alta taxa	40-70	100-180	50-80	5-10	10-15	3-4	10 ⁴ -10 ⁵	>1	80-85	70-83	73-83	65-85	75-90	50-60	3-4
Lagoa anaeróbia + lagoa facult. + remoção de algas	30-50	100-150	<30	>15	>20	>4	10 ⁴ -10 ⁵	>1	85-90	75-83	>90	<50	<60	<35	3-4
Infiltração lenta	<20	<80	<20	<5	<10	<1	10 ² -10 ⁴	<1	90-99	85-95	>93	>80	>75	>85	3-5
Infiltração rápida	<20	<80	<20	<10	<15	<4	10 ² -10 ⁴	<1	85-98	80-93	>93	>65	>65	>50	4-5
Escoamento superficial	30-70	100-150	20-60	10-20	>15	>4	10 ⁴ -10 ⁶	<1	80-90	75-85	80-93	35-65	<65	<35	2-3
Terras úmidas construídas (wetlands)	30-70	100-150	20-40	>15	>20	>4	10 ⁴ -10 ⁶	<1	80-90	75-85	87-93	<50	<60	<35	3-4
Tanque séptico + filtro anaeróbio	40-80	100-200	30-60	>15	>20	>4	10 ⁴ -10 ⁷	>1	80-85	70-90	80-90	<45	<60	<35	1-2
Tanque séptico + infiltração	<20	<80	<20	<10	<15	<4	10 ² -10 ⁴	<1	90-98	85-95	>93	>65	>65	>50	4-5
Reator UASB	70-100	180-270	60-100	>15	>20	>4	10 ⁴ -10 ⁷	>1	60-75	55-70	65-80	<50	<60	<35	≈1
UASB + lodos ativados	20-60	60-150	20-40	5-15	>20	>4	10 ⁴ -10 ⁷	>1	83-93	75-88	87-93	50-85	<60	<35	1-2
UASB + biofiltro aerado submerso	20-50	60-150	20-40	5-15	>20	>4	10 ⁴ -10 ⁷	>1	83-93	75-88	87-93	50-85	<60	<35	1-2
UASB + filtro anaeróbio	40-80	100-200	30-60	>15	>20	>4	10 ⁴ -10 ⁷	>1	75-87	70-90	80-90	<50	<60	<35	1-2
UASB + filtro biológico percolador de alta carga	20-60	70-180	20-40	>15	>20	>4	10 ⁴ -10 ⁷	>1	80-93	73-88	87-93	<50	<60	<35	1-2
UASB + flotação por ar dissolvido	20-50	60-100	10-30	>20	>30	1-2	10 ⁴ -10 ⁷	>1	83-93	83-90	90-97	<30	<30	75-88	1-2
UASB + lagoas de polimento	40-70	100-180	50-80	10-15	15-20	<4	10 ² -10 ⁴	<1	77-87	70-83	73-83	50-65	50-65	>50	3-5
UASB + lagoa aerada facultativa	50-80	120-200	60-90	>20	>30	>4	10 ⁴ -10 ⁷	>1	75-85	65-80	70-80	<30	<30	<35	1-2
UASB + lagoa aerada mist. compl. + lagoa decant.	50-80	120-200	40-60	>20	>30	>4	10 ⁴ -10 ⁷	>1	75-85	65-80	80-87	<30	<30	<35	1-2
UASB + escoamento superficial	30-70	90-180	20-60	10-20	>15	>4	10 ⁴ -10 ⁶	<1	77-90	70-85	80-93	35-65	<65	<35	2-3
Lodos ativados convencional	15-40	45-120	20-40	<5	>20	>4	10 ⁴ -10 ⁷	>1	85-93	80-90	87-93	>80	>80	<35	1-2
Lodos ativados - aeração prolongada	10-35	30-100	20-40	<5	>20	>4	10 ⁴ -10 ⁷	>1	90-97	83-93	87-93	>80	>80	<35	1-2
Lodos ativados - betelada (aeração prolongada)	10-35	30-100	20-40	<5	>20	>4	10 ⁴ -10 ⁷	>1	90-97	83-93	87-93	>80	>80	<35	1-2
Lodos ativados convenc. com remoção biológica de N	15-40	45-120	20-40	<5	<10	>4	10 ⁴ -10 ⁷	>1	85-93	80-90	87-93	>80	>75	<35	1-2
Lodos ativados convenc. com remoção biol. de N/P	15-40	45-120	20-40	<5	<10	1-2	10 ⁴ -10 ⁷	>1	85-93	80-90	87-93	>80	>75	75-88	1-2
Lodos ativados convencional + filtração terciária	10-20	30-60	10-20	<5	>20	3-4	10 ² -10 ⁴	<1	93-98	90-95	93-97	>80	>80	50-60	3-5
Filtro biológico percolador de baixa carga	15-40	30-120	20-40	5-10	>20	>4	10 ⁴ -10 ⁷	>1	85-93	80-90	87-93	65-85	<60	<35	1-2
Filtro biológico percolador de alta carga	30-60	80-180	20-40	>15	>20	>4	10 ⁴ -10 ⁷	>1	80-90	70-87	87-93	<50	<60	<35	1-2
Biofiltro aerado submerso com nitrificação	15-35	30-100	20-40	<5	>20	>4	10 ⁴ -10 ⁷	>1	88-95	83-90	87-93	>80	>80	<35	1-2
Biofiltro aerado submerso com remoção biol. de N	15-35	30-100	20-40	<5	<10	>4	10 ⁴ -10 ⁷	>1	88-95	83-90	87-93	>80	>75	<35	1-2
Biodisco	15-35	30-100	20-40	5-10	>20	>4	10 ⁴ -10 ⁷	>1	88-95	83-90	87-93	65-85	<60	<35	1-2

Figura 3.6- Concentrações médias e eficiências típicas de remoção dos principais sistemas de tratamento de esgotos doméstico (Von Sperling, 2005).

Tabela 3.6- Características, vantagens e desvantagens da Lagoa de Estabilização (Von Sperling 2005, Metcalf & Eddy 1991 e Jordão e Pessôa 2009).

Classificação	Subclassificação	Características	Vantagens	Desvantagens
Lagoas de Estabilização	Lagoas Facultativas	Dependem exclusivamente de fenômenos naturais e são consideradas as mais simples das lagoas. A profundidade varia de 1,5 a 2,0 m. O TDH normalmente é maior que 20 dias e, ocorrendo a sedimentação e DBO particulada, faz com que se forme um lodo no fundo, que sofre o processo de decomposição por microrganismos anaeróbios.	Satisfatória eficiência na remoção de DBO e patogênicos, construção, operação e manutenção simples, reduzidos custos de implantação e operação, ausência de equipamentos mecânicos, requisitos energéticos praticamente nulos, resistência às variações de cargas. Necessidade de remoção de lodo somente após 20 anos.	Elevado requisitos de área, dificuldade em satisfazer padrões de lançamentos restritivos. A simplicidade operacional pode trazer descaso com a manutenção relacionado ao crescimento da vegetação. Possível necessidade de remoção de algas do efluente, desempenho dependente das condições climáticas e possibilidade de desenvolvimento de insetos.
	Sistema de Lagoas Anaeróbias	Menores dimensões, profundidade de 4,0 a 5,0m e condição anaeróbia, já que não há fotossíntese; TDH é usualmente de 2 a 5 dias. A remoção da DBO da ordem de 50 a 60%. O efluente fica com carga de 40 a 50% da DBO do esgoto bruto.	Estão relacionadas às Lagoas Facultativas, mas esta configuração faz com que sejam reduzidos os requisitos de área.	As mesmas apresentadas pelas Lagoas Facultativas. Pode necessitar de elevatórias para recirculação do efluente para controle dos maus odores e ser afastado das zonas habitadas.
	Lagoas Aeradas Facultativas	Diferencia-se no suprimento de oxigênio, já que é obtido por aeradores; TDH na faixa de 5 a 10 dias. A denominação facultativa se dá ao nível de energia introduzido pelos aeradores, sendo suficiente apenas para oxigenação, mas não para manter os sólidos em suspensão na massa líquida (que tendem a sedimentar e constituir a camada de lodo do fundo) a ser decomposta anaeróbiamente.	Construção, operação e manutenção relativamente simples, requisitos de área inferiores e maior independência das condições climáticas que os sistemas de Lagoas Facultativas e Anaeróbio-Facultativas. Maior eficiência na remoção da DBO se comparada as Lagoas Facultativas, satisfatória resistência às variações de carga e reduzidas possibilidades de maus odores.	Necessidade de equipamentos mais sofisticados; Requisitos de área elevados e requisitos de energia relativamente elevados.
	Lagoas Aeradas de Mistura Completa – Lagoas de Sedimentação	Maior grau de energia empregada que na lagoa aerada. Maior concentração de bactérias no meio líquido, maior contato entre essas e a matéria orgânica; TDH em torno de dois a quatro dias. Exige uma unidade a jusante na qual a biomassa possa sedimentar juntamente com eventuais sólidos em suspensão, lagoa de decantação com TDH de dois dias e remoção dos sólidos acumulados após cinco anos.	Menores requisitos de área.	Há necessidade de descarte periódico do lodo; Elevado consumo de energia elétrica e elevados investimentos em equipamentos e manutenção do sistema.
	Lagoas Anaeróbias de Alta Taxa	Concebida para maximizar a produção de algas; Profundidade menor que 0,80m, para garantir a penetração de luz; Utilização de agitadores com a função de reduzir as zonas mortas; Podem vir depois de lagoas facultativas, nas quais parte da DBO foi removida.	Elevada mortalidade de micro-organismos patogênicos e remoção de nutrientes em consequência do aumento na concentração de oxigênio e elevação do pH. Recebe alta taxa de carga orgânica por unidade de área.	Alto consumo de energia.
	Lagoas de Maturação	Fazem o polimento do efluente, podem ser usadas depois de qualquer tipo de lagoa descrita anteriormente; São alternativas econômicas de desinfecção, mais que a cloração; Profundidade de até 1,0m; Configuração de três ou quatro lagoas em série ou uma com chicanas.	Melhoram a qualidade dos afluentes do sistema, podendo alcançar um nível terciário de tratamento. Atingem elevadíssimas eficiências na remoção de coliformes, de 99,9 a 99,999 %, e ainda removem ovos de helmintos.	Elevados requisitos de área e efluente com elevada quantidade de algas o que pode exigir um tratamento complementar para a remoção.
	Lagoas de Polimento	São similares às de maturação e usadas especificamente após reatores anaeróbios, principalmente do tipo UASB. Geralmente usadas em série.	Remove matéria orgânica. Caso utilize bombas de recirculação, pode aumentar a eficiência, diminuir o odor e promover a fotossíntese, podendo chegar a um nível terciário de tratamento.	Ocupam grandes áreas, principalmente se usadas em série.

Tabela 3.7- Características, vantagens e desvantagens da Disposição no Solo dos Efluentes (Von Sperling 2005 e Metcalf&Eddy1991).

Classificação	Subclassificação	Características	Vantagens	Desvantagens
Disposição no Solo dos Efluentes	Infiltração Lenta	O esgoto é aplicado e consumido por evapotranspiração e infiltra verticalmente ou horizontalmente através do perfil do solo, sendo principalmente incorporado ao tecido vegetal. Existem muitas técnicas de aplicação voltadas à irrigação, sistemas de aspersão e aplicação superficial que são de alagamentos ou inundações.	Elevadíssima eficiência na remoção de DBO e de coliformes, satisfatória eficiência na remoção de N e P, requisitos energéticos praticamente nulos, construção, operação e manutenção simples, reduzidos custos de implantação e operação, resistência a variações de carga. Não há lodo a ser tratado, proporciona fertilização e condicionamento do solo e retorno financeiro na irrigação de áreas agricultáveis e recarga do lençol subterrâneo.	Elevadíssimos requisitos de área, possibilidade de maus odores, insetos e vermes, relativa dependência ao clima, dos requisitos de nutrientes dos vegetais e das características do solo, risco de contaminação de vegetais a serem consumidos e dos trabalhadores na agricultura, possibilidade de efeitos químicos no solo, vegetais e água subterrânea e difícil fiscalização e controle em relação aos vegetais irrigados.
	Infiltração Rápida	Os esgotos são dispostos em bacias construídas em terra, rasas e sem revestimento com profundidade entre 1,0 a 1,5 m; O líquido passa através do fundo poroso e percola em direção à água subterrânea; A aplicação é realizada de maneira intermitente, de forma a permitir um período de descanso para o solo e tem por objetivo o tratamento seguido de recarga de água subterrânea para aumentar o abastecimento de água ou impedir a intrusão de água salgada.	O sistema possui as mesmas vantagens da infiltração lenta com requisitos de área bem inferiores, além de reduzida dependência da declividade do solo e possibilidade de aplicação durante todo o ano.	Pode ocorrer a contaminação do aquífero subterrâneo com nitratos.
	Infiltração Subsuperficial	O esgoto pré-tratado é aplicado abaixo do nível do solo e há uma preparação dos locais nos quais serão infiltrados. Em relação à geometria, podem ser classificados como: Valas de infiltração, Poços Absorventes (sumidouros), Valas de Filtração ou Filtros de Areia e Leito de evapotranspiração.	Baixo custo de implantação.	Pode contaminar o lençol freático caso a preparação do local seja mal feita.
	Terras Úmidas-Banhados ou “wetlands”	Usualmente possuem uma camada impermeável de argila ou membrana sintética e estruturas para controlar a direção do fluxo, TDH e nível d’água. Há basicamente dois tipos de terras úmidas construídas: de fluxo superficial e de fluxo subsuperficial e em relação à direção do fluxo da água, podem ser classificadas em fluxo vertical e horizontal.	Operação e manutenção são simples e geralmente não é necessário remover plantas. Se muito, faz-se a poda ou replantio para manter o fluxo e tratamento desejado.	Com falta de manutenção, podem proliferar mosquitos e plantas indesejáveis.
	Escoamento Superficial	O esgoto é filtrado e estabilizado ao escoar pela superfície do solo contendo cobertura vegetal, normalmente grama. Os solos indicados são de baixa permeabilidade, assim como os argilosos, além de serem inclinados na faixa de 2 a 8%. A área de tratamento é composta por uma camada suporte estabelecida por micro-organismos, que faz com que haja o crescimento da vegetação que protege solo contra erosão.	Possui as mesmas vantagens encontradas na infiltração rápida.	Diferente da infiltração rápida, há geração de efluentes e dependências em relação à declividade do terreno.

Tabela 3.8- Características, vantagens e desvantagens dos Reatores Anaeróbios (Chernicharo2007,Metcalf&Eddy 1991 e Jordão e Pessôa 2009).

Classificação	Subclassificação	Características	Vantagens	Desvantagens
REATORES ANAERÓBIOS	Sistemas Convencionais	a) <u>Digestores de lodo:</u> Utilizados principalmente para estabilizar os lodos primários e secundários originados no tratamento de esgoto. É um processo bioquímico complexo no quais diversos organismos anaeróbios e facultativos se assimilam e destroem simultaneamente a matéria orgânica, em ausência de oxigênio dissolvido. Usualmente são construídos por tanques circulares cobertos, em concreto armado e com diâmetros variados. Dependendo da existência de dispositivo de mistura e do número de estágios, podem ser divididos, principalmente em Digestor Anaeróbio de Baixa Carga de um estágio, Alta Carga de Dois Estágios e Alta Carga.	Estabilização de lodos e remoção de matéria orgânica.	Baixa Taxa de aplicação.
		b) <u>Sistemas tanques sépticos:</u> São usados no mundo todo como uma das principais alternativas para o tratamento primário de esgotos de residências e de pequenas áreas não servidas por rede coletoras. É importante ressaltar que este tipo de sistema não purifica os esgotos, apenas tem a função de reduzir sua carga orgânica em grau aceitável. Os efluentes deste sistema tem sido dispostos, por serem eficientes e econômicos, nas seguintes formas: Diluição no corpo d'água; Sumidouro; Vala de Infiltração; Vala de Filtração e Filtro de Areia.	Sistema de baixo custo.	Se mal dimensionados, podem contaminar o meio ambiente e há necessidade de mais algum processo para cumprir a legislação ambiental.
	Sistemas de Alta Taxa	a) <u>Reatores anaeróbios de leitos fixos:</u> Os Filtros anaeróbios são os reatores deste tipo mais conhecidos e a massa aderida ao material suporte é quem degrada o substrato contido no fluxo de esgoto. Usualmente são operados com fluxo vertical, tanto ascendente como descendente. O tempo de residência de sólidos é superior a 20 dias.	Taxa de aplicação maior que os sistemas convencionais.	Acumulação de biomassa no fundo e no meio suporte dos que são operados ascendentes, o que pode provocar entupimento ou formação de caminhos preferenciais.
		b) <u>Reator anaeróbio de manta de lodo:</u> O UASB é caracterizado por possuir a entrada do esgoto pelo fundo em fluxo ascendente e por dispor de um sistema de separação das fases líquidas, sólidas e gasosas na parte superior com o lodo suspenso, formando flocos e grânulos. Três fatores fundamentais podem ser considerados para sua utilização: grande acumulação de biomassa no interior do reator devido à sedimentação, agregação a sólidos ou recirculação.	O tempo de residência dos micro-organismos é maior que o tempo de detenção hidráulico (inclusive dos organismos de mais lento crescimento); melhor contato entre biomassa e despejo e melhor atividade da biomassa. Contribui com a remoção do material orgânico e dos sólidos em suspensão.	Produzem, em geral, efluentes com concentrações de DBO e SST acima dos limites estabelecidos pela legislação ambiental, necessitando de uma etapa de pós-tratamento de seus efluentes.

Tabela 3.9- Características, vantagens e desvantagens dos Sistemas Lodos Ativados (Von Sperling, 2002, Jordão e Pessôa, 2009 e Metcalf&Eddy, 1991).

Classificação	Subclassificação	Características	Vantagens	Desvantagens
SISTEMA DE LODOS ATIVADOS	Lodos Ativados Convencionais	O efluente e o lodo ativado são intimamente misturados, agitados e aerados, fazendo com que haja aumento da concentração da biomassa em suspensão no meio líquido. Há recirculação dos sólidos do decantador secundário para a unidade de aeração. A idade do lodo é, usualmente, na faixa de 4 a 10 dias e o TDH no reator é de 6 a 8 horas.	A Elevada eficiência na remoção da DBO, possível remoção de N e P, menores requisitos de área e maior flexibilidade operacional.	Possui elevados custos de implantação além de operação e alto consumo de energia. A operação é mais delicada.
	Lodos Ativados por Aeração Prolongada	A biomassa permanece no sistema por um período de 18 a 30 dias. Seu TDH é em torno de 16 a 24 horas. Isto faz com que as bactérias, para sobreviver, passem a utilizar em seus processos metabólicos a própria matéria orgânica que faz parte suas células.	Boa eficiência na remoção da DBO, nitrificação consistente, baixos requisitos de área, satisfatória independência das condições climáticas e estabilização do lodo no próprio reator.	Elevados custos de implantação, operação e consumo de energia, necessidade de operação sofisticada, necessidade da remoção da umidade do lodo e de sua disposição final.
	Lodos Ativados por Fluxo Intermitente	Opera com fluxo intermitente e incorpora em uma única unidade todas as operações associadas ao tratamento tradicional. Pode ser tradicional ou com aeração prolongada. Com operações com tempo definido, a massa biológica permanece no reator durante todos os ciclos, excluindo a necessidade de decantadores separados. Os ciclos normais de tratamento são: enchimento; reação; sedimentação; esvaziamento e repouso.	Elevada eficiência na remoção de DBO, satisfatória remoção de N e, possivelmente, de P, pequenos requisitos de área, flexibilidade operacional, necessidade de menos unidades.	Elevados custos de implantação e operação, alto consumo de energia, necessidade do tratamento e da disposição do lodo.

Tabela 3.10- Características, vantagens e desvantagens do Reator Aeróbio com Biofilme (Von Sperling, 2005 e Jordão e Pessoa 2009).

Classificação		Características	Vantagens	Desvantagens
REATOR AERÓBIO COM BIOFILME	Filtros Biológicos Percolador de Baixa Carga	Consiste em considerar a biomassa que cresce aderida ao meio suporte. Como o nome diz, é de baixa carga, e o esgoto é aplicado sobre um leito de material grosseiro tal como pedras, ripas ou material plástico. Os filtros normalmente são circulares e na percolação do esgoto, cria-se na superfície uma camada de suporte, devido ao crescimento bacteriano. Apresenta características de um sistema aeróbio.	Elevada eficiência na remoção de DBO, necessidade pouca área, utilização de equipamentos simples e estabilização do lodo no próprio filtro.	Alto custo de implantação, sensibilidade às cargas tóxicas e necessidade de remoção do lodo.
	Filtros Biológicos Percolador de Alta Carga	Conceitualmente similares aos filtros biológicos percoladores de baixa carga, possuem como maior diferença o fato de receberem carga maior de DBO por unidade de volume de leito, já que fazem a recirculação do efluente que está no decantador secundário.	Boa eficiência na remoção de DBO (menor que o Filtro Biológico Percolador de Baixa Carga), maior flexibilidade operacional e resistência às variações de carga que os de Baixa Carga em menor área.	Operação mais sofisticada do que de Baixa Carga, altos custos de implantação e dependência da temperatura do ar.
	Reatores Biológicos de Contato (RBC) ou Biodiscos	Consistem em uma serie de discos circulares, em PVC ou poliestireno, montados em um eixo horizontal em rotação e parcialmente imerso. Em operação, os microrganismos no esgoto começam a aderir às superfícies rotativas e ali crescem, até que toda a superfície do disco esteja coberta por uma fina camada biológica. Alguns micro-organismos desgarram dos discos e são mantidos em suspensão no meio líquido devido ao movimento dos discos, aumentando assim a eficiência do sistema.	Possuem as mesmas vantagens do sistema de alta taxa e tem reduzida perda de carga.	Alto custo de implantação, sendo assim mais adequados para baixo volume de esgoto. Depende da temperatura do ar.
	Filtro Aeróbio Submerso	Constitui em unidade aerada com elevada superfície de contato, já que possui um enchimento no qual as colônias de micro-organismos se fixam e são responsáveis pela degradação biológica. É composto por duas câmaras: uma de reação, provocada pelos aeradores e outra de sedimentação.	Possui boa eficiência e mantém os resultados estáveis com volume do reator menor, não havendo necessidade de recirculação do lodo.	Alta produção de lodo e altos custos de implantação e alto consumo de energia elétrica.

3.3 - NÍVEIS DE TRATAMENTO DOS ESGOTOS

Baseado na qualidade do esgoto que se pretende tratar e do efluente que deverá ser lançado é que se escolhe o nível de tratamento a ser aplicado. A qualidade que se deseja alcançar está intimamente ligada à legislação específica, visto que a lei prevê os padrões de qualidade das águas, do efluente e do corpo d'água que irá recebê-los.

De acordo com Von Sperling (2005), os processos, operações ou sistemas de tratamento mais utilizados para remoção de poluentes dos esgotos domésticos, são:

- Sólidos em suspensão: gradeamento, remoção da areia, sedimentação ou disposição no solo;
- Matéria orgânica biodegradável: Lagoas de Estabilização e variações, Lodos Ativados e variações, Reatores Aeróbios com Biofilmes, Tratamento Anaeróbio ou Disposição no Solo;
- Organismos Patogênicos: Lagoas de Maturação, Disposição no Solo, Desinfecção com Produtos Químicos, Desinfecção com Radiação Ultravioleta ou Membranas;
- Nitrogênio: Nitrificação e Desnitrificação Biológica, Lagoas de Maturação e de Alta Taxa, Disposição no Solo ou processos físico-químicos;
- Fósforo: Remoção biológica, Lagoas de Maturação e de Alta Taxa ou processos físico-químicos.

O tratamento de esgoto é classificado historicamente, nos níveis preliminar, primário, secundário e terciário, desta forma a Tabela 3.11 descreve os níveis baseados em (Metcalf & Eddy, 1991; Jordão e Pessôa, 2009; e Von Sperling, 2005).

Tabela 3.11- Níveis de tratamento de esgoto (Metcalf & Eddy,1991; Jordão e Pessôa, 2009; e Von Sperling, 2005).

Níveis de Tratamento	Descrição
Tratamento Preliminar	Tem como objetivo a remoção dos sólidos grosseiros, de gorduras e areia. Este tipo de tratamento deve existir em todas as estações de esgotos sanitários em conjunto com os outros níveis. O mecanismo básico de remoção é o de ordem física. O típico sistema de tratamento preliminar é a grade (remove sólidos mais grosseiros), o desarenador, (remove basicamente areia) e o medidor de vazão.
Tratamento primário	Remove sólidos sedimentáveis entre 60 e 70% e uma parcela de matéria orgânica relativa à DBO em suspensão (cerca de 25 a 35% da DBO e entre 30 a 40% dos coliformes). Com a tendência atual de usar o UASB em seu lugar, possibilita uma remoção de 70% de DBO. Os processos mais utilizados são de sedimentação, flotação, sistemas anaeróbios, digestão e secagem do lodo.
Tratamento secundário	O principal objetivo é a remoção de matéria orgânica apresentada na forma de DBO solúvel ou filtrada e DBO suspensa ou particulada. A DBO solúvel pode ser removida fisicamente, por sedimentação, enquanto a DBO suspensa terá uma parte removida no tratamento primário e outra no tratamento secundário. Este tipo de tratamento tem como essência para esgoto doméstico uma etapa biológica, na qual acontece o contato entre os micro-organismos e o material orgânico contido nos esgotos, servindo de alimento para eles. Há uma gama grande de tratamento em nível secundário, sendo os mais comuns as Lagoas de Estabilização e variantes, Processos de Disposição sobre o Solo, Reatores Anaeróbios, Lodos Ativados e variantes e os Reatores Aeróbios com Biofilmes.
Tratamento terciário	Tem como objetivo a remoção de nutrientes (Nitrogênio (N) e Fósforo (P), visto que causam eutrofização aos corpos d'água), patogênicos, compostos não biodegradáveis, metais pesados, sólidos inorgânicos dissolvidos e sólidos em suspensão remanescentes. Os principais processos utilizados para remoção são: cloração para desinfecção; ozonização para desinfecção e/ou remoção de substâncias orgânicas complexas; filtração rápida para remoção de matéria em suspensão; adsorção para remoção de substâncias orgânicas complexas; destilação; eletrodialise; osmose reversa ou troca iônica para remoção dos sólidos inorgânicos dissolvidos. Embora o Tratamento Terciário ainda não seja muito difundido no Brasil, está sendo amplamente discutido entre pesquisadores.

3.4 - TRATAMENTO DE ESGOTO EM INSTALAÇÕES COMPACTAS

Visando a tratar as águas residuárias de forma eficiente, mas ocupando menos espaço físico, pesquisadores e empresas desenvolvem sistemas compactos de tratamento de esgotos. Muitos deles desenvolvem sistemas compactos em apenas um módulo, ou seja, a junção de todas as etapas do tratamento em um único módulo. Neste sentido, a busca é por alternativas economicamente viáveis na construção, operação e manutenção, principalmente em relação ao manejo dos lodos produzidos. Outra preocupação é em relação ao funcionamento desses sistemas, já que no Brasil a utilização de tanques sépticos é muito difundida, porém, os sistemas são, em geral, mal dimensionados e mal construídos, resultando em baixas eficiências de remoção de matéria orgânica.

Como se pode constatar pelo crescimento e desenvolvimento da pesquisa, o tratamento anaeróbio vem se destacando no País, principalmente pelo fato de ser de fácil manutenção e operação e possuir baixos custos de instalação, aliados à simplicidade de construção. O destaque é o reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), que vem sendo amplamente utilizado no Brasil, já que o País possui clima favorável para esse tipo de tecnologia.

O reator UASB apresenta inúmeras vantagens em relação ao processo aeróbio convencional e um avanço na tecnologia anaeróbia. São sistemas compactos, com baixa demanda de área, baixa produção de lodo, baixo consumo de energia e eficiência satisfatória de remoção de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e de DQO (Demanda Química de Oxigênio) - da ordem de 65% a 75%. O reator UASB tem como vantagem rápido reinício (mesmo depois de longas paralisações), baixa produção de lodo excedente e boa desidratabilidade do lodo, mesmo apresentando alguns aspectos negativos, como a necessidade de um pós-tratamento, baixa capacidade do sistema em tolerar cargas tóxicas e produzir maus odores (Chernicharo *et al.*, 1999).

Neste sentido, Valentim (1999) tratou o esgoto da Faculdade de Engenharia Agrícola, da Universidade Estadual de Campinas (FEAGRI/UNICAMP), com uma vazão média de 1,33 m³.dia⁻¹ utilizando tanque séptico seguido por leitos cultivados como tecnologia. O sistema foi operado sob condições reais de vazão por 4,5 meses e com TDH de 4,4 dias. O esgoto

bruto do sistema apresentava valores típicos de concentrações como 44 mg.L⁻¹ de SSed, 84 mg.L⁻¹ de SS e 316 mg.L⁻¹ DQO. O tanque séptico utilizado para o tratamento primário do esgoto foi constituído de três compartimentos em série construídos de cimento amianto e tubo e conexões de PVC, como mostra a Figura 3.6 (a) e (b), nos quais foi obtida redução de DQO entre 17 e 69%, sólidos sedimentáveis de 100%, sólidos suspensos entre 58 e 92%, turbidez entre 67 e 92% e *E. coli* de 0 a 75%.

Para o tratamento secundário foram construídos seis leitos cultivados com macrófitas, em blocos de concreto e acima do solo, sendo três de forma retangular, Figura 3.7(d) e três no formato quadrado Figura 3.7(c), com o mesmo tipo de brita utilizada como meio suporte. Os leitos foram cultivados com duas espécies de macrófitas emergentes (*Typha sp.* ou *Eleocharis sp.*) e de fluxo subsuperficial. Nos leitos quadrados cultivados com *Eleocharis sp.*, foram obtidos os melhores resultados com redução de sólidos suspensos entre 91 e 97%, coliformes totais de 59 a 96%, Nitrogênio Total Kjeldahl de 35 a 90% e Fósforo Total de 41 a 65%. Já o leito de formato retangular apresentou redução de turbidez de 87 a 98% e Nitrogênio Amoniacal de 35 a 87%, e o retangular cultivado com *Eleocharis sp.* apresentou redução de DQO entre 70 e 97% e de *E. coli* entre 94 e 97%. O leito de formato quadrado com *Typha sp.* obteve redução de nitrato de 71 a 83%.

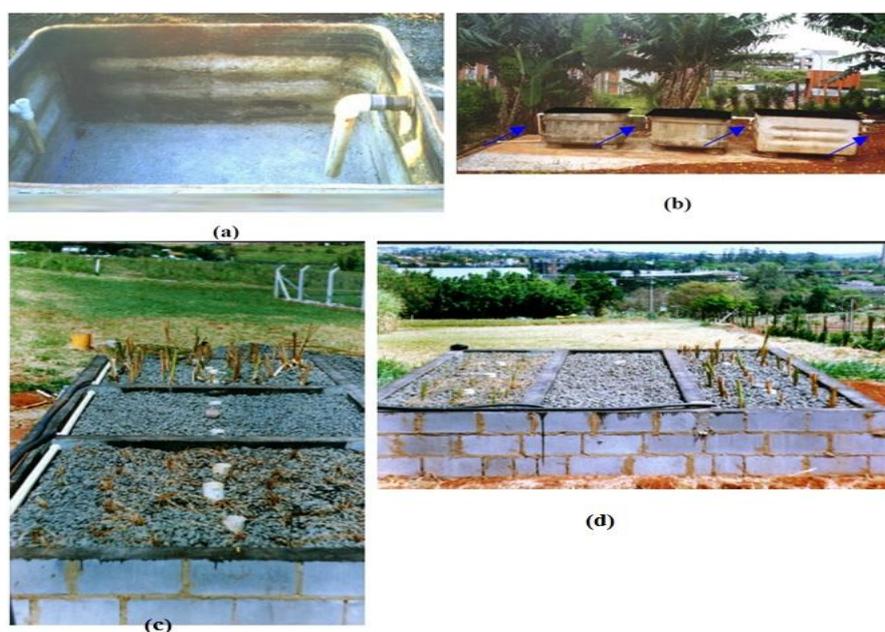


Figura 3.7- (a) Detalhe da primeira câmara do tanque séptico modificado; (b) Pontos de amostragem no tanque séptico; (c) Vista geral dos leitos cultivados com macrófitas com mudas e touceiras após 1 mês de plantio, quadrados; e (d) retangulares (Valentim, 1999).

Javarez Júnior (2007) tratou o mesmo esgoto que Valentim (1999), da (FEAGRI/UNICAMP), operando em condições reais de vazão durante 15 meses, utilizando dois tipos de reatores, um UASB e um Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC), ambos seguidos por Filtro Anaeróbio (FA), como mostram as Figura 3.8 (a) e Figura 3.8(b).

O esgoto bruto do sistema UASB tinha como concentrações médias $33,40 \text{ mg.L}^{-1}$ de SSed, $557,3 \text{ mg.L}^{-1}$ de SST e $327,7 \text{ mg.L}^{-1}$ DQO e o do sistema RAC tinha $39,0 \text{ mg.L}^{-1}$ de SSed, $594,4 \text{ mg.L}^{-1}$ de SST e $326,6 \text{ mg.L}^{-1}$ DQO. Para a construção, foram utilizados reservatórios de fibra de vidro e PVC para as conexões. Cada sistema tratou $5 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$, com TDH de 48 horas. Foram coletadas amostras afluentes e efluentes aos reatores e efluentes de cada FA. O desempenho dos reatores foi satisfatório e demonstrou que o sistema com RAC apresentou melhores resultados com remoção de 99,49%, 93,34% e 70,45% para SSed, SST e DQO contra 99,58%, 94,33% e 67,30 para SSed, SST e DQO do sistema que utilizou o UASB. Esse trabalho também demonstrou que, para os mesmos parâmetros citados acima, o desempenho do UASB foi menor que a do RAC, fato atribuído às grandes variações e picos excessivos da vazão afluente, uma vez que o RAC é constituído de três câmaras, favorecendo maior contato do esgoto com os microorganismos e atenuando a perda de sólidos (lodo).

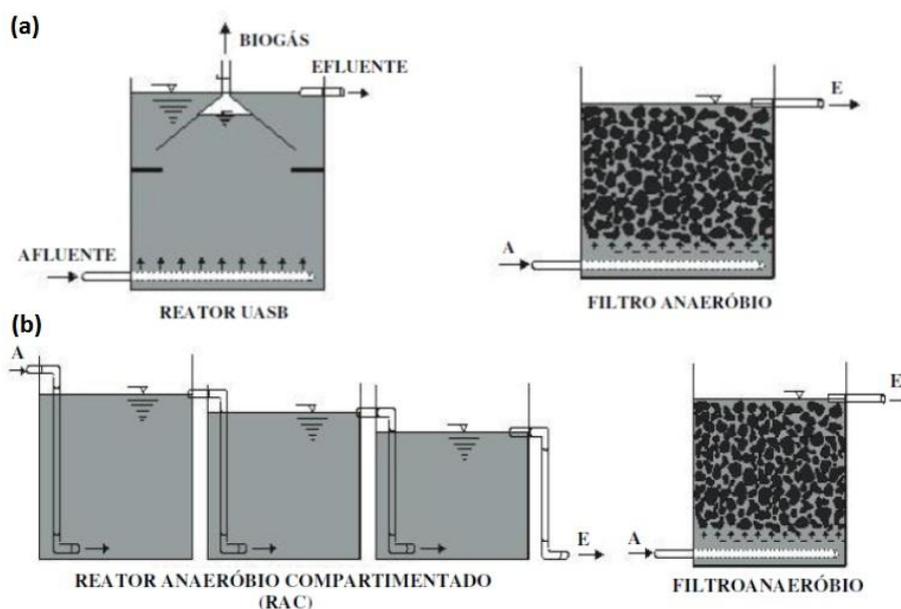


Figura 3.8- (a) Diagrama do reator UASB e do filtro anaeróbio; (b) Diagrama do reator RAC e do filtro anaeróbio (Javarez Júnior, 2007).

Já o estudo apresentado por Aisse *et al.* (2000) compara os reatores UASB e RAC no tratamento de esgoto doméstico na cidade de Curitiba (PR) junto a ETE Belém, da SANEPAR.

O esgoto afluyente dos sistemas apresentava concentrações médias de $479 \pm 160 \text{ mg.L}^{-1}$ de DQO, $541 \pm 146 \text{ mg.L}^{-1}$ de SST e $561 \pm 109 \text{ mg.L}^{-1}$ de ST. Cada reator foi dimensionado para vazão de $6 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ e recebeu esgoto gradeado e desarenado. O reator UASB foi construído em tubulações de concreto e seu separador gás-sólido, em fibra de vidro. O reator RAC foi constituído de três câmaras em série, todas de concreto. As eficiências de remoção apresentadas por esses autores para os parâmetros de DQO, ST e SST foi de 70,0%, 39,3% e 72,6% para o UASB e de 58,2%, 33,3% e 60,6% para o RAC. O último obteve uma menor capacidade de reter sólidos para velocidades ascensionais superiores a 0,4 m/h, mas, por outro lado, possui menor profundidade e ausência do separador gás-sólido.

Godoy Júnior (2003) propôs um sistema para tratar apenas esgoto oriundo dos vasos sanitários de uma casa com aproximadamente cinco pessoas ou cerca de $1 \text{ m}^3/\text{dia}$ de esgoto gerado com concentração média de 1500 mg.L^{-1} de DQO. O sistema foi constituído por três reatores anaeróbios de fluxo ascendente em manto de lodo dispostos em série e confeccionados em PVC. Os reatores foram colocados na forma de cascata e operados exclusivamente pela força da gravidade. Esse sistema obteve como resultado redução na DQO de cerca de 82%.

Orrico (2005) avaliou a eficiência de um sistema composto por tanques Imhoff seguidos por “Wetlands”, que tratam esgotos domésticos em pequenas comunidades do semiárido baiano, com IDH inferior a 0,5. Os sistemas foram implantados em diferentes cidades e operaram durante mais de dois anos. Para determinar a eficiência, foram coletadas amostras afluyente e efluente do Tanque Imhoff e efluente do “wetlands”. A concentração média do esgoto bruto foi de 860 mg/L de DBO, 1.028 mg/L de SS e $>10^7$ NMP/100mL de coliformes termotolerantes. Os valores altos da concentração de DBO_5 foram reflexos do consumo de água na região, uma média de 68L/hab.dia. A eficiência do Tanque Imhoff foi de 61% para DBO, 86% para SS e 90 para termotolerantes, já o “wetlands” obteve 82 % para DBO, 71% para SS e 99,9 para termotolerantes. O sistema obteve 89% para DBO,

88% para SS e 99,99% para termotolerantes. Silva e Nour (2005) avaliaram um reator compartimentando anaeróbio/aeróbio, que tratava esgoto da na ETE Graminha na cidade de Limeira (SP), com o intuito que este sistema pudesse ser utilizado em pequenas comunidades urbanas e rurais. O reator é formado por quatro câmaras sequenciais, sendo as três primeiras câmaras anaeróbias e a última câmara aeróbia, com volumes aproximados de 1,0, 0,50, 0,50 e 0,50 m³ respectivamente, com dimensões externas de 3,06 m de comprimento e 1,30 m de altura por 1,50 m de largura e construído em alvenaria. Após a saída do reator, o efluente era encaminhado para um Decantador Laminar Secundário, construído em fibrocimento com 0,5 m³, as lâminas eram placas de polipropileno e inclinadas em ângulo de 60°, em relação à horizontal, distantes 50 mm entre uma e outra. A câmara aeróbica era aerada por um compressor e difusores de ar colocados no fundo. O sistema era abastecido pela rede pública e, antes de entrar no sistema, o efluente recebia tratamento primário, por meio de grade grosseira, caixa desarenadora e peneira estática, como mostra o esquema do sistema proposto na Figura 3.9.

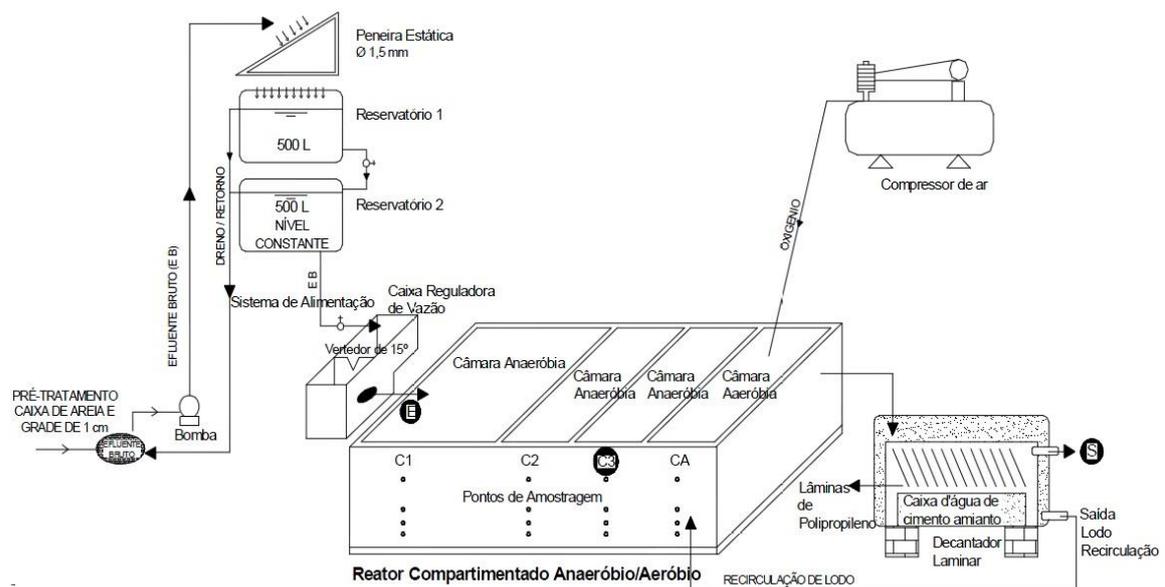


Figura 3.9- Esquema geral do sistema proposto no estudo (Silva e Nour, 2005).

Já o controle de vazão era realizado por meio de um vertedor triangular com abertura de 15°, localizado antes do reator. A amostragem foi feita de hora em hora, durante 4 horas, uma vez por semana. A operação foi realizada usando cinco tipos de TDH - o THD₁ usou 8 horas na câmara anaeróbia para duas horas na câmara aeróbia, THD₂ usou 12/4, THD₃

usou 8/4, THD₄ usou 4/4, THD₅ usou 4/3, sendo a concentração média do esgoto bruto de $790 \pm 213 \text{ mg O}_2/\text{L}$. Assim, o melhor desempenho apresentado foi o THD₄ no qual a eficiência foi de 73,7% para DQO, 78,8 % para SST.

No mesma ETE que Silva e Nour (2005) operaram, Tonetti *et al.* 2010 avaliaram a eficiência da associação dos filtros de areia aos filtros anaeróbios com recheio de bambu, com vista ao tratamento em pequenas comunidades rurais. O esgoto era distribuído para quatro filtros anaeróbios ascendente com TDH de 6 horas, feitos de aço inox, de $0,5 \text{ m}^3$ em formato cilíndrico, como mostra a Figura 3.10, e com 0,75 m de raio e altura de 1,68 m. Como meio suporte foi utilizado bambu da espécie *Bambusa tuldooides*, cortado em anéis com diâmetro de 0,04 m e comprimento de 0,05 m.

Após a saída dos filtros, o efluente era encaminhado para uma caixa de dosagem para medir a carga de aplicação que seria feita nos quatro filtros de areia. Os quatro filtros de areia foram construídos em fibra de vidro, como mostra a Figura 3.11, com diâmetro interno de 1,00 m. O meio filtrante foi dividido em três camadas. A primeira camada, mais ao fundo, possuía 0,20 m de espessura feita de brita # 4 de diâmetro efetivo. Acima, estava uma camada de 0,1m de espessura de brita # 1. Para a camada de areia foram feitos quatro tipos de camada para cada filtro, com 0,25 m, 0,50 m, 0,75m e 1,0m de areia. Assim, para cada filtro de areia foram aplicadas cargas de 20, 40, 60, 80 e 100 Lm^{-2} ; todas elas utilizadas em três etapas diferentes: na primeira etapa uma aplicação, na segunda, duas, e, na terceira, três por dia.

A configuração que obteve melhor eficiência foi a com 1,0m de areia no filtro, com média de eficiência para DQO de 95,6 % para 20Lm^{-2} e 93,9% para 100Lm^{-2} , na primeira etapa, na segunda de 94,9 % para 20Lm^{-2} e 85,3% para 100Lm^{-2} , e na terceira etapa, de 98,6 % para 20Lm^{-2} e 80,8% para 100Lm^{-2} . Observou-se também que as camadas de areia propiciaram completa nitrificação, garantindo altas concentrações de nitrito. Já em relação ao fósforo, apenas no filtro de 1,0 m a eficiência foi boa. Para *E. coli* as concentrações se mantiveram acima da legislação vigente. Portanto, nas configurações apresentadas, a que obteve melhor eficiência foi o filtro de areia com 1,0 m de areia.

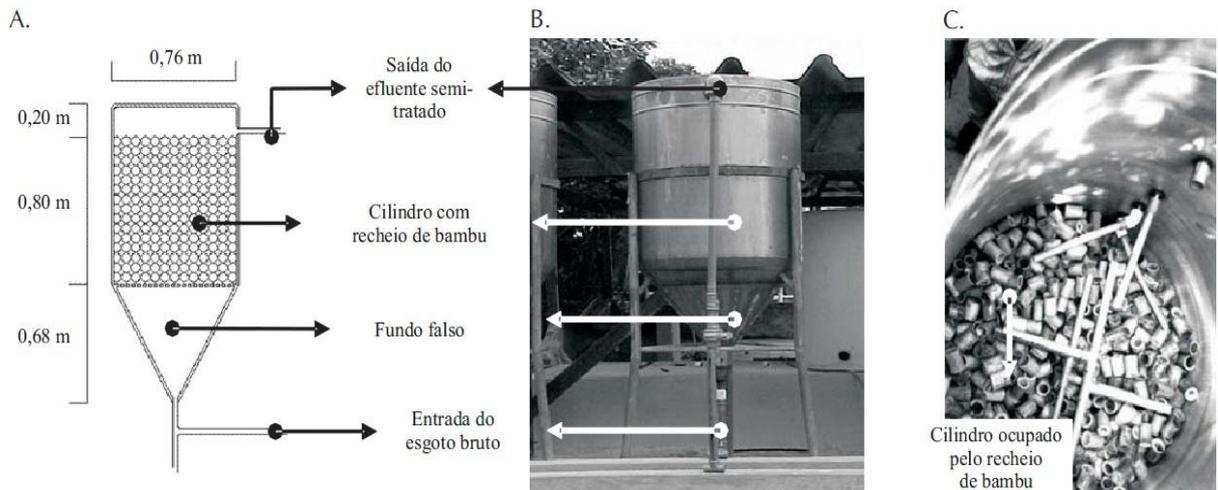


Figura 3.10-(A) Esquema do filtro anaeróbio com recheio de bambu; (B) Vista externa do filtro anaeróbio; (C) Vista interna do filtro anaeróbio, com o recheio de bambu (Tonetti *et al.* 2010).

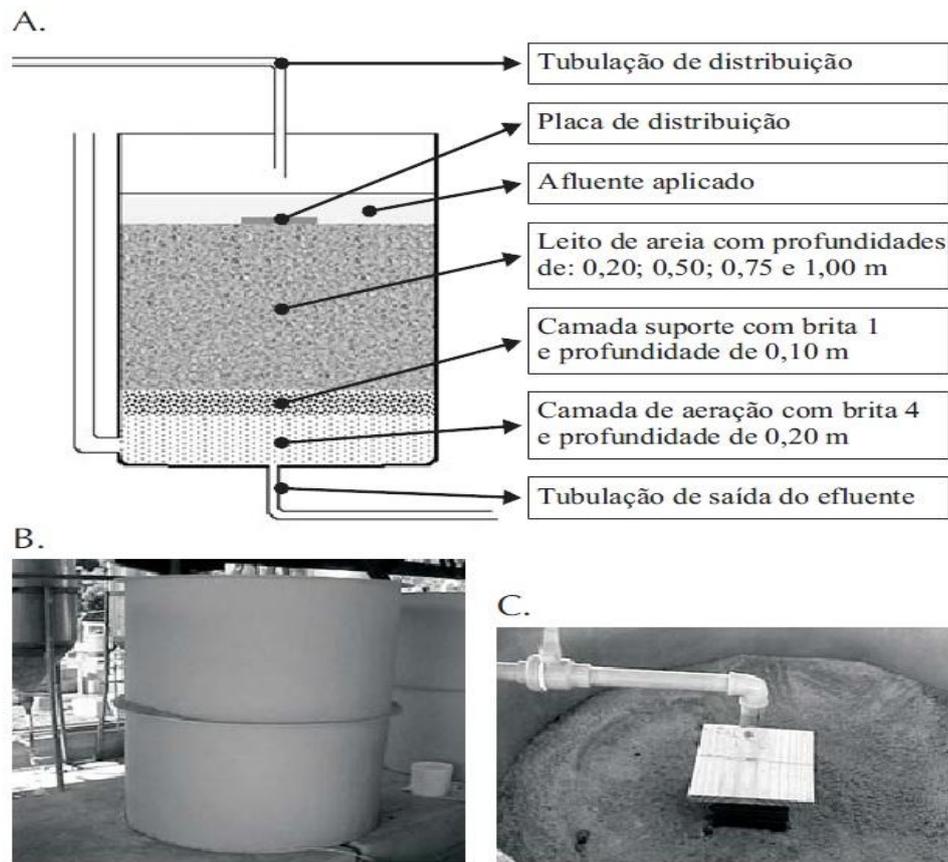


Figura 3.11- (A) Esquema do filtro de areia; (B) Vista externa do filtro de areia (C) Vista interna do filtro de areia, (Tonetti *et al.* 2010).

Outro sistema que apresentou bom desempenho na remoção de matéria orgânica foi o proposto por Chernicharo e Sousa (2005). Os autores propuseram quatro protótipos, como

mostra a Figura 3.12, sendo dois (protótipo 1 e 2), Figura 3.13, constituídos por três câmaras compactas. A primeira câmara composta por um tanque séptico modificado, a segunda um reator híbrido (UASB + filtro anaeróbio) e a terceira por um filtro Biológico percolador (FB), sendo que o protótipo 1 ainda era seguido por um decantador secundário, como mostra a figura. Já nos protótipos 3 e 4, somente a terceira câmara foi alterada, com a utilização de reator híbrido, como mostra a Figura 3.14. Todos os reatores possuíam o mesmo volume, mas alturas e áreas diferentes visando a proporcionar taxas de aplicação diferentes.

Os sistemas foram instalados na ETE Arrudas em Belo Horizonte e foram operados com uma vazão média diária de $0,75 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$, mas com vazões variadas em $Q_{\text{mín}} = 0,25 \text{ L/s}$, $Q_{\text{méd}} = 0,50 \text{ L/s}$ e $Q_{\text{máx}} = 1,00 \text{ L/s}$ e um tempo de detenção hidráulica de 2,33 dias, que representaram de forma adequada as vazões geradas diariamente por uma residência unifamiliar típica. Foram ainda divididos em duas etapas: a primeira, que durou 7 meses, avaliou os protótipos 1 e 2 e foi dividida em 3 fases de operação, início, época de chuva e fase final e a etapa 2, que durou 4 meses, correspondeu à avaliação dos protótipos 3 e 4.

Em relação à etapa 1, nos protótipos 1 e 2, o esgoto bruto foram obtidas médias concentração nas fases entre 271 e 1100 mg/L de DQO, 185- 824 mg/L de SST e 76-602mg/L de DBO e eficiência de remoção em torno de 33 - 86% para DQO, de 54-92% para SST e 29-78% para DBO.

Já em relação à etapa 2, correspondente os Protótipos 3 e 4, o esgoto bruto tinha concentração de 1293- 1375 mg/L de DQO e 833 mg/L de SST e 446 mg/L de DBO a eficiência de remoção ficou entre 84 e 91% de DQO, 88 e 97% de SST e 88 e 89% para DBO.

De modo geral, foi observado melhor desempenho dos protótipos 3 e 4, o que foi atribuído aos reatores híbridos, responsáveis por garantir melhor estabilidade e eficiência ao sistema.

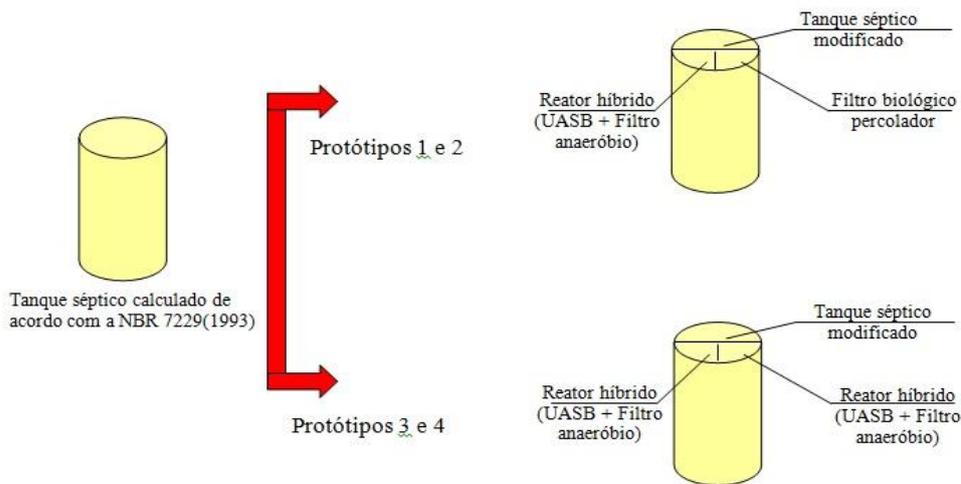


Figura 3.12- Configuração dos quatro protótipos avaliados (Chernicharo e Sousa, 2005).

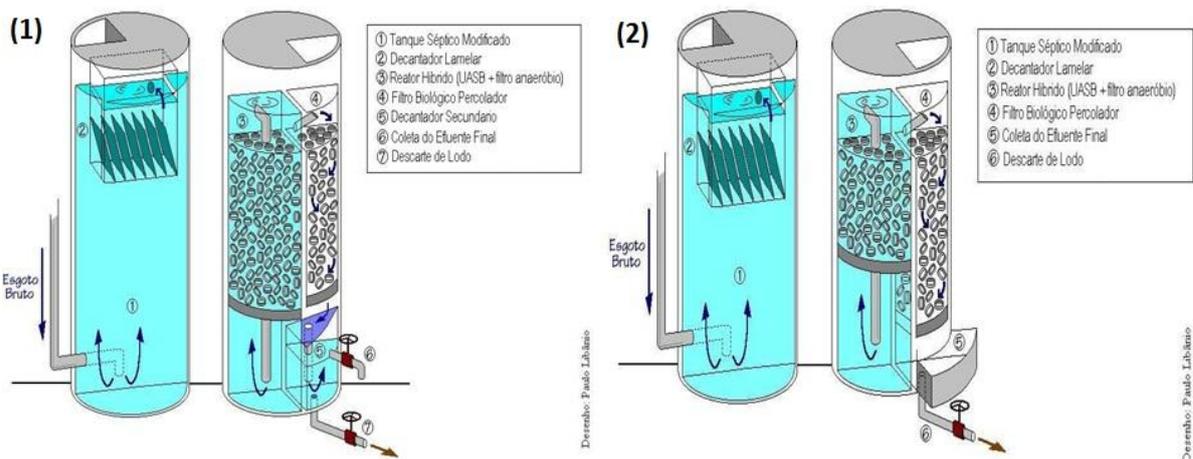


Figura 3.13- Sistema compacto de tratamento de esgotos, configurações 1 e 2 (Chernicharo e Sousa, 2005).

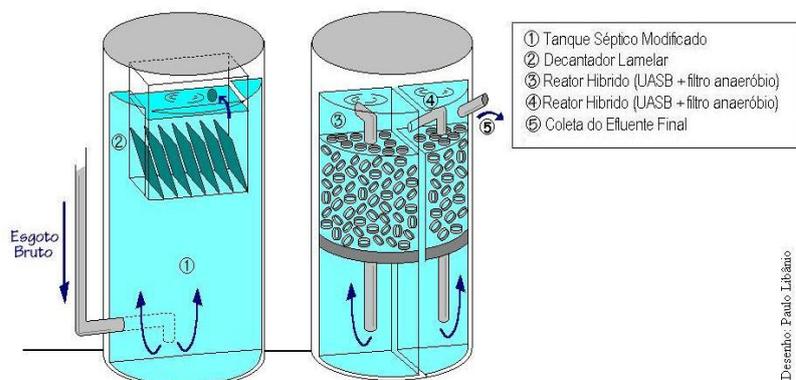


Figura 3.14 - Sistema compacto de tratamento de esgotos, configurações 3 e 4 (Chernicharo e Sousa, 2005).

Sartori (2010) instalou na Universidade Federal de Viçosa (UFV) um sistema de tratamento de esgoto doméstico, que ele denominou de Vermifiltro. O esgoto tratado é proveniente de um condomínio da região e, antes de entrar no sistema proposto, passa por um tratamento preliminar, desarenador, por um medidor de vazão e caixa de homogeneização e por um tratamento primário, por meio de tanque séptico que possuía TDH de 14 horas. Foram avaliados 27 protótipos, construídos em alvenaria, com 1,0m de largura e 2,0m de comprimento e 1,2m de altura, como mostra a Figura 3.15. Para os protótipos foram usados três tipos de matérias orgânicos: bagaço de cana-de-açúcar, serragem de madeira e lixo domiciliar. Os protótipos foram preenchidos com uma camada superior de 0,60m de espessura de material orgânico, nos quais foram adicionadas minhocas da espécie *Eiseniaphoetida* e uma camada inferior de 0,20m de espessura de brita # 1. No fundo, foi instalado um sistema de drenagem composto por tubos de PVC. Foram realizadas TDH de duas horas para a taxa de aplicação de $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, de quatro horas para $1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ e de seis horas para $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$.



Figura 3.15- Protótipos construído em alvenaria. (a) Processo de construção dos 27 protótipos; (b) Visão dos protótipos já em funcionamento; (c) Os protótipos com a matéria orgânica; (d) Tubulação que alimenta o sistema, (Sartori, 2010).

Assim, os compostos orgânicos de bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira não apresentaram grandes diferenças na eficiência quando submetidos às três taxas de aplicação e proporcionaram remoções de até 91% de turbidez, 80% DBO e DQO, 78% de óleos de graxas, 69% de fósforo total, 86 % de SST e 60% de nitrogênio total. Já o lixo doméstico aumentou as concentrações dos poluentes, não sendo indicado para este tipo de tratamento.

Ainda em relação às ETE compactas, porém com capacidade para atender uma população maior, Bof *et al.*, (2001) avaliaram uma configuração de estação compacta amplamente difundida no Estado do Espírito Santo. A configuração avaliada foi constituída por reator UASB seguido de Biofiltro Aerado Submerso (BF), como mostra a Figura 3.16. A instalação possui capacidade para atender 5.000 habitantes, com vazão nominal de projeto de $803,5 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$, suportando picos temporários máximos de 16,7 L/s, na qual foi aplicada uma carga hidráulica máxima de $1,34 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h.}$, sendo monitorado por 6 meses. O esgoto bruto apresenta concentrações de $212 \pm 37 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de SS, $204 \pm 32 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de DBO e $477 \pm 81 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ DQO. No reator UASB, o TDH médio foi de oito horas e a remoção da matéria orgânica foi na ordem de 70%. O sistema apresentou bom desempenho, com eficiência de remoção de 93% de SS, 94% de DBO_5 e 86% de DQO. O efluente final apresentou concentrações médias de 14 mg/L de SS, 12 mgO_2 de DBO_5 e 67 mgO_2 /L de DQO.

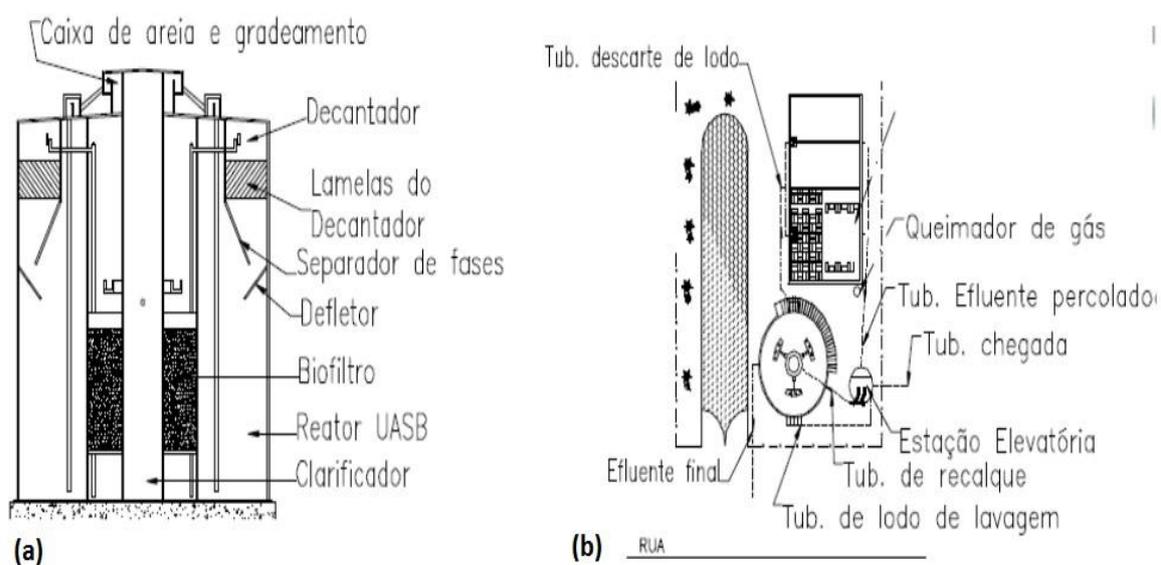


Figura 3.16- (a) Esquema da ETE compacta UASB. (b) Esquema da ETE compacta UASB + Biofiltros Aerados Submersos (BFs), (Bof *et al.*, 2001).

O sistema apresentado por Bof *et al.*, (2001) obteve efluente final com concentrações muito baixas para os parâmetros acima apresentados e bom desempenho, se comparado aos sistemas anteriormente abordados. No entanto, o sistema foi dimensionado para uma população grande e, quando comparado aos demais sistemas, sua tecnologia exige operação mais complexa.

Atendendo a uma população de 500 habitantes, Alves *et al.* (2004) desenvolveram um sistema compacto para tratamento dos esgotos, composto por uma unidade biológica, reator UASB seguido por um filtro biológico percolador (FBP), como mostra a Figura 3.17, e de uma unidade de desinfecção, como mostra a figura Figura 3.18, formada por um fotorreator de radiação UV construído em alumínio (DN200), composto por quatro lâmpadas de vapor de mercúrio de baixa pressão e com vazão de $120 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$, monitorado por 4 meses. Esse trabalho foi desenvolvido junto à ETE Experimental Arrudas, em Belo Horizonte (MG).

O esgoto bruto apresentou como concentrações médias, $210 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de DBO, $144 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de SST e $369 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ DQO mas, como existia a recirculação do lodo do FBP, as concentrações afluentes ao UASB foram $224 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de SST e $419 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ DQO. O TDH no reator UASB foi de 7,7 h e 1,46 para o FBP, na unidade de desinfecção foram divididas em três fases com diferentes doses de aplicação e TDH: fase 1 com TDH de 80 segundos, fase 2 de 60 segundos e fase 3 de 30 segundos. Observou-se nesse trabalho que no reator UASB houve uma remoção de 68% de DBO, 62 de DQO e, no FBP, de 60% de DBO e 43% de DQO.

Já o sistema UASB e FBP foi capaz de produzir um efluente final com concentração de 80 mgDQO/L , 27 mgDBO/L e 17 mgSST/L e eficiências médias de remoção de 78% para DQO e 87% para DBO. Na unidade de desinfecção houve inativação de 3,3 unidades logarítmicas tanto para coliformes totais quanto para *E. coli* na Fase 1. Na Fase 2, esse total foi de 4,1 unidades logarítmicas inativadas de coliformes totais e de 4,3 unidades logarítmicas de *E. coli*. e na Fase 3 (3,6 paracoliformes totais e para *E. coli* 3,9 unidades logarítmicas).

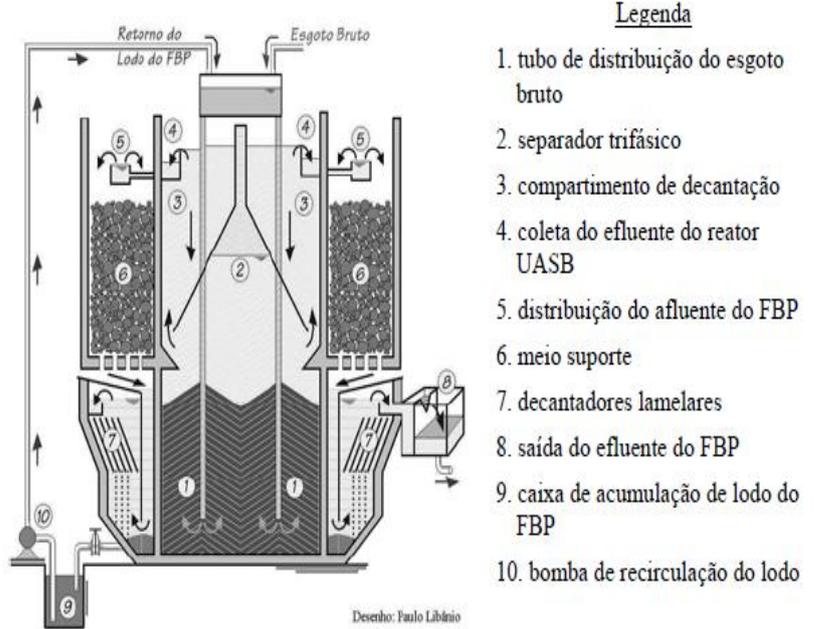


Figura 3.17-Vista geral e corte esquemático da unidade de tratamento biológico (Alves *et al.* 2004).

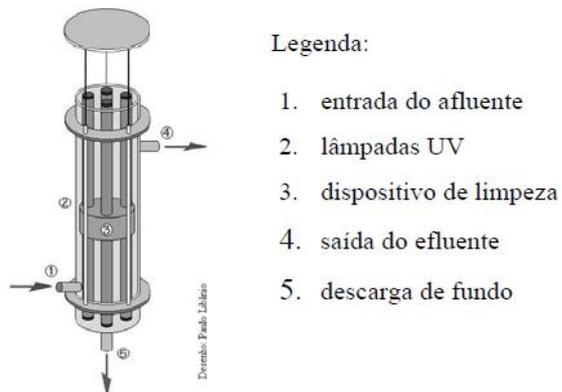


Figura 3.18- Vista geral e corte esquemático da unidade de desinfecção, (Alves *et al.* 2004).

Os resumos dos estudos sobre desempenho de estações compactas apresentadas neste tópico estão descritas nas Tabela 3.12a e Tabela 3.12b.

Tabela 3.12 a- Resumo dos estudos sobre desempenho de estações compactas apresentadas neste tópico.

Autor	Tecnologia	Esgoto Bruto	Parâmetros de Projeto	Resultados
Valentim (1999)	Tanque séptico modificado e Leitos cultivados com macrófitas.	44 mL.L ⁻¹ de SSed, 84 mg.L ⁻¹ de SS e 316 mg.L ⁻¹ DQO	Instalado em uma ETE experimental. Operação: condições reais de vazão. TDH: 4,4 dias. Vazão: 1,33 m ³ .dia ⁻¹ . Monitoramento: 4,5 meses.	Tratamento primário: 17 a 69% de DQO, 100% Ssed e 58 a 92% SS, 67 a 92% Turbidez e 0 a 75% de E.coli. Tratamento secundário: quadrado com <i>Eleocharis sp.</i> (91 a 97% SS, 59 a 96% CT, 35 a 90% NT e 41 a 65% PT) e retangular com 70 a 97% de DQO.
Javarez Júnior (2007)	UASB e RAC seguidos por Filtro Anaeróbico (FA).	RAC: 39,0 mg.L ⁻¹ de SSed, 594,4 mg.L ⁻¹ de SST e 326,6 mg.L ⁻¹ DQO. UASB: 33,40 mL.L ⁻¹ de SSed, 557,3 mg.L ⁻¹ de SST e 327,7 mg.L ⁻¹ DQO.	Instalado em uma ETE experimental. Operação: condições reais de vazão. TDH: 2 dias. Vazão: 5 m ³ .dia ⁻¹ . Monitoramento: 15 meses.	RAC: 99,13%, 90,57% e 59,63% para SSed, SST e DQO; Sistema com RAC: 99,49%, 93,34% e 70,45% para SSed, SST e DQO. UASB: 98,49%, 88,94% e 51,80% para SSed, SST e DQO; e Sistema com UASB: 99,58% SSed, 94,33% SST e 67,30% DQO.
AISSE et al (2000)	UASB e RAC	479 ± 160 mg.L ⁻¹ de DQO, 541 ± 146 mg.L ⁻¹ de SST e 561 ± 109 mg.L ⁻¹ de ST	Instalado junto a uma ETE. Operação: vazão constante. Vazão: 6 m ³ .dia ⁻¹ . Monitoramento: 8 meses	RAC: 58,2% DQO, ST 33,3% e 60,6% SST; UASB: 70% DQO 39,3 ST e 72,6% SST.
Orrico (2005)	Tanques seguidos por “wetlands” Imhoff	Média de 860 mg/L de DBO, 1028 mg/L de SS e >10 ⁷ NMP/100ml de termotolerantes.	Instalado em varias comunidades no semiárido baiano. Operação: condições reais de vazão. Monitoramento: 24 meses.	Eficiência do Tanque Imhoff foi de 61% para DBO, 86% para SS e 90% para termotolerantes. O “wetlands” obteve 82 % para DBO, 71% para SS e 99,9% para termotolerantes. O sistema teve 89% para DBO, 88% para SS e 99,99 para termotolerantes.
Silva e Nour (2005)	Reator compartimentado anaeróbico/aeróbico	A concentração média é de 790 ± 213 mg.L ⁻¹ para DQO, 235 ± 46 mg L ⁻¹ para SST.	Instalado junto a uma ETE. Operação: vazão constante. TDH: 7 a 16 horas. Monitoramento: 15 meses.	Para o THD ₄ que obteve a melhor eficiência, que foi de 73,7% para DQO, 78,8 % para SST.
Tonetti et al. (2010)	Filtros de areia (FA) e Filtros anaeróbios com recheio de bambu.	Para cada F.A foram aplicadas cargas de 20, 40, 60, 80 e 100 Lm ⁻² em 3 etapas, 1° uma, 2° duas e 3° três aplicações.	Instalado junto a uma ETE. Operação: carga aplicada controlada. Monitoramento: 18 meses.	O filtro de areia com 1,0m de areia obteve a melhor eficiência em todas as etapas, sendo a média para DQO: 1° de 95,6 % para 20Lm ⁻² e 93,9% para 100Lm ⁻² ; Na 2ª de 94,9 % para 20Lm ⁻² e 85,3% para 100Lm ⁻² ; e na 3ª de 98,6 % para 20Lm ⁻² e 80,8% para 100Lm ⁻² .

Tabela 3.12 b- Resumo dos estudos sobre desempenho de estações compactas apresentadas neste tópico.

Autor	Tecnologia	Esgoto Bruto (Concentração)	Parâmetros de Projeto	Resultados
Chernicharo e Sousa (2005)	Tanque séptico modificado, híbrido (UASB + filtro anaeróbio) e filtro Biológico (FB).	Etapa 1: 271 - 1100 mg/L de DQO e 185-824 mg/L de SST e 76 -602 mg/L . Etapa 2: 446 mg/L DBO; 1293-1375 mg/l de DQO e 833 mg/l de SST	Instalado junto a uma ETE. Operação: vazão controlada. TDH: 2,33 dias. Vazão: 0,75 m ³ .dia ⁻¹ . Monitoramento: 7 meses protótipo 1 e 2 e 4 meses o protótipo 3 e 4.	Etapa 1, Protótipo 1 e 2 (UASB + filtro anaeróbio) + filtro Biológico (FB) = 33% a 86% para DQO, 54% a 92% para SST e 29% a 78%. Etapa2, Protótipo 3 e 4 , [2 X (UASB + filtro anaeróbio)] = 84 a 91% de DQO, 88% a 97% de SST e 88% a 89% de DBO.
Sartori (2010)	Desarenador, tanque séptico, Vermifiltro (bagaço de cana-de-açúcar, serragem de madeira e lixo domiciliar).	174 a 201 mg.L ⁻¹ de DBO-m ³ , 607 a 623 mg.L ⁻¹ de DQO, 98 a 123 mg.L ⁻¹ de OG, 7,17 a 8,3 de mg.L ⁻¹ de Fósforo total e 430 a 440 de de mg.L ⁻¹ de ST.	Instalado junto a uma ETE. Operação: vazão controlada. TDH (no vermifiltro): 2 a 6 horas. Taxa de aplicação: 0,5, 1,0 e 1,5 m ³ .m ⁻² .dia ⁻¹ . Monitoramento: 5 meses.	O bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira proporcionaram remoções de até 91% de turbidez, 80% DBO e DQO, 78% de óleos de graxas(OG), 69% de fósforo total, 86 % de SST e 60% de nitrogênio total. Com relação ao ST alcançou 33,6 a 42%. O lixo doméstico aumentou as concentrações dos poluentes.
Bof <i>et al.</i> (2001)	UASB + Biofiltro Aerado Submerso (BF).	212 ± 37 mg.L ⁻¹ de SS, 204 ± 32 mg.L ⁻¹ de DBO e 477 ± 81 mg.L ⁻¹ DQO.	ETE para cerca de 5000 habitantes. Operação: condições reais de vazão. Vazão: 803 m ³ .dia ⁻¹ . Monitoramento: 6 meses.	93% SS, 94% DBO5 e 86% DQO. O efluente final possui 14 mg/l de SS, 12 mgO2 de DBO5 e 67 mgO2/l de DQO.
Alves <i>et al.</i> (2004)	Unidade biológica: reator UASB seguido por filtro biológico percolador (FBP) e Unidade de desinfecção.	210 mg.L ⁻¹ de DBO, 144 mg.L ⁻¹ de SST e 369 mg.L ⁻¹ DQO; Com recirculação: 224 mg.L ⁻¹ de SST e 419 mg.L ⁻¹ DQO.	Instalado junto a uma ETE. TDH: 0,5dia. Vazão: 120 m ³ .dia ⁻¹ . Monitoramento: 4 meses.	UASB+FBP: 80 mgDQO/L, 27 mgDBO/L e 17 mgSST/L e eficiências médias de remoção de 78% para DQO e 87% para DBO; Desinfecção: <i>Fase 1:</i> 3,3 unidades logarítmicas tanto para coliformes totais quanto para E. coli; <i>Fase 2:</i> 4,1 unidades logarítmicas inativas de coliformes totais e 4,3 de E. coli; <i>Fase 3:</i> 3,6 und. logarítmicas inativas de coliformes totais e 3,9 de E. coli.

3.4.1 - Sistemas de tratamento compactos e modulares comerciais

Este item reúne alguns sistemas de tratamento de esgoto compactos comercializados no Brasil. As descrições abaixo correspondem ao que as empresas fornecem em seus sites e cartilhas, sendo informações comerciais sob responsabilidade dos fabricantes e sem comprovação científica, uma vez que as empresas não fornecem os estudos relacionados aos projetos. Algumas empresas não fornecem muitas informações como eficiência e concentração do efluente final.

De acordo com a Hidrus, (2012), em seu site, comercializa o “*Compact system*” como mostra a Figura 3.19, um sistema que é composto por um reator com câmara de digestão anaeróbia, um biofiltro aerado com câmara de digestão aeróbia, uma câmara de flotação de sólidos por ar difuso, uma câmara de recirculação de lodo, uma calha de coleta da água tratada, um sistema compacto de cloração de pastilhas e um de saída de gases, duas tampas de inspeção e limpeza, uma peneira de resíduos e um pré-filtro de tratamento primário. O volume do sistema tem aproximadamente 3,1 m³, para atender uma população média de 15 pessoas, para um consumo *per capita* de 130 L/dia e com esgoto com DBO₅ de 350 mg/L bruto. Entre as principais vantagens está o fato de o sistema ser leve, resistente, com eficiência de mais de 90% para DBO₅, de fácil instalação, ocupar pouco espaço, consumir pouca energia e permitir o uso de seu efluente (reúso de água).



Figura 3.19- Sistema compacto de tratamento de esgoto, “Compact system” (Hidrus, 2012).

A Delta comercializa um sistema modular de tratamento de esgoto, como mostra a Figura 3.20, construído em fibra de vidro e composto por reator anaeróbio, filtro bioaerado, aerador, decantador e tanque de desinfecção, bomba de reciclo de lodo e painel de comando, como mostra a Figura 3.21. Os sistemas tratam uma vazão diária média de esgoto de 10 a 100 m³/dia, para uma concentração de DBO média do esgoto bruto de 350 a 400 mg/L. Em seu menor modelo, que atende a uma vazão de 10 m³/dia, o sistema pesa 850 kg, possui volume total de 12,5 m³, sendo 3 m³ para a fase anaeróbia, 6 m³ para o reator aerado, 2,5m³ para o decantador e 1 m³ para o tanque de desinfecção (Delta, 2012).



Figura 3.20- Sistema modular de tratamento de esgoto (Delta, 2012).

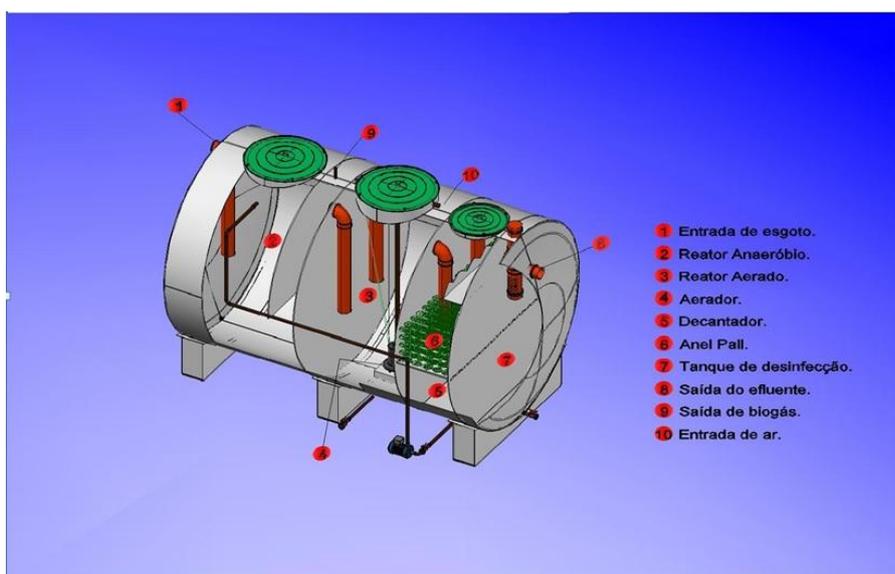


Figura 3.21- Detalhamento do sistema modular de tratamento de esgoto (Delta, 2012).

A instalação deve ser disposta sobre uma base de concreto, enterrada ou não. Antes de entrar no sistema é recomendado um pré - tratamento. O efluente entra primeiro no reator anaeróbio e, em seguida, passa para o reator aeróbio, sendo o oxigênio distribuído por um soprador. O esgoto é direcionado para o fundo do decantador secundário e, à medida que essa concentração de sólidos no decantador secundário aumenta, um dispositivo de retorno de lodo é acionado automaticamente (painel de comando), fazendo a sua elevação e encaminhamento para o reator anaeróbio, no qual será estabilizado juntamente com o lodo anaeróbio.

Por fim, o efluente passa pela desinfecção, realizada por pastilhas de hipoclorito de cálcio, e, no tanque de contato, permanece por no mínimo 20 minutos. O sistema consegue uma eficiência na remoção de DBO acima de 90% e seus reatores precisam remover lodo a cada seis a 12 meses. Como vantagem, o seu efluente pode ser utilizado, possui alta capacidade de remoção de carga orgânica, o processo é muito mais econômico do que os métodos tradicionais, de fácil instalação, possui simplicidade operacional, baixo impacto em ambientes urbanos (ruído, odor, visual) e vida útil de cerca de 40 anos.

De acordo com Alphenz (2012) o modelo ALP-Micro-0500, como mostra a Figura 3.22 modular e destinado para residências, fabricado em polipropileno. O sistema é composto por reator anaeróbio RAFA (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente), filtro biológico percolador de aeração natural (FBP) ou reator aerado (RA) com anéis plásticos de enchimento e aeração por soprador de ar e difusores, acoplado com decantador secundário.



Figura 3.22- ETE compacta, Modelo ALP-Micro-0500 (Alphenz, 2012).

A empresa comercializa modelos com diâmetros a partir de 0,7 m de diâmetro. A vazão atendida para este sistema é de 0,5 m³/dia, para cinco pessoas, sendo ele na horizontal. O sistema pode ser instalado enterrado ou apoiado e, em ambos os casos, é necessária a construção de bases em concreto.

A Figura 3.23 mostra a estação modular de tratamento de esgoto denominada de mini-estação. De acordo com Organum (2012), a estação tem o intuito de atingir locais distantes ou não atendidos pela rede pública, como casas de campo e de praia. O sistema é anaeróbio e fabricado em plástico atóxico, leve e reciclável, podendo atender entre uma e 10 mil pessoas. As vantagens do sistema é o fato de ser modular, de fácil instalação, possuir elevada remoção de DBO₅, exigir pequena área para instalação, permitir o reúso da água, não utilizar eletricidade para seu funcionamento e precisar de limpeza apenas uma vez por ano.



Figura 3.23- Estação compacta, Mini-Estação (Organum, 2012).

A Hemfibra comercializa uma estação compacta modular de tratamento de esgoto denominada Ecofiber, que reúne um digestor e um filtro anaeróbio, fabricado em Plástico Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV), como mostra a Figura 3.24. O sistema atende a uma vazão diversificada, de acordo com o modelo e possui, como vantagens do processo, a

não utilização de energia elétrica e eficiência de remoção entre 70 a 85% de DBO e DQO, de 80 a 90% de Sólidos Suspensos Totais (SST) e 90% de coliformes. Além disso, o efluente pode ser usado na irrigação de jardim. Existe ainda o Ecofiber máster, fabricado com o mesmo material, com o objetivo de uma maior eficiência na remoção de DBO e DQO. O sistema possui um reator anaeróbio de manto de lodo composto por duas câmaras sequenciais, filtro biológico aerado submerso composto três câmaras sequenciais (aeróbia, anóxica, aeróbia), decantador secundário e câmara de desinfecção com pastilhas de cloro. Esse sistema consegue uma eficiência de remoção de 90 a 96% para DBO e DQO, sendo a concentração do seu efluente com DBO de 20mg/L, SST de 15,0 mg/L, N-NH₃ de 10,0 mg/L, pH de 7,5, NMP de Coliformes com 100/100 ml e Cloro residual de 0.5 a 1,0 mg/L. Seu efluente é reutilizável para lavagem de pisos, carros, ruas, regar jardins, descargas de vasos sanitários e mictórios (Hemfibra, 2012).



Figura 3.24-Estação compacta, Ecofiber (Hemfibra, 2012).

Já a Tecnosan (2012), que comercializa uma estação compacta de tratamento de efluentes destinada a pequenos condomínios, hotéis e escritórios. O sistema se baseia no processo de lodos ativados, construído em aço, como mostra a Figura 3.25, sendo constituído por peneira de entrada, tanque de aeração, sedimentador secundário, bomba e tanque de recirculação, quadro de comando e soprador, sistema de cloração e escada de acesso e

passarela. O menor modelo possui capacidade para $12 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ para atender 100 pessoas com carga de DBO de $5,0 \text{ Kg/dia}$ e possui um volume de $30,6 \text{ m}^3$. No sistema, o efluente bruto passa pela peneira e, em seguida, vai para o tanque de aeração. Depois disso, passa para o sedimentador secundário e parte do lodo do sedimentador recircula para o tanque de aeração. A vantagem do sistema é que necessita de pouca área para sua instalação, não requer bases especiais de concreto para o equipamento, é automatizado e possui uma eficiência de 90% da carga contaminante.



Figura 3.25- Estação compacta de lodos ativados (Tecnosan, 2012).

A Hidrosul comercializa uma ETE compacta denominada de Eco Hidrosul, como mostra a Figura 3.26. O sistema é constituído por um tanque cilíndrico horizontal, dotado de compartimentos internos interligados, sendo um decantador primário, seguido de reator Aeróbio e Decantador secundário (lodos ativados). O oxigênio é fornecido por meio de um aerador submerso e a recirculação do lodo é realizada por meio de bomba centrífuga. A fabricação da ETE é em plástico reforçado com fibra de vidro (PRVF) e o seu menor modelo tem $11,2 \text{ m}^3$, com capacidade de tratar $16 \text{ m}^3/\text{dia}$ atendendo 160 pessoas e a instalação deve ser feita em base de concreto. Entre as vantagens está o fato de que ela necessita de pouca área para instalação e ser modular (Hidrosul, 2012).

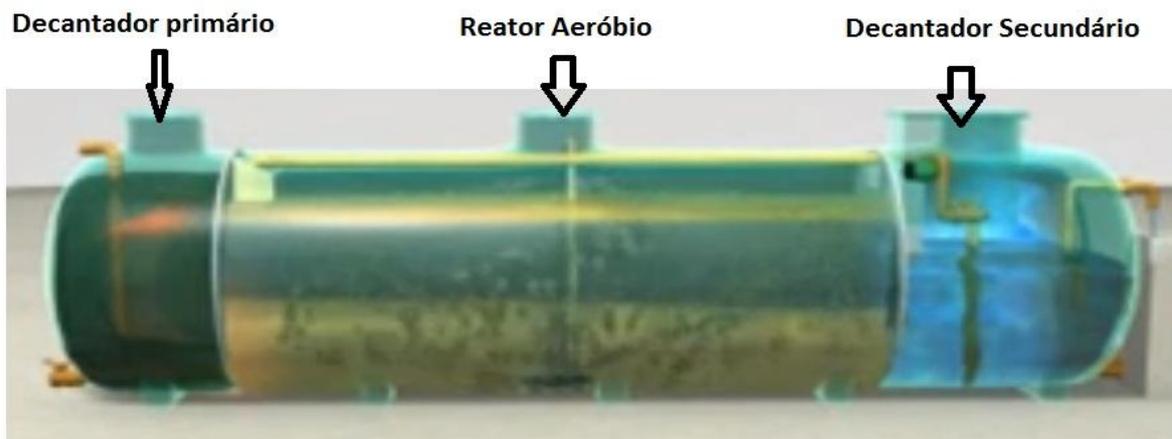


Figura 3.26- Estação compacta de tratamento de esgoto “Eco Hidrosul” (Hidrosul, 2012).

A Mizumo comercializa uma estação compacta para tratamento de esgoto sanitário de residências, denominada de "Family" e construída em PRFV. Como mostra a Figura 3.27, no ponto 1, o esgoto bruto entra na primeira câmara anaeróbia (ponto 2), passa por outra câmara anaeróbia (ponto 3) com meio suporte de polietileno, segue para uma câmara aeróbia (ponto 4), local em que o oxigênio é introduzido por um difusor de ar e soprador e, sem seguida, segue para a última câmara (ponto 5), que possui um decantador. A desinfecção é feita por pastilhas, saindo no ponto 6. O menor modelo comercializado tem um peso aproximado de 280 Kg e capacidade de tratamento de 1,6 m³/dia atendendo a dez pessoas. O volume total é de aproximadamente 6,0 m³, sendo 2,4m de comprimento, 1,2m de largura e 2,1m de altura. A instalação requer 3,5 m² de área e pode ser feita apoiada ou enterrada (Mizumo, 2012).



Figura 3.27- Estação compacta de tratamento de esgoto “Family” (Mizumo, 2012).

3.5 - NOVAS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO

Para o desenvolvimento da pesquisa com o protótipo de estação compacta de tratamento de esgotos, foi necessária estudar as novas técnicas possíveis de serem aplicadas a esse tipo de sistema.

Com intenção de inovar nos tratamentos já existentes, visto que os sistemas convencionais não atendiam às legislações específicas ou necessitavam de muita área para tal, foram desenvolvidos processos que incluíam a remoção de matéria orgânica, nutrientes, compostos tóxicos específicos ou sólidos em suspensão (Metcalf & Eddy, 1991).

Entre algumas das novas tecnologias de tratamento aplicadas estão à radiação UV, Processos Eletroquímicos, e Processos Oxidativos Avançados (POA), os quais serão descritos a seguir, além da Membrane Bio Reactor (MBR) e Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR).

3.5.1 - Processo Eletroquímico

De acordo com Atkins (1990, *apud* Sinoti, 2005) “Quando é passada uma corrente elétrica direta por uma solução, pode acontecer uma variedade de processos físicos e químicos como flotação, sedimentação, deposição, decomposição, formação de gases, dentre outros”. Como parte fundamental desse processo, que acontece na interface dos eletrodos e da solução iônica, está o contato e o fluxo dos elétrons.

Os eletrodos inertes e reativos são aqueles que podem participar do processo eletroquímico. Os reativos participam sofrendo desgaste por oxidação ou redução e são formados por alguns metais como ferro, alumínio ou cobre. Já os inertes, formados por materiais como titânio, platina, grafite, óxido de rutênio, dentre outros, não sofrem desgaste pela passagem de corrente elétrica.

A vantagem na utilização dessa tecnologia no tratamento de águas residuárias é a possibilidade de remoção de impurezas orgânicas e inorgânicas dissolvidas, sólidos insolúveis e de desinfecção. Os processos se dividem em dois grupos: os indiretos, que não

atuam direta e exclusivamente sobre a massa líquida a depurar e que aplicam a ozonização e cloração, e os diretos, que atuam sobre a massa líquida a tratar produzindo, a partir dela, os elementos ativos para sua depuração, chamados eletrolíticos.

3.5.1.1 Processos Eletrolíticos

Os processos eletrolíticos dissociam determinadas moléculas ionicamente por meio da corrente elétrica. Sua separação é irreversível, o que permite a separação dos resíduos da água durante o processo.

Essa tecnologia tem um enorme potencial para aplicação em diversos tipos de efluente. De acordo com Rodriguez (2008), ainda que tenha surgido no final do século XIX, ultimamente tem-se intensificado as pesquisas no Brasil e no exterior, aplicadas a áreas como: tratamento de esgotos domésticos e restaurantes, indústria alimentícia, papel, indústria mecânica fabricante de equipamentos para produção de petróleo, remoção de metais pesados, descolorimento de efluente das indústrias de papel, celulose e têxtil e, inclusive, no tratamento de chorume.

Para tratamento de esgoto estão entre os três tipos de variações desse processo: reações de oxidação anódica e redução catódica; eletrodialise e eletrocoagulação, eletrofloculação e eletroflotação. As reações de oxidação anódica e redução catódica têm sido usadas no Brasil por sua viabilidade, já que utilizam o cloreto de sódio ou misturam ar e água do mar.

Sinoti (2005) utilizou eletrodos de alumínio, ferro e grafite para o tratamento de esgotos, sendo que os dois primeiros promovem a eletrocoagulação e a eletrofloculação, com o objetivo de avaliar os mecanismos de funcionamento e a eficiência de um reator eletrolítico. Foram tratados efluentes primário, secundário e terciário do tratamento biológico aeróbio de lodos ativados modificados e o tratamento biológico anaeróbio por meio de reator UASB, em escala de bancada. Foram feitas trocas entre as placas de eletrodos reativos (Ferro ou Alumínio) e inerte (Grafite), simulando a passagem do esgoto por mais de uma câmara de tratamento, sendo as câmaras do mesmo tamanho e com as seguintes configurações: “Al”, “Al/G”, “Fe”, “Fe/G” e “G”, com o TDH de 60 minutos, havendo troca dos eletrodos reativos de alumínio ou ferro após 20 minutos de tratamento

pelos eletrodos de grafite, até atingir o tempo de 60 minutos. As correntes elétricas escolhidas foram 5, 7.5, 10, 15 e 20 A.

Observou Sinoti (2005) como principais vantagens do processo eletrolítico a eficiência na remoção de parâmetros como cor, turbidez, matéria orgânica, fósforo e coliformes e o fato de ser compacto e apresentar baixo TDH comparado aos métodos biológicos. O uso dos eletrodos reativos de Al e Fe não levam à formação de cloro e Trihalometanos (THM), não é necessária a variação do pH o uso de eletrodos de Grafite diminui as concentrações dos íons dos metais dos eletrodos reativos. Como desvantagem, podem ser considerados os fatos de que os eletrodos de alumínio levam a altas concentrações do seu íon em solução, os eletrodos de ferro aumentam os valores de cor e turbidez, o rápido desgaste dos eletrodos (tanto dos anodos, quanto dos catodos), a fragilidade das placas de grafite e que os eletrodos de Grafite necessitam maior concentração de sais no efluente para produzirem as mesmas correntes dos eletrodos de Ferro e Alumínio. Além disso, o lodo produzido contém altas concentrações do metal utilizado como eletrodo, podendo ser potencialmente perigoso, principalmente no caso do alumínio.

Entre as vantagens do processo eletrolítico estão a não sensibilidade à carga orgânica, a necessidade de menor área, a produção de menos ruídos, a alta eficiência na remoção de coliformes, a baixa turbidez e cor, a ausência de odor, a ausência de consumo de produtos químicos e o custo de manutenção reduzido. Mas, como desvantagem, este processo consome energia elétrica, embora em menor quantidade de que o tratamento biológico aeróbio e há risco de passivação do catodo, além de maior produção de lodo e consumo de eletrodos, de acordo com Giordano e Wiendl (1999 e 1998, *apud* Rodriguez, 2008).

3.5.1.2 Ozonização

O mecanismo de desinfecção do ozônio inclui a “destruição parcial ou total da parede celular levando à lise das células, reações com radicais livres da decomposição do ozônio e danos às constituintes do material genético” (Von Sperling, 2005). Esse tipo de composto deve ser gerado no local de aplicação, por ser reativo e instável, sendo inviável seu transporte e armazenamento.

Com capacidade de reagir com numerosas classes de compostos orgânicos e inorgânicos, o ozônio é um agente oxidante, por ter um grande potencial de oxidação, sendo este mais alto que o do Cloro e Peróxido de Hidrogênio, mas menor que o dos Processos Oxidativos Avançados (POA). Segundo Masten e Davies (1994, *apud* Silveira, 2009), em meio com pH alto, o ozônio leva à formação de radicais hidroxila ($\bullet\text{OH}$), cujo potencial de oxidação é ainda mais elevado ($E_0 = 2,80 \text{ V}$), podendo ser mais efetivo no tratamento de certos compostos recalcitrantes.

A ozonização tem sido utilizada nas indústrias de celulose e papel, têxtil, farmacêutica, entre outras. No tratamento de águas residuárias, seu uso tem valores proibitivos e, por isso, associado a outro tipo de tratamento pode se tornar mais vantajoso, principalmente se for associado ao biológico. A ozonização usada no tratamento de águas residuárias tem o objetivo de remover compostos orgânicos recalcitrantes. Segundo Gogate e Pandit (2004, *apud* Silveira, 2009), a recalcitrância de um composto, natural ou sintético, depende de uma série de fatores como concentração e estrutura química, incluindo os tipos de ligações e grupos funcionais e graus de condensação e halogenação. O pH e a presença de compostos inibitórios podem também afetar a degradação biológica.

Características como a instabilidade são desejáveis, já que seu efluente não deixa residual de oxidante, assim como seu poder oxidante, que diminui o tempo e a concentração necessários para realizar a desinfecção. Isso implica em uma economia de construção e operação das instalações, segundo Silva (2008). Seu uso é muito frequente no pós-tratamento, principalmente quando se deseja remover cor. Mas quando se deseja remover DQO, sua eficiência aumenta quando usado como pré-tratamento. Portanto, sua aplicação dependerá das características do efluente a ser tratado e do nível de tratamento que se deseja alcançar.

Em um estudo realizado por Silveira (2009), no qual se avaliou a eficiência da ozonização combinada ao tratamento de lodos ativados de efluentes de uma fábrica de celulose, foi aplicado ozônio nas amostras do efluente do decantador primário, dos lodos ativados com o TDH de 2,5 horas e efluente secundário depois que saiu do reator. Como resultado, o experimento mostrou que a ozonização do efluente secundário mostrou-se muito eficiente na remoção de cor, lignina, DQO e COT. Nesse estudo, foi desaconselhada a aplicação de

ozônio antes do tratamento biológico, pelo menos parcial, uma vez que a ozonização do efluente primário levou à redução de sua biodegradabilidade, o que prejudicaria o tratamento biológico e promoveu desejável redução da matéria orgânica na fração de alta massa molar dos efluentes intermediários e secundários, transformando-a em compostos de baixa massa molar.

3.5.2 - Radiação UV

“O mecanismo primário da inativação de micro-organismos consiste no dano direto aos ácidos nucleicos celulares” e uma série de fatores afeta a eficácia da desinfecção usando radiação ultravioleta, tais como as características das águas residuárias, as concentrações de colóides e partículas no esgoto, a intensidade de radiação UV, o tempo de exposição dos microrganismos à radiação UV aplicada e a configuração do sistema (Von Sperling, 2005).

Por ser um processo físico, a radiação UV descarta a necessidade geração, manuseio, transporte ou estocagem de produtos químicos tóxicos, perigosos ou corrosivos e, além disso, proporciona baixo tempo de contato e elimina os riscos de formação de compostos organoclorados e faz a efetiva inativação dos vírus, esporos e cistos. Já como desvantagens, ela possui limitada aplicação a efluentes secundários ou terciários, exige que o esgoto apresente baixa concentração de sólidos em suspensão e baixa turbidez, e demanda alto custo de instalação e de energia (Gonçalves 2003, *apud* Silva, 2007).

De acordo com Chernicharo *et al.* (2001), a absorção de radiação UV pelas células é máxima na faixa de 255 a 260 nm, na qual a principal fonte é a lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio. Eles usaram a radiação UV como pós-tratamento de efluentes anaeróbios e observaram boa eficiência de inativação de *E. coli* e de ovos de *A. lumbricóides*. Quando aplicada dose de 14 mW. S.cm², foram obtidas médias de eficiência de inativação de *E. coli* da ordem de cinco unidades logarítmicas para efluente do filtro biológico percolador e quatro unidades logarítmicas para efluente do reator UASB. Foi obtida também eficiência média de inativação de ovos de *A. lumbricoides* da ordem de uma unidade logarítmica para efluente do filtro biológico percolador.

O uso de radiação UV para tratar água de chuva foi avaliado por Wisbeck *et al.* (2011), que analisaram a água antes, depois e após 24, 48 e 72 horas do tratamento. O reator foi operado em processo contínuo e incidência de 60 segundos sobre a amostra e obteve como resultado uma eficiência de 100% para coliformes totais e termotolerantes e o não recrescimento desses micro-organismos em amostras tratadas e estocadas por até 72 horas. Porém, bactérias heterotróficas foram identificadas 24, 48 e 72 horas após o tratamento.

No campo do tratamento de esgoto doméstico, Borges e Contar (2009) avaliaram a eficiência da radiação UV como pós-tratamento de uma ETE projetada para atender mil pessoas, com uma vazão máxima de 3,6 L/s, composta de reator UASB seguido de Biofiltro Aerado Submerso e Decantador Secundário. Como resultado, a pesquisa mostrou uma deficiência no processo de inativação dos coliformes. Com eficiência de uma unidade logarítmica para Coliformes Totais e *Escherichia coli*, a remoção de SST obteve uma baixa eficiência, com apenas 52 % e não houve remoção para Fósforo Total.

3.5.3 - Processos Oxidativos Avançados (POA)

Por terem um alto poder oxidativo ($E_0 = 2,8 \text{ V}$), os POA vêm sendo usados no tratamento de efluentes, sendo eficazes na remoção de compostos recalcitrantes, já que o radical Hidroxila formado tem o poder de reagir com uma grande gama de classes de compostos. Segundo Momenti (2006), a produção do radical Hidroxila pode ser por meio dos agentes fotoquímicos e de outras formas de energia.

De acordo com Francisco (2009), por ser muito reativo, o radical Hidroxila necessita que sua produção seja feita no próprio meio reacional e tem como consequência baixo tempo de meia vida. A Tabela 3.13a e Tabela 3.13b mostra que OH^\cdot tem grande potencial oxidante comparado as outras espécies.

Tabela 3.13 - Potencial de oxidação de alguns oxidantes (Francisco, 2009, modificado).

Espécie oxidante	Potencial Oxidação (V)
Flúor (F_2)	3,03
Radical Hidroxila (OH^\cdot)	2,80
Oxigênio Atômico (^1D)	2,42
Ozônio (O_3)	2,07
Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2)	1,78

Tabela 3.13b- Potencial de oxidação de alguns oxidantes (Francisco, 2009, modificado),
continuação.

Espécie oxidante	Potencial Oxidação (V)
Íon Permanganato (MnO_4^-)	1,68
Dióxido de Cloro (ClO_2)	1,57
Cloro (Cl_2)	1,36
Oxigênio (O_2)	1,23
Iodo(I_2)	0,54

Os radicais reagem com as moléculas orgânicas complexas, oxidando-as, sem interferência de outras e provocando a abstração de um átomo de hidrogênio ou sua adição às ligações duplas das moléculas, chegando a mineralizá-las, como mostra a (Equação 3.1), até aos produtos finais, gás carbônico e água (Momenti, 2006 e Gasparini, 2011).



Quanto maior a quantidade de matéria orgânica, maior o consumo de oxidante, sendo considerada uma alternativa com custos altos para tratar, principalmente quando utilizada em águas residuárias. Outro fator considerado é o consumo de energia, que também é alto.

Segundo Marco *et al.* (1997, *apud* Momenti, 2006) os processos biológicos têm custo muito menor que os químicos, tanto no investimento inicial como na operação. Para os processos biológicos, os custos são de cinco a 20 vezes menores que os de um processo com aplicação de ozônio ou peróxido de hidrogênio. Já os processos químicos podem ser de três a dez vezes mais baratos. Porém, tecnologias como ozônio e radiação UV, empregadas em conjunto com os POA, contribuem para a diminuição dos custos.

Os POA são divididos em dois sistemas: os homogêneos e heterogêneos, e esses são subdivididos em processos com e sem radiação, como mostra a Tabela 3.14, (Francisco, 2009).

Os tipos de POA apresentam diversas vantagens, entre elas elevada eficiência na remoção de compostos complexos, mineralização, a possibilidade de não formar subprodutos dependendo do processo e por ser um oxidante forte com cinética elevada. Normalmente esse tipo de tecnologia não precisa de pós-tratamento, pois resultam em baixa turbidez e

cor, não possui odor e possibilita tratamento *in situ*. Já em relação às desvantagens, alto custo de investimento e operação, mão de obra especializada; e possibilidade de gerar subprodutos indesejáveis (Francisco, 2009, Momenti, 2006, e Gasparini 2011).

Tabela 3.14- Tipos de Processos Oxidativos Avançados (POA) (Francisco, 2009).

SISTEMAS HOMOGÊNIOS	COM RADIAÇÃO
	O ₃ /UV
	H ₂ O ₂ /UV
	FEIXE DE ELÉTRONS
	US (ultrassom) H ₂ O ₂ /US (ultrassom)
SISTEMAS HETEROGÊNEOS	SEM RADIAÇÃO
	O ₃ /H ₂ O ₂
	O ₃ /OH ⁻
	H ₂ O ₂ /Fe ²⁺ (FETON)
	COM RADIAÇÃO
TiO ₂ /O ₂ /UV	
TiO ₂ / H ₂ O ₂ /UV	
SEM RADIAÇÃO	
ELETRO-FENTON	

3.6 - REÚSO DE ÁGUA

O protótipo de estação compacta para tratamento de esgotos domésticos a ser desenvolvido terá como um dos cenários de aplicação o reúso da água.

Diante da deterioração dos recursos naturais e da escassez dos recursos hídricos, em função do grande crescimento populacional e industrial associado à falta de conscientização ambiental, chegou-se a uma situação crítica da qualidade dos recursos naturais disponíveis. Diante da situação, considerou-se que a água é recurso natural recuperável e reutilizável.

Como a água é um bem público e com diversos fins, entre eles o consumo humano, doméstico, recreativo, agrícola, industrial, elétrico, hidroviário e a maioria deles não requer água potável, a prática do reúso de água é uma alternativa para escassez desse recurso. Dessa forma, a prática de reúso da água causa, no mínimo, impacto ambiental e econômico, uma vez que diminui o consumo dos recursos hídricos, o valor pago às prestadoras que distribuem água e os insumos no processo de tratabilidade da água para torná-la potável.

A Resolução nº 54 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) de 2006, considera, entre outras, que a escassez de recursos hídricos observada em certas regiões do território nacional está relacionada aos aspectos de quantidade e de qualidade e à elevação dos custos de tratamento de água em função da degradação de mananciais. Considera também que a prática de reúso de água reduz a descarga de poluentes em corpos receptores, conservando os recursos hídricos para o abastecimento público e outros usos mais exigentes quanto à qualidade; que reduz os custos associados à poluição e contribui para a proteção do meio ambiente e da saúde pública. Assim, a resolução estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais que regulamentem e estimulem a prática de reúso direto não potável de água em todo o território nacional.

O reúso de água é a utilização da água residuária, definida como água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratadas ou não, que se encontra em consonância aos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas, classificadas em (Brasil, 2006):

- “Reúso para fins urbanos: utilização de água de reúso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana;
- Reúso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reúso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;
- Reúso para fins ambientais: utilização de água de reúso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;
- Reúso para fins industriais: utilização de água de reúso em processos, atividades e operações industriais; e

- Reúso na aquicultura: utilização de água de reúso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos”.

O reúso de água, para Metcalf e Eddy (2003), está classificado nas seguintes categorias principais: irrigação na agricultura; irrigação de parques, escolas, vegetação de estradas, campos destinados a esporte, cemitérios, jardins residenciais, comerciais, industriais; uso industrial e reciclagem: água para resfriamento, caldeiras, processos e construção pesada; Recarga de aquífero; usos racionais e ambientais tais como lagos, pântanos, aumento de fluxos dos rios, lagos para a pesca; usos urbanos não potáveis como água para incêndio e descarga de vasos sanitários; uso potável, adicionadas a reservatórios de suprimento de água e reúso direto destas águas com adequada desinfecção “*pipe-to-pipe reuse*”. Em cada categoria existem cuidados que devem ser tomados em função da qualidade dessa água de reúso.

Para garantir a confiabilidade no reúso da água é preciso realizar análises da qualidade dessa água, ter infraestrutura, planejamento das obras hidráulicas, boa localização das estações de tratamento das águas residuárias, análises econômicas e financeiras e gestão pública da água (Asano, 2001).

Garantindo a confiabilidade, o reúso de água pode trazer alguns benefícios, como aumento da disponibilidade de água na fonte, reduzindo o volume captado; destinar água potável somente para consumo humano; redução do consumo de insumos no tratamento de água potável; redução da quantidade de efluente lançados nos corpos d’água; potencial de prevenção de enchentes, uma vez que armazena o efluente doméstico que antes ia para rede; potencial de criação de áreas de recreação usando água de reúso (Tessele, 2011).

Neste sentido, a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), investe no mercado de venda de água de reúso para indústrias e empresas que estão instaladas próximas às cinco ETE na região metropolitana de São Paulo. Uma vez que a água não é potável, a Sabesp vende a R\$ 0,30 m³, enquanto a potável custa R\$ 5,00 m³ para indústria que usam mais que 50 m³. A Companhia já vendia água de reúso para uma empresa localizada a 800 metros de uma de suas ETE (nesse caso, a empresa que investiu nos dutos) e também fornecia para algumas prefeituras da região (Valor Econômico, 2002).

Assim, Carrara (1997) estudou a viabilidade do reúso da água do efluente de indústrias de galvanoplastia depois de um tratamento físico-químico de coagulação-floculação. Seus resultados mostraram que houve remoção de metais acima de 99%, com pH de 10 e usando NaOH, isto com tempo de sedimentação de 90 minutos. Quando se utilizou cloreto férrico, com pH de 9 e 10, tempo de sedimentação de 60 minutos, para uma concentração de 30 mg/L, foi obtido o mesmo resultado. Diante dessa eficiência para remoção de metais e a legislação CONAMA nº 20/1986, essa água de reúso pode ser utilizada para lavagens de pisos, descarga de banheiros, irrigação de culturas arbóreas e forrageiras.

Curia (2010) avaliou dois protótipos, uma escala piloto e outro em escala industrial, a eficiência das plantas aquáticas na remoção de poluentes do efluente de uma ETE que tratava efluente de indústria metalomecânica, com o intuito de avaliar o potencial de reúso do seu efluente em diversas aplicações. Assim, foram projetadas e construídas uma planta piloto e outra em escala industrial, dentro de uma empresa de Porto Alegre/RS. Foram usadas macrófitas, Junco (*Seirpus* sp.) e Taboa (*Typha* sp.) em tanques de mil litros, para tratar 2 m³/dia e, para a escala industrial, foram usadas as mesmas macrófitas mas em quatro lagoas idênticas de 11,50 m por 7,0m de comprimento e 0,80m de profundidade útil. O sistema teve eficiência, para os parâmetros analisados: fósforo total, NTK, NH₄-N, DQO, DBO, SS de 73%, 61%, 56%, 54%, 57%, 66%, respectivamente na escala piloto e de 49%, 42%, 46%, 49%, 46%, 69%, respectivamente para a escala industrial. Conclui-se que este sistema precisa melhorar a eficiência na remoção de poluentes para ampliar o seu uso. No entanto, o experimento reutilizou em média 18% e 44% da água tratada foi destinada para irrigação, vasos sanitários, lavagem de veículos e rede de incêndio.

3.7 - MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO DE ESTAÇÕES COMPACTAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

Com o intuito de construir uma estação compacta de tratamento de esgoto que fosse leve e transportável, é que o presente estudo optou por construir em material composto, que se mostrou uma tecnologia viável e acessível, pela facilidade de encontrar empresas que trabalhem com esse material.

O material composto foi desenvolvido com a finalidade de apresentar uma estrutura com elevado desempenho em dois ou mais aspectos. O material composto é a união de materiais diferentes funcionando como unidade e exibindo simultaneamente um conjunto de aspectos comportamentais não encontrados em um único componente.

Os aspectos comportamentais desejáveis e indesejáveis podem ser manipulados em um material composto, tais como resistência estática e à fadiga, rigidez, resistência à corrosão, resistência à abrasão, redução de peso, capacidade de trabalho a alta e baixa temperatura, isolamento ou baixa condutividade térmica e elétrica, dureza e boa aparência. Existem diversos métodos de fabricação de materiais compostos e é importante observar alguns aspectos como o custo do processo, escala de produção, dimensão física do componente e volume relativo do material usado (Mendonça, 2005).

Em relação aos diversos processos de fabricação, de acordo com Mendonça (2005) e Neto e Pardini (2006), existem: processo manual (*handlay-up*); bobinamento (*filament winding*); trefilação ou pultrusão (*pultrusion*); aspersão (*spray-up*); vácuo (*vacuum bag*); autoclave/hidroclave; pré-impregnados (*prepreg*); processo de injeção; modelagem por transferência de resina (RTM) e moldagem por compressão.

Os componentes dos materiais compostos são as matrizes e os reforços, sendo que as matrizes são: matrizes poliméricas - divididas em termorrígidas (resinas poliéster, resina epóxi, resinas fenólicas, resinas poliimidadas e bismaleimidadas) e termoplásticas; matrizes cerâmicas e carbonosas - divididas em matriz de carbono, carboneto de silício; e matrizes metálicas. No âmbito dos reforços das matrizes, utilizam-se fibras de vidro, carbono, poliméricas, cerâmicas e naturais (Neto e Pardini, 2006).

Nesse sentido, um dos principais problemas dos reatores anaeróbios do tipo UASB (e de reatores anaeróbios em geral) é a corrosão, sejam eles construídos de concreto, alvenaria, aço ou latão. Para tentar solucionar esse problema é que Marelli (1998) propôs uma alternativa construtiva, utilizando técnicas de pré-moldagem e concreto de alto desempenho. Foram observadas algumas vantagens desse tipo de material: possui maior durabilidade, resistência, economia que o concreto comum e o reator construído neste material ocupou menor espaço na aplicação do sistema e os reatores puderam ser montados

mais rapidamente. Já Godoy Júnior (2003) usou três reatores anaeróbios de fluxo ascendente em sequência, construídos com caixa d'água de polietileno, para tratar o esgoto oriundo dos vasos sanitários de uma residência com cinco pessoas. A escolha desse material se deu para solucionar a questão da baixa resistência à corrosão e mecânica.

Silva e Nour (2005) pesquisaram um sistema que trata esgoto sanitário, composto por um reator compartimentando anaeróbio/aeróbio. Esses foram construídos em alvenaria armada e formados por quatro câmaras sequenciais: as três primeiras câmaras anaeróbias e a última câmara aeróbia. Na saída do reator, o efluente era encaminhado para um Decantador Laminar Secundário construído em fibrocimento, sendo que as lâminas foram confeccionadas com madeira tratada com verniz naval. Lembrando que o objetivo deste trabalho não era produzir um sistema leve e transportável.

Já Tonetti *et al.* (2010), instalaram outro sistema simplificado de tratamento de esgoto, composto por quatro filtros anaeróbios de formato cilíndrico de 0,5 m³, diâmetro de 0,75 m e 1,68 m de altura, construído de aço inox. O sistema ainda era composto por quatro filtros de areia de 1,0 m de diâmetro e fabricado em fibra de vidro.

Na intenção de apresentar um sistema para tratar esgoto doméstico para pequenas comunidades, sendo de baixo custo e fácil instalação, Javarez Júnior (2007), montou dois sistemas: o primeiro um reator UASB seguido por reator anaeróbio e o segundo, um reator anaeróbio compartimento (RAC) formado por três reatores, seguido por um reator anaeróbio. Os dois sistemas foram construídos utilizando materiais facilmente encontrados comercialmente, considerando o baixo custo e facilidade de instalação. Os reatores eram feitos de fibra de vidro e os tubos e conexões de PVC. No meio suporte para o biofilme foram utilizados anéis plásticos (*O rings*). Na mesma linha de pensamento, Chernicharo e Sousa (2006) desenvolveram um sistema compacto de tratamento de esgotos, para tratar efluente da ETE Arruda em Belo Horizonte (MG), tendo construído quatro protótipos. Por serem compactos, os protótipos tinham como sistemas tanque séptico modificado, reator híbrido e/ou filtro biológico percolador para tratar o esgoto, todos foram fabricados em fibra de vidro.

3.7.1 - Fibra de vidro

A utilização de fibra de vidro vem crescendo muito no mercado devido a suas vantagens, sendo o material mais utilizado como reforço na composição de materiais, somando aproximadamente 90% do uso em resinas termofixas, assim a presente pesquisa optou por utilizá-la na fabricação do protótipo.

A aplicabilidade da fibra de vidro é maior nas indústrias automotiva, naval, aviação, construção civil, na fabricação de reservatórios d'água, piscinas, telhas, bijuterias, massa plástica, dutos para saneamento, cabines telefônicas e guaritas, botões de vestuário, torres de resfriamento, implementos agrícolas, assento sanitário e mármore sintético.

A produção de fibra de vidro teve início pelo Vidro-E (óxido de cal-trióxido de alumínio-silicato de boro), conhecida como *fiberglass*, que possui menor custo em relação aos outros tipos de vidro e corresponde 80 a 90% da produção comercial das fibras de vidro. Existe ainda a do tipo S, *S-glass-strength*, que possui maior teor de sílica e elasticidade em relação a tipo E, além de boas propriedades sob altas temperaturas. A do tipo D, *D-glass*, é utilizada em antenas por possuir alto desempenho eletrônico com baixa constante dielétrica e densidade. Já a do tipo C, *C-glass - chemicalglass*, possui maior resistência à corrosão química em relação a tipo E, custo maior e ainda resistência mecânica menor. O vidro-A, *A-glass*, tem a finalidade de melhorar a aparência das superfícies. Existe ainda o Vidro-R, *R-glass*, usado nas construções civis em aplicações estruturais e por fim, as do tipo combinado como AR, *Alkali Resistance Glass*, resistente a álcalis e tipo E-CR, *Chemical Resistance*, com resistência elétrica e corrosiva (Pierin, 2005).

Sua grande disseminação está atrelada a seus aspectos comportamentais favoráveis, tais como: alta resistência mecânica; baixa absorção de água; fácil manuseio; fácil moldagem das peças; baixo custo e isolamento ou condutividade térmica e elétrica. Para Barros (2010), as características mais importantes são: ser leve, reciclável, não degradável, de baixa condutividade térmica, sem porosidade, resistente a agentes químicos, resistente mecanicamente, isolante elétrico, não inflamável, estável dimensionalmente, compatível com matrizes orgânicas e ter permeabilidade de dielétrico.

A fabricação da fibra de vidro, usada como matéria prima pelas indústrias, é dividida em cinco etapas: composição, fiação, ensimagem, bobinagem e secagem. De acordo com Tecpar (2007), a fibra de vidro pode apresentar no mercado diferentes formas e tipos, podendo ser: manta (manta de superfície, manta de fios cortados e manta de fios contínuos); *roving* (*roving* para enrolamento, *spunroving* ou *roving* frisado, *roving* de laminação por projeção); tecido (bidirecional, telas, sarja e unidirecional); fios cortados; fibra moída e compostos de manta-tecido.

Já de acordo com Pierin (2005), as fibras de vidro são contínuas, com diâmetro variando de 0,003 a 0,02 mm e apresentadas em algumas formas comerciais: *rovings*, filamentos contínuos enrolados paralelamente; *woven rovings*, tecido de fibra de vidro enroladas; *chopped strands mats*, fibras curtas espalhadas aleatoriamente num plano horizontal; *continuous strands mats*, fibras contínuas depositadas e entrelaçadas na forma de espiral; e *Surfacing Mats (Veil)*, aglomerado fino composto de uma camada de filamentos finos.

3.7.1.1 Processo de fabricação do plástico reforçado (Fiberglass)

Este item foi baseado no dossiê técnico de fabricação de peças em fibra de vidro, de Tecpar (2007). O plástico reforçado com fibra de vidro e materiais compostos (fiberglass) como é conhecido popularmente, são, na verdade, compósitos de polímeros termofixos reforçados com fibras. Consistem em materiais de moldagem estrutural, formados por uma fase contínua polimérica (resina) e uma fase descontínua (fibra de reforço) que se agregam físico-quimicamente após um processo de *crosslinking* polimérico (cura).

Em relação aos processos de fabricação de compósitos, eles podem ser considerados abertos (*spray-up* e *hand-lay-up*), fechados (moldagem a vácuo, prensagem a quente e a frio, e injeção de resina-RTM), compostos (prensagem-SMC, prensagem a quente-BMC) e outros, que possuem características específicas como laminação contínua, pultrusão, centrifugação e enrolamento filamental.

No Brasil, os meios de produção mais empregados são os *spray-up* (laminação manual) com 59% e *hand-lay-up* (laminação à pistola) com 14%. Embora esses processos sejam mais simples e de baixo investimento, são de baixa produtividade. Os menos usados são o

vaccum bag, a pultrusão e o *filament winding*, cada um representando apenas 1%. Diante da grande empregabilidade do *spray-up* e *hand-lay-up*, eles serão descritos a seguir.

- Laminação manual (*Hand Lay Up*)

A laminação manual é o meio de produção mais simples e de baixo investimento, uma vez que não requer equipamentos específicos. Para a produção, são usados apenas roletes para compactação de laminados, facas, espátula, tesoura, pistola para aplicação de *gel coat*, molde, pincéis, desmoldantes, dosadores e balança.

Outras vantagens podem ser observadas como facilidade de adaptar projetos e possibilidade de laminação no campo. Porém, existem diversas desvantagens, como aumento da mão de obra necessária para obtenção de um produto de qualidade - é necessária mão de obra qualificada - e apenas um lado da peça fica liso.

O primeiro passo é a preparação do molde, por meio da limpeza e aplicação do desmoldante (cera de carnaúba ou álcool polivinílico-PVA). Caso se deseje um melhor acabamento deve-se aplicar *gel coat* a pincel ou pistola. A partir daí é aplicada a resina líquida e a fibra de vidro ao molde, com o rolete. São aplicadas várias camadas de resina, a fim de assentar as fibras, remover as bolhas e aumentar a espessura. Para não levar ao empenamento da peça, queima do *gel coat* e esbranquiçamento da fibra, não se recomenda mais de três aplicações de manta, já que o excesso da resina de reforço pode vir a ocasionar exotermia.

Existe a possibilidade de aumentar a rigidez, diminuir o peso, ou conferir fluabilidade para a peça, por meio da utilização de um material de núcleo como madeira balsa, espuma rígida de poliuretano e colmeia.

- Laminação à pistola (*Spray-up*)

O *Spray-up* utiliza um equipamento especial denominado pistola laminadora, em que a fibra de vidro é cortada em tamanhos pré-determinados e aplicada simultaneamente com a resina sobre o molde.

As vantagens em relação à laminação manual é que o *Spray-up* proporciona maior rendimento produtivo, melhores resultados para peças mais complexas, menos perdas e a possibilidade de laminação de peças maiores como lanchas, piscinas e banheiras de acrílico. No entanto, a peça também apresenta apenas um lado liso e exige mão de obra cara e especializada.

Inicialmente, a pistola deve ser calibrada, seguido da preparação do molde, assim como na laminação manual. Em seguida, é preciso aplicar o *gel coat* no molde e uma demão de resina e, por fim, a mistura de resina/fibra de vidro. A cada aplicação deve-se passar o rolete para o assentamento e, após cada aplicação de 4 mm deve haver um intervalo no processo, de aproximadamente 20 minutos para que haja a secagem.

3.8 - LEGISLAÇÕES E CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

Diversos são os critérios de avaliação de estações de tratamento de esgoto. A avaliação comparativa é o método mais usual, por meio do qual são discutidos os níveis de eficiência de diversos parâmetros como DBO, DQO, SST, coliformes totais e termotolerantes, alcalinidade, pH, óleos e graxas e nutrientes. Outra forma de avaliar o desempenho é verificar se a estação atende aos padrões de lançamento de efluentes tratados prescritos na legislação ambiental CONAMA 430/2011 e as específicas de cada estado. Outro exemplo de avaliação de desempenho é o utilizado pela ANA, que criou critérios de avaliação de ETE, visando incentivar a implantação de ETEs no Brasil.

3.8.1 - Condições e Padrões para lançamento de Efluentes Líquidos

Neste contexto, o Brasil é resguardado por diversas legislações, tanto federais, quanto estaduais. A Tabela 3.15 mostra alguns instrumentos federais e estaduais que tratam das condições e padrões para lançamento de efluentes líquidos.

No âmbito Federal, a Resolução nº 430 de 13 de Maio de 2011, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de Março de 2005 e CONAMA nº 020, de 18 de junho de 1986. A seguir serão descritos

trechos referentes a alguns parâmetros de lançamento de efluentes dessa resolução e as resoluções específicas de alguns Estados do Brasil.

Tabela 3.15 - Instrumentos Legais dos estados que tratam de lançamento de efluentes domésticos em corpos d'água.

ESTADO	Instrumento Legal
BRASIL	CONAMA 430/2011
Alagoas (AL)	Decreto Estadual 6.200 de 01/03/85
Ceará (CE)	Portaria N ° 154 de 22/07/02
Goiás (GO)	Lei Estadual nº 8.544 de 17/10/78 Decreto 1.745 de 06/12/79
Mato Grosso do Sul (MS)	CECA/MS Nº 36 de 27 de junho de 2012
Mato Grosso (MT)	CONSEMA Nº. 55 de 21 de junho de 2012
Minas Gerais (MG)	COPAM /CERH-MG nº 01 de 05/05/2008.
Paraná (PR)	Resolução 001/07 SEMA de 11/01/07
Rio de Janeiro (RJ)	Norma técnica FEMA NT 202.R10 Diretriz FEMA 215. R3
Rio Grande do Sul (RS)	Portaria 05/89 SSMA de 16/03/89.
Rondônia (RO)	Decreto Estadual 7.903 de 01/07/97
Santa Catarina (SC)	Decreto Estadual 14.250 de 05/06/81
São Paulo (SP)	Decreto Estadual 8.468 de 08/09/76

A resolução CONAMA 430/2011 "Dispões sobre as Condições e Padrões para Efluentes de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários" e em seu artigo 21, trata do lançamento direto de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários, que deverão ser obedecidas algumas condições e padrões específicos.

Em Alagoas, SEMARH/AL (1995) o Decreto N° 6.200, de 01 de Março de 1985 estabelece medidas de proteção ambiental na área de implantação do Pólo Cloroquímico de Alagoas e dá outras providências. Em seu artigo primeiro diz que o tratamento dos efluentes líquidos deverá ser realizado em uma central de tratamento, devendo o efluente final tratado, obedecer aos padrões de emissão estabelecidos nesse Decreto.

No Ceará, a portaria Nº 154 de 22 de Julho de 2002 “dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras”. O artigo 4º diz que as indústrias ou qualquer fonte poluidora localizadas em áreas não dotadas de Rede Pública de Esgoto provida de Sistema de Tratamento, deverão possuir Estação de Tratamento Própria, de maneira a atender aos padrões de qualidade dos cursos de água estabelecidos em função de sua classe, segundo seus usos preponderantes, bem como a enquadrar seus despejos líquidos aos padrões estabelecidos nesse artigo.

Já em Goiás, SEMARH/GO (1979) o decreto Nº 1.745, de 06 de Dezembro de 1979, “Aprova o Regulamento da Lei nº8544, de 17 de outubro de 1978, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente”. Em seu artigo 22, diz que os afluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nas coleções de águas desde que obedeçam as condições estabelecidas.

Em Mato Grosso do Sul, a deliberação CECA/MS Nº036, de 27 de Junho de 2012, "Dispõe sobre a classificação dos corpos de água superficiais e estabelece diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as diretrizes, condições e padrões de lançamento de efluentes no âmbito do Estado do Mato Grosso do Sul". Em relação às condições e padrões para efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários o artigo 39 diz, que para o lançamento direto de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários deverão ser obedecidas às condições e padrões específicos deste artigo.

A resolução CONSEMA Nº. 55/12, de 21 de junho de 2012 do Mato Grosso, “Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes tratados oriundos de estação de Tratamento de Esgoto Doméstico em galeria de águas pluvial no âmbito do estado de Mato Grosso, e dá outras providências”. O artigo 12 descreve que os efluentes tratados somente poderão ser lançados na galeria pluvial desde que obedeçam as condições e padrões previstos neste artigo.

Em Minas Gerais, a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008, “Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece condições e padrões de lançamento de

efluentes, e da outras providências”. Assim, o artigo 29 diz que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água desde que obedeçam as condições e padrões previstos neste artigo.

A resolução SEMA Nº 001, de 11 de janeiro de 2007 do Paraná, “Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento”. O artigo 9 diz que os efluentes das ETEs somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água desde que obedeçam as condições e padrões estabelecidos na sequencia, resguardadas outras exigências cabíveis .

No Rio de Janeiro, FEMA (1986) em sua nota técnica NT-202.R-10, fala dos critérios e padrões para o lançamentos de efluentes líquidos, sendo aprovada pela deliberação CECA nº 1007, de 04 de dezembro de 1986. Já a DZ-215.R-3, FEMA (2002), é a diretriz de controle de carga orgânica biodegradável em efluentes líquidos de origem não industrial e foi aprovada por meio da deliberação CECA nº 4.221, de 21 de novembro de 2002.

O Rio Grande do Sul, por meio da sua portaria Nº 05/89, aprova a Norma Técnica SSMA n.º 01/89-DMA, que dispõe sobre critérios e padrões de efluentes líquidos a serem observados por todas as fontes poluidoras que lancem seus efluentes nos corpos d’água interiores do estado do Rio Grande do Sul (SSMA, 1989). Os efluentes líquidos de fontes poluidoras somente poderão ser lançados nos corpos d’água, direta ou indiretamente, desde que obedeçam as condições desta norma.

O decreto Nº 7903 de 01 de Junho de 1997, de Rondônia, regulamenta a Lei nº 547, de 30 de dezembro de 1993, que dispõe sobre proteção, recuperação, controle, fiscalização e melhoria de qualidade do meio ambiente no Estado de Rondônia. No seu artigo 18, diz que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados direta ou indiretamente nos corpos de água, desde que obedeçam as condições deste artigo.

Em Santa Catarina o decreto Nº 14.250, de 5 de junho de 1981 da FATMA (1981) regulamenta dispositivos da Lei nº 5.793, de 15 de outubro de 1980, referentes à Proteção e a Melhoria da Qualidade Ambiental. Já o decreto nº 21.460/84 da FATMA (1984), altera a

redação do artigo 19, dizendo que os efluentes somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água interiores, lagoas, estuários e a beira-mar desde que obedçam as condições deste artigo.

Por fim, São Paulo por meio da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, em seu decreto Nº 8.468, de 08 de setembro de 1976, e atualizado com redação dada pelo Decreto 54.487, de 26/06/09, aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. O artigo 18 diz que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nas coleções de água, desde que obedçam as condições deste artigo (SMA, 1976).

3.8.2 - Avaliação do atendimento aos critérios adotados pela Agência Nacional de Águas (ANA).

O PRODES (Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas) é um programa criado pela ANA que estabelece critérios de avaliação de ETE, visando incentivar a implantação de ETE no Brasil. De acordo com Oliveira (2006), a criação do PRODES pela ANA tem a finalidade de reduzir os níveis de poluição hídrica no País e, ao mesmo tempo, induzir a constituição do sistema de gestão de recursos hídricos, mediante a organização dos Comitês de Bacia e também estabelecer a cobrança pelo direito de uso da água.

O programa PRODES tem como objetivo estimular a implantação e operação de estações de tratamento de esgotos por meio de pagamento pelo esgoto tratado a prestadores de serviço. No entanto, metas de abatimento de carga poluidora devem ser alcançadas, seguindo níveis de eficiência de remoção para os parâmetros de DBO, SST, CF, PT e NTK, que são relacionados a valores *per capita* de referência em R\$/hab. Para que as metas de abatimento de carga sejam validadas é preciso ter frequência mínima de coleta de amostras. Por fim é preciso que a ETE passe por um processo de certificação.

4 - METODOLOGIA DA PESQUISA

Para atender aos objetivos propostos, a metodologia de pesquisa baseou-se no estudo, averiguação da viabilidade, e emprego de associação de alguns processos inovadores ou, ainda, em processos que não haviam sido bem aproveitados em sistemas compactos para o tratamento de esgoto sanitário. Das possíveis associações encontradas, foi selecionada uma simples que se apresentasse promissora do ponto de vista de viabilidade técnica e econômica.

Entre as associações de processos e operações unitários que foram inicialmente averiguados, constaram sistemas de tratamento de esgoto biológico híbridos (anaeróbio e aeróbio; com meio suspenso e meio fixo) assistidos por operações unitárias físicas e químicas.

Para alcançar os objetivos desta pesquisa, como mostra a Figura 4.1, foram propostas as seguintes etapas: (1) concepção do sistema; (2) construção de protótipo do sistema; (3) instalação do protótipo em residência térrea; (4) operação, manutenção, controle e monitoramento do protótipo instalado durante sete meses, com exames de qualidade; e (5) avaliação do protótipo e da tecnologia produzida.

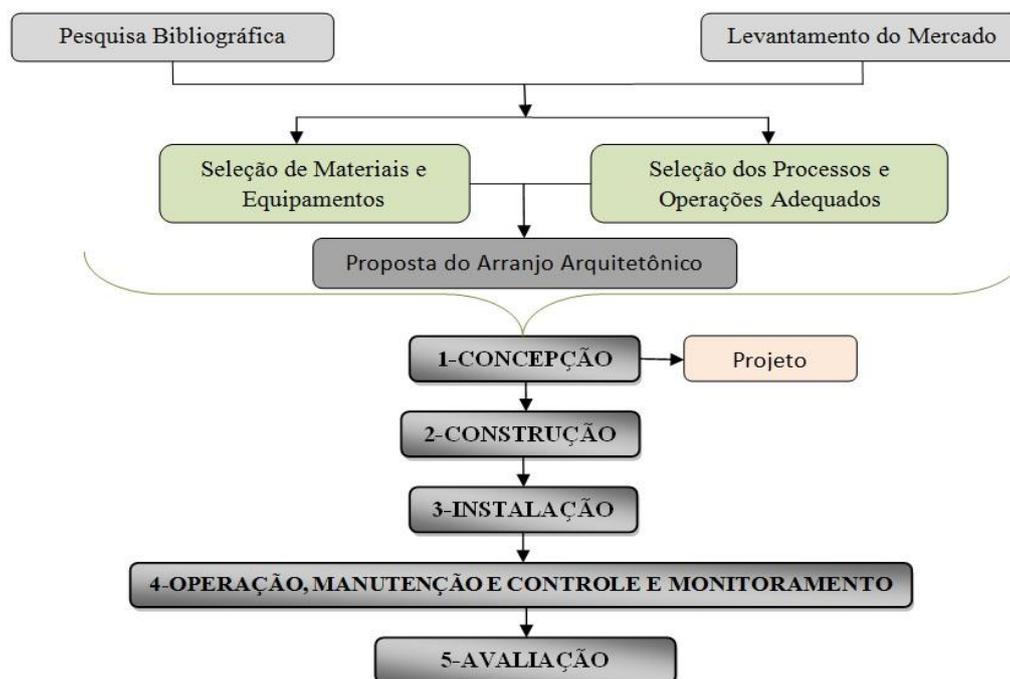


Figura 4.1 - Diagrama com as etapas da metodologia de pesquisa proposta.

O sistema foi adaptado à realidade brasileira, reunindo avanços da pesquisa em tratamento de água e áreas afins com os avanços na tecnologia de tratamento de efluentes. O protótipo foi delineado para ser compacto e pré-fabricado, de baixo custo e leve, de modo a poder ser transportado e montado facilmente no local de funcionamento. O objetivo desejado foi o de produzir um protótipo que fosse eficiente, a ponto de chegar à qualidade compatível afluentes de tratamento de “nível secundário”.

O protótipo foi fabricado em escala real e instalado no local de produção e origem do esgoto. O modelo proposto visou atender a uma unidade geradora unifamiliar, podendo ser em casa térrea ou em condomínio horizontal, que possuía, em média, cinco residentes. Delineou-se a pesquisa para tratamento de esgoto sanitário não segregado e para uma localidade no Distrito Federal (DF).

4.1 - ETAPA DE CONCEPÇÃO DO SISTEMA

Na concepção do sistema pretendeu-se associar os conceitos de reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manto de lodos, de reatores anaeróbios de meio fixo (filtros anaeróbios), de lodos ativados com e sem nitrificação e desnitrificação, de filtros aerados, de decantação laminar, de centrifugação e de placas coalescentes. Essa associação de conceitos visa o desenvolvimento de um protótipo que seja capaz de tratar de forma eficiente o efluente líquido gerado por unidade unifamiliar.

Esta etapa foi dividida em cinco partes: (1) pesquisa bibliográfica; (2) levantamento das tecnologias existentes no mercado; (3) seleção de processos e operações adequados; (4) seleção de materiais e equipamentos adequados; (5) proposta da arquitetura do protótipo.

Diante do exposto, foi realizado estudo investigativo do tema, fundamentado em revisão da literatura técnica com ênfase publicações e trabalhos específicos sobre tratamento de esgoto sanitário e água, relacionadas a avanços no tratamento físico, químico e biológico. Como complemento, foram pesquisados os métodos de dimensionamento de estações de tratamento de esgotos. Além disso, a partir da consulta a catálogos de empresas, feiras especializadas e sites, foi realizado um estudo investigativo direcionado aos sistemas de tratamento de esgotos sanitários e águas, disponíveis para comercialização.

Com base na pesquisa bibliográfica e levantamento de mercado, efetuou-se a seleção dos materiais e equipamentos, bem como dos processos e operações adequados aos objetivos do protótipo. A seleção dos processos e operações adequados levou em consideração o nível de eficiência pretendido, o preço para fabricação, a necessidade e o custo de manutenção, a operação e o controle. Para a seleção dos materiais e equipamentos foi considerada uma gama bastante ampla de aspectos comportamentais desejáveis e indesejáveis dos materiais como resistência estática e à fadiga, rigidez, resistência à corrosão, resistência à abrasão, peso, capacidade de trabalho a alta e baixa temperatura, isolamento ou condutividade térmica e elétrica, dureza, aparência estética, preço, impermeabilidade, disponibilidade no mercado e qualidade ambiental, citados por Mendonça (2005). A seleção dos equipamentos levou em consideração a tecnologia de tratamento a ser adotada, disponibilidade e preço, além da necessidade e custo de manutenção, operação e controle.

Finalmente passou-se a testar vários arranjos de arquitetura do protótipo, de modo a chegar a um arranjo preliminar para testes, sendo compacto, modular e econômico. Este processo incluiu a produção de desenhos, plantas e cortes.

Dessa maneira, esta metodologia de pesquisa conseguiu envolver na concepção do protótipo tanto aspectos do que vem sendo desenvolvidos cientificamente e tecnologicamente por pesquisadores especialistas, quanto aspectos relacionados ao que tem sido praticado comercialmente.

4.2 - ETAPA DE CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO DO SISTEMA

O protótipo foi produzido em uma indústria especializada em produtos fabricados para tratamento de esgotos, utilizando o material de construção especificado no projeto da forma como foi detalhado, com assistência e participação direta do pesquisador.

Desta forma, houve uma reunião com o fabricante, de modo a apresentá-lo ao projeto e discutir alguns pontos relevantes, como formas e métodos de construção fora de série; especificação dos materiais e respectivas quantidades; orçamentação do processo de

fabricação fora de série; procedimento de fabricação das formas; fabricação do protótipo propriamente dita; acabamentos e pinturas.

4.3 - ETAPA DE INSTALAÇÃO DO PROTÓTIPO

A etapa de instalação do protótipo foi dividida em três atividades. A primeira delas foi a escolha do local para ser instalado o protótipo, que levou em consideração aspectos técnicos e a questão de viabilidade para a realização da pesquisa, já que era necessária a aquiescência do proprietário da casa para entrada contínua nas dependências da residência para a realização de pesquisas científicas.

Uma vez acordado com o proprietário, a segunda atividade foi transportar o protótipo até o local escolhido, levando em consideração o meio de transporte e a mão de obra necessária. Desta forma, iniciou-se a terceira atividade, que foi a instalação propriamente dita do protótipo. Para tanto, algumas ações foram tomadas: (1) seleção do ponto de instalação; (2) levantamento e estudo das condições do local (topografia, planta de situação do sistema de esgotos existente, etc.); (3) planejamento do processo de instalação do sistema no local (necessidades construtivas no terreno, alterações necessárias nas ligações de esgoto existentes; forma de acesso ao sistema para monitoramento, forma de medida ou de estimativa das vazões, etc.); e (4) execução do processo de instalação.

4.4 - ETAPA DE OPERAÇÃO, MANUTENÇÃO, CONTROLE E MONITORAMENTO DO PROTÓTIPO INSTALADO.

Esta etapa foi dividida em duas fases, sendo que a primeira foi a de inicialização do sistema, que envolveu a inoculação e estabilização. A inoculação foi feita, assim como Passig e Blundi (1997), Pereira-Ramirez *et al.* (2001) e Aisse e Sobrinho (2001), usando lodo estabilizado. Assim, foi adicionado lodo estabilizado, perfazendo 10% do volume útil do protótipo. A estabilização do sistema foi determinada em função da concentração do efluente e da DBO e DQO nos pontos coletados. A segunda fase correspondeu ao período em que a estação já estava estabilizada.

Uma vez inoculado o sistema, iniciam-se as visitas de rotina, no horário de maior uso das instalações hidráulico-sanitárias da residência. Nas visitas de rotina, houve um protocolo que foi seguido: foram realizadas medidas *in loco* e coletas de amostras para a caracterização qualitativa de esgoto em pontos estratégicos do sistema na frequência indicada no próximo item.

O monitoramento do protótipo instalado teve duração de sete meses. Durante esse período, as amostras coletadas de forma pontual, foram transportadas para a realização dos exames no Laboratório de Análise de Água (LAA), pertencente ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (ENC) da Universidade de Brasília (UnB).

Para a caracterização dos esgotos brutos e tratados, foram analisadas características de qualidade físicas, químicas e biológicas, divididas em duas partes:

Parte 1 – medidas *in loco*: Temperatura, pH e condutividade.

Parte 2 – Medidas em Laboratório: Sólidos totais, Sólidos Totais Voláteis, Sólidos Totais Fixos, Sólidos Suspensos Totais, Sólidos Sedimentáveis, Alcalinidade, DQO, DBO, óleos e graxas, NTK, N-nitrito, N-nitrato e fósforo total.

A frequência de amostragem foi de duas vezes por semana e o período foi de julho/2013 a fevereiro/2014, totalizando em média 44 amostras para cada ponto de coleta. Os métodos utilizados para determinar as características de qualidade podem ser vistos na Tabela 4.1, a parte 1, analisada em campo e na Tabela 4.2 a parte 2, análise laboratorial. As coletas e procedimentos de pré-tratamento, bem como as análises foram realizadas de acordo com os procedimentos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (AWWA/APHA/WPCF, 1999).

Tabela 4.1- Métodos de exame da parte 1.

Características de Qualidade	Método
pH	Potenciométrico
Temperatura	Sonda multiparâmetros
Condutividade	Condutivimêtro

Tabela 4.2- Métodos de exame da parte 2.

Características de Qualidade	Método
Sólidos totais	Gravimétrico
Sólidos totais voláteis	Gravimétrico
Sólidos totais fixos	Gravimétrico
Sólidos suspensos	Gravimétrico
Sólidos sedimentáveis	Gravimétrico
Alcalinidade	Titulométrico
DQO	Colorimétrico
Óleos e graxas	Gravimétrico
NTK	Destilação Kjeldahl
N-nitrito	Colorimétrico
N-nitrato	Colorimétrico
Fósforo total	Colorimétrico
DBO	Manométrico

Para determinar a vazão média diária de esgoto, foi utilizado o consumo de água medido pela CAESB, que consta na conta da água, em um determinado período de meses e cada mês foi dividido pelo número de dias do mês, chegando assim à vazão média diária de água. Para a vazão média diária de esgoto adotou-se a taxa de retorno, que segundo Von Sperling (2005) pode variar de 40 a 100%, sendo o valor de 80% usualmente adotado. De acordo com Hafner (2007) a distribuição de consumo de água residencial ocorre da seguinte forma: 37% chuveiro, 22% bacia sanitária, 18% pia da cozinha, 9% máquina de lavar roupa, 7% lavatório, 4% tanque e 3% jardim/lavar carro. Já segundo Chahin *et al.* (1999) esse consumo apresenta a seguinte distribuição, 30,7 % descarga sanitária, 24,5% chuveiro, 18,4% lavar roupa, 12,3% lavatório, 6,1% limpeza de casa, 4,3% lavar louças e 3,7% beber e cozinhar. Com relação à carga orgânica, foi determinada utilizando a vazão média diária de esgoto (m^3/dia) pela concentração do esgoto (mg/L).

4.5 - ETAPA DE AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO E DA TECNOLOGIA PRODUZIDA

Para avaliação do protótipo e da tecnologia produzida os dados foram analisados empregando técnicas de estatística, foi necessária aplicação da estatística descritiva dos dados de cada característica de qualidade da água analisada. Foi calculado o número de dados, média aritmética e geométrica, mediana, valores máximos e mínimos, quartis inferior e superior e desvio padrão.

4.5.1 - Avaliação do Protótipo comparado à Literatura Acadêmica e Sistemas Comerciais

Esta avaliação consistiu em comparar os resultados do sistema de tratamento de águas residuárias proposto no protótipo instalado com os reportados na literatura acadêmica e os declarados por fabricantes de sistemas disponíveis para comercialização. Para essa comparação, foi utilizada a avaliação dos seguintes itens de desempenho: eficiência, operação e manutenção.

Na avaliação da eficiência, buscou-se uma comparação do nível de eficiência do protótipo, atrelado a um parâmetro de controle de qualidade, com o que está sendo praticado nas pesquisas e comercialmente. Neste sentido, investigou-se o porquê de algum comportamento atípico do protótipo, relacionado a um ou a vários parâmetros de projeto.

Em relação à operação e manutenção, foi avaliada a facilidade operacional, a necessidade de um operador e o nível técnico que esse operador precisa ter, além da frequência de manutenção, entre outros fatores.

4.5.2 - Avaliação do atendimento às legislações ambientais

Diversos são os cenários de aplicação do protótipo a ser desenvolvido, como por exemplo, em comunidades isoladas, ribeirinhas, em barcos, plataformas de petróleo e entre outras. Assim, dependendo onde a estação compacta for instalada o seu efluente pode ser lançado em um corpo d'água, justificando a avaliação do atendimento às legislações ambientais.

O desempenho do protótipo instalado foi avaliado em termos do atendimento aos limites de lançamento preconizados pelas legislações de alguns estados brasileiros, isso porque o protótipo poderia ser instalado em um local onde o seu efluente fosse lançado em um corpo d'água. A metodologia seguida foi a utilizada por Oliveira (2006) e Veról & Volschan Jr. (2007). Foram investigados os padrões considerados e limites adotados tanto de concentração como de eficiência de remoção. A partir daí, fez-se a relação entre os resultados obtidos com o protótipo e padrões e limites preconizados nos estados da (Tabela

3.15), em relação as seguintes características, Temperatura, pH, DQO, DBO, SST e SSed, demonstrando assim, se o efluente do protótipo está em conformidade (C) ou não está conformidade (N.C) com a legislação vigente, nessas características.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 - CONCEPÇÃO

A concepção do protótipo foi dividida em cinco partes, como mostra a Figura 5.1: (1) pesquisa bibliográfica; (2) levantamento dos produtos existentes no mercado; (3) seleção dos processos e operações adequados; (4) seleção de materiais e equipamentos adequados; (5) proposta da arquitetura do protótipo.

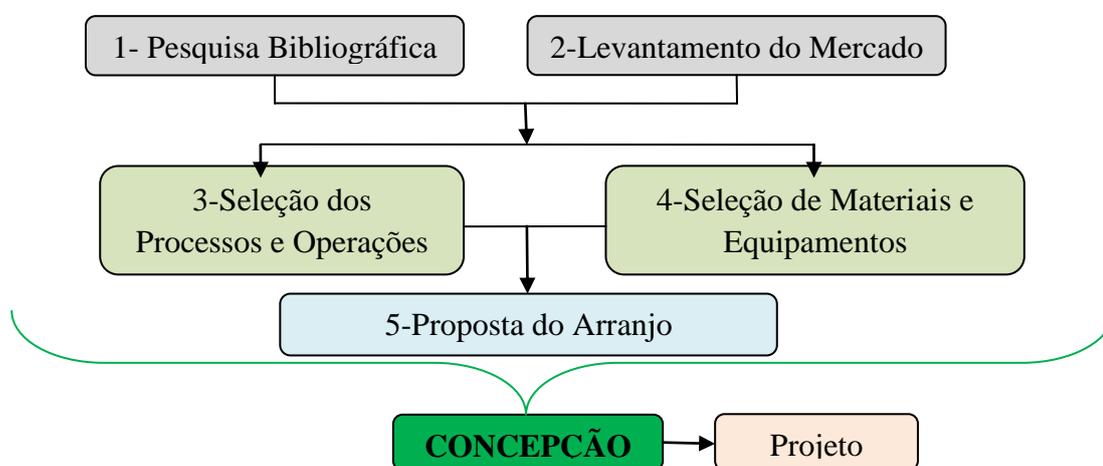


Figura 5.1- Fluxograma da concepção do protótipo.

A pesquisa bibliográfica constitui-se em um estudo investigativo das tecnologias existentes no tratamento de águas residuárias, tanto os sistemas tradicionais, quanto os sistemas compactos, culminando nos subitens 3.2 e 3.4 da revisão bibliográfica. Neste sentido, as estações compactas investigadas utilizam sistemas exclusivamente anaeróbios (Leitos cultivados com macrófitas, UASB, RAC, Filtro Anaeróbico, Reator Anaeróbio, Tanques Imhoff, “Wetlands”, Filtro Biológico), como em Javarez Júnior (2007), Aisse *et al* (2000), Godoy Júnior (2003), Chernicharo e Sousa (2006), Bof *et al.* (2001), e sistemas anaeróbios e aeróbios (Reator Compartimentado Anaeróbio/Aeróbio, Biofiltro Aerado Submerso (BF), Filtro Biológico Percolador (FBP), “Wetlands” e Vermifiltro), como em Silva e Nour (2005), Alves *et al.* (2004), Sartori (2010), Orrico (2005), Valentim (1999), Tonetti *et al.* (2010). A maioria dos sistemas compactos estudados foi fabricada em fibra de vidro, como

os de Javarez Júnior (2007), Tonetti *et al.* 2010, Chernicharo e Sousa (2006), Bof *et al.*, (2001) e Alves *et al.*, (2004).

Nesse estudo investigativo os sistemas de tratamento de esgoto que operaram em condições reais de vazão foram os de Javarez Júnior (2007) que tratou metade do esgoto gerado pela FEAGRI/UNICAMP, Bof *et al.* (2001) que tratou esgoto de comunidades de até 5000 habitantes e Orrico (2005) que tratou esgoto de pequenas comunidades do semiárido baiano.

O levantamento das tecnologias que estão sendo comercializadas pelas empresas resultou no item 3.4.1 da revisão bibliográfica, demonstrando que a maioria das empresas que comercializam estações compactas e principalmente compactas modulares, utilizam sistemas exclusivamente anaeróbios (Filtros Anaeróbios, UASB, Digestor Anaeróbio), como Hemfibra (2012), Organum (2012), Alphenz (2012) e Sistemas Anaeróbios e Aeróbios (Lodos Ativados, Câmara Aeróbia, Biofiltro Aerado), como Delta (2012), Tecnosan (2012), Hidrosul (2012), Mizumo (2012), Hidrus (2012). A maioria das empresas comercializam sistemas fabricados em fibra de vidro como Delta (2012), Hemfibra (2012), Hidrosul (2012), Mizumo (2012), Hidrus (2012).

Tomando como base as informações levadas na pesquisa bibliográfica e no levantamento dos produtos existentes no mercado, foi realizada a seleção dos processos e operações adequados. Foi considerada a tecnologia de tratamento a ser adotada, o nível de eficiência pretendida, a disponibilidade e preço, a necessidade e custo de manutenção, a operação e o controle. Assim, optou-se pelo aglutinamento das seguintes tecnologias: Tanque Imhoff, Decantador Laminar e Filtro Anaeróbio com conduíte como meio suporte. Tendo em vista a facilidade de transporte, instalação e menor área ocupada foi que se optou por um sistema modular, onde as tecnologias selecionadas ficam acopladas.

Considerando a tecnologia adotada, os aspectos comportamentais desejáveis em relação ao material do protótipo, são: resistência estática e à fadiga, rigidez, resistência à corrosão, resistência à abrasão, menor peso, capacidade de trabalho a alta e baixa temperatura, isolamento ou baixa condutividade térmica e elétrica, dureza, boa aparência, baixo preço,

impermeabilidade, disponibilidade no mercado e qualidade ambiental, citados por Mendonça (2005).

Nesse sentido, optou-se pela fibra de vidro como material a ser utilizado na fabricação do protótipo, material que consegue atender de forma satisfatória a esses aspectos. Os aspectos aos quais mais se atribuíram peso na hora da decisão foram a disponibilidade de mercado e o fato de que este tipo de material é de fácil trabalhabilidade, tornando-o mais atrativo.

Já em relação à seleção dos equipamentos, não foi preciso adquirir nenhum, uma vez que a tecnologia selecionada não exigiu. A última e quinta parte da concepção foi a proposta de arranjo arquitetônico do protótipo, visando a uma estação de tratamento compacta, modular e eficiente. Assim, após várias de muitas tentativas de arranjos, o formato cilíndrico foi escolhido, por ocupar menor área para sua instalação e diminuir as zonas mortas. Desta forma, chegou-se a proposta apresentada na Figura 5.2.

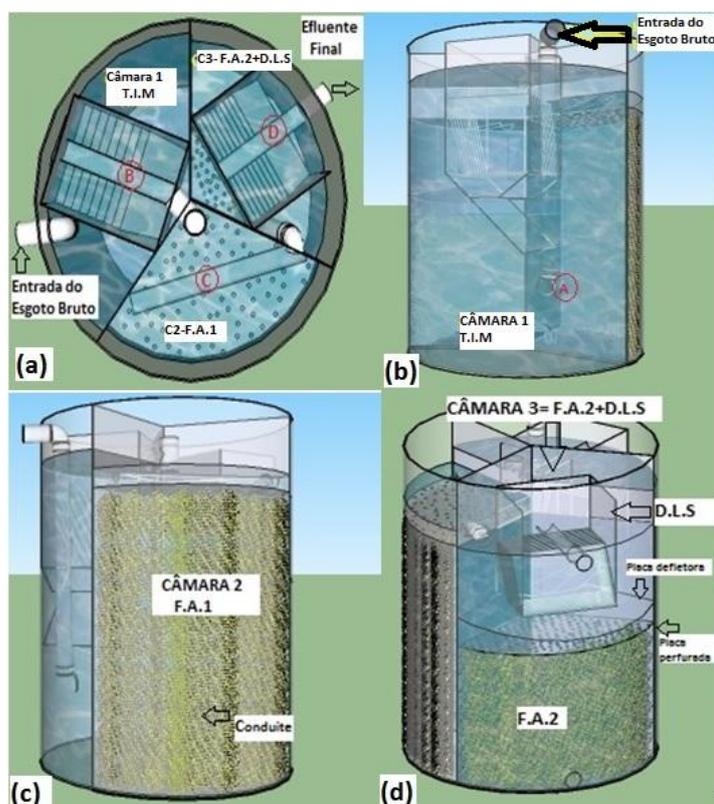


Figura 5.2- (a) Desenho da vista do topo do protótipo. (b) Vista da câmara 1 – T.I.M. Tanque Imhoff Modificado. (c) Vista câmara 2- F.A.1, Filtro Anaeróbio 1; (d) Vista da câmara 3 – F.A.2 + D.L.S, Filtro anaeróbio 2 e Decantador Laminar Secundário.

Como mostra a Figura 5.2, o sistema é modular, não havendo outras peças separadas, compacto e a tecnologia adotada não necessita de equipamentos, energia elétrica ou operador. A manutenção é feita anualmente, para retirada de lodo.

Para tanto, as dimensões da Estação Compacta foram baseadas na soma do volume total do tanque séptico, utilizando a norma NBR 7.229 (ABNT, 1993) e filtro anaeróbio, utilizando a norma NBR 13.969 (ABNT, 1997), como mostram os cálculos do anexo A. O protótipo foi dimensionado para cinco habitantes, com perca pita de 160L/hab x dia e o descarte do lodo em um ano.

A estação compacta possui formato cilíndrico e foi dividida em três câmaras:

- 1ª Câmara - Tanque Imhoff Modificado (T.I.M): É a Câmara por onde entra o efluente doméstico bruto de forma ascendente. Nela, foi concebido um Tanque Imhoff Modificado, com base na norma NBR 7.229 na edição de 1982 (ABNT, 1982) que aborda este tema, ocupando 40% do volume total da base cilíndrica. A parte superior deste Tanque Imhoff Modificado possui uma Câmara de Sedimentação Laminar, que possui nove lâminas posicionadas a 60° em relação à horizontal e distanciadas 5,0 cm, como utilizado por Silva e Nour (2005). A Câmara de Sedimentação Laminar possui placas defletoras que impedem a entrada de espuma no decantador funcionando como um separador trifásico. O corte esquemático da câmara 1 pode ser visto na Figura 5.2 (b).
- 2ª Câmara- Filtro Anaeróbio 1 (F.A1): Esta câmara é um filtro anaeróbio ascendente, dimensionado com base na norma NBR 13.969, ocupando 30% do volume total da base cilíndrica. O material escolhido como meio filtrante foi constituído de pedaços de conduíte, assim como Pimenta *et al.* (2005) e Chernicharo e Sousa (2006), estes foram cortados com 3,0 cm de comprimento e 32 mm de diâmetro. De acordo com Chernicharo (2007), a porosidade de material de recheio está na ordem de 95%, apresenta área superficial em torno de (~ 200 m²/m³) e peso de 55 Kg/m³. Na parte superior do filtro anaeróbio 1 foi instalada uma placa perfurada que impede a passagem do recheio de conduíte para próxima etapa. O corte esquemático da câmara 2 pode ser visto na Figura 5.2 (c).

- 3ª Câmara - Filtro Anaeróbio 2 e Decantador Laminar Secundário (F.A2+D.L.S): Esta Câmara corresponde a 30% do volume total da base cilíndrica, 1,06 m³. Em sua parte inferior foi construído um filtro anaeróbio ascendente, dimensionado com base na norma NBR 13.969, com mesmo material filtrante que o Filtro Anaeróbio 1. Na parte superior foi instalado um Decantador Laminar Secundário, que possui dez lâminas posicionadas a 60° em relação à horizontal e distanciadas 3,0 cm. Entre o Filtro Anaeróbio (2) e o Decantador Laminar Secundário existe uma placa perfurada que impede a passagem dos conduítes para a próxima etapa e uma placa defletora que impede a entrada de espuma no decantador laminar. O corte esquemático da câmara 3 pode ser visto na Figura 5.2 (d).

Com essa configuração espera-se uma eficiência na primeira câmara, que é um tanque séptico, de 30-35% na remoção de DBO₅ e 20-35% na remoção de DQO. Já na soma da segunda e da terceira câmaras, que são filtros anaeróbios, espera-se uma eficiência de 80 – 85% na remoção de DBO₅ e 70-80% na remoção de DQO.

O fluxo do efluente dentro do Protótipo segue a dinâmica exposta a seguir. O efluente doméstico bruto é alimentado ao sistema por um tubo que o conduz até a parte inferior da 1ª Câmara, no ponto A da Figura 5.2(b). Em fluxo ascendente, a espuma é separada pelas placas defletoras da Câmara de Sedimentação Laminar e o efluente segue por dentro da Câmara de Sedimentação até a parte superior, local em que é coletado por uma canaleta, no ponto B, Figura 5.2 (a). Em seguida, o efluente clarificado do decantador é conduzido por um tubo até a parte inferior da 2ª Câmara e distribuído por um tubo de distribuição em fluxo ascendente. A partir daí, o efluente atravessa o Filtro Anaeróbio e é coletado por uma canaleta em sua parte superior ponto C, Figura 5.2 (a). Após esse processo, o efluente é novamente conduzido por um tubo até o fundo da 3ª Câmara e distribuído por um tubo de distribuição em fluxo ascendente. Então o efluente atravessa o Filtro Anaeróbio da 3ª Câmara. Após o filtro anaeróbio da 3ª câmara existe uma placa perfurada que impede a passagem dos pedaços de conduíte para a próxima fase e uma placa defletora, que impede que a espuma formada durante o processo passe para a saída do sistema. Logo após a passagem pela placa defletora, o efluente passa pelo Decantador Laminar Secundário, é coletado em sua parte superior e sai do sistema pelo ponto D, Tabela 5.1(a).

Desta forma, foi concebido o protótipo de uma estação compacta e modular de tratamento de esgoto unifamiliar, conforme projeto exposto no Anexo B e com as dimensões apresentadas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1- Dimensões do protótipo e das câmaras que o compõe.

V total (m ³)	A total (m ²)	H total (m)	D total (m)	Câmara 1		Câmara 2		Câmara 3	
				V (m ³)	A (m ²)	V (m ³)	A (m ²)	V (m ³)	A (m ²)
3,53	1,77	2,00	1,5	1,41	0,71	1,06	0,53	1,06	0,53

(V) Volume, (A) Área, (H) altura, (D) Diâmetro.

5.2 - ETAPA DE CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO DO SISTEMA

Após a concepção do sistema compacto de tratamento de esgoto unifamiliar, o projeto foi levado a uma empresa responsável pela execução. A fábrica está localizada na cidade de Planaltina-DF, as margens da DF-230, a uma distância de aproximadamente 44 km da região central de Brasília-DF e com as seguintes coordenadas: 15° 39' 1.310400" S, 47° 37' 18.289200"W.

Após apresentado o projeto ao fabricante, foi confirmada a decisão de que o protótipo seria fabricado em fibra de vidro. Em acordo com o fabricante, foi definido que seria utilizada para a fabricação a laminação à pistola (*Spray-up*) para as peças que teriam molde e a laminação manual (*Hand Lay Up*) para a montagem das peças internas. O processo de construção foi dividido em quatro partes: 1- construção da base cilíndrica; 2- construção das peças internas; 3- fabricação do meio filtrante; 4- montagem do protótipo e 5- teste da estação compacta.

Os materiais e equipamentos utilizados na fabricação do protótipo foram: Pistola de laminação (*Spray-up*), Roving P207 (fibra de vidro em rolo), Resina Poliéster L-120, roletes de ferro para compactação, cera de carnaúba, faca, espátula, pincéis, eletrodutos flexíveis (conhecido como conduíte, tradicionalmente usados na construção civil para instalações elétricas), tubos de PVC, moldes das peças e pistola de cola quente.

5.2.1 - Construção da base cilíndrica

Na primeira fase foi construída a base cilíndrica. O processo de fabricação da fibra de vidro é feito com moldes e, para esta base, foi utilizado um cilindro feito de ferro, como mostra a Figura 5.3 (a). Neste caso específico, a fábrica já possuía o molde mas, no caso de um formato diferente, é possível fabricar um molde específico e utilizá-lo várias vezes para produção em série.

Com o cilindro de ferro como molde, o processo de fabricação da base cilíndrica se deu na seguinte forma: primeiramente passou-se cera de carnaúba no local em que foi feito o processo de laminação da fibra de vidro, com o intuito de facilitar a descolagem da fibra de vidro do molde. A segunda fase foi a aplicação do composto que forma a fibra de vidro (solvente poliéster + Roving que é a fibra de vidro em rolo), por meio de laminação. A laminação foi por feita por pistola de laminação (*Spray-up*), que é uma máquina que "picota" a fibra de vidro, que vem em rolo, em tamanhos pré-determinados e, ao mesmo tempo, libera o solvente, como mostra a Figura 5.3 (b). Em seguida, é passado um rolete de ferro para que o composto liberado pela pistola se compacte e tome a forma do molde, formando uma camada com espessura de 4,0 mm. Após este processo, foi preciso esperar secar, por cerca de 20 minutos, para desenformar a peça. Para que a próxima etapa fosse facilitada, a peça foi colocada em uma estrutura circular de ferro, que atuou como suporte da peça, como mostra a Figura 5.3 (c).

Para a divisão interna da peça foram confeccionadas três placas de fibra de vidro com 0,75 m de largura por 2 metros de altura, laminadas concentricamente no interior da peça, como previsto no projeto, formando as câmaras 1, 2 e 3, como mostra a Figura 5.3(d). Para a fabricação das placas foram utilizadas como molde madeiras planas e o processo de laminação foi o mesmo da base cilíndrica. O último passo foi deixar a base cilíndrica com as medidas do projeto, procedimento realizado com o auxílio de uma maquina para cortar a fibra de vidro.



Figura 5.3- Processo de fabricação do protótipo. (a) Cilindro feito de ferro utilizado como molde para base cilíndrica; (b) Pistola de laminação (*Spray-up*); (c) Estrutura circular de ferro; (d) As três placas sendo laminadas concentricamente.

5.2.2 - Construção das peças internas.

As peças internas foram confeccionadas em fibra de vidro e tubo PVC. Para a confecção das peças em fibra de vidro foi utilizada a seguinte dinâmica: primeiro foram feitas as placas, com a utilização da Pistola (*Spray-up*) para laminação e o molde, com madeira plana, como mostra a Figura 5.4 (a). Depois da secagem e do desenforme, como mostra a Figura 5.4 (b), as placas foram cortadas de acordo com as dimensões do projeto para cada peça.



Figura 5.4– Processo de Fabricação, (a) Laminação nos moldes de madeira para confecção das peças internas, (b) Placa de fibra de vidro depois de seca e desenformada.

Na montagem de cada peça as placas foram coladas uma nas outras utilizando a pistola de cola quente, como mostra a Figura 5.5 (a). Assim que cada peça foi montada, foi realizada a laminação manual (*Hand Lay Up*) com o intuito que elas tivessem sustentação. Desta forma, foi confeccionada a câmara de sedimentação laminar do Tanque Imhoff modificado que fica na primeira câmara, como mostram a Figura 5.5 (c) (vista de cima) e Figura 5.5 (d) (vista lateral).

Também foram confeccionados o decantador Laminar Secundário, como mostra a Figura 5.5 (b), que fica na terceira câmara, duas placas perfuradas, colocadas na parte superior dos filtros anaeróbios (1 e 2) com o intuito de bloquear a passagem dos conduítes, uma placa defletora, colocada na câmara 3 entre o filtro anaeróbio 2 e o Decantador Laminar Secundário e, por fim, as placas que serviram como fundo e tampa do protótipo.

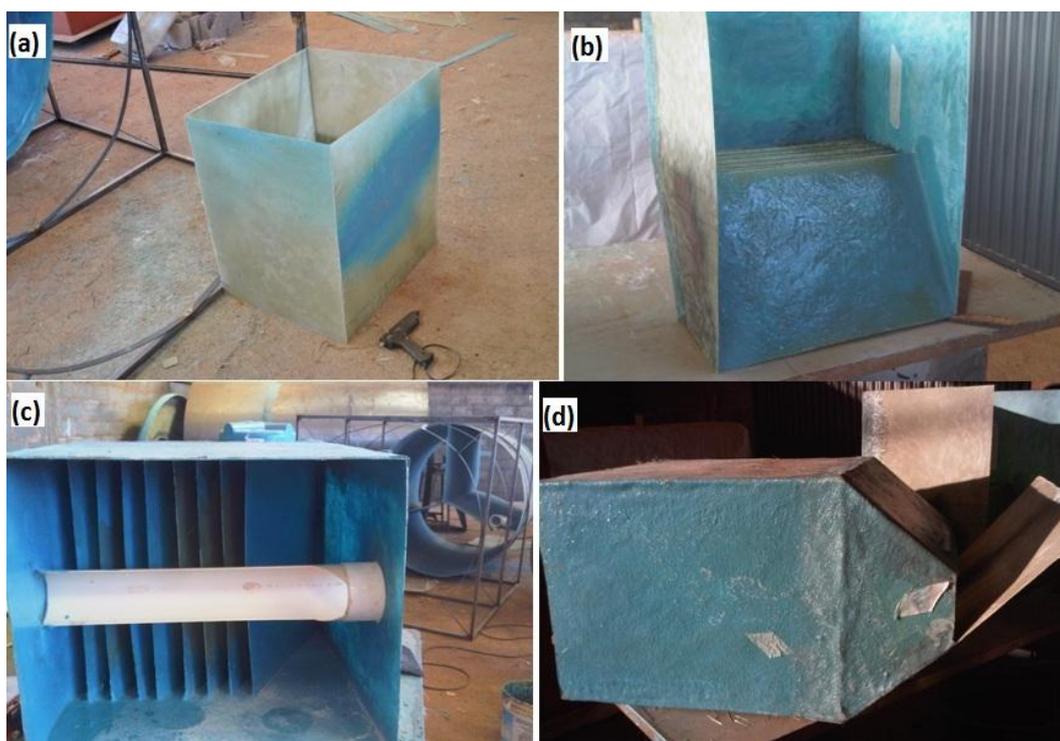


Figura 5.5– Processo de fabricação, (a) Colando as placas com cola quente no processo de montagem das peças; (b) Montagem do Decantador Laminar Secundário; (c) Câmara de sedimentação laminar do Tanque Imhoff, vista de cima e (d) Câmara de sedimentação laminar do Tanque Imhoff, vista lateral.

Os tubos de PVC serviram para confeccionar as seguintes peças: conexões, tubos que conduzem o efluente para parte inferior do protótipo, calhas coletoras (canaletas), como mostra a Figura 5.6 (a) e tubos de distribuição do afluente, Figura 5.6 (b).

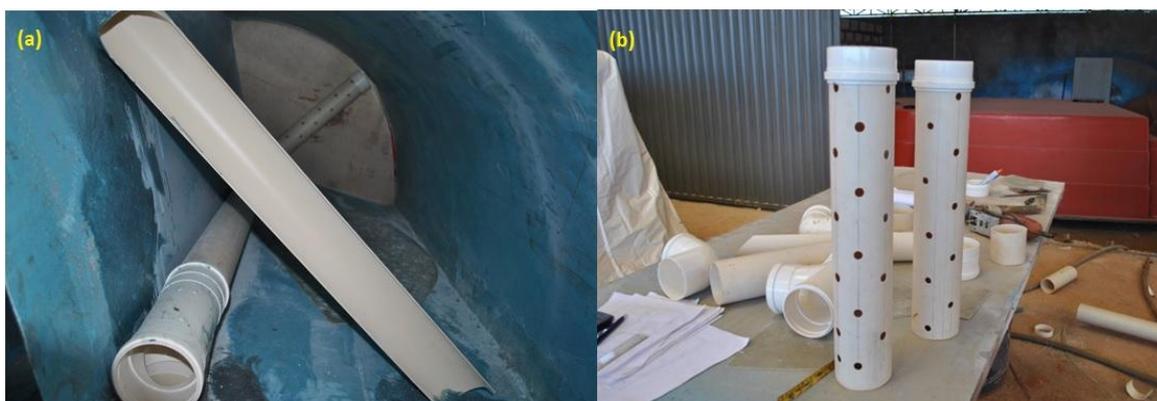


Figura 5.6– (a) Conexões, tubos para condução do esgoto para o fundo e calhas coletoras; (b) Detalhe do tubo de distribuição da câmara 1 e 2.

5.2.3 - Fabricação do meio Filtrante

O meio filtrante foi confeccionado com conduíte, material utilizado na construção civil para conduzir fios elétricos, como mostra a Figura 5.7(a). Com diâmetro (bitola) de 32 mm, os conduítes foram cortados com três (3) cm de comprimento, como mostra a Figura 5.7 (b). Para preencher o Filtro Anaeróbio 1 da câmara 2 foram usados onze (11) rolos de 50 metros e, para o Filtro Anaeróbio da câmara 3, seis (6) rolos de 50 metros. Para cortar os conduítes de forma rápida e com as dimensões especificadas, foi adaptado uma "guia" de madeira em uma maquina, como mostram as Figura 5.7 (c) e Figura 5.7 (d).



Figura 5.7– Processo de fabricação do meio filtrante, (a) Rolos de conduítes utilizados, (b) Conduíte utilizado, cortado a 3 cm, (c) Conduíte sendo cortado utilizando uma “guia” de madeira adaptada à maquina e (d) Conduítes cortados conforme a especificação.

5.2.4 - Montagem do protótipo

O primeiro passo para a montagem do protótipo foi a laminação das peças internas na base cilíndrica. Em seguida, foram colocadas as canaletas das três câmaras, os tubos de condução do esgoto e os tubos de distribuição, tanto do filtro anaeróbio da câmara 2 como da câmara 3, como mostra a Figura 5.8.



Figura 5.8– (a) Processo de montagem do protótipo, etapa de laminação das peças internas e instalação das canaletas e dos tubos de condução e distribuição; (b) Processo concluído.

Em sequência, as placas perfuradas e a placa defletora da câmara 3 foram colocadas, como mostram as Figura 5.9 (a) e Figura 5.9(b). Em seguida, foi laminado o fundo do protótipo, câmara por câmara, como mostra a Figura 5.9 (c).

Por fim, foi construída uma base de cimento, como mostra a Figura 5.9 (d) e, novamente laminada com fibra de vidro, com o intuito de reforçar a base, uma vez que não havia sido definido o local e a forma de instalação do protótipo.



Figura 5.9– Processo de montagem do protótipo, (a) e (b) Etapa de laminação das placas perfuradas, (c) Etapa de laminação das placas do fundo e (d) Reforço do fundo com cimento.

A tampa do protótipo não foi laminada junto a ele, uma vez que estavam previstas coletas dentro do protótipo, nas câmaras 1,2 e 3. Desta forma, a tampa ficou removível e nela foram colocadas alças de ferro e um respirador, feito de tubo de PVC, como mostram as Figura 5.10 (a) e Figura 5.10(b).



Figura 5.10 – (a)Tampa do protótipo no processo de fabricação. (b) Tampa do protótipo com o respirador.

Em sua fase final, foi colocado o meio filtrante formado por pedaços de conduíte. Os da câmara 2, foram colocados pela parte de cima, por um vão deixado na placa perfurada, já o meio filtrante da câmara 3 foi inserido através de uma perfuração feita na lateral do protótipo, como mostra a Figura 5.11 (a).

Por fim, foi realizada a pintura do protótipo, como mostra a Figura 5.11 (b). Os conduites poderiam ser colocados sem a necessidade de se fazer o buraco, no entanto, o corte do recheio feito de conduíte demorou mais que o previsto e esperar o término deste processo, poderia atrasar o andamento da construção do protótipo, então optou-se por colocá-lo depois.



Figura 5.11 – (a) Orifício feito para colocar o recheio na câmara 3; e (b) Protótipo pintado.

5.2.5 - Teste da estação compacta

O teste foi realizado na própria fábrica com três intuitos: detectar vazamentos para o exterior ou entre as câmaras do protótipo, observar o fluxo do fluído e a resistência à pressão hidráulica no carregamento inicial. Assim, cada câmara foi preenchida com água, no fluxo normal do efluente: da câmara 1, Figura 5.12(a) e Figura 5.12(b), para a câmara 2, Figura 5.12 (c), seguindo para câmara 3, Figura 5.12 (d). Após o preenchimento das

câmaras era feita uma pausa para verificar possíveis vazamentos. Após a constatação de que não havia vazamento, a água utilizada serviu para lavar o protótipo e com a finalidade de retirar restos dos materiais de construção.



Figura 5.12- Teste da estação compacta. (a) Entrada da água na estação; (b) Saída da água na câmara 1; (c) Saída da água na câmara 2; e (d) Saída da água na câmara 3.

5.3 ETAPA DE INSTALAÇÃO DO PROTÓTIPO

A etapa de instalação do protótipo foi dividida em três atividades, iniciando pela a escolha do local. Foi escolhida uma residência térrea situada na Colônia Agrícola Samambaia, que fica na região administrativa de Vicente Pires do Distrito Federal - DF. A escolha do local levou em consideração que essa região não possui rede coletora de esgoto, que a família é constituída por quatro moradores fixos e, principalmente, porque houve completa disposição por parte dos proprietários em colaborar com o desenvolvimento da pesquisa. A residência está situada a cerca de 25 km da região central de Brasília-DF.

Em uma área de aproximadamente 600 m², a residência está posicionada geograficamente a 15°49'7.410000"S; 48°2'24.550800"W. A residência possui área verde e piscina, como

mostra a Figura 5.13. A região administrativa não possui rede de coleta de esgoto e, em razão disso, o sistema de esgotamento sanitário da residência é constituído por uma fossa séptica seguida por um sumidouro.



Figura 5.13- Localização exata da casa em que foi instalado o protótipo e seu posicionamento geográfico.

Uma vez definida a residência em que seria instalado o protótipo, teve início a segunda atividade da etapa, o transporte do protótipo. Para tal, foi utilizado um caminhão pequeno do tipo baú e foram necessárias três pessoas para colocar e retirar o protótipo do caminhão, sem ajuda de muck e com os devidos cuidados, sem derrubar e sem arrastar por superfícies com imperfeições e evitando impactos, afim de não danificar o protótipo. A distância entre a indústria que fabricou o protótipo e o local escolhido para instala-lo foi de aproximadamente 63 km.

A terceira atividade foi a instalação do protótipo, após a definição de qual seria o local do terreno mais adequado. Este ponto, indicado pela seta amarela na Figura 5.13, foi o escolhido em virtude do sistema de esgotamento sanitário da casa, uma vez que ele fica após a última caixa de inspeção de esgoto da casa e antes da fossa séptica. O fluxograma da Figura 5.14 mostra em tracejado a ligação antiga de esgotamento sanitário, constituída

- (v) Acabamento, realizado por meio da construção do anel de tijolos de concreto ao redor do protótipo como mostra a Figura 5.16 (a) e replantio da grama retirada, como mostra a Figura 5.16 (b).

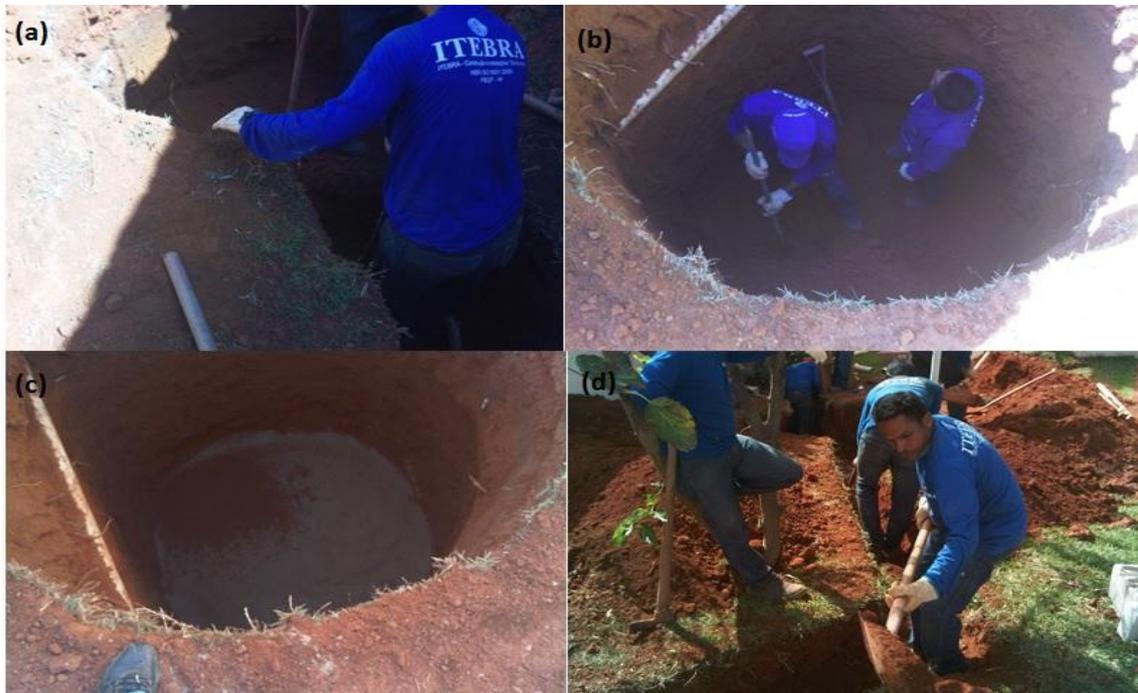


Figura 5.15–Processo de instalação do protótipo, (a) ligação hidráulica da ultima caixa de inspeção até o protótipo, (b) Escavação do terreno que recebeu o protótipo, (c) Nivelamento e preparação do fundo para receber o protótipo, (d) Realização da ligação hidráulica do protótipo até o sumidouro da casa.



Figura 5.16– Fase de acabamento da instalação, (a) Construção do anel de tijolos de concreto ao redor do protótipo, (b)replântio da grama que foi retirada.

Um aspecto importante a ser salientado foi a profundidade do buraco escavado para colocar o protótipo. Foram 3,0m de profundidade, isto porque a rede coletora de esgoto da residência era de aproximadamente 0,9m de profundidade. Como a estação tem a finalidade de pesquisa, não foi totalmente enterrada. Caso isso seja necessário, é preciso construir uma tampa de concreto com a passagem do respirador, em seguida cobrir com terra e grama para dar o acabamento.

Assim que foi realizada a instalação, o sistema começou a receber as águas residuárias de toda a residência. Ao final desse trabalho, o protótipo não foi removido da residência no qual foi instalado, uma vez que houve um acordo com o proprietário para que a pesquisa possa ter continuidade.

5.4 - ETAPA DE OPERAÇÃO, MANUTENÇÃO, CONTROLE E MONITORAMENTO DO PROTÓTIPO INSTALADO.

A etapa de operação, manutenção, controle e monitoramento do protótipo instalado teve duração de sete meses e foi dividida em duas fases:

- 1º Fase: Período de 12/07/2013 a 10/09/2013: Etapa de inicialização do sistema. Entre os dias 12/09/2013 e 02/10/2013 o Laboratório de Análise de Água (LAA), ficou fechado para reforma, inviabilizando a realização de análises.
- 2º Fase: 03/10/2013 a 14/02/2014: Período de operação estável do sistema. Entre os dias 21/12/2013 e 04/01/2014 a residência na qual o protótipo foi instalado permaneceu vazia, por motivo de viagem de todos os moradores. Por isso, não houve coleta de amostras nesse período.

A instalação do protótipo ocorreu no dia 08/07/2013 e, no dia 12/07/2013, foi realizada a inoculação do sistema. Para isso, foi utilizado lodo estabilizado, assim como Passig e Blundi (1997), Pereira-Ramirez *et al.* (2001) e Aisse e Sobrinho (2001). O lodo utilizado oriundo de uma fossa séptica, que tinha permanecido por um ano sem retirada de lodo, foi coletado de um caminhão limpa fossa que descarregava na estação de tratamento de esgoto de Brasília - Asa Sul - ETEB-Sul. Foi colocado em cada câmara cerca de 10% do volume

útil de cada câmara em lodo, que somou um total de 270 litros de lodo, com a seguinte distribuição: 110 litros na primeira câmara, 80 litros na segunda e 80 litros na terceira.

Ao protótipo instalado foram realizadas, em média, duas visitas semanais e o horário escolhido foi o de maior uso das instalações hidráulicas, de acordo com relatos dos próprios moradores, compreendido entre 6:30 e 7:30 da manhã. Seguindo a metodologia, foram realizadas medidas *in loco* e no laboratório e realizadas coletas de amostras para a caracterização qualitativa de esgoto em quatro pontos. Os pontos selecionados foram: entrada do esgoto bruto (EB), realizada no ponto A; no ponto B, que fica na saída da câmara 1, chamada de Tanque Imhoff Modificado (T.IM); no ponto C, que fica na saída da câmara 2, chamada de Filtro Anaeróbio 1 (F.A1) e por fim, no ponto D, que fica na saída da câmara 3, chamada de Filtro Anaeróbio 2 e Decantador Laminar Secundário (F.A2+D.L.S) correspondendo ao efluente final, conforme Figura 5.2.

No dia 17/07/2013 foi realizada a primeira coleta e, no dia 14/02/2014, a última avaliada nesse estudo. Ao todo foram realizadas 44 visitas ao protótipo com a finalidade de coletar amostras. Nessas coletas foram realizadas medições *in loco* de temperatura, pH e condutividade. Em seguida, as amostras foram encaminhadas para o laboratório da UnB para a caracterização qualitativa. A Tabela 5.2a e Tabela 5.2b mostra o número de análises realizadas para cada característica de qualidade.

Tabela 5.2a- Número de análises realizadas para cada característica qualidade.

Características de Qualidade	Número de Dados Etapa 1	Número de Dados Etapa 2	Número de Dados Totais
pH	12	32	44
Temperatura	12	32	44
Condutividade	12	32	44
Sólidos Totais	12	30	42
Sólidos Totais Voláteis	12	30	42
Sólidos Totais Fixos	12	30	42
Sólidos Suspensos	12	32	44
Sólidos Sedimentáveis	12	32	44
Alcalinidade	12	32	44
DQO	12	32	44
DBO	12	32	44

Tabela 5.2b- Número de análises realizadas para cada característica qualidade, (continuação).

Características de Qualidade	Número de Dados Etapa 1	Número de Dados Etapa 2	Número de Dados Totais
N-nitrito	12	31	43
N-nitrato	12	30	42
Fósforo Total	12	12	24
NTK	0	03	03
Óleos e Graxas	5	03	08

Para as coletas do esgoto bruto foi utilizado um coletor, conforme Figura 5.17. Este coletor possui um reservatório de aproximadamente 2,5 litros, uma tampa de silicone amarrada a um fio de nylon, uma mangueira ligada ao reservatório e um cabo com marcação de profundidade.

O coletor de esgoto bruto era utilizado da seguinte maneira: foi colocada a tampa de silicone e fixado o cabo. Uma das mãos era utilizada para segurar o fio de nylon e tampar a saída de ar da mangueira, enquanto a outra introduzia o reservatório até a profundidade desejada, com auxílio da marcação no cabo. Ao atingir a profundidade desejada, o fio de nylon era puxado para retirar a tampa de silicone e soltar a entrada de ar da mangueira. Assim que o reservatório estivesse cheio, era retirado e esgotado em um reservatório apropriado, como mostra a figura x (b).



Figura 5.17- (a) Coletor de esgoto bruto; (b) Forma de esgotar o coletor de esgoto bruto.

A Figura 5.18, mostra o coletor utilizado na coleta no T.IM, F.A.1 e F.A.2+D.L.S, que se tornou necessário uma vez que o protótipo estava enterrado. Este coletor foi feito de cano de PVC com 200 mm, um CAP e um cabo feito de cano de PVC com diâmetro pequeno.



Figura 5.18- Coletor utilizado nos pontos B, C e D.

Após aproximadamente sete meses de funcionamento, observou-se a formação de uma camada grossa de espuma na Câmara 1, como mostra a Figura 5.19. Esta camada não estava influenciando negativamente a eficiência do sistema, no entanto interferia na coleta do esgoto bruto. Assim, optou-se pela retirada dessa espuma para facilitar a coleta do esgoto bruto. Assim, no dia 25/01/2014 foi realizada a operação de retirada da espuma, no qual, foram extraídos cerca de $0,058\text{m}^3$ de espuma.



Figura 5.19- Retirada da espuma da Câmara.

Outro aspecto importante foi a determinação da vazão de esgoto que estava sendo tratado. Como houve grande dificuldade de instalação de medidores de vazão no local, devido à profundidade do sistema, optou-se por fazer uma estimativa a partir do consumo diário de água. Para tal, foi utilizado o consumo de água no período de dezembro/2012 a dezembro/2013, medido pela CAESB por meio de hidrômetro residencial. Sendo assim, o consumo de cada mês foi dividido pelo número de dias do mês, chegando assim à vazão média diária, como mostra a Tabela 5.3a e Tabela 5.3b.

Tabela 5.3a- Consumo de água na residência onde o protótipo foi instalado.

Mês	Consumo de água do mês (m ³)	Consumo diário de água (m ³ /dia)	Consumo de água per capita (m ³ /dia.hab) ⁽¹⁾
Dezembro/2012	15	0,484	0,121
Janeiro/2013	19	0,613	0,153
fevereiro/2013	20	0,714	0,178
Março/2013	20	0,645	0,161
Abril/2013	20	0,666	0,166
Mai/2013	21	0,677	0,169
Junho/2013	17	0,566	0,142

Tabela 5.3b- Consumo de água na residência na qual o protótipo foi instalado, continuação.

Mês	Consumo de água do mês (m ³)	Consumo diário de água (m ³ /dia)	Consumo de água per capita (m ³ /dia.hab) ⁽¹⁾
Julho/2013	19	0,613	0,153
Agosto/2013	20	0,645	0,161
Setembro/2013	20	0,666	0,166
Outubro/2013	20	0,645	0,161
Novembro/2013	10	0,333	0,083
Dezembro/2013	17	0,548	0,137
Média		0,601(m³/dia)	0,150(m³/dia.hab)

(1) A residência possui quatro moradores fixos.

Para a determinação da vazão média de esgoto foi utilizada uma taxa de retorno de esgoto em relação ao consumo de água. A taxa foi determinada em função da faixa apresentada por Von Sperling (2005) que varia de 40 a 100%, sendo o valor de 80% usualmente adotado, pelas características da distribuição do consumo em uma residência, como mostrado por Hafner (2007) e Chahin *et al.* (1999) e pelas características de consumo de água da casa onde o protótipo foi instalado.

Assim a taxa utilizada foi de 85%, considerando que a residência em questão usa água de um poço para lavar carro, jardim e área externa, fazendo com que essa água não seja hidrometrada sendo, portanto, a taxa de retorno maior que a usual. Dessa forma, a Figura 5.20 mostra o consumo mensal de água e média de esgoto gerado por mês com base na taxa de retorno de 85% e a Tabela 5.4 mostra a vazão média de esgoto diária e *per capita*.

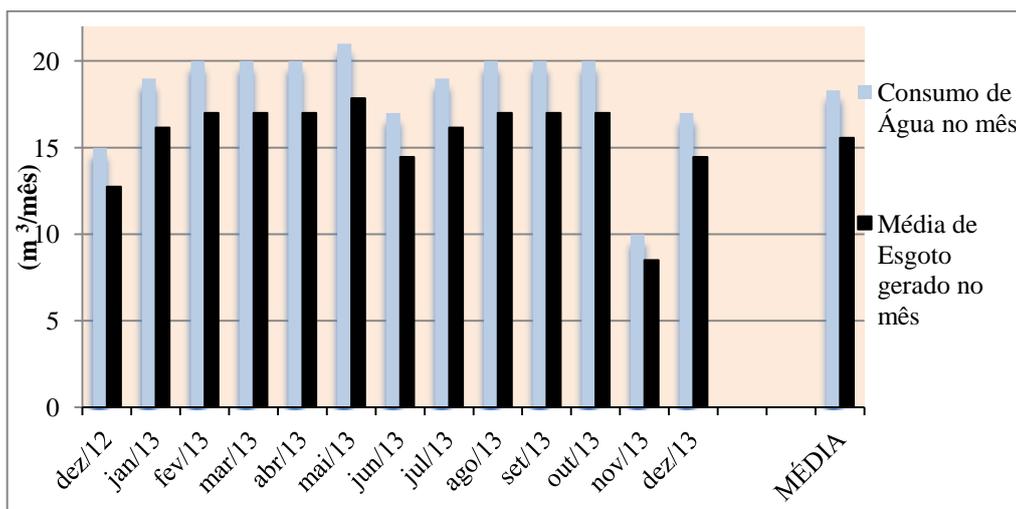


Figura 5.20- Consumo mensal de água e média de esgoto gerado por mês.

Tabela 5.4- Vazão média de esgoto diária e per capita

Período	Média de consumo diário de água	Taxa de retorno	Vazão média diária de esgoto	Vazão média per capita de esgoto
Dezembro/2012 a Janeiro/2013	0,601(m ³ /dia)	85%	0,511(m ³ /dia)	0,128(m ³ /dia.hab)

A carga orgânica, foi determinada utilizando a vazão média diária de esgoto (m³/dia) pela concentração do esgoto em DBO₅ (mg/L). A DBO₅ do esgoto bruto obteve média de 705,17 mg/L e a vazão média diária de esgoto foi de 0,511 m³/dia, assim a carga orgânica aplicada ao sistema foi de 0,360 kg/dia e 0,090 kg/dia.hab.

O TDH (Tempo de Detenção Hidráulica) foi calculado somando os TDH de cada câmara, com base nos volumes úteis de cada câmara (ANEXO A) e pela vazão média de esgoto calculada. Assim, o TDH_{C1} foi de 2,46 dias, o TDH_{C2} foi de 1,39 dias, e o TDH_{C3} foi de 1,4 dias, totalizando no protótipo um TDH de 5,26 dias. Como o protótipo foi dimensionado para uma vazão de 0,8 m³.dia⁻¹, seguindo a Norma da ABNT NBR-7229/93, o TDH, caso operado na vazão de projeto, seria de 3,35 dias, sendo o TDH_{C1} de 1,57 dias, o TDH_{C2} de 0,88 dias e o TDH_{C3} foi de 0,9 dias.

5.5 - ETAPA DE AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO E DA TECNOLOGIA PRODUZIDA

Assim que devidamente instalado, o protótipo concebido e toda a sua dinâmica de funcionamento não requer operador e energia elétrica, uma vez que foi dimensionado para que o esgoto percorresse todas as câmaras por meio da ação da gravidade.

Com relação à manutenção, o protótipo foi dimensionado para que a retirada do lodo fosse realizada anualmente, tanto no T.IM como nos Filtros. Contudo, o protótipo está em operação há oito meses e, até o presente momento, não foi necessário fazer essa retirada. Até o momento a única manutenção realizada foi a retirada de espuma da primeira câmara, em função da coleta do esgoto bruto, uma vez que a espuma formada na parte superior da primeira câmara estava obstruindo a introdução do amostrador.

O modo de operação de uma estação compacta de tratamento de esgoto doméstico unifamiliar influencia em sua eficiência. A estação compacta desse estudo foi instalada em uma residência térrea e operada e avaliada em condições reais de funcionamento. O comportamento de uma estação compacta quando operada com uma vazão e/ou carga orgânica constantes de esgoto bruto é diferente de uma estação que está sujeita aos costumes dos moradores de uma residência, nos quais a vazão e carga orgânica mudam abruptamente. Por exemplo, se no período da manhã, logo que acordam, todos os moradores da residência utilizam a descarga do vaso sanitário e tomam banho, o sistema recebe um volume e uma carga orgânica de esgoto considerável em curto período de tempo.

Observa-se, então, que a mesma estação teria desempenho diferente caso instalada em outra residência ou operada com vazões e/ou cargas orgânicas constantes.

5.5.1 Característica do esgoto bruto

Tendo em vista que este protótipo foi instalado *in loco*, algumas características do esgoto bruto são diferentes se comparadas ao que se encontra na literatura e nas pesquisas desenvolvidas utilizando esgoto doméstico de estações de tratamento convencionais.

Vários são os fatores que podem influenciar as características do esgoto como infiltração na rede, consumo de água *per capita* da região que a ETE atende, condição social, entre outros.

Na pesquisa de Chernicharo e Sousa (2005), na qual os protótipos eram abastecidos pelo efluente que chegava a uma ETE, fica evidente a variação de concentração do esgoto, principalmente nas épocas de chuva, períodos em que o esgoto fica muito diluído. A metodologia adotada para efetuar a coleta do esgoto bruto pode ter interferido na sua concentração, uma vez que coleta foi realizada na primeira câmara, na qual pode ter ocorrido hidrólise em algum grau desconhecido, promovendo um aumento da concentração da DBO.

A Tabela 5.5 a e Tabela 5.5 b mostram as características do esgoto bruto no local em que o protótipo foi instalado. Para tal análise, foram utilizados dados das duas fases de operação que compreenderam o período de julho/2013 a fevereiro/2014.

Tabela 5.5 a- Características do esgoto bruto onde o protótipo foi instalado.

Características do Esgoto Bruto							
	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	ST (mg/L)	STV (mg/L)	STF (mg/L)	SST (mg/L)	SSed (ml/L)
Nº de Coletas	44,00	44,00	42,00	42,00	42,00	44,00	44,00
Média	705,17	1372,03	705,05	393,92	311,13	249,82	3,09
Mediana	682	1377,00	692,50	370,50	312,00	240,00	2,75
Máximo	1024	1640,00	991,00	645,00	467,00	428,00	8,00
Mínimo	344	1090,00	504,00	247,00	180,00	118,00	0,50
Desvio Padrão	134,52	129,07	94,40	79,36	51,34	61,71	1,56

Tabela 5.5 b - Características do esgoto bruto onde o protótipo foi instalado, continuação.

Características do Esgoto Bruto							
	T (°C)	Ph	Condutividade	Alcalinidade Total (mg CaCO₃/L)	Nitrato NO₃-N mg/L	Nitrito NO₂-N mg/L	Fosforo total
Nº de Coletas	44	44	44	44	42	43	24
Média	23,22	6,57	690,05	319,82	11,35	0,11	14,20
Mediana	24	7	604,00	327,50	10	0,10	14,70
Máximo	25	7	1220,00	510,00	30	0,56	24,20
Mínimo	21	6	299,00	110,00	4	0	0,20
Desvio Padrão	1,11	0,19	249,63	97,08	5,18	0,08	5,55

Algumas características do esgoto bruto como a DBO, DQO, alcalinidade, nitrato, do local em que o protótipo foi instalado, se mostraram mais concentradas do que as apresentadas na literatura. De acordo com Von Sperling (2005) o valor típico da alcalinidade é de 200 mg CaCO₃/L e o de nitrato é próximo a zero no esgoto bruto.

Em relação à DBO₅ do esgoto bruto, a média de concentração de 705,17 mg/L na residência se mostra acima da média apresentada por Von Sperling (2005), que diz que, nos sistemas por ele avaliados, o valor de DBO₅ varia de 250 a 400 mg/L, sendo típico 300 mg/L. Os sistemas que Jordão e Pessôa (2009) avaliaram, a variação de DBO₅, vai de 100 a 400 mg/L.

Sartori (2010), em sua pesquisa, encontrou concentrações que variaram de 174 a 201 mg/L, enquanto o sistema monitorado por Bof *et al.* (2001) apresentou uma concentração média de 204 mg/L. No sistema de Alves *et al.* (2004) o valor de DBO foi de 210 mg/L e no sistema de Sousa e Chernicharo (2005), a média de 446 mg/L. Já Orrico (2005), que avaliou o seu sistema operado *in loco*, obteve média de concentração de DBO₅ de 860 mg/L.

Assim como a concentração de DBO_5 , a de DQO também foi alta, apresentando uma média de 1.372,03 mg/L. Na literatura, as concentrações de DQO normalmente são reportadas como sendo menores. Nos sistemas avaliados por Von Sperling (2005), as concentrações variaram de 450 a 800 mg/L e apresentaram como valor típico 600 mg/L.

Já para Jordão e Pessôa (2009), a concentração variou de 200 a 800mg/L, sendo o valor médio em torno de 400 mg/L. Em sua pesquisa, Valentim (1999) encontrou concentrações pequenas de DQO, com média de 316 mg/L, assim como Javarez Júnior (2007), que obteve no sistema avaliado uma média de 327,7 mg/L.

Nos sistemas avaliados por, Alves *et al.* (2004) a concentração média foi de 419 mg/L, Aisse *et al.* (2000) a concentração média foi de 479 mg/L e para Bof *et al.* (2001) a concentração média foi de 477 mg/L. Já Sartori (2010), encontrou no sistema avaliado por ele, concentrações variando de 607 a 623mg/L e o sistema de Silva e Nour (2005) obtiveram média de 790 mg/L. Chernicharo e Sousa (2006) mostraram que nos protótipos avaliados por eles as concentrações médias foram de 271 mg/L na época chuvosa e de 1293 mg/ L no período sem chuvas.

Os resultados de DBO_5 e DQO do esgoto bruto analisados foram plotados em um gráfico box-plot, Figura 3.1, para analisar de forma comparativa as duas concentrações. O gráfico indica os valores máximo e mínimo (*non-outliers range*), o quartil superior de 75% e inferior de 25% e mediana, além dos discrepantes (*outliers*) e extremos (*extremes*).

Assim, o Gráfico box-plot comparativo da DQO e DBO_5 mostra que 50% dos dados da DQO no esgoto bruto (E.B), estão entre 1.090 e 1.640 mg/L e que a mediana é 1.377 mg/L. Na DBO_5 , 50% dos dados do E.B estão entre 620 e 788 mg/L e a mediana é 682 mg/L.

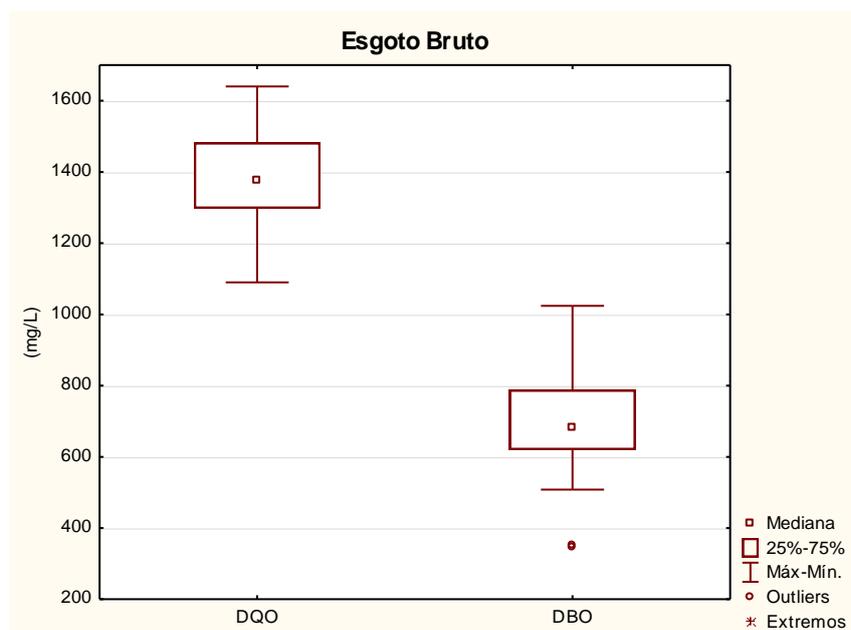


Figura 5.21- Gráfico box-plot da concentração do esgoto bruto para DBO₅ e DQO.

A relação DQO/DBO₅ de acordo com Von Sperling (2005) possui uma fração biodegradável elevada quando for menor que 2,5. Sendo assim o esgoto bruto da residência em que o protótipo foi instalado possui uma elevada fração biodegradável, uma vez que a relação DQO/DBO₅ é de 1,96, confirmando a indicação para tratamento biológico.

Outro gráfico box-plot, Figura 5.22, mostra o comparativo entre os resultados da série de sólidos (ST, STV, STF e SST) no esgoto bruto da residência em que o protótipo foi instalado. Verifica-se que 50% dos dados do ST no E.B, estão entre 642 e 775 mg/L e que a mediana é 692,5 mg/L. No STV 50% dos dados do E.B estão entre 336 e 439 mg/L e a mediana é 370,5 mg/L. Já os STF 50% dos dados do E.B estão entre 285 e 335 mg/L e a mediana é 312 mg/L. Por último os SST 50% dos dados do E.B estão entre 207 e 285 mg/L e a mediana é 240 mg/L.

Os resultados da série de sólidos do protótipo são similares às faixas apresentadas pelos esgotos avaliados por Von Sperling (2005), nos quais os ST estão na faixa de 700- 1350 mg/L, STV na faixa de 365 -700 mg/L, STF 340 – 650 mg/L e SST na faixa de 200-450 mg/L.

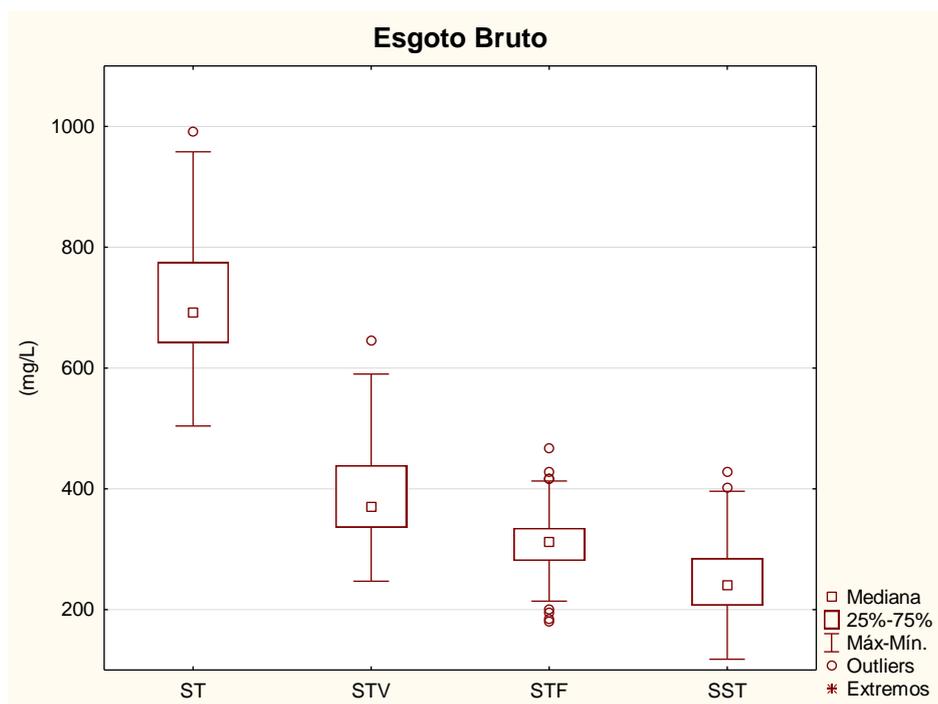


Figura 5.22- Gráfico box-plot da concentração do esgoto bruto para ST, STV, STF e SST.

5.5.2 Temperatura, pH, alcalinidade e condutividade

Os resultados de temperatura, pH, alcalinidade e condutividade estão apresentados em conjunto, tanto os da fase 1 como os da fase 2.

A temperatura se manteve praticamente constante. A média no E.B foi de 23,22 °C, no T.I.M foi de 23,36 °C, no F.A.1 foi de 23,14°C e no F.A.2+D.L.S 23,13 °C, como mostra a Tabela 5.6. A temperatura está relacionada à transferência de calor por radiação solar e, como as coletas foram realizadas por volta das 7 horas da manhã, possivelmente a temperatura era inferior nesse horário em comparação com o restante do dia.

Tendo em vista que a temperatura está intimamente ligada à atividade microbiana, e à taxa das reações bioquímicas de remoção de poluentes e que, de acordo com Chernicharo (2007), o desempenho dos reatores anaeróbios de manta de lodo é mais adequado quando o esgoto possui temperatura superior a 20°C e prejudicial com temperaturas inferiores a 16°C, as temperaturas obtidas nos quatro pontos coletados são consideradas satisfatórias para manutenção das atividades microbianas do protótipo concebido.

Tabela 5.6- Resultados da Temperatura nos quatro pontos coletados do protótipo.

Resultados da Temperatura (°C)				
	E.B	Câmara 1 T.I.M	Câmara 2 F.A(1)	Câmara 3 F.A(2)+ D.S.L
Nº de Coletas	44	43	43	43
Média	23,22	23,36	23,14	23,13
Mediana	24	23,80	24	24
Máximo	25	25,60	25	25
Mínimo	21	19,50	20	20
Desvio Padrão	1,11	1,37	1,27	1,27

E.B=Esgoto Bruto, T.I.M= Tanque Imhoff Modificado, F.A.1=Filtro Anaeróbio 1.
F.A.2=Filtro Anaeróbio 2 + D.S.L= Decantador Secundário Laminar.

A Tabela 5.7 apresenta os resultados do protótipo concebido em relação ao pH nos quatro pontos coletados, que obteve média de 6,57 no E.B, 6,61 no T.I.M e 6,82 no F.A.1 e no F.A.2+D.L.S. O pH é uma característica do esgoto que está intimamente ligada às taxas de crescimento dos microrganismos, sendo um aspecto favorável a neutralidade. Portanto, os resultados de pH do protótipo próximos a neutralidade provavelmente favoreceram para o desenvolvimento da atividade dos microrganismos responsáveis pelo tratamento do esgoto.

Tabela 5.7- Resultados de pH nos quatro pontos coletados do protótipo.

Resultados de pH				
	E.B	Câmara 1 T.I.M	Câmara 2 F.A(1)	Câmara 3 F.A(2)+ D.S.L
Nº de Coletas	44	43	43	43
Média	6,57	6,61	6,82	6,82
Mediana	7	6,61	7	7
Máximo	7	6,94	7	7
Mínimo	6	6,07	6	6
Desvio Padrão	0,19	0,21	0,15	0,17

E.B=Esgoto Bruto, T.I.M= Tanque Imhoff Modificado, F.A.1=Filtro Anaeróbio 1.
F.A.2=Filtro Anaeróbio 2 + D.S.L= Decantador Secundário Laminar.

A quantificação da característica alcalinidade total tem como objetivo medir a capacidade do meio aquoso em neutralizar ácidos, ou seja, sua capacidade de não mudar o pH (tampão). Dessa forma, a Tabela 5.8 apresenta os resultados de alcalinidade nos pontos coletados do protótipo, sendo que no E.B foi de 319,82 mg CaCO₃/L, no T.I.M foi de

254,88 mg CaCO₃/L, no F.A.1 foi de 284,09 mg CaCO₃/L e no F.A.2+D.L.S foi de 289,79 mg CaCO₃/L.

Com altas concentrações de alcalinidade do efluente, o protótipo possui elevada capacidade de tamponamento. É provável que a manutenção do pH próximo a neutralidade pode estar associado às altas concentrações de alcalinidade dos efluentes nas três câmaras do protótipo.

Fazendo uma comparação com a literatura pesquisada, o protótipo obteve média semelhante aos sistemas de Aisse *et al.* (2000), que compararam os sistemas UASB ao RAC, obtiveram pH em média de 6,7 nos dois sistemas e os sistema de Silva e Nour (2005) composto por um reator compartimentando anaeróbio/aeróbio, que pH ficou entre 6,7 a 7,0. Já os dois sistemas de Javarez Junior (2007), compostos por UASB e RAC seguidos por Filtro Anaeróbico (FA), obtiveram como valor típico de pH 7,93 para o esgoto bruto. Já o sistema de Sartori (2010), composto por desarenador, tanque séptico e Vermifiltro (bagaço de cana-de-açúcar, serragem de madeira), obteve pH de 6,32 a 7,81 no esgoto bruto e 6,5 a 7,81 no efluente final.

Tabela 5.8- Resultados de alcalinidade do efluente nos quatro pontos coletados do protótipo.

Resultados de Alcalinidade (mgCaCO₃/L)				
	E.B	Câmara 1 T.I.M	Câmara 2 F.A(1)	Câmara 3 F.A(2)+ D.S.L
Nº de Coletas	44	43	43	43
Média	319,82	254,88	284,09	289,79
Mediana	327,50	257,50	300	294
Máximo	510	390	407	418
Mínimo	110	100	120	130
Desvio Padrão	97,08	70,71	72,24	71,18

E.B=Esgoto Bruto, T.I.M= Tanque Imhoff Modificado, F.A.1=Filtro Anaeróbio 1. F.A.2=Filtro Anaeróbio 2 + D.S.L= Decantador Secundário Laminar.

A Tabela 5.9 apresenta os resultados do protótipo em relação à condutividade dos efluentes oriundos nos quatro pontos coletados nas etapas de tratamento, que obtiveram um valor médio de 690 µS/cm no E.B, 582,43 µS/cm no T.I.M, 581,69 µS/cm no F.A.1 e 562,94

$\mu\text{S/cm}$ no F.A.2+D.L.S. Tais resultados mostram que a condutividade elétrica variou muito pouco de uma câmara para outra.

O sistema de Sartori (2010), composto por desarenador, tanque séptico e Vermifiltro (bagaço de cana-de-açúcar, serragem de madeira), apresentou condutividade semelhante ao observados no sistema em estudo, de 540 a 650 $\mu\text{S/cm}$ no esgoto bruto e 550 a 930 $\mu\text{S/cm}$ no efluente final.

Tabela 5.9- Resultados de condutividade ($\mu\text{S/cm}$) dos efluentes nos quatro pontos coletados do protótipo.

Resultados de Condutividade				
	E.B	Câmara 1	Câmara 2	Câmara 3
		T.I.M	F.A(1)	F.A(2)+ D.S.L
	($\mu\text{S/cm}$)	($\mu\text{S/cm}$)	($\mu\text{S/cm}$)	($\mu\text{S/cm}$)
Nº de Coletas	44	43	43	43
Média	690,05	582,43	581,69	562,94
Mediana	604	551,00	560	544
Máximo	1220	842,00	829	819
Mínimo	299	372,00	295	267
Desvio Padrão	249,63	143,84	133,01	138,31

E.B=Esgoto Bruto, T.I.M= Tanque Imhoff Modificado, F.A.1=Filtro Anaeróbio 1. F.A.2=Filtro Anaeróbio 2 + D.S.L= Decantador Secundário Laminar.

5.5.3 DBO₅

Os resultados de DBO₅ foram divididos em duas fases. Na primeira, que foi a fase de inicialização, a concentração de DBO₅ nos pontos F.A.1 e F.A.2+D.L.S foi alta, provavelmente porque estava em fase de estabilização, ou seja, não havia se desenvolvido o biofilme, que é responsável pela decomposição da matéria orgânica.

Na segunda fase, o sistema se encontrava estabilizado e, dessa forma, a concentração de DBO₅ nas duas últimas câmaras diminuiu consideravelmente. No entanto o F.A.1 foi muito mais eficiente que o F.A.2+D.L.S. Na Figura 5.23 pode-se observar a concentração de DBO₅ ao longo das duas fases nos quatro pontos coletados.

Por análise visual simples do gráfico da Figura 5.23, pode-se observar que no início da fase 2 (03/10/2013) o sistema já está estabilizado, indicado pela redução nos níveis de DBO do

efluente do F.A em relação ao efluente do T.I.M. Como as coletas da fase 1 foram até 10/09/2013, por conta da reforma do laboratório, não foi possível precisar quando a fase de inicialização terminou. Conclui-se que tenha sido entre os dias 10/09/2013 e 03/10/2014.

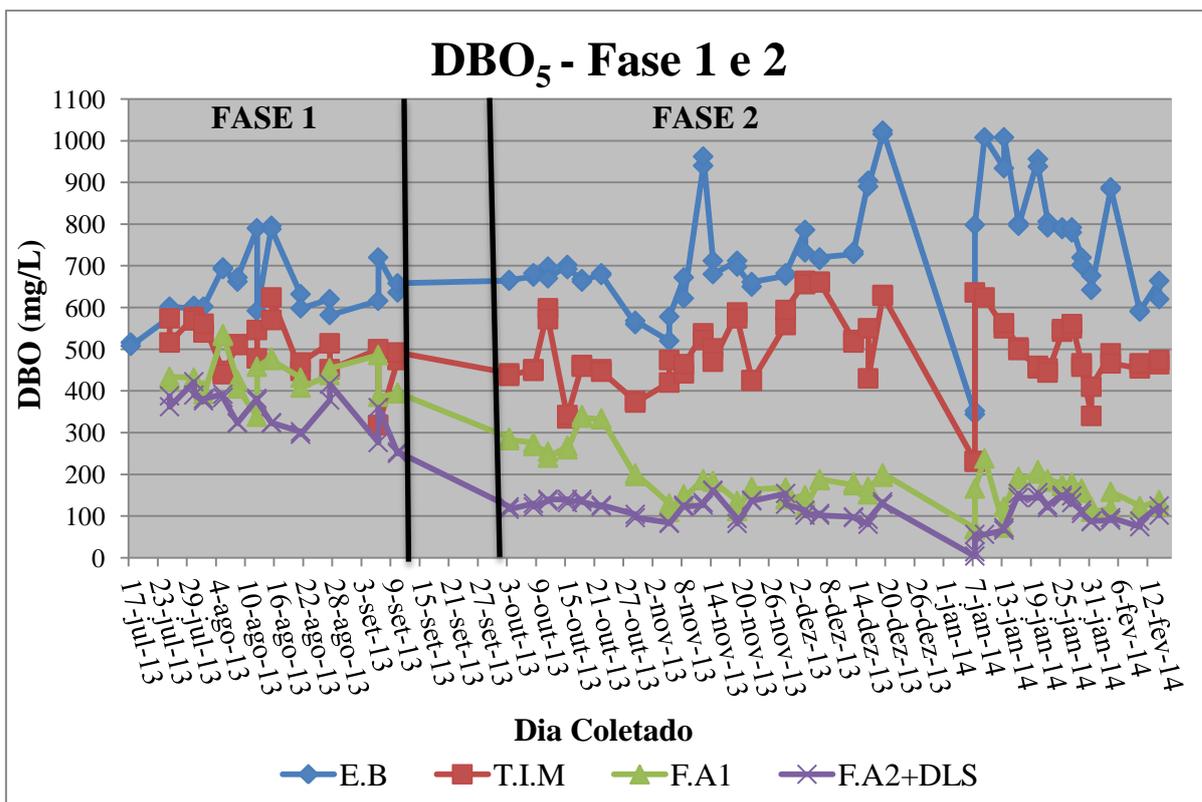


Figura 5.23- Gráfico da concentração de DBO₅ nos efluentes dos quatro pontos coletados ao longo do monitoramento, nas fases 1 e 2.

Pode-se observar na Figura 5.23, que houve uma queda abrupta da concentração de DBO₅ nos quatro pontos coletados, em uma coleta específica. O motivo é que a coleta foi realizada no dia 07/01/2014, três dias após o protótipo voltar a operar, isso porque os moradores estiveram ausentes no período de final de ano.

A média da concentração de DBO₅ do efluente na fase 1 nos quatro pontos coletados está representada na Tabela 5.10, por meio da qual pode-se confirmar o que é mostrado na Figura 5.23: as concentrações de DBO₅ mantiveram-se altas nos quatro pontos, sendo 632,68mg/L no E.B, 505,95 mg/L no T.I.M, 434,41 mg/L no s F.A.1 e 348,95mg/L no conjunto F.A.2+D.L.S.

Tabela 5.10- Resultados da concentração de DBO₅ na fase 1, inicialização, nos quatro pontos coletados do protótipo.

Resultados da DBO₅ em (mg/L) Fase 1				
Fase 1	E.B	Câmara 1	Câmara 2	Câmara 3
		T.I.M	F.A(1)	F.A(2)+ D.S.L
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
Nº de Coletas	12	11	11	11
Média	632,68	505,95	434,41	348,95
Mediana	616	511	431	369
Máximo	796	624	536	422
Mínimo	508	318	338	250
Desvio Padrão	81,06	65,64	47,02	50,08

E.B=Esgoto Bruto, T.I.M= Tanque Imhoff Modificado, F.A.1=Filtro Anaeróbio 1.
F.A.2=Filtro Anaeróbio 2 + D.S.L= Decantador Secundário Laminar.

Já a Tabela 5.11 mostra as concentração de DBO₅ da fase 2 nos quatro pontos coletados. Pode-se observar que a concentração do esgoto bruto (E.B) foi maior que na fase 1. Isso se deu principalmente porque, nos meses de dezembro e janeiro a concentração de DBO₅ foi bem acima da média de 733,48 mg/L, como pode se observar na Figura 5.23. Com relação às concentrações nas câmaras 1, 2 e 3, as médias foram menores que na fase 1, sendo de 491,25 mg/L no T.I.M, 182,75 mg/L no s F.A.1 e 112,38mg/L no conjunto F.A.2+D.L.S, que confirmaram a hipótese de que o sistemas já estivesse estabilizado.

Tabela 5.11- Resultados da concentração de DBO₅ da fase 2, já estabilizado, nos quatro pontos coletados do protótipo.

Resultados da DBO₅ em (mg/L) Fase 2=Estabilizado				
Fase 2	E.B	Câmara 1	Câmara 2	Câmara 3
		T.I.M	F.A(1)	F.A(2)+ D.S.L
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
Nº de Coletas	32	32	32	32
Média	733,48	491,25	182,75	112,38
Mediana	702	468	175	122
Máximo	1024	664	342	162
Mínimo	344	230	68	4
Desvio Padrão	140,97	94,11	63,55	32,22

E.B=Esgoto Bruto, T.I.M= Tanque Imhoff Modificado, F.A.1=Filtro Anaeróbio 1.
F.A.2=Filtro Anaeróbio 2 + D.S.L= Decantador Secundário Laminar.

A Tabela 5.12 mostra a eficiência de remoção de DBO₅ do protótipo em cada câmara nas fases de operação e monitoramento. Assim, em relação à primeira fase, o protótipo

alcançou 20,3 % no T.I.M, 14,14% no F.A(1) e 19,67% no conjunto F.A(2)+ D.S.L, totalizando 44,84% de eficiência do protótipo na remoção de DBO₅. Nessa fase, o T.I.M foi o que apresentou a melhor eficiência, seguida por perto do conjunto F.A(2)+ D.S.L.

Já na fase 2, o T.I.M alcançou 33,2 %, 62,8% no F.A(1) e 38,51% no conjunto F.A(2)+ D.S.L, totalizando 84,68 % de eficiência do protótipo na remoção de DBO₅. Diferente da primeira fase, o F.A(1) mostrou-se mais eficiente, provavelmente por conta do biofilme, que nessa fase se encontrava completamente desenvolvido.

Em números absolutos, o sistema obteve uma eficiência total de remoção de DBO₅ de 289,73 mg/L na primeira fase, já na segunda fase o sistema removeu 621,1 mg/L de DBO₅, mostrando a boa eficiência do sistema em remover matéria orgânica.

Tabela 5.12- Concentração de DBO₅ e eficiência do protótipo e de cada câmara, nas fases de inicialização e estabilizada.

Resultados da DBO ₅ em (mg/L) e (%) Fase 1= inicialização e Fase 2= Estabilizada									
E.B	Câmara 1		Câmara 2		Câmara 3		Protótipo		
	T.I.M		F.A(1)		F.A(2)+ D.S.L				
(mg/L)	(mg/L)	Eficiência (%)	(mg/L)	Eficiência (%)	(mg/L)	Eficiência (%)	Eficiência (mg/L)	Eficiência (%)	
Fase 1									
Nº de Coletas	12	11	11	11	11	11		11	
Média	632,68	505,95	20,03	434,41	14,14	348,95	19,67	289,73	44,84
Fase 2									
Nº de Coletas	32	32	32	32	32	32		32	
Média	733,48	491,25	33,02	182,75	62,80	112,38	38,51	621,1	84,68

E.B=Esgoto Bruto, T.I.M= Tanque Imhoff Modificado, F.A.1=Filtro Anaeróbio 1.
F.A.2=Filtro Anaeróbio 2 + D.S.L= Decantador Secundário Laminar.

Os resultados de DBO₅ analisados se encontram representados em um gráfico box-plot, tanto da primeira fase, Figura 5.24, como da segunda, Figura 5.25, realizando um comparativo nos quatro pontos coletados.

Assim, o Gráfico box-plot da DBO₅ da fase 1 mostrado na Figura 5.24, mostra que no E.B, 50% dos dados estão entre 592 e 672 mg/L e que a mediana é 616 mg/L, no T.I.M 50% dos dados estão entre 468 e 561 mg/L e que a mediana é 511 mg/L. No F.A.1, 50% dos dados estão entre 402 e 458 mg/L e a mediana é 430,5 mg/L. Já no conjunto F.A.2+D.L.S, 50% dos dados estão entre 322 e 384 mg/L e a mediana é 369 mg/L.

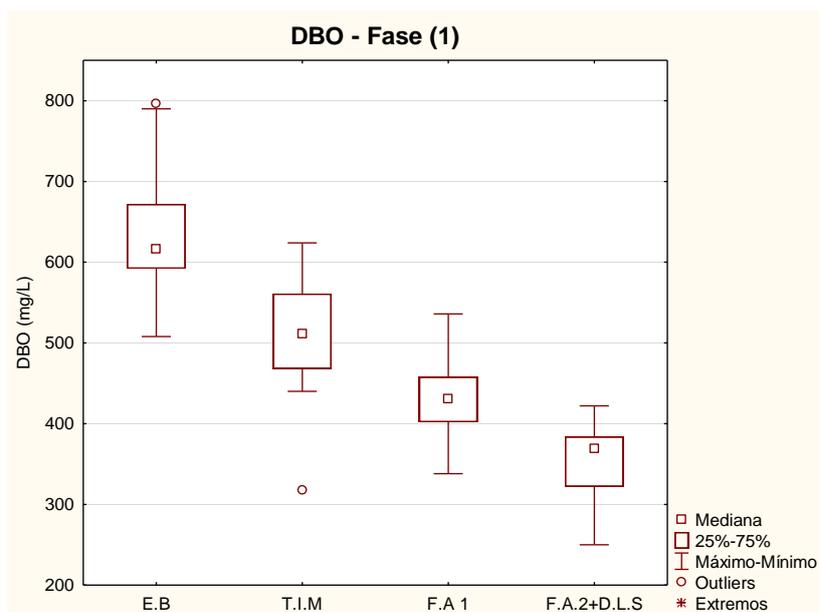


Figura 5.24- Box -Plot do resultado da concentração de DBO₅ nas fases 1.

Dessa forma, o Gráfico box-plot da DBO₅ da segunda fase, mostrado na Figura 5.25, apresenta que no E.B, 50% dos dados estão entre 665 e 797 mg/L e que a mediana é 702 mg/L. No T.I.M, 50% dos dados estão entre 445 e 554 mg/L e a mediana é 468 mg/L. Já no F.A.1, 50% dos dados estão entre 139 e 202 mg/L e a mediana é 175 mg/L e no conjunto F.A.2+D.L.S, 50% dos dados estão entre 93 e 135 mg/L e a mediana é 122 mg/L.

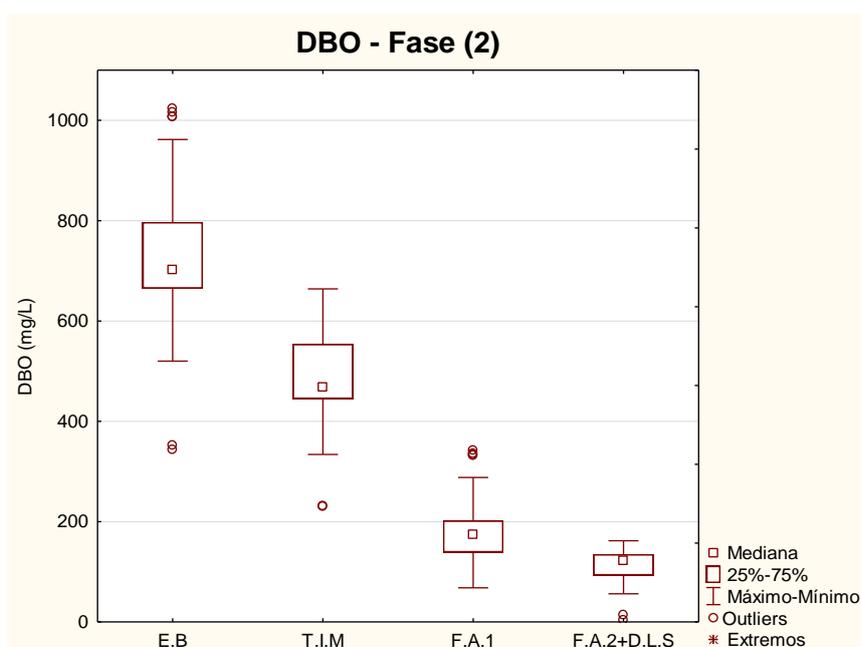


Figura 5.25- Box -Plot do resultado da concentração de DBO₅ na fase 2.

Realizando um comparativo à literatura pesquisada, o protótipo estudado obteve boa eficiência de remoção de DBO₅, sendo de 84,68%, em valores absolutos a eficiência se mostra ainda mais eficiente uma vez que removeu 621,1 mg/L, uma vez que foi operado em condições reais e por se tratar de um sistema compacto e modular, não havendo nenhum outro sistema auxiliar. De acordo com dados apresentados por Von Sperling (2005), os tanques sépticos seguidos por filtro anaeróbio convencionais possuem eficiência de 80-85%, enquanto o sistema composto por UASB seguido por filtro anaeróbio, apresenta eficiências entre 75 e 87%. Já Sartori (2010), com um sistema composto por desarenador, tanque séptico e Vermifiltro (bagaço de cana-de-açúcar, serragem de madeira), atingiu eficiência de 80% DBO.

Bof *et al.* (2001), operando em condições reais e tratando esgoto doméstico de cerca de 5.000 habitantes, por meio de sistema formado por caixa de areia, gradeamento, UASB seguido por biofiltro aerado submerso, obteve média de remoção de 94% para DBO, sendo que em valores absolutos removeu 192 mg/L. Alves *et al.* (2004), utilizando uma unidade biológica modular, composta por um reator UASB seguido por filtro biológico percolador (FBP) e unidade de desinfecção, obteve 87% e 183 mg/L de remoção para DBO. Chernicharo e Sousa (2005) avaliaram protótipos modulares instalados junto a uma ETE, assim, os protótipos com tanque séptico modificado seguido por um reator híbrido e um filtro biológico percolador atingiram eficiência de 29 a 78%, sendo que em valores absolutos removeu de 22 a 306 mg/L. Já os protótipos com tanque séptico modificado seguido por dois reatores híbridos atingiram eficiência de 88 a 89%, sendo que em valores absolutos removeu de 395 a 398 mg/L. Por fim, Oricco (2005), que operou em condições reais e tratou o esgoto *in loco* em comunidades rurais utilizando tanques Imhoff seguidos por “wetlands”, obteve eficiência de 89% e 765 mg/L na remoção de DBO₅.

Em comparação aos sistemas compactos comerciais (lembrando que os dados apresentados a seguir são os disponíveis nos sites/cartilhas, não havendo nenhuma comprovação dos resultados), o protótipo estudado apresentou uma eficiência na remoção de DBO₅ semelhante. Por exemplo: O sistema comercializado pela Hidrus (2012), composto de um reator com câmara de digestão anaeróbia, biofiltro aerado com câmara de digestão aeróbia, uma câmara de flotação de sólidos por ar difuso e um sistema compacto de cloração de pastilhas atinge eficiência de 90% para DBO₅. Já o sistema comercializado pela Delta

(2012), composto por reator anaeróbio, filtro bio-aerado, decantador e tanque de desinfecção, atinge eficiência de 90% para DBO₅. Por fim o sistema comercializado pela Hemfibra (2012), composto por um digestor e um filtro aneróbio atinge 70 a 85% eficiência para DBO₅, e o sistema que possui um reator anaeróbio de manto de lodo composto por duas câmaras sequenciais, filtro biológico aerado submerso composto três câmaras sequenciais (aeróbica, anóxica, aeróbica), decantador secundário e câmara de desinfecção com pastilhas de cloro, atinge 90 a 96% eficiência para DBO₅.

5.5.4 DQO

A apresentação dos resultados de DQO foi dividida em duas fases, de acordo com a operação, denominadas Fase 1 e Fase 2. O sistema mostrou que na primeira fase a concentração de DQO se manteve alta nos quatro pontos coletados, por ser a fase de inicialização do sistema. Já na segunda fase, com o sistema estabilizado, as concentrações dos F.A.1 e F.A.2+D.L.S diminuíram consideravelmente. Na

Figura 5.26 pode-se observar a concentração de DQO ao longo das duas fases nos quatro pontos coletados.

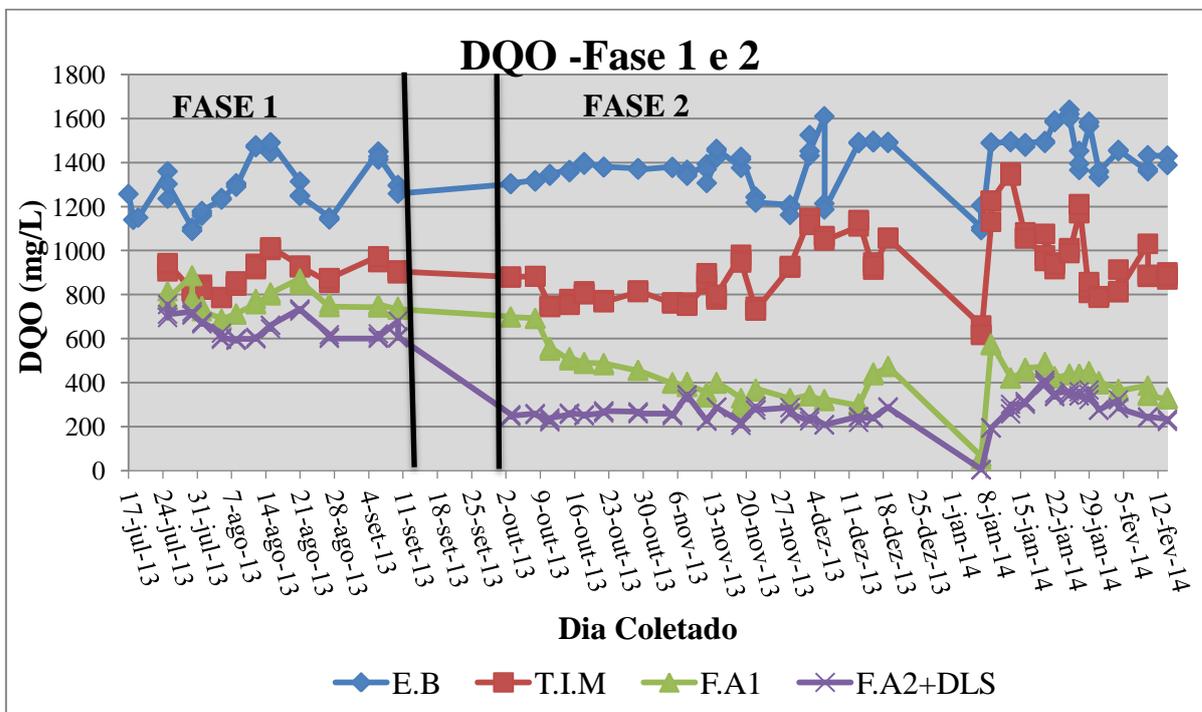


Figura 5.26- Gráfico da concentração de DQO nos efluentes dos quatro pontos coletados ao longo do monitoramento, nas fases 1 e 2.

Na Figura 5.26, pode-se observar uma queda abrupta da concentração de DQO nos quatro pontos coletados, em uma coleta específica. O motivo é que a coleta foi realizada dia 07/01/2014, três dias após o período de recesso de final de ano dos moradores, em que o sistema ficou inoperante.

A Tabela 5.13 mostra a média da concentração de DQO na fase 1 nos quatro pontos coletados. Por meio dela é possível confirmar que nessa fase a concentração de DQO nos quatro pontos coletados foi alta, sendo 1279,94 mg/L no E.B, 892,27 mg/L no T.I.M, 768,27 mg/L no F.A.1 e 649,82 mg/L no conjunto F.A.2+D.L.S.

Tabela 5.13- Resultados da concentração de DQO na fase 1, inicialização, nos quatro pontos coletados do protótipo.

Resultados da DQO em (mg/L) Fase 1=Inicialização				
Fase 1	E.B	Câmara 1 T.I.M	Câmara 2 F.A.1	Câmara 3 F.A.2+ D.S.L
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
Nº de Coletas	12	11	11	11
Média	1279,94	892,27	768,27	649,82
Mediana	1258	905	756	625,00
Máximo	1492	1015	887	755,00
Mínimo	1090	785	685	592,00
Desvio Padrão	125,10	65,95	55,18	52,23

E.B=Esgoto Bruto, T.I.M= Tanque Imhoff Modificado, F.A.1=Filtro Anaeróbio 1.
F.A.2=Filtro Anaeróbio 2 + D.S.L= Decantador Secundário Laminar.

Em relação à fase 2, a Tabela 5.14 mostra a concentração de DQO nos quatro pontos coletados. Desta forma, comparando-se apenas as médias a concentração do esgoto bruto (E.B) na fase 2, 1406,56 mg/L, apresenta valores maiores do que na fase 1.

Por sua vez concentração de DQO no T.I.M foi 919,95 mg/L, com relação ao F.A.1 e o conjunto F.A.2+D.L.S, as concentrações de DQO foram muito menores que na fase 1, demonstrando que o sistema estava estabilizado, com 421,73mg/L e 265,2mg/L respectivamente.

Tabela 5.14- Resultados da concentração de DQO na fase 2, estabilizado, nos quatro pontos coletados do protótipo.

Resultados da DQO em (mg/L) Fase 2=Estabilizado				
Fase 2	E.B	Câmara 1	Câmara 2	Câmara 3 F.A(2)+
		T.I.M	F.A(1)	D.S.L
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
Nº de Coletas	32	32	32	32
Média	1406,56	919,95	421,73	265,20
Mediana	1396	885	421	260,00
Máximo	1640	1355	700	412,00
Mínimo	1093	618	51	4,00
Desvio Padrão	113,08	162,61	116,68	66,99

E.B=Esgoto Bruto, T.I.M= Tanque Imhoff Modificado, F.A.1=Filtro Anaeróbio 1.
F.A.2=Filtro Anaeróbio 2 + D.S.L= Decantador Secundário Laminar.

Tratando-se da eficiência de remoção de DQO, a Tabela 5.15 mostra a eficiência do protótipo em cada câmara. Desta forma, o sistema obteve na primeira fase uma média de remoção de DQO no T.I.M de 30,29%, no F.A(1) de 13,9% e no conjunto F.A(2)+ D.S.L de 15,42, totalizando 49,23 % de eficiência do protótipo. Na segunda fase, com o sistema estabilizado, a eficiência de remoção de DQO foi de 34,60% no T.I.M, 54,16% no F.A(1) e 37,12% no conjunto F.A(2)+ D.S.L, totalizando uma eficiência de 81,15%. As médias demonstram que tanto o F.A(1) quanto o conjunto F.A(2)+ D.S.L, aumentaram consideravelmente a eficiência nesta fase.

O sistema mostrou-se muito eficiente na remoção de DQO em números absolutos , uma vez que removeu 630,2 mg/L de DQO na primeira fase e na segunda, o sistema removeu 1141,8 mg/L de DQO.

Tabela 5.15- Concentração de DQO e eficiência do protótipo e de cada câmara, nas fases de inicialização e estabilizada.

Resultados da DBO₅ em (mg/L) e (%) Fase 1= inicialização e Fase 2= Estabilizada								
	E.B	Câmara 1		Câmara 2		Câmara 3		Protótipo
		T.I.M		F.A(1)		F.A(2)+ D.S.L		
	(mg/L)	(mg/L)	Eficiência (%)	(mg/L)	Eficiência (%)	(mg/L)	Eficiência (%)	Eficiência (mg/L)
								Eficiência (%)
Fase 1								
Nº de Coletas	12	11		11		11		11
Média	1280	892,27	30,29	768,27	13,90	649,82	15,42	630,2
Fase 2								
Nº de Coletas	32	32		32		32		
Média	1407	919,95	34,60	421,73	54,16	265,20	37,12	1141,8

E.B=Esgoto Bruto, T.I.M= Tanque Imhoff Modificado, F.A.1=Filtro Anaeróbio 1.
F.A.2=Filtro Anaeróbio 2 + D.S.L= Decantador Secundário Laminar.

As Figura 5.27 e Figura 5.28 mostram um comparativo, feito em box-plot, dos quatro pontos coletados nas fases 1 e 2.

Assim, a Figura 5.27 apresenta o Gráfico box-plot da DQO da fase 1, inicialização, demonstrando que, no E.B, 50% dos dados estão entre 1.164,5 e 1.386,5 mg/L e que a mediana é 1.258 mg/L. No T.I.M, 50% dos dados estão entre 841 e 932 mg/L e a mediana é 905 mg/L e no F.A.1, 50% dos dados estão entre 734 e 797 mg/L e a mediana é 756 mg/L. No conjunto F.A.2+D.L.S, 50% dos dados estão entre 603 e 696 mg/L e a mediana é 625 mg/L.

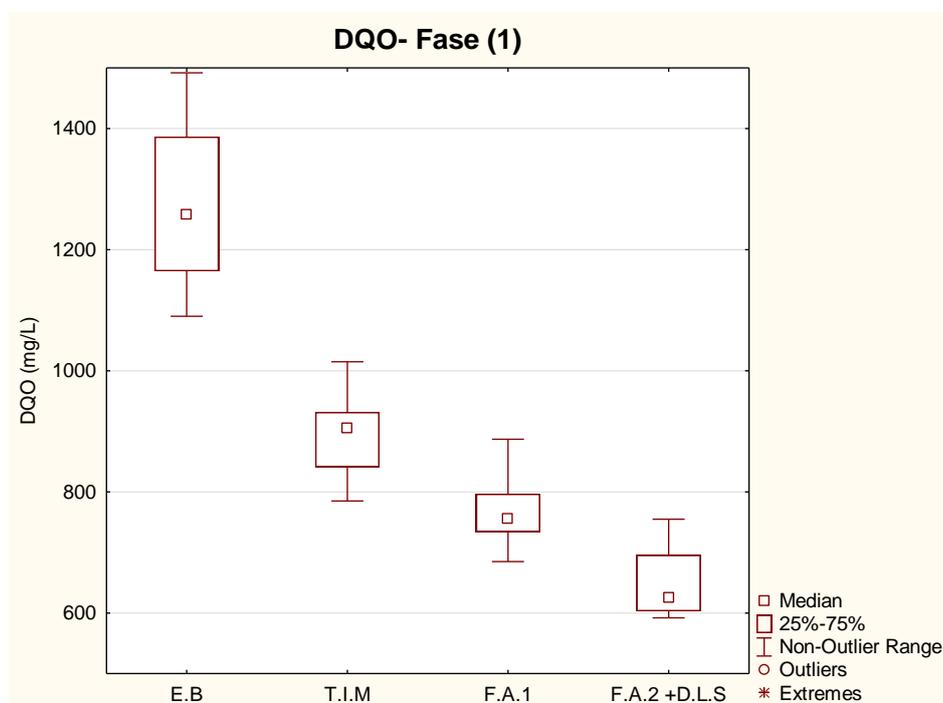


Figura 5.27- Box-plot do resultado da concentração de DQO nas fases 1.

O Gráfico box-plot da DQO na segunda fase, já estabilizado, apresentado pela Figura 5.28, mostra que no E.B, 50% dos dados estão entre 1.489 e 1.352 mg/L e que a mediana é 1.396 mg/L. No T.I.M, 50% dos dados estão entre 789,5 e 1.050,5 mg/L e a mediana é 885 mg/L e no F.A.1, 50% dos dados estão entre 346,5 e 477 mg/L e a mediana é 423 mg/L. No conjunto F.A.2+D.L.S, 50% dos dados estão entre 240 e 291 mg/L e a mediana é 260 mg/L.

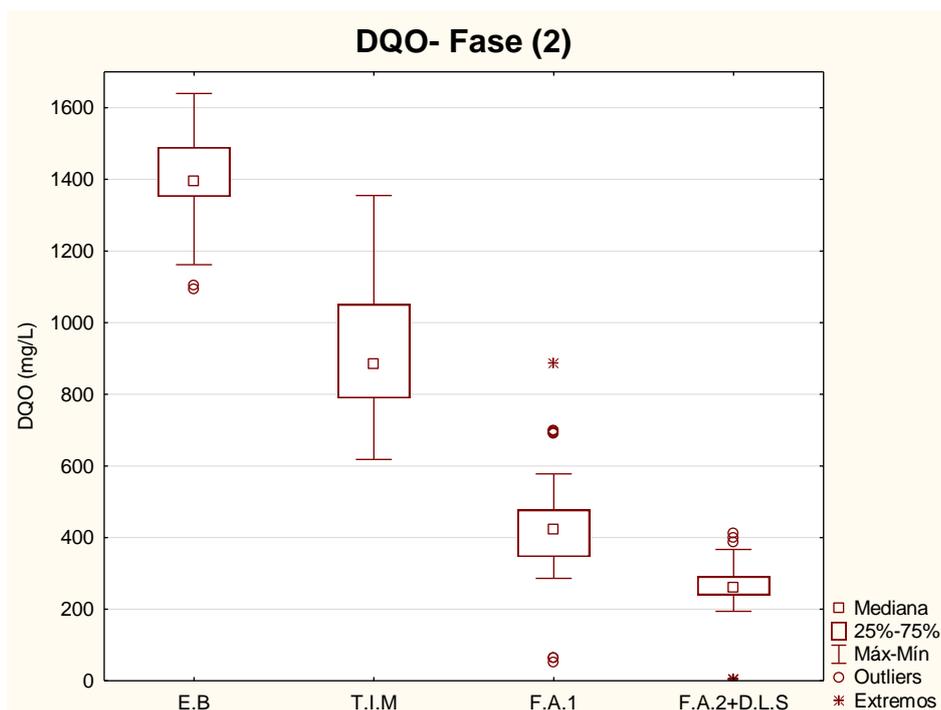


Figura 5.28- Box -Plot do resultado da concentração de DQO nas fases 2.

No comparativo à literatura pesquisada, o protótipo obteve ótima eficiência na remoção de DQO, com média de 81,15%, sendo 1141,8 mg/L em valores absolutos na fase em que estava estabilizado. De acordo com Von Sperling (2005), os tanques sépticos seguidos por filtro anaeróbico convencionais possuem eficiência de remoção de DQO na faixa de 70-80% e o UASB seguido por filtro anaeróbico, entre 70 e 80%. Utilizando um tanque séptico modificado seguido por Leitões cultivados com macrófitas (*Typha sp. ou Eleocharis sp*), Valentim (1999) obteve em uma de suas configurações uma eficiência na remoção de DQO variando de 70 a 97%. Já Aisse *et al.* (2000), que compararam o UASB ao RAC, obtiveram para o UASB 70% e 335 mg/L e para RAC 58,2 % e 279 mg/L de média na eficiência na remoção de DQO.

Os reatores anaeróbios dispostos em série de Godoy Júnior (2003) conseguiram uma média de 82% e 1230 mg/L na remoção de DQO. Já Silva e Nour (2005) que utilizaram um sistema composto por um reator compartimentando anaeróbico/aeróbico, conseguiram com a configuração mais eficiente uma eficiência de 73,7% e 506 mg/L na remoção de DQO. O sistema de Tonetti *et al.* (2010), composto por uma associação de filtros de areia aos filtros anaeróbios com recheio de bambu, obtiveram, na configuração com os melhores

resultados, eficiência de 80,8% com aplicação de esgoto de 100L.m^{-2} e 98,6% com taxa de aplicação de 20L.m^{-2} .

Na avaliação de quatro protótipos modulares, sendo os da primeira etapa os protótipos 1 e 2, compostos por Tanque séptico modificado, reator híbrido (UASB + filtro anaeróbio) e filtro Biológico (FB) e os da segunda etapa, protótipo 3 e 4, compostos por Tanque séptico modificado e duas vezes reator híbrido (UASB + filtro anaeróbio), Chernicharo e Sousa (2005) obtiveram para os da primeira etapa uma eficiência de remoção de DQO de 33 a 86%, sendo que em valores absolutos removeu de 91 a 941 mg/L e os da segunda de 84 a 91%, sendo que em valores absolutos removeu de 1090 a 1250 mg/L.

Já Sartori (2010), com um sistema composto por desarenador, tanque séptico, Vermifiltro (bagaço de cana-de-açúcar, serragem de madeira), alcançou remoções de até 80 % de DQO. O sistema de Alves *et al.* (2004), composto por uma unidade biológica formada por reator UASB seguido por filtro biológico percolador (FBP) e unidade de desinfecção, obtiveram eficiências médias de remoção de 78% e 183 mg/L para DQO.

Em relação aos sistemas operados em condições reais, Javarez Júnior (2007), com dois sistemas, UASB e RAC seguidos por Filtro Anaeróbio (FA), obteve os seguintes resultados: o sistema com RAC obteve média de redução de 70,45% e 230,1 mg/L para DQO e com UASB obteve 67,30% e 220,5 mg/L. Já os sistemas de Bof *et al.* (2001), que trataram esgoto de comunidades de até 5.000 habitantes utilizando um sistema composto por UASB seguido de Biofiltro Aerado Submerso (BF), obtiveram 86% e 192 mg/L e Orrico (2005), que tratou o esgoto *in loco* utilizando Tanques Imhoff seguido por “wetlands”, alcançou média de 89% na remoção de DQO.

Realizando um comparativo com as informações dadas pela Hemfibra (2012), empresa comercial pesquisada, o protótipo deste estudo apresentou uma boa eficiência na remoção de DQO. Utilizando uma tecnologia semelhante, a empresa apresenta em seu *site* sistema compacto composto por um digestor e um filtro aneróbio que alcança eficiências de 70 a 85% para DQO. Já o sistema formado por um reator anaeróbio de manto de lodo composto por duas câmaras sequenciais, filtro biológico aerado submerso composto três câmaras

sequenciais (aeróbica, anóxica, aeróbica), decantador secundário e câmara de desinfecção com pastilhas de cloro, atinge 90 a 96% de eficiência para DQO.

5.5.5 Série de Sólidos (ST, STV, STF, SST e SSed)

Os resultados da série de sólidos, assim como o monitoramento, foram divididos em duas fases. Desta forma, os itens a seguir apresentam os resultados de Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Voláteis (STV), Sólidos Totais Fixos (STF), Sólidos Suspensos Totais (SST) e Sólidos Sedimentáveis (SSed).

5.5.5.1 Sólidos Totais - ST

A Tabela 5.16 apresenta os resultados do ST na fase 1, nos quatro pontos coletados. Assim, as concentrações médias foram de 710,31 mg/L no E.B, 558,03 mg/L no T.I.M, 482,61 mg/L no F.A.1 e 424,21 mg/L no conjunto F.A.2+D.L.S.

Tabela 5.16- Resultados da concentração de ST na fase 1, inicialização, nos quatro pontos coletados do protótipo.

Resultados de ST em (mg/L)				
Fase1	E.B	Câmara 1	Câmara 2	Câmara 3
	(mg/L)	T.I.M	F.A(1)	F.A(2)+ D.S.L
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
Nº de Coletas	12	11	11	11
Média	710,31	558,03	482,61	424,21
Mediana	693	556	481	427
Máximo	849	678	594	533
Mínimo	568	453	384	340
Desvio Padrão	88,08	65,18	58,36	51,83

E.B=Esgoto Bruto, T.I.M= Tanque Imhoff Modificado, F.A.1=Filtro Anaeróbio 1.
F.A.2=Filtro Anaeróbio 2 + D.S.L= Decantador Secundário Laminar.

Na segunda fase, a concentração dos ST nos quatro pontos, se comparados, aos da primeira fase, em relação a média, foi menor, como mostra a Tabela 5.17. As concentrações foram de 702,94 mg/L no E.B, 496,24 mg/L no T.I.M, 428,08 mg/L no F.A.1, e 372,52 mg/L no conjunto F.A.2+D.L.S.

Tabela 5.17- Resultados da concentração de ST na fase 2, estabilizada, nos quatro pontos coletados do protótipo.

Resultados de ST em (mg/L)				
Fase2	E.B	Câmara 1	Câmara 2	Câmara 3
	(mg/L)	T.I.M (mg/L)	F.A(1) (mg/L)	F.A(2)+ D.S.L (mg/L)
Nº de Coletas	30	30	29	29
Média	702,94	496,24	428,08	372,52
Mediana	690	493	423	371
Máximo	991	656	561	489
Mínimo	504	365	318	278
Desvio Padrão	97,21	62,24	54,27	47,26

E.B=Esgoto Bruto, T.I.M= Tanque Imhoff Modificado, F.A.1=Filtro Anaeróbio 1.
F.A.2=Filtro Anaeróbio 2 + D.S.L= Decantador Secundário Laminar.

Em relação à eficiência de remoção de ST, a Tabela 5.18 apresenta a concentração e a eficiência de remoção do protótipo e de cada câmara. Confirmando o que foi apresentado nas Tabela 5.15 e Tabela 5.16, a segunda fase se apresenta um pouco mais eficiente. Na primeira fase, a média de remoção de ST foi de 21,44% no T.I.M, 13,52% no F.A(1) e 12,10% no conjunto F.A(2)+ D.S.L, totalizando 40,28% de eficiência do protótipo.

Na segunda fase, as eficiências de redução de ST foram um pouco melhores que na primeira, chegando a 29,40% no T.I.M, 13,74% no F.A(1) e 12,98% no conjunto F.A(2)+ D.S.L, totalizando uma eficiência do protótipo de 47,01%. Portanto, tanto na primeira fase quanto na segunda, o T.I.M obteve melhor eficiência de remoção de ST que as outras duas câmaras.

Tabela 5.18- Concentração de ST e eficiência do protótipo e de cada câmara, na fases de inicialização e estabilizada.

Resultados de ST Fase 1= Inicialização e Fase 2= Estabilizado								
	E.B	T.I.M		F.A(1)		F.A(2)+ D.S.L		Protótipo
Fase 1	(mg/L)	(mg/L)	Eficiência (%)	(mg/L)	Eficiência (%)	(mg/L)	Eficiência (%)	Eficiência do (%)
Nº de Coletas	12	11		11		11		11
Média	710,31	558,03	21,44	482,61	13,52	424,21	12,10	40,28
Fase 2								
Nº de Coletas	30	30		29		29		30
Média	702,94	496,24	29,40	428,08	13,74	372,52	12,98	47,01

E.B=Esgoto Bruto, T.I.M= Tanque Imhoff Modificado, F.A.1=Filtro Anaeróbio 1.
F.A.2=Filtro Anaeróbio 2 + D.S.L= Decantador Secundário Laminar.

Os quatro pontos coletados foram comparados em um box-plot, como mostram as Figura 5.29 e Figura 5.30. A Figura 5.29 apresenta os resultados dos ST da fase 1, inicialização, mostrando que 50% dos resultados obtidos no esgoto bruto (E.B) estão entre 641,5 a 788,5 mg/L e que a mediana é 693 mg/L.

Em relação ao T.I.M, 50% dos dados estão entre 510 e 596 mg/L e a mediana é 556 mg/L. Já no F.A.1, 50% dos dados estão entre 436 e 529 mg/L e a mediana é 481 mg/L e no conjunto F.A.2+D.L.S, 50% dos dados estão entre 381 e 466 mg/L e a mediana é 427 mg/L.

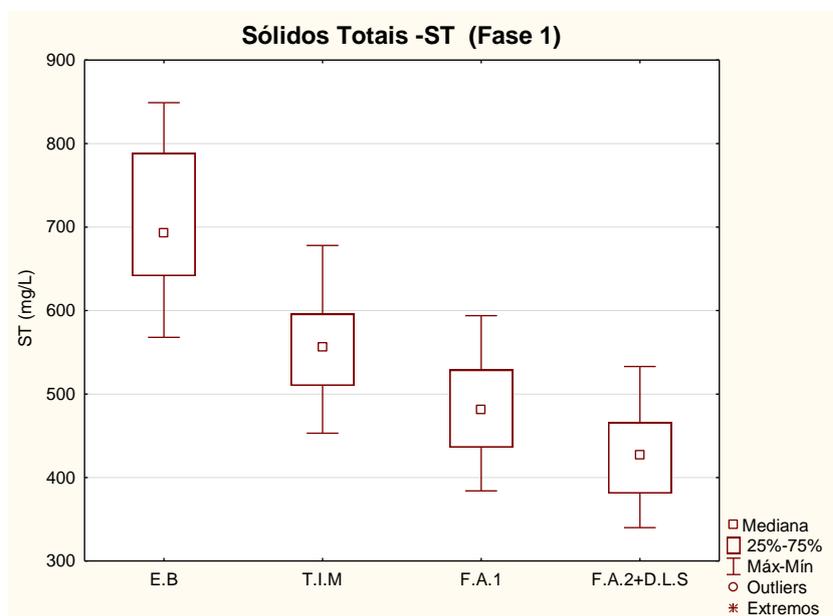


Figura 5.29- Box -Plot do resultado da concentração de ST nas fases 1.

Já a Figura 5.30 apresenta os resultados dos ST da fase estabilizada. No gráfico pode-se observar que 50% dos resultados obtidos no E.B estão entre 642 a 767 mg/L e que a mediana é 689,5 mg/L.

Já em relação ao T.I.M, 50% dos dados estão entre 454 e 538 mg/L e a mediana é 493 mg/L. Já no F.A.1, 50% dos dados estão entre 382 e 461 mg/L e a mediana é 423 mg/L e no conjunto F.A.2+D.L.S, 50% dos dados estão entre 335 e 406 mg/L e a mediana é 371 mg/L.

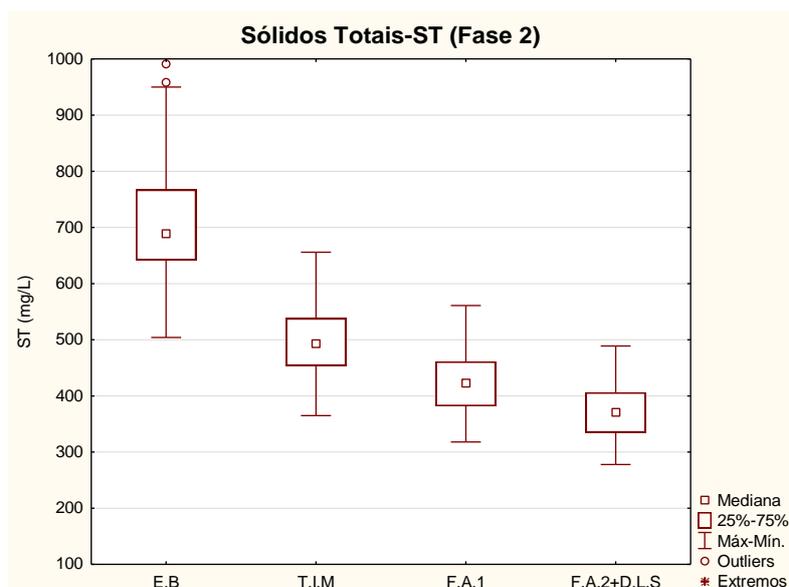


Figura 5.30- Box -Plot do resultado da concentração de ST nas fases 2.

A eficiência de remoção do protótipo foi de 47,01% para ST e, se comparado a algumas pesquisas, obteve eficiência maior. O sistemas de Aisse *et al* (2000), apresentou para o UASB 39,3% e para o RAC 33,3% de eficiência de remoção de ST. Já sistema de Sartori (2010), composto por um desarenador, tanque séptico, Vermifiltro (bagaço de cana-de-açúcar, serragem de madeira), apresentou resultados entre 33,6 e 42% na remoção de ST.

5.5.5.2 Sólidos Totais Voláteis – STV

A Tabela 5.19 apresenta os resultados do STV na fase 1 nos quatro pontos coletados. Assim, a concentrações médias foram de 413,44 mg/L no E.B, 314,82 mg/L no T.I.M, 269,91 mg/L no A.1 e 234,27 mg/L no conjunto F.A.2+D.L.S.

Tabela 5.19- Resultados da concentração de STV na fase 1, inicialização, nos quatro pontos coletados do protótipo.

Resultados de STV em (mg/L)				
Fase 1	E.B	T.I.M	F.A(1)	F.A(2)+ D.S.L
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
Nº de Coletas	12	11	11	11
Média	413,44	314,82	269,91	234,27
Mediana	399	310	264	223
Máximo	571	401	356	318
Mínimo	297	226	190	164
Desvio Padrão	82,56	53,04	47,40	41,46

E.B=Esgoto Bruto, T.I.M= Tanque Imhoff Modificado, F.A.1=Filtro Anaeróbio 1.
F.A.2=Filtro Anaeróbio 2 + D.S.L= Decantador Secundário Laminar.

Os resultados das concentrações dos STV da segunda fase são apresentados na Tabela 5.20, podendo ser comparados os quatro pontos coletados no protótipo. As concentrações médias foram de 386,11 mg/L no E.B, 273,92 mg/L no T.I.M, 232,08 mg/L no F.A.1 e 198,68 mg/L no conjunto F.A.2+ D.L.

Comparando apenas as médias das duas fases, pode-se observar que as concentrações de STV na fase 2 foram menores nos quatro pontos coletados, mesmo que a diferença nas concentrações fosse pequena.

Tabela 5.20- Resultados da concentração de STV na fase 2, estabilizada, nos quatro pontos coletados do protótipo.

Resultados de STV em (mg/L)				
Fase 2	E.B	Câmara 1 T.I.M	Câmara 2 F.A(1)	Câmara 3 F.A(2)+ D.S.L
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
Nº de Coletas	30	30	29	29
Média	386,11	273,92	232,08	198,68
Mediana	361	259	220	186
Máximo	645	427	363	316
Mínimo	247	178	158	137
Desvio Padrão	77,13	50,75	44,16	38,22

E.B=Esgoto Bruto, T.I.M= Tanque Imhoff Modificado, F.A.1=Filtro Anaeróbio 1.
F.A.2=Filtro Anaeróbio 2 + D.S.L= Decantador Secundário Laminar.

Já a Tabela 5.21 mostra a eficiência de remoção de STV nas duas fases e em cada ponto do protótipo. Desta forma, na primeira fase, o protótipo apresentou uma eficiência média de remoção de STV de 43,34%, sendo que o T.I.M foi de 23,85%. No F.A(1), a eficiência foi de 14,27% e no conjunto F.A(2)+ D.S.L foi de 13,20%.

A segunda fase apresentou uma eficiência de remoção de STV melhor que a primeira, com 29,06% no T.I.M, 15,28% no F.A(1) e 14,39% no conjunto F.A(2)+ D.S.L, totalizando uma eficiência do protótipo de 48,54%. Portanto, o T.IM na remoção de STV se mostrou mais eficiente que o F.A.1 e F.A.2+D.L.S nas duas fases.

Tabela 5.21- Concentração de STV e eficiência do protótipo e de cada câmara, nas fases de inicialização e estabilizada.

Resultados de STV Fase 1= Inicialização e Fase 2= Estabilizada								
Fase 1	E.B	Câmara 1 T.I.M		Câmara 2 F.A(1)		Câmara 3 F.A(2)+ D.S.L		Protótipo
	(mg/L)	(mg/L)	Eficiência (%)	(mg/L)	Eficiência (%)	(mg/L)	Eficiência (%)	Eficiência do (%)
Nº de Coletas	12	11		11		11		11
Média	413,44	314,82	23,85	269,91	14,27	234,27	13,20	43,34
Fase 2								
Nº de Coletas	30	30		29		29		30
Média	386,11	273,92	29,06	232,08	15,28	198,68	14,39	48,54

E.B=Esgoto Bruto, T.I.M= Tanque Imhoff Modificado, F.A.1=Filtro Anaeróbio 1.
F.A.2=Filtro Anaeróbio 2 + D.S.L= Decantador Secundário Laminar.

Os gráficos box-plot apresentados nas Figura 5.31 e Figura 5.32, mostram as concentrações dos STV nos pontos coletados. Em relação ao box-plot da Figura 5.31, que apresenta os resultados dos STV da fase 1, verifica-se que, no E.B, 50% dos resultados obtidos estão entre 336 e 489,5 mg/L e que a mediana é 399 mg/L. No T.I.M, 50% dos dados estão entre 279 e 355 mg/L e a mediana é 210 mg/L. Já no F.A.1, 50% dos dados estão entre 239 e 312 mg/L e a mediana é 264 mg/L e no conjunto F.A.2+D.L.S, 50% dos dados estão entre 208 e 273 mg/L e a mediana é 223 mg/L.

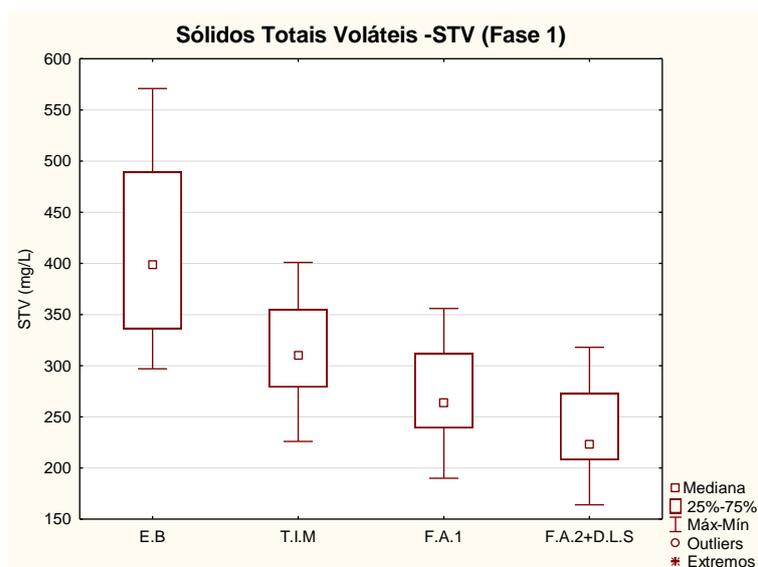


Figura 5.31- Box-plot do resultado da concentração de STV na fase 1.

Já em relação à fase 2, o box-plot da Figura 5.32, mostra que no E.B 50% dos resultados obtidos estão entre 336 e 408 mg/L e que a mediana é 361 mg/L. No T.I.M, 50% dos dados

estão entre 241 e 300 mg/L e a mediana é 258,5 mg/L. Já no F.A.1, 50% dos dados estão entre 204 e 254 mg/L e a mediana é 220 mg/L. No conjunto F.A.2+D.L.S, 50% dos dados estão entre 173 e 219 mg/L e a mediana é 186 mg/L.

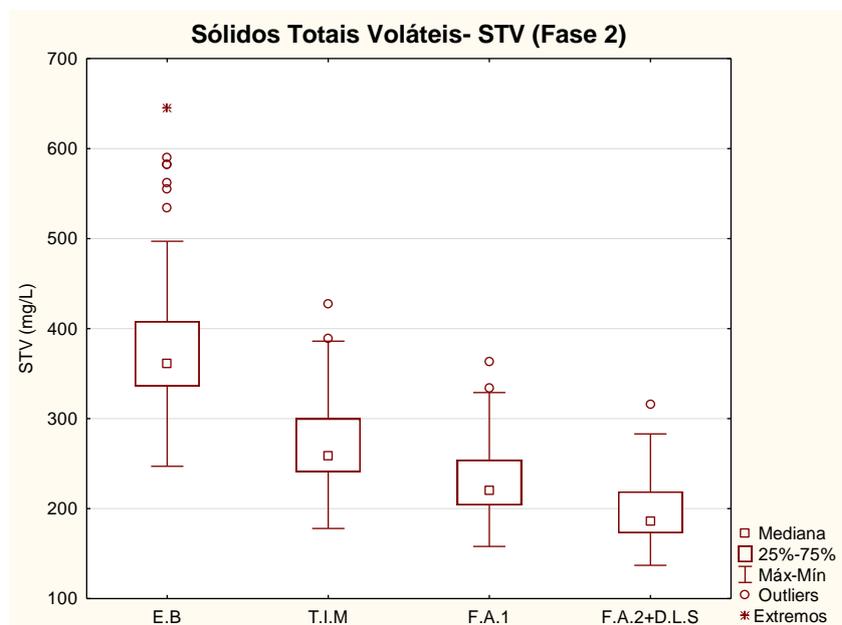


Figura 5.32- Box -Plot do resultado da concentração de STV nas fases 2.

5.5.5.3 Sólidos Totais Fixos - STF

A Tabela 5.22 apresenta os resultados do STF na fase 1, inicialização, nos quatro pontos coletados. Assim as concentrações médias encontradas foram de 296,86 mg/L no E.B, 243,21 mg/L no T.I.M, 212,70 mg/L no F.A.1 e 189,94 mg/L no conjunto F.A.2+D.L.S.

Tabela 5.22- Resultados da concentração de STF na fase 1, inicialização, nos quatro pontos coletados do protótipo.

Resultados de STF em (mg/L)				
Fase 1	E.B	Câmara 1 T.I.M	Câmara 2 F.A(1)	Câmara 3 F.A(2)+ D.S.L
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
Nº de Coletas	12	11	11	11
Média	296,86	243,21	212,70	189,94
Mediana	305	230	194	177
Máximo	391	376	328	295
Mínimo	180	176	158	143
Desvio Padrão	49,47	56,43	49,15	43,47

E.B=Esgoto Bruto, T.I.M= Tanque Imhoff Modificado, F.A.1=Filtro Anaeróbio 1.
F.A.2=Filtro Anaeróbio 2 + D.S.L= Decantador Secundário Laminar.

Já na segunda fase, os resultados das concentrações dos STF, apresentados na Tabela 5.23, foram de 316,83 mg/L no E.B, 222,32 mg/L no T.I.M, 196,00 mg/L no F.A.1 e 173,84 mg/L no conjunto F.A.2+D.L. Comparando apenas as médias, o E.B apresentou concentração maior na fase 2 que na fase 1 e nos demais pontos as concentrações de STF da fase 2 foram menores.

Tabela 5.23- Resultados da concentração de STF na fase 2, estabilizada, nos quatro pontos coletados do protótipo.

Resultados de STF em (mg/L)				
Fase2	E.B	Câmara 1	Câmara 2	Câmara 3
		T.I.M	F.A(1)	F.A(2)+ D.S.L
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
Nº de Coletas	30	30	29	29
Média	316,83	222,32	196,00	173,84
Mediana	313	222	197	174
Máximo	467	310	265	235
Mínimo	200	108	94	83
Desvio	51,23	40,16	34,97	30,93
Padrão				

E.B=Esgoto Bruto, T.I.M= Tanque Imhoff Modificado, F.A.1=Filtro Anaeróbio 1.
F.A.2=Filtro Anaeróbio 2 + D.S.L= Decantador Secundário Laminar.

Em relação à eficiência do protótipo apresentada na Tabela 5.24, na primeira fase, o protótipo removeu em média 36,02% de STF, sendo que o T.I.M foi de 18,07%, no F.A(1) foi de 12,55% e no conjunto F.A(2)+D.S.L foi de 10,7%.

Na fase 2, estabilizada, o protótipo apresentou uma melhor eficiência de remoção de STV com o total de 45,13%, sendo que no T.I.M a eficiência foi de 29,83%, no F.A(1) foi de 11,84% e 11,31% no conjunto F.A(2)+D.S.L. Portanto o T.IM na remoção de STV se mostrou mais eficiente que o F.A.1 e F.A.2+D.L.S, tanto na primeira quanto na segunda fase.

Tabela 5.24- Concentração de STF e eficiência do protótipo e de cada câmara, na fase de inicialização e na estabilizada.

Resultados de ST Fase 1= Inicialização e Fase 2= Estabilizada								
	E.B	Câmara 1 T.I.M		Câmara 2 F.A(1)		Câmara 3 F.A(2)+ D.S.L		Protótipo
Fase 1	(mg/L)	(mg/L)	Eficiência (%)	(mg/L)	Eficiência (%)	(mg/L)	Eficiência (%)	Eficiência (%)
Nº de Coletas	12	11		11		11		11
Média	296,86	243,21	18,07	212,70	12,55	189,94	10,70	36,02
Fase 2								
Nº de Coletas	30	30		29		29		30
Média	316,83	222,32	29,83	196,00	11,84	173,84	11,31	45,13

E.B=Esgoto Bruto, T.I.M= Tanque Imhoff Modificado, F.A.1=Filtro Anaeróbio 1.
F.A.2=Filtro Anaeróbio 2 + D.S.L= Decantador Secundário Laminar.

As Figura 5.33 e Figura 5.34 apresentam gráficos box-plot que mostram as concentrações dos STF nos pontos coletados. A Figura 5.33, apresenta os resultados dos STF da fase 1, mostra que, no E.B, 50% dos resultados obtidos estão entre 272,5 e 327,5 mg/L e que a mediana é 305,5 mg/L. No T.I.M, 50% dos dados estão entre 200 e 263 mg/L e a mediana é 230 mg/L e no F.A.1, estão entre 174 e 226 mg/L e a mediana é 194 mg/L e no conjunto F.A.2+D.L.S, 50% dos dados estão entre 154 e 203 mg/L e a mediana é 177 mg/L.

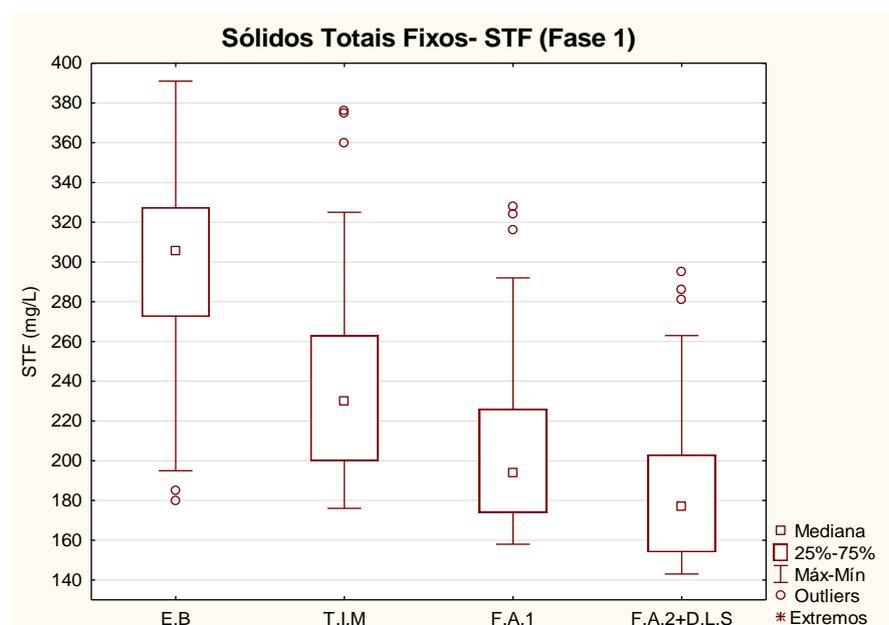


Figura 5.33- Box-plot do resultado da concentração de STF na fase 1.

Já a Figura 5.34, que apresenta os resultados da segunda fase, demonstra que 50% dos dados obtidos no E.B estão entre 285 e 341 mg/L e que a mediana é 313 mg/L. No T.I.M,

50% dos dados estão entre 195 e 243 mg/L e a mediana é 222,5 mg/L. Já no F.A.1, 50% dos dados estão entre 173 e 216 mg/L e a mediana é 197 mg/L e no conjunto F.A.2+D.L.S, 50% dos dados estão entre 153 e 193 mg/L e a mediana é 174 mg/L.

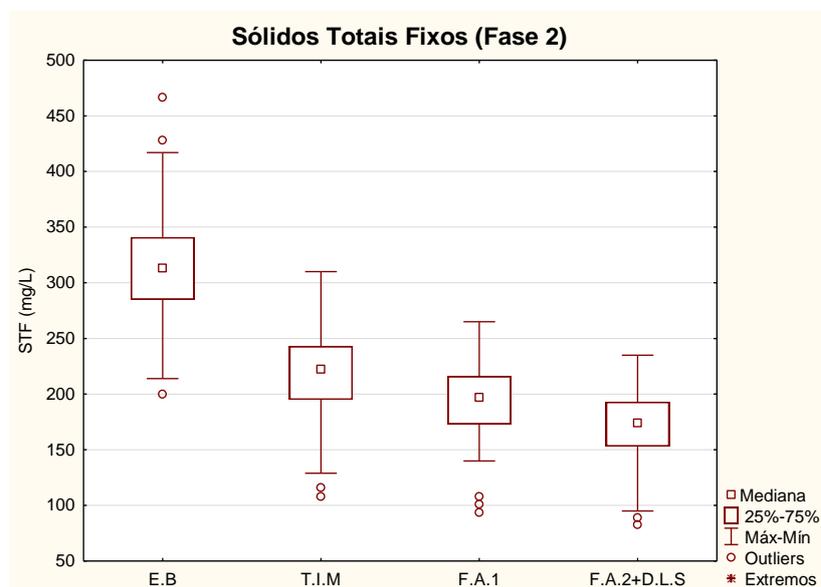


Figura 5.34- Box-plot do resultado da concentração de STF na fase 2.

5.5.5.4 Sólidos Suspensos Totais - SST

A Tabela 5.25 mostra as concentrações, na fase 1, dos SST. Pode-se observar que, mesmo sendo a fase de inicialização, o protótipo reduziu significativamente as concentrações de uma câmara para outra. Assim, as concentrações médias foram 194,50 mg/L no E.B, 142,03 mg/L no T.I.M, 119,48 mg/L no F.A.1 e 60,15 mg/L no F.A.2+D.L.S.

Tabela 5.25- Resultados da concentração de SST na fase 1, inicialização, nos quatro pontos coletados do protótipo.

Resultados de SST em (mg/L)				
Fase1	E.B	Câmara 1 T.I.M	Câmara 2 F.A(1)	Câmara 3 F.A(2)+ D.S.L
Nº de Coletas	12	11	11	11
Média	194,50	142,03	119,48	60,15
Mediana	199	136	118	61,00
Máximo	252	176	168	94,00
Mínimo	118	108	92	30,00
Desvio Padrão	32,57	18,87	17,51	11,69

E.B=Esgoto Bruto, T.I.M= Tanque Imhoff Modificado, F.A.1=Filtro Anaeróbio 1.
F.A.2=Filtro Anaeróbio 2 + D.S.L= Decantador Secundário Laminar.

Na segunda fase, a concentração média de SST do esgoto bruto manteve valores superiores que na primeira, comparação em relação a média. Possivelmente tal situação refletiu na concentração do T.I.M, também maior que na primeira fase. Já as concentrações de SST do F.A.1 e F.A.2+ D.L foram bem menores que na primeira fase. Assim as concentrações dos SST foram 270,56 mg/L no E.B, 148,75 mg/L no T.I.M, 79,48 mg/L no F.A.1 e 34,79 mg/L no conjunto F.A.2+ D.L, como pode ser observado na Tabela 5.26.

Tabela 5.26- Resultados da concentração de SST na fase 2, inicialização, nos quatro pontos coletados do protótipo.

Resultados de SST em (mg/L)				
Fase2	E.B	Câmara 1	Câmara 2	Câmara 3
		T.I.M	F.A(1)	F.A(2)+ D.S.L
Nº de Coletas	32	32	32	32
Média	270,56	148,75	79,48	34,79
Mediana	256	151	80	37,00
Máximo	428	244	146	60,00
Mínimo	150	70	26	6,00
Desvio Padrão	57,15	38,48	26,10	13,48

E.B=Esgoto Bruto, T.I.M= Tanque Imhoff Modificado, F.A.1=Filtro Anaeróbio 1. F.A.2=Filtro Anaeróbio 2 + D.S.L= Decantador Secundário Laminar.

A Tabela 5.27 apresenta as concentrações médias e as eficiências médias do protótipo em relação à remoção de SST. Desta forma, o protótipo obteve, na fase de inicialização, 26,98% de remoção no T.I.M, 15,87% e no F.A(1) e F.A(2)+ D.S.L 49,66%, totalizando 69,07% de remoção de SST no efluente final do protótipo.

Em sua fase estabilizada, o protótipo alcançou uma média de 87,14% de eficiência de remoção de SST, sendo 45,02% no T.IM , 46,57% no F.A.1 e 56,23% no F.A.2+D.L.S. Os resultados mostram que, tanto na primeira quanto na segunda fase, o F.A.2+D.L.S obteve melhor eficiência de remoção de SST.

Tabela 5.27- Concentração de SST e eficiência do protótipo e em cada câmara, na fase de inicialização e na estabilizada.

Resultados de SST Fase 1= Inicialização e Fase 2= Estabilizada								
	E.B	Câmara1 T.I.M		Câmara 2 F.A(1)		Câmara 3 F.A(2)+ D.S.L		Protótipo
Fase 1	(mg/L)	(mg/L)	Eficiência (%)	(mg/L)	Eficiência (%)	(mg/L)	Eficiência (%)	Eficiência (%)
Nº de Coletas	12	11		11		11		11
Média	194,50	142,03	26,98	119,48	15,87	60,15	49,66	69,07
Fase 2								
Nº de Coletas	32	32		32		32		32
Média	270,56	148,75	45,02	79,48	46,57	34,79	56,23	87,14

E.B=Esgoto Bruto, T.I.M= Tanque Imhoff Modificado, F.A.1=Filtro Anaeróbio 1. F.A.2=Filtro Anaeróbio 2 + D.S.L= Decantador Secundário Laminar.

Os gráficos box-plot da concentração de SST fazem um comparativo entre pontos coletados e estão representados pelas Figura 5.35 e Figura 5.36.

A fase 1, representada pela Figura 5.35, apresenta os resultados dos STF e mostra que no E.B 50% dos resultados obtidos estão entre 180 e 221 mg/L e que a mediana é 199 mg/L. No T.I.M, 50% dos dados estão entre 129 e 158 mg/L e a mediana é 136 mg/L. Já no F.A.1, 50% dos dados estão entre 106 e 128 mg/L e a mediana é 118 mg/L e no conjunto F.A.2+D.L.S, 50% dos dados estão entre 56 e 65mg/L e a mediana é 61mg/L.

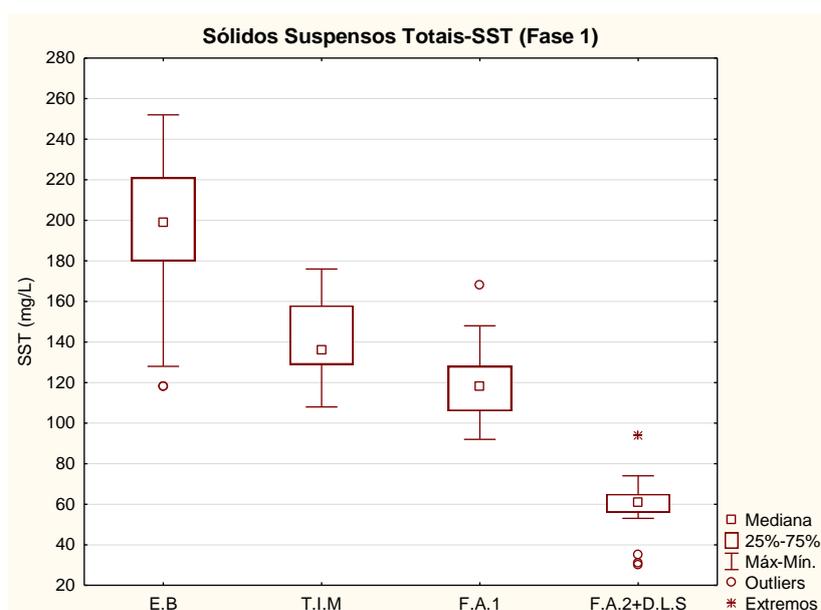


Figura 5.35- Box-plot do resultado da concentração de SST na fase 1.

Considerando a fase 2, representada pela Figura 5.36, 50% dos resultados obtidos no E.B. estão entre 229 e 300 mg/L e a mediana é 256 mg/L. No T.I.M, 50% dos dados estão entre 121 e 175 mg/L e a mediana é 151 mg/L. Já no F.A.1, 50% dos dados estão entre 60 e 100 mg/L e a mediana é 80 mg/L e no conjunto F.A.2+D.L.S, 50% dos dados estão entre 24 e 46 mg/L e a mediana é 37 mg/L.

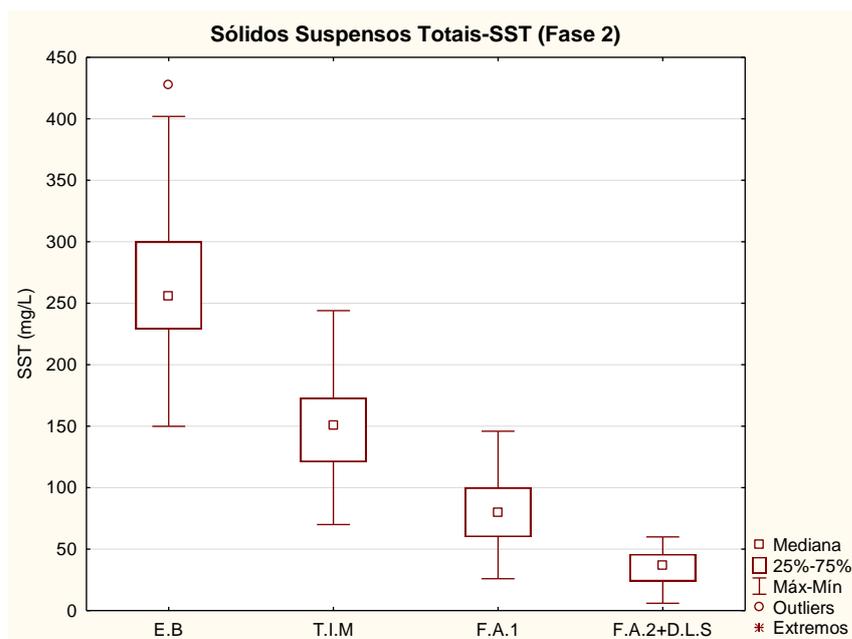


Figura 5.36- Box -Plot do resultado da concentração de SST nas fases 2.

Diante dos resultados apresentados (com a remoção média apresentada de 87,14% na fase estabilizada) e realizando uma comparação à literatura pesquisada, pode-se considerar que o protótipo concebido apresentou boa eficiência de remoção de SST, sendo que os resultados são semelhantes aos sistemas convencionais e compactos pesquisados. De acordo com Von Sperling (2005), os sistemas convencionais de tanques sépticos seguidos por filtro anaeróbio possuem eficiência de 80-90% na remoção de SST, assim como o UASB seguido por filtro anaeróbio. Silva e Nour (2005) pesquisaram o comportamento de um reator compartimentando anaeróbio/aeróbio e o sistema obteve 78,8% de eficiência na remoção de SST. Já o sistema de Sartori (2010), composto por desarenador, tanque séptico, Vermifiltro (bagaço de cana-de-açúcar, serragem de madeira), obteve média de 86%.

O sistema de Alves *et al.* (2004), composto por um reator UASB seguido por filtro biológico percolador (FBP) e unidade de desinfecção, obteve 88,1% de eficiência na remoção de SST. Os protótipos de Chernicharo e Sousa (2005), utilizando (UASB + filtro

anaeróbio) + filtro Biológico (FB), obtiveram médias entre 68 a 92% e, utilizando duas vezes o UASB + filtro anaeróbio, obtiveram médias de 88 a 97%. Valentim (1999), por sua vez, utilizou um tanque séptico modificado seguido por leitos cultivados com macrófitas (*Typha sp. ou Eleocharis sp.*) e o sistema obteve, na configuração mais eficiente, uma eficiência variando entre 91 e 97%. Aisse *et al* (2000), que compararam o UASB com RAC, obteve para o sistema UASB 72,6% e para o sistema RAC 60,6 % de média na eficiência na remoção de SST.

Os sistemas pesquisados operados em condições reais, como Javarez Júnior (2007) que utilizou dois sistemas, UASB e RAC seguidos por Filtro Anaeróbico (FA), apresentaram no sistema com RAC uma média de redução de 93,34% para SST e com UASB 94,33%. Já o sistema de Bof *et al.* (2001), que tratou esgoto de comunidades de até 5.000 habitantes, utilizando um sistema composto por UASB seguido de Biofiltro Aerado Submerso (BF), obtiveram uma média de 93%. O sistema de Orrico (2005), que tratou o esgoto *in loco* utilizando Tanques Imhoff seguido por “wetlands”, obteve média de 88%.

5.5.5.5 Sólidos Sedimentáveis - SSed

A concentração de SSed no protótipo concebido reduz-se consideravelmente do E.B (2,51 mg/L) para o T.I.M (0,26 mg/L) e, deste para o F.A.1 (0,05 mg/L), reduziu a praticamente zero, sendo zero no F.A.2+D.L.S, como mostra a Tabela 5.28.

Tabela 5.28- Resultados da concentração de SSed na fase 1, inicialização, nos quatro pontos coletados do protótipo.

Fase1	Resultados de SSed em (mg/L)			
	E.B	Câmara 1 T.I.M	Câmara 2 F.A(1)	Câmara 3 F.A(2)+ D.S.L
Nº de Coletas	12	11	11	10
Média	2,51	0,26	0,05	0,00
Mediana	3	0	0	0,00
Máximo	4	1	1	0,00
Mínimo	1	0	0	0,00
Desvio Padrão	0,87	0,40	0,15	0,00

E.B=Esgoto Bruto, T.I.M= Tanque Imhoff Modificado, F.A.1=Filtro Anaeróbio 1. F.A.2=Filtro Anaeróbio 2 + D.S.L= Decantador Secundário Laminar.

O E.B apresentou uma concentração de SSed na fase 2 maior do que na fase 1, em relação a média. No entanto, as concentrações dos demais pontos foram praticamente iguais nas

duas fases, sendo que o E.B foi de 3,31 mg/L, no T.I.M foi de 0,36 mg/L, no F.A.1 foi de 0,08 mg/L e no conjunto F.A.2+ D.L foi de zero, como pode se observado na Tabela 5.29.

Tabela 5.29- Resultados da concentração de SSed na fase 2, sistema estabilizado, nos quatro pontos coletados do protótipo.

Resultados de SSed em (mg/L)				
Fase2	E.B	Câmara 1 T.I.M	Câmara 2 F.A(1)	Câmara 3 F.A(2)+ D.S.L
Nº de Coletas	32	32	32	32
Média	3,31	0,36	0,08	0,00
Mediana	3	0	0	0,00
Máximo	8	2	1	0,00
Mínimo	1	0	0	0,00
Desvio Padrão	1,71	0,43	0,13	0,00

E.B=Esgoto Bruto, T.I.M= Tanque Imhoff Modificado, F.A.1=Filtro Anaeróbio 1. F.A.2=Filtro Anaeróbio 2 + D.S.L= Decantador Secundário Laminar.

As eficiências nos quatro pontos, tanto da primeira quanto da segunda fase são previsíveis e bem parecidas, tendo em vista as concentrações apresentadas. A Tabela 5.30 mostra que, na primeira fase, a média de eficiência na remoção de SSed foi de 89,49% no T.I.M, 79,31% no F.A(1) e 100% no F.A(2)+ D.S.L, sendo de 100% no protótipo concebido.

Não diferente, a segunda fase obteve 89,05% no T.I.M, 79,31% no F.A(1) e 100% no F.A(2)+ D.S.L, sendo de 100% de remoção de SSed no protótipo concebido.

Tabela 5.30- Concentração de SSed e eficiência do protótipo em cada câmara e total, na fase de inicialização e na estabilizada.

Resultados de SSed Fase 1= Inicialização e Fase 2= Estabilizada								
	E.B	Câmara 1 T.I.M		Câmara 2 F.A(1)		Câmara 3 F.A(2)+ D.S.L		Protótipo
Fase 1	(mg/L)	(mg/L)	Eficiência (%)	(mg/L)	Eficiência (%)	(mg/L)	Eficiência (%)	Eficiência (%)
Nº de Coletas	12	11		11		11		11
Média	2,51	0,26	89,49	0,05	79,31	0	100	100
Fase 2								
Nº de Coletas	32	32		32		32		32
Média	3,31	0,36	89,05	0,08	79,31	0	100	100

E.B=Esgoto Bruto, T.I.M= Tanque Imhoff Modificado, F.A.1=Filtro Anaeróbio 1. F.A.2=Filtro Anaeróbio 2 + D.S.L= Decantador Secundário Laminar.

O protótipo concebido apresentou resultados excelentes em relação à eficiência na remoção de SSed, com 100%, podendo-se atribuir isso à decantação laminar, assim como o sistema de Valentim (1999), que utilizando um tanque séptico modificado seguido por leitos cultivados com macrófitas (*Typha sp. ou Eleocharis sp.*) obteve, na configuração mais eficiente, uma eficiência na remoção de SSed de 100%. Já Javarez Júnior (2007) que, assim como o protótipo concebido operou em condições reais dois sistemas, sendo um com UASB e outro com RAC e os dois seguidos por Filtro Anaeróbico (FA), obteve no sistema com RAC uma média de redução de 99,49% e com o UASB 99,58% para SSed.

5.5.6 NTK, Nitrito, Nitrato, Fósforo Total.

Considerando o Nitrogênio Total Kjeldhal - NTK, foram realizadas oito exames, sendo cinco na fase 1 e três na fase 2. Os resultados encontrados foram muito distintos, sendo que no E.B o NTK variou de 10 a 131 mg/L, no T.I.M de 10 a 98 mg/L, no F.A.1 de 17 a 86 mg/L e no F.A.2+D.L.S de 6 a 77 mg/L.

A Tabela 5.31 mostra a concentração do Nitrito em mg NO₂⁻-N/L nas duas fases, uma vez que a média nos quatro pontos foi muito semelhante nas duas fases. Desta forma, a concentração de nitrito foi de 0,11 mgNO₂⁻-N/L no E.B, 0,10 mgNO₂⁻-N/L no T.I.M, 0,11 mgNO₂⁻-N/L no F.A.1 e 0,09 mgNO₂⁻-N/L no F.A.2+D.L.S.

Tabela 5.31- Resultados da concentração de Nitrito nas fases 1e 2 nos quatro pontos coletados do protótipo.

	Resultados de Nitrito			
	E.B	Câmara 1 T.I.M	Câmara 2 F.A(1)	Câmara 3 F.A(2)+ D.S.L
	mgNO ₂ ⁻ -N/L			
Nº de Coletas	43	42	42	42
Média	0,11	0,10	0,10	0,07
Mediana	0,10	0,08	0	0
Máximo	1	0	0	0
Mínimo	0	0	0	0
Desvio Padrão	0,08	0,07	0,06	0,03

E.B=Esgoto Bruto, T.I.M= Tanque Imhoff Modificado, F.A.1=Filtro Anaeróbio 1. F.A.2=Filtro Anaeróbio 2 + D.S.L= Decantador Secundário Laminar.

O protótipo concebido alcançou média de 33,09% de eficiência na remoção de nitrito, sendo 13,10% no E.B, 1,74% no F.A.1 e 21,64 % F.A.2+D.L.S, como mostra a Tabela 5.32. É necessário enfatizar que a tecnologia adotada no protótipo não se destina a remover nutrientes.

Tabela 5.32- Concentração de nitrito e eficiência do protótipo e em cada câmara.

Resultados de Eficiência do Nitrito								
	E.B	Câmara 1		Câmara 2		Câmara 3		Eficiência do Protótipo
Fase 1	(mg/L)	T.I.M	Eficiência (%)	F.A(1)	Eficiência (%)	F.A(2)+ D.S.L	Eficiência (%)	(%)
Média	0,11	0,10	13,10	0,10	1,74	0,07	21,64	33,09

E.B=Esgoto Bruto, T.I.M= Tanque Imhoff Modificado, F.A.1=Filtro Anaeróbio 1. F.A.2=Filtro Anaeróbio 2 + D.S.L= Decantador Secundário Laminar.

Já a Tabela 5.33 mostra a concentração do Nitrato em mg NO₃⁻-N/L nas duas fases, uma vez que a média nos quatro pontos foi muito semelhante nas duas fases. As concentrações de Nitrato no esgoto bruto normalmente são muito baixas, porém, as encontradas no protótipo concebido foram maiores. Possivelmente, a concentração alta de nitrato está relacionada à nitrificação rápida da amônia e, como o nitrito é instável no esgoto, a passagem para nitrato é rápida.

Assim, a concentração de nitrato foi de 11,35 mg NO₃⁻-N/L no E.B, 6,99 mgNO₃⁻-N/L no T.I.M, 4,71 mgNO₃⁻-N/L no F.A.1 e 3,57 mgNO₃⁻-N/L F.A.2+D.L.S.

Tabela 5.33- Resultados da concentração de Nitrato na fase 1e 2 nos quatro pontos coletados do protótipo.

Resultados de Nitrato				
	E.B	Câmara 1	Câmara 2	Câmara 3
	T.I.M	F.A(1)	F.A(2)+ D.S.L	
	mgNO ₃ ⁻ -N/L			
Nº de Coletas	42	41	41	41
Média	11,35	6,99	4,71	3,57
Mediana	10,00	6,00	4	2
Máximo	30	34	24	16
Mínimo	4	0	0	0
Desvio Padrão	5,18	5,50	4,70	3,46

E.B=Esgoto Bruto, T.I.M= Tanque Imhoff Modificado, F.A.1=Filtro Anaeróbio 1. F.A.2=Filtro Anaeróbio 2 + D.S.L= Decantador Secundário Laminar.

Em relação à eficiência de remoção de nitrato, o protótipo concebido obteve 68,50%, sendo 38,4% no E.B, 32,63% no F.A.1 e 24,09% F.A.2+D.L.S, como mostra a Tabela 5.34.

Tabela 5.34- Concentração nitrato e eficiência do protótipo e em cada câmara.

Resultados de Eficiência do Nitrato								
	E.B	Câmara 1 T.I.M		Câmara 2 F.A(1)		Câmara 3 F.A(2)+ D.S.L		Protótipo
Fase 1	(mg/L)	(mg/L)	Eficiência (%)	(mg/L)	Eficiência (%)	(mg/L)	Eficiência (%)	Eficiência (%)
Média	11,35	6,99	38,40	4,71	32,63	3,57	24,09	68,50

E.B=Esgoto Bruto, T.I.M= Tanque Imhoff Modificado, F.A.1=Filtro Anaeróbio 1. F.A.2=Filtro Anaeróbio 2 + D.S.L= Decantador Secundário Laminar.

Provavelmente o uso em grande quantidade de detergentes super-fosfato e outros produtos de limpeza, além da própria matéria fecal, que são fontes de fósforo, contribuíram para a alta concentração de fósforo.

Desta forma, a concentração de fósforo total do esgoto bruto (E.B) foi de 14,20 mg P/L, no T.I.M foi de 11,33 mgP/L, no F.A.1 foi de 11,30 mgP/L e no F.A.2+D.L.S foi de 10,62 mgP/L, como mostra a Tabela 5.35. Em relação à eficiência de remoção de fósforo total o protótipo concebido obteve 25,17%.

Comparando a outros sistemas, o protótipo concebido remove pouco fósforo total, devido à tecnologia empregada. Já a tecnologia empregada por Sartori (2010), que avaliou um sistema composto por desarenador, tanque séptico e Vermifiltro (bagaço de cana-de-açúcar, serragem de madeira e lixo doméstico) conseguiu eficiências variando entre 8,97 e 68,71% no sistema.

O sistema pesquisado por Valentim (1999), utilizando um tanque séptico modificado seguido por Leitões cultivados com macrófitas (*Typha sp. ou Eleocharis sp.*) obteve com o sistema, em uma das suas configurações uma eficiência na remoção de fósforo total de 41-65%.

Tabela 5.35- Resultados da concentração de Fósforo Total na fase 1e 2 nos quatro pontos coletados do protótipo.

Resultados de Fósforo Total				
	E.B	Câmara 1 T.I.M	Câmara 2F.A(1)	Câmara 3 F.A(2)+ D.S.L
	mgP/L	mgP/L	mgP/L	mgP/L
Nº de Coletas	24	21	21	21
Média	14,20	11,33	11,30	10,62
Mediana	14,70	12,00	12	12
Máximo	24	25	24	26
Mínimo	0	0	0	0
Desvio Padrão	5,55	4,76	4,21	5,15

E.B=Esgoto Bruto, T.I.M= Tanque Imhoff Modificado, F.A.1=Filtro Anaeróbio 1. F.A.2=Filtro Anaeróbio 2 + D.S.L= Decantador Secundário Laminar.

5.5.7 Óleos e Graxas

Apenas em três ocasiões as amostras coletadas foram analisadas óleos e graxas, todas na segunda fase. Os resultados obtidos foram muitos discrepantes de uma coleta para outra, no E.B as concentrações encontradas foram de 118 a 777 mg/L, no T.I.M de 59 a 116 mg/L, no F.A.1 de 22 a 564 mg/L e no F.A.2+D.L.S de 7 a 277 mg/L. Desta forma, em relação a óleos e graxas, considera-se que a metodologia de coleta e exame pode ter apresentado falhas, sendo necessário monitorar o comportamento desse parâmetro na continuidade da pesquisa.

5.5.8 Atendimento às legislações ambientais

Este item traz uma avaliação do protótipo concebido em relação ao atendimento às legislações ambientais do Brasil e alguns estados, referentes às condições e padrões para lançamento de efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários.

As características avaliadas foram Temperatura, pH, DQO, DBO, SST e SSed. Os limites preconizados para o lançamento de efluentes sanitários de cada legislação estão na Tabela 5.36.

Tabela 5.36 – Limites preconizados nas legislações do Brasil e dos estados para o lançamento de efluente sanitários em corpos d'água.

UF	T (°C)	pH	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	Sólidos
Brasil	< 40	5 a 9	-	≤ 120 ou eficiência > 60%	SSed ≤ 1
AL	< 40	5 a 9	< 150	< 60	SSed ≤ 1
CE	< 40	5 a 9	<200	-	SSed ≤ 1 SST ≤ 50 mg/L
GO	< 40	5 a 9	-	≤ 60 ou eficiência > 80%	SSed ≤ 1
MT	< 40	5 a 9	< 120	< 60	SSed ≤ 1
MS	< 40	5 a 9	-	≤ 120 ou eficiência > 80%	SSed ≤ 1
MG	< 40	6 a 9	≤ 180 ou eficiência >65%	≤ 60 ou eficiência > 70%	SSed ≤ 1 SST ≤ 100 mg/L
PR	< 40	5 a 9	< 225	< 90	SSed ≤ 1
RJ	< 40	5 a 9	-	180/30% (C≤ 5) ⁽¹⁾ 100/60% (5 < C≤25) 60/80% (25 < C≤ 80) 40/85% (C > 80)	SSed ≤ 1 SST ⁽¹⁾ : 180/30% (C≤ 5) 100/60% (5 < C≤25) 60/80% (25 < C≤ 80) 40/85% (C > 80)
RS	< 40	6 a 8,5	360(Q<200) ⁽²⁾ 240(200 ≤ Q < 1000) 200(1000 ≤ Q < 2000) 160(2000 ≤ Q < 10000) 100(10000 ≥ Q)	120 (Q<200) ⁽²⁾ 80 (200 ≤ Q < 1000) 60 (1000 ≤ Q < 2000) 40 (2000 ≤ Q < 10000) 20 (10000 ≥ Q)	SSed ≤ 1 SST ⁽²⁾ : 120 (Q<200) 80 (200 ≤ Q < 1000) 70 (1000 ≤ Q < 2000) 50 (2000 ≤ Q < 10000) 40 (10000 ≥ Q)
RO	< 40	5,8 a 9,7	-	-	SSed ≤ 1
SC	< 40	6 a 9	-	≤ 60 ou eficiência > 80%	SSed ≤ 1
SP	< 40	5 a 9	-	≤ 60 ou eficiência > 80%	SSed ≤ 1

(1) Variável de acordo com a carga orgânica diária bruta (kg DBO/dia)

(2) Variável de acordo com a vazão diária de lançamento (m³/dia)

Nesse sentido, foram comparados os limites preconizados na legislação aos resultados das características do protótipo concebido. Desta forma, foi analisado se a característica estava em conformidade (c) ou em não conformidade (N.C) e os resultados demonstrados na Tabela 5.37.

Tabela 5.37– Avaliação da conformidade ou não do protótipo concebido em função dos limites preconizados nas legislações do Brasil e dos estados.

UF	T (°C)	pH	DQO (mg/ L)	DBO (mg/ L)	Sólidos
Brasil	C ⁽¹⁾	C	-	C	C
AL	C	C	N.C ⁽²⁾	N.C	C
CE	C	C	N.C	-	C
GO	C	C	-	C	C
MT	C	C	N.C	N.C	C
MS	C	C	-	C	C
MG	C	C	C	C	C
PR	C	C	N.C	N.C	C
RJ	C	C	-	C	C
RS	C	C	C	C	C
RO	C	C	-	-	C
SC	C	C	-	C	C
SP	C	C	-	C	C

(1) C- Está em conformidade com a legislação. (2) N.C- Não está em conformidade com a legislação.

No âmbito federal, no qual a legislação que preconiza os limites de lançamento de efluente sanitário é a CONAMA 430/2011, o protótipo está em conformidade com todas as características avaliadas.

Em relação à temperatura, pH e Sólidos (SST e SSed), o protótipo está em conformidade com todas as legislações avaliadas. Já na característica DQO, o protótipo não está em conformidade em quatro estados (AL, CE, MT e PR). O mesmo acontece com a DBO, que não está em conformidade com a legislação vigente em três estados (AL, MT e PR). Nestes estados, as características estão preconizadas em função da concentração do efluente, não importando a eficiência do sistema. Como o protótipo foi operado a uma concentração de esgoto bruto muito alta para essas características, os limites estabelecidos para os efluentes não foram alcançados. No entanto, se no futuro fossem feitas adequações no protótipo a fim de melhorar a eficiência nessas características de qualidade, possivelmente o efluente se enquadraria nas legislações do PR e CE.

A análise geral do protótipo baseadas nas características de qualidade do efluente e legislações avaliadas, permite conduzir que o efluente está em conformidade para lançamento em corpos d'água de nove das treze Unidades da Federação avaliadas.

Lembrando que existe a resolução nº 357 de 17 de março de 2005, que trata da classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento. Assim, o lançamento do efluente de uma estação de tratamento tem que atender a capacidade de suporte do corpo receptor, para não comprometer a qualidade da água e seus usos determinados pela classe de enquadramento.

6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 - CONCLUSÕES

Esta pesquisa propôs-se a desenvolver um protótipo de estação compacta para tratamento de esgotos sanitários gerados por unidades unifamiliares. Para tal, o protótipo foi concebido, construído, instalado, operado, controlado, monitorado e avaliado sob condições reais de funcionamento.

As tecnologias adotadas na concepção do protótipo de estação compacta, tanque imhoff modificado, filtro anaeróbio e decantadores laminares, revelaram-se apropriadas, uma vez que o protótipo concebido foi eficiente e não exigiu o uso de energia elétrica e equipamentos, além de não necessitar de operador e exigir apenas manutenção anual.

Em relação ao material escolhido para esta fase de protótipo, a decisão pela fibra de vidro foi a mais adequada, uma vez que este tipo de material é leve e possibilita a produção de peças exclusivas com certa facilidade, além da acessibilidade às empresas que trabalham com fibra de vidro.

O meio filtrante utilizado nos filtros anaeróbios foi composto por fragmentos de eletroduto, material leve e fácil de ser encontrado em lojas de construção civil. Na produção industrial do sistema, o eletroduto poderá ser substituído por recheios com maior área específica, que mantenham o custo atual do sistema.

A construção do protótipo foi realizada em uma empresa especializada em fibra de vidro e, desta forma, foi possível a construção de peças exclusivas que compunham o protótipo.

O local escolhido para instalação do protótipo foi ao encontro do objetivo da pesquisa, por ser uma residência térrea, unifamiliar e que não era atendida por rede coletora de esgoto.

O transporte foi realizado de forma prática por um caminhão comum. A escolha do ponto no qual seria instalado na residência foi realizada com certa facilidade, sendo que optou-se por instalar antes da fossa séptica e ligado ao sumidouro existente na casa. Por fim, uma

empresa especializada escavou o ponto escolhido e realizou as ligações hidro-sanitárias, sem nenhum problema para executar.

A etapa de operação, manutenção, controle e monitoramento do protótipo instalado teve duração de sete meses e foi dividida em duas fases, 1- inicialização e 2- estabilizada. O protótipo não apresentou nenhum problema efetivo, principalmente por não necessitar de operador para seu funcionamento.

O esgoto bruto da residência em que o protótipo concebido foi instalado apresentou concentrações de matéria orgânica maiores que as reportadas na literatura para esgotos sanitários, sendo que o E.B apresentou concentração média de 1.372,03 mg/L para DQO e para DBO₅ de 705,17 mg/L.

Em relação à temperatura do esgoto, o protótipo manteve a temperatura média em aproximadamente 23°C em todas as câmaras. Assim como a temperatura, o pH se manteve equilibrado e próximo à neutralidade, favorecendo o desenvolvimento e atividade biológica, com médias nas câmaras de 6,57 a 6,82. Provavelmente a manutenção do pH próximo à neutralidade está relacionada às altas concentrações de alcalinidade nas três câmaras, uma vez que as médias nas câmaras foram de 284,09 a 319,82 mg CaCO₃/L. Já a condutividade elétrica média diminuiu de 690 mS/cm no E.B para 562,94mS/cm no F.A.2+D.L.S.

A eficiência do protótipo na remoção de DBO₅ se mostrou condizente com o esperado, uma vez que foi operado sob condições reais. Na fase de inicialização do sistema, que possivelmente durou entre dois e três meses, obteve média de 44,84% e 289,73 mg/L na redução de DBO₅. Já na fase estabilizada, o protótipo obteve média de eficiência de 84,68% e 621,1 mg/L na remoção de DBO₅. A câmara que obteve melhor eficiência foi a F.A.1, com 62,80% de remoção de DBO₅.

Assim como a DBO₅, o protótipo apresentou uma boa eficiência na remoção de DQO. Na fase 1 (inicialização) o protótipo obteve média de 49,23% e 630,2 mg/L na remoção de DQO. Com melhores resultados na fase estabilizada, o protótipo obteve média de 81,15% e 1141,8 mg/L na remoção de DQO, sendo que o F.A.1 alcançou melhor média, com 54,16%

na remoção de DQO. O esgoto bruto com concentração média de 1.372,03 mg/L, atingiu média de 265,20 mg/L de DQO no efluente final.

Na remoção de ST, o protótipo concebido obteve 40,28% de eficiência na primeira fase e 47,01% na segunda fase, sendo que nas duas fases o T.I.M obteve melhor eficiência, com 21,44% e 29,40%, respectivamente. A eficiência do protótipo concebido na remoção de STV foi de 43,34% na fase de inicialização e 48,54% na fase estabilizada.

Assim como na remoção de ST, o T.I.M obteve a melhor eficiência na remoção de STV, sendo 23,85% na fase de inicialização e 29,06% na fase estabilizada. Seguindo o mesmo caminho, o T.I.M obteve a melhor eficiência na remoção de STF, com 18,07% na primeira fase e 29,83% na segunda fase. Desta forma, o protótipo obteve 36,02% e 45,13%, nas fases 1 e 2 respectivamente.

Tratando-se da eficiência do protótipo na remoção de SST, o resultado mostrou-se muito satisfatório, com 69,07% na fase de inicialização e 87,14% na fase estabilizada. Nas duas fases o F.A(2)+ D.S.L se mostrou mais eficiente, com 49,66% e 56,23%, respectivamente, de eficiência na remoção de SST.

Em relação à eficiência na remoção de SSed, o protótipo concebido apresentou excelente desempenho, apresentando 100% na remoção de SSed nas duas fases de operação. O protótipo removeu na primeira câmara boa parte dos SSed, sendo mais de 89% a média de remoção.

A tecnologia adotada (tratamento biológico anaeróbio) pelo protótipo concebido tem como característica remover percentuais baixos de nutrientes. De forma não diferente, a eficiência obtida pelo protótipo foi de 33,09% na remoção de nitrito e, com uma eficiência um pouco melhor, obteve 68,50% na remoção de nitrato. Na mesma linha, o protótipo concebido obteve baixa remoção de fósforo, sendo de 25,17% a remoção média obtida.

No atendimento às legislações ambientais, em relação aos parâmetros monitorados nesta pesquisa, o efluente do protótipo concebido está em conformidade para o lançamento em corpos d'água em nove das treze legislações estaduais avaliadas, sendo que os limites

preconizados foram temperatura, pH, DQO, DBO, SST e SSed. A resolução CONAMA 430/2011 é legislação federal que preconiza os limites de lançamento de efluente sanitário e, para as características monitoradas, o protótipo se enquadrou em todos os limites.

Portanto, o protótipo se mostrou uma alternativa adequada para tratamento de esgoto doméstico *in situ*, podendo evitar a contaminação dos corpos d'água e melhorar a qualidade de vida da população beneficiada.

6.2 - RECOMENDAÇÕES

Diante do exposto, algumas recomendações são necessárias a fim de subsidiar trabalhos futuros na questão de tratamento de esgotos sanitários gerados por unidades unifamiliares, destinados a serem instalados *in situ*. Desta forma, seguem algumas recomendações:

- Estudo e desenvolvimento de novas metodologias construtivas com o intuito de produzir uma estação compacta de tratamento de esgoto unifamiliar, em material mais leve que a fibra de vidro, como o polietileno, de forma a facilitar o transporte e a instalação.
- Realização de avaliação econômica do protótipo concebido, considerando os custos de operação (necessidade de operadores, volume de resíduo gerado, energia elétrica consumida, etc.), implantação do protótipo instalado, preço do protótipo em si e o preço caso seja fabricado em larga escala.
- Utilização de fontes alternativas de energia elétrica como placas solares, a fim de viabilizar o uso de estações compactas de tratamento de esgoto com tecnologias que demandam uso de energia elétrica em comunidades isoladas. Estas que muitas vezes não são beneficiadas por rede convencional de energia elétrica.
- Estudar a possibilidade de aplicar às estações compactas de tratamento de esgoto unifamiliar, novas tecnologias, como processos eletrolíticos, ozonização, radiação UV, processos oxidativos avançados (POA), MBR e MBBR em um protótipo operado sob condições reais.

- Testar diferentes configurações do protótipo concebido neste estudo, em formato quadrado ou retangular, com o intuito de facilitar a sua fabricação em série. Além disso, estudar a possibilidade de alterar a disposição das tecnologias dentro do sistema, como explorar a possível vantagem do fluxo do esgoto ser de forma radial, do centro para extremidade ou vice e versa.
- Instalar medidor de vazão para se obter valores mais precisos das cargas e dos parâmetros de projeto e operacionais e para conhecer o hidrograma de vazões de unidades residenciais unifamiliares. Esse medidor, idealmente, poderá transmitir seus dados a distância.
- Instalar amostradores compostos automáticos para facilitar o monitoramento do protótipo.
- Conceber sistemas para monitoramento de subprodutos do sistema de tratamento de esgotos, tais como emissão de gases e odores, e geração de resíduos como os de lodo.
- Realizar o monitoramento da performance do protótipo em remover organismos patogênicos, como indicador de coliforme fecal, ovos viáveis de helmintos, criptosporidium e vírus, visando o reúso da água.
- Realizar o monitoramento da performance do protótipo em remover disruptores endócrinos, a fim de promover o reúso da água.
- Estudar o processo de fabricação em série do sistema compacto pesquisado, em termos de tecnologia e de impacto ambiental e social.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT- *Associação Brasileira de Normas Técnicas*. (1982). NBR 9.648 “Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário”. Rio de Janeiro, RJ.
- _____ (1986). NBR 9.648 “Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário”. Rio de Janeiro, RJ. 5p.
- _____ (1993). NBR 7229 “Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos”. Rio de Janeiro, RJ. 15p.
- _____ (1997). NBR 13969 “Tanques sépticos, Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos, Projeto, Construção e Operação. Rio de Janeiro, RJ. 60p.
- ADASA - Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (1997). Decreto nº 18.328, 18 de junho de 1997. “Do lançamento de efluentes líquidos na rede coletora de esgotos”. Disponível em <http://www.adasa.df.gov.br/images/stories/anexos/cidadao/legislacao/decreto18328.pdf>. Acesso em 12/06/2012.
- _____ (2011). Nota Técnica - Proposta de revisão da Fórmula de sobretaxa apresentada no Art. 150 do Decreto Distrital 18.328, de 8 de junho de 1997, incluindo revisão de seus coeficientes A, B e C. Brasília, DF. Acesso em 16/06/2012.
- Aisse, M.M., e Sobrinho, P.A. (2001) *"Avaliação do sistema reator UASB e filtro biológico aerado submerso para tratamento de esgoto sanitário"*. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios; Coletânea de Trabalhos Técnicos -Volume 2. Belo Horizonte, 2001, p. 131-140.
- Aisse, M.M., Lobato, M. B., Bona, A., Garbossa, L. .H. P. (2000) “Estudo comparativo do reator UASB e do reator anaeróbio compartimentado seqüencial no tratamento de esgoto sanitário”. *Anais do 27º Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria Y Ambiental*, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Alphenz (2012) *"Micro- estação compacta para tratamento de esgoto doméstico"*. Grupo Alphenz. Disponível em <http://www.grupoalphenz.com.br/> Acesso em 25/08/2012.
- Alphenz (2012) *"Micro- estação compacta para tratamento de esgoto doméstico"*. Grupo Alphenz. Disponível em <http://www.grupoalphenz.com.br/> Acesso em 25/08/2012.

- Alves, C.V.P., Chernicharo, C.A.L., Von Sperling, M., Frade, E.C. (2004) “Saneamento ambiental: a hora da solução” *Anais da 34ª Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento*, ASSEMAE, p.7, Rio Grande do Sul, RS, Brasil.
- APHA, AWWA; WPCF (1999). “Standard methods for examination of water and wastewater”. *20th edition, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation*, Washington DC, USA.
- Asano, Takashi (2001) – “*Water from (Waste) Water – The dependable water resource*”. Department of Civil and Environmental Engineering, University of California at Davis, CA, U.S.A.
- Barros, C. (2010). “*Apostila de vidro, materiais de construção e edificações*”. Instituto Federal Educação, Ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense, Campus Pelotas, Pelotas/RS.
- Bof, V.S., Sant’Ana, T.D., Wanke, R., Silva, G. M., Salim, F. P. C., Nardotto, J. I.O., Netto, E. S. e Pegoretti, J. M. (2001) “ETEs compactas associando reatores anaeróbios e aeróbios ampliam a cobertura do saneamento no estado do Espírito Santo.” Estudo comparativo do reator UASB e do reator anaeróbio compartimentado seqüencial no tratamento de esgoto sanitário, *ABES*, II-170, João Pessoa, Brasil.
- Borges, T. S. e Contar T. S. (2009), “Avaliação da eficiência da aplicação de radiação UV na inativação de coliformes totais e *Escherichia coli* na ETE do sucruí-Cuiabá/MT” *Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal* , **6**(3), 383-394.
- Brasil (2006) Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005. Estabelece “modalidades, diretrizes para a prática do reúso direto não potável de água, e dá outras providências”. Conselho Nacional de Recursos Hídricos-CNRH, *Diário Oficial da União*, Brasília, 9 mar 2006.
- _____ (2011) Resolução CONAMA nº 430, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre as “condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA”. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF.
- Caesb (2008) “Sinopse do Sistema de Esgotamento Sanitário do Distrito Federal - SIESG 2008”. *Companhia de Saneamento do Distrito Federal*. Disponível em http://www.caesb.df.gov.br/_conteudo/siesg/SIESG2008.pdf/ Acesso em 15/06/2012.
- _____ (2011). “Sinopse do Sistema de Esgotamento Sanitário do Distrito Federal – SIESG (2011). *Companhia de Saneamento do Distrito Federal*. Brasília, DF.

- _____ (2013). “Sinopse do Sistema de Esgotamento Sanitário do Distrito Federal – SIESG (2013). *Companhia de Saneamento do Distrito Federal*. Brasília, DF.
- Carrara (1997) “*Estudos de Viabilidade do reuso de efluentes líquidos gerados em processos de galvanoplastia por tratamento físico-químico*”. Dissertação de Mestrado – UNICAMP-Universidade Estadual de Campinas, programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Campinas, SP.
- CECA/MS (1971). Conselho Estadual de Controle Ambiental. “*Dispõe sobre a preservação e utilização das águas das bacias hidrográficas do Estado de Mato Grosso do Sul, e dá outras providências.*”. Mato Grosso do Sul.
- Chahin R.R., Netto, C.A.M.F., Messuti, E.e Ribeiro, L.A. (1999) “Sistemas de reaproveitamento de água para edificações”. *Anais do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, ABES, V-053, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Chernicharo C. A. L., Daniel, L. A., Sens, M., Coraucci Filho, B. (2001) “*Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistemas de desinsecção*”. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Capítulo 7, PROSAB 2, Belo Horizonte, MG, Brasil. 377-454p.
- Chernicharo, C. A. L. (2007) “*Reatores anaeróbios: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*”. 2ª Edição. UFMG Vol.5. Belo Horizonte, MG, Brasil.
- Chernicharo, C. A. L. e Sousa, V. P. (2005) “Desenvolvimento de um sistema compacto de tratamento de esgotos domésticos oriundos de populações dispersas ou de pequenas comunidades em áreas rurais (Siscote).” *Relatório Final- Programa de pesquisa em saúde e saneamento, Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde, Funasa Belo Horizonte, MG, Brasil*.
- Chernicharo, C. A. L. e Sousa, V. P. (2006) “Desenvolvimento de um sistema compacto de tratamento de esgotos domésticos oriundos de populações dispersas ou de pequenas comunidades em áreas rurais (Siscote).” *2º Caderno de pesquisa em engenharia e saúde pública, Estudos e Pesquisas, Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde, Funasa, Brasília, DF, Brasil, 119 – 144p*.
- Chernicharo, C.A.L., Handel, A. V., Aisse, M. M., Cavalcanti, P. F. F. (1999) “*Reatores anaeróbios de manta de lodo*” Tratamento de esgoto sanitário por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro, ABES, PROSAB, 198-155p.

- CONAMA (2011). Resolução 430. “*Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.*”. Brasília, DF.
- COPAM/CERH-MG (2008) - Deliberação Normativa Conjunta nº 01. “*Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências*”. Minas Gerais.
- Curia, Ana Cristina (2010). “*Banhados construídos como sistema terciário para reúdo da água industrial em uma empresa metal-mecânica*”. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Trabalho de conclusão de curso de Doutorado em Engenharia. Porto Alegre, RS.
- Delta (2012) “*Estação de tratamento de esgot modular*”. Delta Saneamento Ambiental. Disponível em <http://www.deltasaneamento.com.br/> Acesso em 25/08/2012.
- Ercole, L. A. S. (2003) “*Sistema modular de gestão de águas residuárias domiciliares: uma opção mais sustentável para a gestão de resíduos líquidos.*” Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, RS, 137p.
- FATMA/ SC (1981). Decreto Nº 14.250. “*Regulamenta dispositivos da Lei nº 5.793, de 15 de outubro de 1980, referentes à Proteção e a Melhoria da Qualidade Ambiental e no decreto nº 21.460/84 da FATMA (1984), altera a redação do artigo 19*”. Santa Catarina.
- FEEMA/RJ (1986) “*Critérios e Padrões Para Lançamento de Efluentes Líquidos*”, NT 202. R-10 de 12/12/86. Rio de Janeiro. RJ.
- _____ (2002) “*Diretriz de Controle de Carga Orgânica Biodegradável em Efluentes Líquidos de Origem Não Industrial*”, DZ 215.R-3 de 21/11/2002. Rio de Janeiro, RJ.
- Francisco, A. R. (2009) “*Pós- tratamento de esgoto por fotocatálise heterogênea solar antes e após filtração lenta*”. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP, 847p.
- Funasa (2006) “*Manual do saneamento*”, *Orientações Técnicas, Engenharia de saúde pública*. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde, Funasa. 3ª edição revisada, Brasília, DF, Brasil. 39-154p.
- _____ (2004) “*Manual de saneamento*”. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde, Funasa. 3ª edição revisada e ampliada, Brasília, DF, Brasil. 408 p. il.

- Gasparini, M. C. (2011) “*Águas de Processo da REPLAN: Qualidade e Aplicação de Processos Oxidativos Avançados*”. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP, Brasil. G213a.
- Godoy Júnior, E. (2003) “Tratamento ecoeficiente de esgoto sanitário para pequenas comunidades”. *Anais do 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, ABES, II-146, Joinville, SC, Brasil.
- Hafner, A. V. (2007) “*Conservação e reuso de água em edificações – experiências nacionais e internacionais*”. Dissertação de mestrado em ciências da engenharia civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ-COPPE, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Hemfibra (2012) “*Ecobiber - estação tratamento de esgoto*”. Hemfibra Tecnologia em Saneamento. Disponível em <http://www.hemfibra.com.br/> Acesso em 26/08/2012.
- Hidrosul (2012) “*Estação compacta Eco*”. Hidrosul Estações de Tratamento de Efluente. Disponível em <http://www.hidrosul.com.br/> Acesso em 27/08/2012.
- Hidrus (2012) “*Compact System-Sistema compacto de tratamento de efluentes*”. Hidrus Tecnologia Ambiental. Disponível em <http://www.hidrusbrasil.com.br/> Acesso em 23/08/2012.
- IBGE (2010a) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. “*Pesquisa Nacional de Saneamento Básico- PNSB 2008*”. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/> Acesso em 20/03/2012.
- _____ (2011) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. “*Atlas de saneamento*”. Rio de Janeiro, Brasil.
- Jaigobind, Allan George a., Amaral, Lucia do e Jaisingh, Sammay (2007) “*Tecpar Dossiê Técnico Fabricação de Peças em Fibra de vidro (compósitos)*”. Instituto de Tecnologia do Paraná, 2007.
- Javarez Júnior, A., Júnior e D.R.P., Gazzola, J. (2007) “*Avaliação do desempenho de dois sistemas modulares no tratamento anaeróbico de esgoto em comunidades rurais.*” *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, **27**(3),794-803.
- Jordão, E. P. e Pessoa, C. A. (2009) “*Tratamento de esgotos domésticos*”. ABES 5ª ed. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Marelli, L. M. e Libório, J. B. L. (1998). “O uso de reatores anaeróbios (tipo UASB) como alternativa no tratamento de esgoto doméstico de conjuntos habitacionais”. *Anais do*

Congresso Latino Americano de Tecnologia e Gestão na produção de edifícios. Soluções para o Terceiro Milênio. Vol. 1 São Paulo, SP.

- Mendonça, P.T.R. (2005). “*Materiais compostos e estruturas-sanduíche: projeto e análise*”. Manole, Barueri, SP, Brasil, 3-5p
- Metcalf & Eddy (1991) “*Wastewater engineering: treatment disposal reuse*”. 3^aed. McGraw-Hill Book Company, New York, E.U.A.
- _____ (2003) “*Wastewater engineering: treatment and reuse*” /revised by George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, H. David Stensel. Reprinted in Índia by the arrangement with The McGraw-Hill Companies. 4th edition. Cap 13-14.
- Mizumo (2012), “*Family - estação compacta de tratamento de esgoto*”. Mizumo Sistemas Pré-fabricados de Tratamento de Esgoto. Disponível em <http://www.mizumo.com.br/> Acesso em 28/08/2012.
- Momenti, T. J. (2006) “*Processo anaeróbio conjugado com Processos Oxidativos Avançados (POA) no tratamento dos efluentes do processo industrial de branqueamento da polpa celulósica*”. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil. M732p.
- Neto, F. L. e Pardini, L. C. (2006) “*Compostos estruturais*” *Ciência e Tecnologia*. 1^o edição, Edgar Blucher, São Paulo, SP, Brasil. 1-11p.
- Oliveira, S. M. A. C. (2006) “*Análise de desempenho e confiabilidade de estações de tratamento de esgotos.*” Tese de doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Belo Horizonte, MG, 231p.
- OPAS (2005) Organização Panamericana da Saúde. “*Política e plano municipal de saneamento ambiental: experiências e recomendações*” Ministério das Cidades, Programa de Modernização do Setor de Saneamento. Brasília, DF, Brasil.
- Organum (2012) “*Mini estação tratamento de esgoto*”. Organum. Disponível em <http://www.organum.com.br/> Acesso em 23/08/2012.
- Orrico, S.R.M. (2005) “*Tratamento de esgoto com processos simplificados como alternativa para pequenas comunidades do estado da Bahia*” *Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, ABES, II-047, Campo Grande, MS.
- Passig, F.H, e Blundi, C.E. (1997) “*Filtro anaeróbio de fluxo ascendente: uma nova concepção*” *Anais do 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, ABES, I-047, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

- Pereira-Ramirez,O., Antunes, R.M., Quadro, M.S. e Koetz, P.R. (2001) "Pós-Tratamento de efluentes de reator UASB com filtros anaeróbios". *Revista brasileira de Agrociência*, 7(3), p.209-212, set-dez, 2001.
- Pierin, I. (2005) "*Estudo de Estabilidade de Perfis Pultrudados de Materiais PRFV*". Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.
- Pimenta, M., Kato,M.T., Gavazza, S., e Florencio L. (2005) "Desempenho de reatores piloto tipo UASB e Híbrido para o tratamento de esgoto doméstico" *Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, ABES, II-040, Campo Grande,MS, Brasil.
- Rodriguez, C. J. M. (2008) "*Tratamento de efluentes líquidos na estação antártica Comandante Ferraz (EACF): avaliação da aplicabilidade do processo eletrolítico.*" Dissertação de mestrado, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Programa de pós-graduação em engenharia ambiental, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Salazar, Lúcia de. (2004) "*Evaluación de Efectividad en Promoción de la Salud, Guía de Evaluación Rápida.*" CEDESTES- Centro para el Desarrollo y Evaluación de Políticas y Tecnología en Salud Pública de la Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colômbia.
- Sartori, Maria Aparecida (2010) "*Desempenho de Vermifiltros no tratamento de esgoto doméstico em pequenas quantidades.*" Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Viçosa, programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola. Viçosa, MG.
- SEDAM/RO (1997) Decreto Nº 7903. "*Regulamenta a Lei nº 547, de 30 de dezembro de 1993, que dispõe sobre proteção, recuperação, controle, fiscalização e melhoria de qualidade do meio ambiente no Estado de Rondônia*". Rondônia.
- SEMA/Paraná (2007). Resolução Nº 001. "*Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento.*" Paraná.
- SEMARH/AL (1995) "*O Decreto Nº 6.200, de 01 de Março de 1985, estabelece medidas de proteção ambiental na área de implantação do Pólo Cloroquímico de Alagoas e dá outras providências*". Alagoas.
- SEMARH/GO (1979). "*O decreto Nº 1.745 aprova o Regulamento da Lei nº8544, de 17 de outubro de 1978, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente.*". Goiás, GO.

- Silva, G. H. R. (2008). *“Formação de Aldeídos e Trihalometanos da Desinfecção por Ozonização, Cloração e Ozonização/Cloração de Efluente de Tratamento Anaeróbio de Esgoto Sanitário”*. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil. 401 p.
- Silva, S. S. (2007) *“Aplicação de radiação UV para desinfecção de efluente da associação de reator UASB e biofiltro aerado submerso.”* Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, 152p.
- Silva, G. H. R. e Nour, E. A. A. (2004). *“Reator compartimentado anaeróbio/aeróbio: Sistema de baixo custo para tratamento de esgotos de pequenas comunidades”*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, **9**(2) p.268-275. Campina Grande, PB.
- Silveira, D. S. A. (2009) *“Avaliação da eficiência da ozonização combinada com o tratamento por lodos ativados de efluentes de fábricas de celulose kraft branqueada.”* Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Viçosa, MG, Brasil.
- Sinoti, A. L. L. (2005) *“Processo eletrolítico no tratamento de esgotos sanitários: estudo da sua aplicabilidade e mecanismos associados”* *Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, ABES, II-047, Campo Grande, MS, Brasil.
- SMA/SP (1976). Decreto nº 8.468. *“Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente.”*. São Paulo.
- Sousa, V. P. e Chernicharo, C. A. L. (2005) *“Sistema compacto de tratamento de esgoto domiciliares composto de tanque séptico modificado e reatores anaeróbios híbridos operando em série”* *Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, ABES, II-205, Campo Grande, MS, Brasil.
- SSMA/ RS (2006) Portaria N.º 05/89. *“Aprova a Norma Técnica SSMA N° 01/89 – DMA, que dispõe sobre critérios e padrões de efluentes líquidos a serem observados por todas as fontes poluidoras que lançam seus efluentes nos corpos d’água interiores do Estado do Rio Grande do Sul”*. Rio Grande do Sul.
- Tecnosan (2012) *“Estação compacta de tratamento de efluentes tipo lodos ativados”*. Tecnosan Tecnologia e Saneamento Ambiental Ltda. Disponível em <http://www.tecnosan.com.br/> Acesso em 27/08/2012.

- Tessele, F.S. (2011) “*Tratamento de efluente de reator anaeróbio de manto de lodos de fluxo ascendente (UASB) por flotação não convencional e desinfecção ultravioleta*” Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.
- Tonetti, A. L., Filho, B. C., Bertocini E. I., Oliveira, R. A., Stefanutti, R. (2010). “Avaliação de um sistema simplificado de tratamento de esgotos visando a utilização em áreas rurais”. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. **14** (2). p.227–234. Campina Grande, PB.
- Uehara, M. Y. et al. (1989) “Operação e manutenção de lagoas anaeróbias e facultativas”. *Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETEB*. São Paulo, SP, Brasil.
- Valentim, M. A. A. (1999) “*Uso de leitos cultivados no tratamento de efluente de tanque séptico modificado*”. Dissertação de Mestrado, FEAGRI – Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP, Campinas, SP, Brasil. 119 p.
- Valor Econômico (2002), “*Sabesp entra no mercado de água para reuso na indústria*”. Denise Carvalho. Publicado em 15/03/2002.
- Veról, A. P. e Volschan Jr, I. (2007) “Inventário e análise de padrões de lançamento de esgotos sanitários: visão nacional e internacional.” *Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. São Paulo, SP.
- Von Sperling, M. (1996) “Princípios básicos do tratamento de esgotos” *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. UFMG Vol.2. Belo Horizonte, MG, Brasil.
- _____ (2002) “Lodos ativados”, *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. UFMG Vol.4, 2º Edição ampliada, Belo Horizonte, Brasil.
- _____ (2005) “Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto”, *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. UFMG Vol.1. Belo Horizonte, Brasil, 53-116p.
- Wisbeck, E., Sandri, E. K., Soares, A. L. M., Medeiros, S. H. W. (2011) “*Desinfecção de água de chuva por radiação ultravioleta*.” *Engenharia Sanitária Ambiental*, **16**(4), 337-342.

APÊNDICES

APÊNDICE A- DIMENSIONAMENTO DO PROTÓTIPO DE ESTAÇÃO COMPACTA DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO

Para o dimensionamento do protótipo de estação compacta para tratamento de esgoto doméstico unifamiliar, foi utilizado como base os cálculos do tanque séptico e do filtro anaeróbio. Desta forma, a seguir estão apresentados os cálculos, do tanque séptico e do filtro anaeróbio e em seguida os do protótipo.

A.1 - TANQUE SÉPTICO

De acordo com a norma NBR 7.229 (ABNT, 1993), o volume útil do tanque séptico é dado:

$$V = 1000 + N (C \times t + L_f \times K)$$

Na qual:

V: volume útil (L);

N: Numero de pessoas ou unidades de contribuição (hab ou unid.);

C: contribuição de esgotos

T: tempo de detenção hidráulica dos despejos;

L_f : Contribuição de lodo fresco.

K: Taxa de acumulação de lodo.

Sendo assim:

N= 5 pessoas

C= 160 L/dia e $L_f = 1$ (conforme a Figura A.0.1, ocupante permanente residencial de alto padrão).

THD=T= 1, de acordo com a Figura A.0.2, até 1500 L o tempo de detenção hidráulica em dias é 1 (um), e em horas são 24. Visto que a temperatura média no Distrito Federal no mês mais frio fica entre $10^\circ \leq t \leq 20^\circ$ e observando a Figura A.0.3, com um intervalo de limpeza da fossa de 1 anos o coeficiente K é de 65.

$$V = 1000 + 5 (160 \times 1 + 1 \times 65)$$

$$V = 2,12 \text{ m}^3$$

Como o volume útil calculado foi menor $6,0 \text{ m}^3$ a profundidade útil mínima é de 1,2 m e a profundidade útil máxima é de 2,2 m, de acordo com a Figura A.0.4da NBR 7229.

Prédio	Unidade	Contribuição de esgotos (C) e lodo fresco (L _f)	
		C	L _f
1. Ocupantes permanentes			
- residência			
padrão alto	pessoa	160	1
padrão médio	pessoa	130	1
padrão baixo	pessoa	100	1
- hotel (exceto lavanderia e cozinha)	pessoa	100	1
- alojamento provisório	pessoa	80	1
2. Ocupantes temporários			
- fábrica em geral	pessoa	70	0,30
- escritório	pessoa	50	0,20
- edifícios públicos ou comerciais	pessoa	50	0,20
- escolas (externatos) e locais de longa permanência	pessoa	50	0,20
- bares	pessoa	6	0,10
- restaurantes e similares	refeição	25	0,10
- cinemas, teatros e locais de curta permanência	lugar	2	0,02
- sanitários públicos ^(A)	bacia sanitária	480	4,0

Figura A.0.1- Contribuição diária de esgoto (C) e de lodo fresco (L_f) por tipo de prédio e de ocupante (ABNT, 1993).

Contribuição diária (L)	Tempo de detenção	
	Dias	Horas
Até 1500	1,00	24
De 1501 a 3000	0,92	22
De 3001 a 4500	0,83	20
De 4501 a 6000	0,75	18
De 6001 a 7500	0,67	16
De 7501 a 9000	0,58	14
Mais que 9000	0,50	12

Figura A.0.2- Período de detenção dos despejos, por faixa de contribuição diária (ABNT, 1993).

Intervalo entre limpezas (anos)	Valores de K por faixa de temperatura ambiente (t), em °C		
	t ≤ 10	10 ≤ t ≤ 20	t > 20
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137
4	214	185	177
5	254	225	217

Figura A.0.3- Taxa de acumulação total de lodo (K), em dias, por intervalo entre limpezas e temperaturas do mês mais frio (ABNT, 1993).

Volume útil (m³)	Profundidade útil mínima (m)	Profundidade útil máxima (m)
Até 6,0	1,20	2,20
De 6,0 a 10,0	1,50	2,50
Mais que 10,0	1,80	2,80

Figura A.0.4- Profundidade útil mínima e máxima, por faixa de volume útil (ABNT, 1993).

A.2 – FILTRO ANAERÓBIO

De acordo com a norma NBR 13.969 (ABNT, 1997), o volume útil do filtro anaeróbio é dado:

$$V_u = 1,6 \times N \times C \times T$$

Na qual:

V_u: volume útil (L);

N: Numero de pessoas ou unidades de contribuição (hab ou unid.);

C: contribuição de esgotos

T: tempo de detenção hidráulica dos despejos;

Assim:

N= 5 pessoas. Contribuição per capita de esgoto (C), considerando a não disponibilidade de dados específicos pode-se adotar de acordo com a Figura A.0.5 da NBR 13.969 ABNT (1997), para a residência de padrão alto, C= 160 L/hab.dia.

- Tempo de detenção hidráulica (T):

Visto que o valor adotado de C é de 160 L/hab.dia, a vazão diária para N igual a 5 pessoas é de 800 L/dia na residência.

A temperatura típica do esgoto, segundo Jordão e Pessoa (2009), fica na faixa de 20 a 25° C. Desta forma, com esta temperatura, que se encaixa na faixa entre 15° e 25° C e como a vazão Q é menor que 1500 L/dia o tempo de detenção hidráulica é T=1 dia ou 24 horas, como pode-se observar na NBR 13.969, ABNT, (1997), Figura A.0.6.

Prédio	Unidade	Contribuição de esgoto L/d	Contribuição de carga orgânica gDBO _{5,20} /d
1. Ocupantes permanentes			
Residência			
Padrão alto	Pessoa	160	50
Padrão médio	Pessoa	130	45
Padrão baixo	Pessoa	100	40
Hotel (exceto lavanderia e cozinha)	Pessoa	100	30
Alojamento provisório	Pessoa	80	30
2. Ocupantes temporários			
Fábrica em geral	Pessoa	70	25
Escritório	Pessoa	50	25
Edifício público ou comercial	Pessoa	50	25
Escolas (externatos) e locais de longa permanência	Pessoa	50	20
Bares	Pessoa	6	6
Restaurantes e similares	Pessoa	25	25
Cinemas, teatros e locais de curta permanência	Lugar	2	1
Sanitários públicos ¹⁾	Bacia sanitária	480	120

¹⁾ Apenas de acesso aberto ao público (estação rodoviária, ferroviária, logradouro público, estádio de esportes, locais para eventos etc.).

Figura A.0.5– Contribuição diária de despejos e de carga orgânica por tipo de prédio e de ocupantes (ABNT, 1993 e 1997) .

Vazão L/dia	Temperatura média do mês mais frio		
	Abaixo de 15°C	Entre 15°C e 25°C	Maior que 25°C
Até 1 500	1,17	1,0	0,92
De 1 501 a 3 000	1,08	0,92	0,83
De 3 001 a 4 500	1,00	0,83	0,75
De 4 501 a 6 000	0,92	0,75	0,67
De 6 001 a 7 500	0,83	0,67	0,58
De 7 501 a 9 000	0,75	0,58	0,50
Acima de 9 000	0,75	0,50	0,50

Figura A.0.6- Tempo de detenção hidráulica de esgotos (T), por faixa de vazão e temperatura do esgoto, em dias, (ABNT, 1997).

- Volume útil

$$V_u = 1,6 \times 5 \times 160 \times 1$$

$$V_u = 1280 \text{ L ou } 1,28 \text{ m}^3.$$

- Altura total do filtro

A altura total do filtro anaeróbio, em metros, é obtida pela equação:

$$H = h + h_1 + h_2$$

Onde:

H é a altura total interna do filtro anaeróbio;

h é a altura total do leito filtrante;

h₁ é a altura da calha coletora;

h₂ é a altura sobressalente (variável).

h = 1,20 m (Já que não existe fundo falso, toda extensão do leito filtrante será preenchido por meio suporte).

$$h_1 = 0,10 \text{ m}$$

$$h_2 = \text{variável.}$$

$$H = 1,20 + 0,1 + 0,3(\text{variável})$$

$$H = 1,60 \text{ m.}$$

A.3 – PROTÓTIPO DE ESTAÇÃO COMPACTA PARA TRATAMENTO DE ESGOTO

As dimensões da estação compacta foram baseadas na soma do volume total do tanque séptico e filtro anaeróbio, calculados nos itens A.1 e A.2. Assim a soma total do volume é de $3,4 \text{ m}^3$. Desta forma, foram adotadas as seguintes dimensões para estação compacta.

- Altura

$$H = 2,0$$

- Raio

$$D = 0,75 \text{ m}$$

- Volume total

$$V = A \times H$$

$$V = 0,75^2 \times \pi \times 2,0$$

$$V_T = 3,53 \text{ m}^3$$

A.3.1 - Câmara 1 (Tanque Séptico Imhoff Modificado)

Para o dimensionamento do tanque Imhoff Modificado a base foi a NBR 7.229 (ABNT, 1982), com diretrizes do Manual de Saneamento da Funasa (2004) e Jordão e Pessoa (2009):

- Volume total da câmara 1

$$V_{TS} = V_T \times 0,40 \text{ (40\% do volume total)}$$

$$V_{TS} = 3,53 \times 0,40$$

$$V_{TS} = 1,41 \text{ m}^3$$

- Volume útil da câmara 1

$$V_{UTS} = A_t \times 0,4 \times 1,78$$

$$V_{UTS} = 1,26 \text{ m}^3 \text{ Aproximadamente.}$$

O volume útil do Tanque Séptico Imhoff é:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5$$

V= volume em litros;

V₁= Volume da câmara de sedimentação;

V₂= Volume decorrente do período de armazenamento do lodo digerido;

V₃= Volume correspondente ao lodo em digestão;

V₄= Volume correspondente à zona neutra; e

V₅= Volume correspondente à zona de espuma.

- Volume da câmara de sedimentação

$$V_1 = N \times C \times T$$

V₁= Volume em litros;

N= 5 (número de contribuintes);

C=160 (contribuição de esgoto de acordo com a tabela 1);

T= para efeito de cálculo foi adotado 0,2 d (período de detenção em dias).

$$V_1 = 5 \times 160 \times 0,2$$

$$V_1 = 0,16 \text{ m}^3$$

Para a câmara de sedimentação foi adotado 0.5 m de largura e 0,61m de comprimento, sendo assim a área desta câmara tem S₁ 0,305 m².

- Volume decorrente do período de armazenamento do lodo digerido

$$V_2 = R_1 \times N \times L_f \times T_a$$

V_2 = Volume em litros;

R_1 = 0,25 (Coeficiente de redução do volume do lodo digerido);

N = 5 (número de contribuintes);

L_f = 1 (contribuição de lodo fresco de acordo com a Figura A.0.1);

T_d = 300 dias (período de armazenamento de lodo digerido).

$$V_2 = 0,25 \times 5 \times 1 \times 365$$

$$V_2 = \mathbf{0,456\ m^3}$$

$$h_2 = \mathbf{0,65\ m}$$

- Volume correspondente ao lodo em digestão

$$V_3 = R_2 \times N \times L_f \times T_d$$

V_3 = Volume em litros;

R_1 = 0,50 (Coeficiente de redução do volume do lodo em digestão);

N = 5 (número de contribuintes);

L_f = 1 (contribuição de lodo fresco de acordo com a tabela 1);

T_d = 50 dias (período de digestão do lodo).

$$V_3 = 0,50 \times 5 \times 1 \times 50$$

$$V_3 = \mathbf{0,125\ m^3}$$

$$h_3 = \mathbf{0,18\ m}$$

- Volume correspondente à zona neutra

$$V_4 = h_n \times S$$

V_4 = Volume em litros;

h_n = h_4 = 0,3m (altura da zona neutra);

$S = 0,71 \text{ m}^2$ (área do Tanque Imhoff em planta).

$$V_4 = 0,3 \times 0,71$$

$$V_4 = 0,21 \text{ m}^3$$

- Volume correspondente à zona de espuma;

$$V_5 = (h_d \times S) - V_1$$

V_5 = Volume em litros;

h_d = distância vertical entre a geratriz inferior interna da câmara de sedimentação e o nível do líquido;

S = área da seção transversal do Tanque Imhoff;

V_1 = volume da câmara de sedimentação.

$h_d = h_i - h_s$ (h_i e h_s correspondem respectivamente às alturas das seções retangular e triangular que compõem a seção vertical da câmara de sedimentação)

Na seção triangular inferior em a inclinação da aba é de 1,2:1 por semelhança de triângulo se tem:

$$1 \text{-----} 1,20$$

$$h_i \text{-----} (0,5/2)$$

$$h_i = 0,21 \text{ m}$$

Volume da câmara de sedimentação:

$$V_1 = V_i + V_s$$

Volume inferior V_i :

$$V_i = \frac{1}{2} \times (h_i \times l \times C)$$

l = largura do tanque de sedimentação

C = comprimento do tanque de sedimentação

$$V_i = \frac{1}{2} \times (0,21 \times 0,5 \times 0,61)$$

$$V_i = 0,032 \text{ m}^3$$

Volume superior V_s :

$$V_s = V_1 - V_i$$

$$V_s = 0,16 - 0,032$$

$$V_s = 0,13 \text{ m}^3$$

Voltando:

$$h_s = \frac{V_s}{A_s}$$

$$h_s = \frac{0,13}{0,305}$$

$$h_s = 0,43 \text{ m}$$

$$h_d = h_i - h_s$$

$$h_d = 0,21 + 0,43$$

$$h_d = 0,64 \text{ m}$$

$$V_5 = (h_d \times S) - V_1$$

$$V_5 = (0,64 \times 0,71) - 0,16$$

$$V_5 = \mathbf{0,29 \text{ m}^3}$$

- Altura total do Tanque Imhoff

$$h_{BL} = 0,21 \text{ m (parte acima da linha d' água)}$$

$$H = h_2 + h_3 + h_4 + h_d + h_{BL}$$

$$H = 0,65 + 0,18 + 0,3 + 0,64 + 0,22$$

$$H = 1,99 \text{ m}$$

A entrada do esgoto bruta esta a 0,65 m de altura e o coletor a 1,78 m de altura na câmara 1 do protótipo.

- Câmara de sedimentação laminar

A câmara de sedimentação dimensionada para o Tanque Imhoff foi modificada, para tal foram colocadas nove laminae posicionadas a 60° em relação à horizontal e distanciadas 5,0 cm, como utilizado por Silva e Nour (2005).

A.3.2- Câmara 2 (Filtro Anaeróbio 1)

- Volume Total do Filtro Anaeróbio (1)

$$V_{FA1} = V_T \times 0,3 \text{ (30\% do volume total)}$$

$$V_{FA1} = 1,06 \text{ m}^3$$

- Volume útil do Filtro Anaeróbio (1)

$$V_{UFA1} = (A_T \times 0,3 \times H_2 \text{ altura da linha d'água}) - \text{Vocupado pelo conduíte}$$

$$V_{UFA1} = (A_T \times 0,3 \times 1,66) - \text{Vocupado pelo conduíte}$$

$$V_{ocupado pelo conduíte} = V \text{ (m}^3/\text{m)} \times M \text{ (metros utilizado)}$$

Diâmetro externo do conduíte 32 mm e diâmetro interno 25 mm, desta forma o volume ocupado por metro de conduíte é de 0,0003132 m³/m. Foram utilizados 11 rolos de 50 metros.

$$V_{ocupado pelo conduíte} = 0,0003132 \times 550$$

$$V_{ocupado pelo conduíte} = 0,17 \text{ m}^3$$

$$V_{UFA1} = 0,88 - 0,17$$

$$V_{UFA1} = 0,71 \text{ m}^3 \text{ Aproximadamente.}$$

- Altura do meio filtrante é de 1,54 m, o material utilizado foi o conduíte de 32 mm de diâmetro, cortado em pedaços de 3,0 cm de largura. O conduíte foi escolhido por ter características satisfatórias como material de meio suporte, além de ser leve e ter sua

aplicação crescente. De acordo com Chernicharo (2007) a porosidade do conduíte esta na ordem de 95%, área superficial ($\sim 200 \text{ m}^2/\text{m}^3$) e peso de $55 \text{ Kg}/\text{m}^3$.

- A alimentação do Filtro Anaeróbio (1) é feita pelo fundo por um sistema de distribuição de canos com inclinação de 1% em relação ao fundo, com a furos espaçados de 0,1m, composto por 1 (um) cano disposto 54° em relação as paredes.
- A coleta do efluente do Filtro Anaeróbio (1) é feita por um coletor situado a 1,66 m de altura, no nível água.

A.3.3- Câmara 3 (Filtro anaeróbio 2 + Decantador Laminar Secundário)

A câmara 3 possui duas tecnologias, na sua parte inferior possui um filtro anaeróbio e na sua parte superior um decantador laminar secundário.

- Volume total da câmara 3

$$V_{TC3} = A_T \times 0,3 \times 2,0$$

$$V_{TC3} = 1,06 \text{ m}^3$$

A.3.3.1 -Filtro Anaeróbio (2)

- Volume útil do Filtro Anaeróbio (2)

$$V_{UFA2} = (A_T \times 0,3 \times 0,89) - V_{ocupado \text{ pelo conduíte}}$$

$$V_{ocupado \text{ pelo conduíte}} = V (\text{m}^3/\text{m}) \times (\text{metros utilizado})$$

$$V_{ocupado \text{ pelo conduíte}} = 0,0003132 \times 300$$

$$V_{ocupado \text{ pelo conduíte}} = 0,094 \text{ m}^3$$

$$V_{UC3} = A_T \times 0,3 \times 0,89$$

$$V_{UC3} = 0,47 - 0,094$$

$$V_{UC3} = 0,38 \text{ m}^3$$

- Altura do meio filtrante é de 0,89 m, o material utilizado foi o conduíte de 32 mm de diâmetro, cortado em pedaços de 3,0 cm de largura.
- A alimentação do Filtro Anaeróbio (2) é feita pelo fundo por um sistema de distribuição de canos com inclinação de 1% em relação ao fundo, com a furos espaçados de 0,1m, composto por 1 (um) cano disposto 54° em relação as paredes.

A.3.3.2- Decantador Laminar Secundário

- Volume útil do decantador laminar secundário

$$V_{UDLS} = A_T \times 0,65$$

$$V_{UDLS} = 0,34 \text{ m}^3$$

O decantador laminar secundário possui dez laminas, posicionadas a 60° em relação à horizontal e distanciadas 3,0 cm.

- Volume útil da câmara 3

$$V_{UC3} = V_{UFA2} + V_{DSL}$$

$$V_{UC3} = 0,72 \text{ m}^3 \text{ aproximadamente.}$$

- A coleta do efluente da câmara 3 é feita por um coletor situado dentro do decantador laminar secundário a 1,54 m de altura, no nível água.

A.3.4 - Tempo de Detenção Hidráulica

1) Tempo de Detenção Hidráulica de projeto

$$TDH = TDH_{C1} + TDH_{C2} + TDH_{C3}$$

$$1-TDH_{C1} = \frac{V_{uc1}}{Q} \text{ dias}$$

$$TDH_{C1} = \frac{1,26}{0,8}$$

$$TDH_{C1} = \mathbf{1,57 \text{ dias}}$$

$$2- TDH_{C2} = \frac{V_{uc2}}{Q} \text{ dias}$$

$$TDH_{C2} = \frac{0,71}{0,8}$$

$$TDH_{C2} = \mathbf{0,88 \text{ dias}}$$

$$3- TDH_{C3} = \frac{V_{uc2}}{Q}$$

$$TDH_{C3} = \frac{0,72}{0,8}$$

$$TDH_{C3} = \mathbf{0,9 \text{ dias}}$$

Voltando:

$$TDH = \mathbf{1,57 + 0,88 + 0,9}$$

$$TDH = \mathbf{3,35 \text{ Dias}}$$

2) Tempo de Detenção Hidráulica do sistema instalado

$$TDH = TDH_{C1} + TDH_{C2} + TDH_{C3}$$

$$1-TDH_{C1} = \frac{V_{uc1}}{Q} \text{ dias}$$

$$TDH_{C1} = \frac{1,26}{0,511}$$

$$TDH_{C1} = \mathbf{2,46 \text{ dias}}$$

$$2- TDH_{C2} = \frac{V_{uc2}}{Q} \text{ dias}$$

$$TDH_{C2} = \frac{0,71}{0,511}$$

$$TDH_{C2} = \mathbf{1,39 \text{ dias}}$$

$$3- TDH_{C3} = \frac{V_{uc2}}{Q}$$

$$TDH_{c3} = \frac{0,72}{0,511}$$

$$TDH_{c3} = 1,4 \text{ dias}$$

Voltando:

$$TDH = 2,46 + 1,39 + 1,4$$

$$TDH = 5,26 \text{ Dias}$$

**APÊNDICE B - PLANTAS BAIXAS, CORTES E VISTA DO PROTÓTIPO DE
ESTAÇÃO COMPACTA DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO.**

