GERSON PAVANELLI

Biofiltro Submerso Modificado para Pós-Tratamento do Efluente de Lagoas de Estabilização

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

Orientador: Prof. Tit. Eduardo Cleto Pires

Versão Corrigida

São Carlos

2014

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

P337b Pavanelli, Gerson
Biofiltro submerso modificado para pós - tratamento
do efluente de lagoas de estabilização / Gerson
Pavanelli; orientador Eduardo Cleto Pires. São Carlos,
2014.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação e Área
de Concentração em Hidráulica e Saneamento -- Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2014.

1. Biofiltro. 2. Pós - tratamento de lagoa. 3.
Remoção de algas. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **GERSON PAVANELLI**.

Título da tese: "Biofiltro submerso modificado para pós-tratamento do efluente de lagoas de estabilização".

Data da defesa: 27/08/2014

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Titular **Eduardo Cleto Pires (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Aprovado

Profa. Dra. **Márcia Helena Rissato Zamariolli Damianovic**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Aprovado

Dra. **Valéria Del Nery**
(Pós-Doc/CNPq)

APROVADO

Prof. Dr. **Erich Kellner**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

APROVADO

Prof. Dr. **Rodrigo Braga Moruzzi**
(Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/UNESP- Rio Claro)

Aprovado

Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento:

Profa. Associada **Maria Bernadete A. Varesche Silva**

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

À minha amada esposa Inês, aos filhos Alisson,
Everton, Bianca, Társsia, neta Isabelle e aos
colaboradores da empresa Sanetec.

AGRADECIMENTOS

À Deus em primeiro lugar, que direcionou e contribuiu para que em meio de todas as coisas ocorridas durante o desenvolvimento, permitiu subir os degraus, até aqui.

A minha amada esposa Inês, pelo carinho, dedicação e amor, a qual abdicando de sua profissão como a melhor das psicólogas, fazendo opção pela família. Pelo imensurável apoio como minha ajudadora idônea.

Ao Professor Eduardo Cleto Pires, por sua instrução e orientação para que este trabalho se tornasse possível, em especial pela característica de flexibilidade, seu mérito, o qual viabilizou a pesquisa em dois aspectos principalmente: em parcerias e o de permitir o desenvolvimento da pesquisa em Cascavel/PR.

Ao co-orientador da SANEPAR, Décio Jurgensen, por suas ações e empenho pessoal, muitas vezes em confronto com dificuldades encontradas para a realização das análises do experimento, porém, solucionadas pela boa vontade e bom senso.

A minha irmã Elizabeth e ao meu cunhado Antônio Francisco do Prado, pelo apoio e hospitalidade em todas as vezes que estivemos, só ou com minha esposa, em São Carlos.

Aos amigos da SANEPAR, Gilmar Javorski Gomes da Cruz, Carlos Roberto Pinto, Charles Carneiro, Rita Ivone Camana, entre outros que contribuíram para esse trabalho.

À Prof^a. Maria do Carmo Calijuri e a Adriana Cristina Poli Miwa pela colaboração nas medidas de Clorofila *a*.

As professoras Norma Catarina Bueno e Irene Carniatto da Unioeste de Cascavel/PR, que por meio da aluna Wiviany Riediger, deu apoio qualitativo e quantitativo na realização dos estudos de biologia com as algas das lagoas estudadas.

Aos professores do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC/USP, Marcelo Zaiat, pela amizade e conhecimento demonstrados. Aos funcionários da secretaria que sempre atendem com ânimo e disposição na prestação de serviços.

Aos amigos da empresa SHS Consultoria de São Carlos e do curso de Hidráulica e Saneamento da USP; especialmente ao Ricardo Camilo Galavoti, Adriani Pereira e Susanah S. Langer, que ofereceram uma das coisas mais preciosas: a amizade.

Às empresas que participaram no patrocínio da parte experimental do projeto: SANEPAR, TIGRE, TIGRE-ADS, SAINT-GOBAN e SULZER-ABS.

Certamente esqueci-me de citar nomes de muitos que ajudaram neste trabalho de equipe, mas agradeço sinceramente, a todos que contribuíram para seu êxito, respeitosamente, desejo que Deus sempre os abençoe.

*“Em tudo, dai graças, porque esta é a vontade
de Deus em Cristo Jesus para convosco.”
1 Tessalonicenses 5:18*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	v
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	vii
LISTA DE SÍMBOLOS	viii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
2.1 OBJETIVO GERAL.....	2
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
3. REVISÃO DA LITERATURA	3
3.1 LEGISLAÇÃO	3
3.1.1 Legislação Ambiental Estadual e Federal	3
3.1.2 Parâmetros de Lançamento.....	4
3.2 TRATAMENTO POR LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO.....	6
3.3 FILTROS DE PEDRA ASSOCIADOS OU DISSOCIADOS DE OUTRAS UNIDADES DE TRATAMENTO	12
3.4 FILTRO DE PEDRAS – OUTROS ESTUDOS	15
3.5 FILTRO INTERMITENTE DE AREIA	16
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
4.1. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS/MÉTODOS UTILIZADOS PARA A MONTAGEM DA INSTALAÇÃO DE PESQUISA NA ÁREA DA ETE NORTE.....	22
4.1.1. Sistema de Recalque	22
4.1.2. Sistema de Distribuição Hidráulica	23
4.1.3. Sistema de Biofiltros Submersos (SBSs).....	24
4.1.4. Sistema de Efluentes e Descargas.....	29
4.2 PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS	32
4.2.1 Dimensionamento dos biofiltros submersos	33
4.3 MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA ANALÍTICA	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
5.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS	38

5.1.1 Clorofila <i>a</i>	39
5.1.2 DQO (Demanda Química de Oxigênio)	43
5.1.2.1 Perfis de caracterização para a DQO (Demanda Química de Oxigênio)	47
5.1.3 DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio)	50
5.1.4 Potencial Hidrogeniônico (pH)	54
5.1.5 Coliformes Totais.....	57
5.1.6 Coliformes Termotolerantes	61
5.1.7 Fósforo Total	64
5.1.8 Nitrogênio Total	68
5.1.9 Sólidos Totais	72
5.1.10 Sólidos Suspensos Totais	76
5.1.11 Sólidos Dissolvidos Totais	80
5.1.13 Sólidos Sedimentáveis	84
5.1.14 Sólidos Totais Fixos	87
5.1.16 Óleos e Graxas	95
5.1.17 Óleos e Graxas Minerais	98
5.1.18 Óleos Vegetais e Gorduras Animais.....	101
5.1.19 Temperatura	105
5.2 ANÁLISE COMPARATIVA DOS VMPS (VALORES MÁXIMOS PERMITIDOS) PARA AS VARIÁVEIS DE QUALIDADE	105
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	107
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
ANEXO.....	115

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Foto e vista da ETE Arrudas em Belo Horizonte/MG (ANDRADA, 2005).	15
Figura 2 - Vista aérea e corte esquelético da ETE Norte da SANEPAR, situada em Cascavel/PR (Fonte: Google Earth - 22/12/2013), com seu respectivo perfil hidráulico.	19
Figura 3 - Planta do Tratamento Preliminar com Gradeamento Mecânico e Desarenador tipo ciclônico da ETE Norte em Cascavel/PR.	21
Figura 4 - Corte do Tratamento Secundário utilizando o Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado – RALF (UASB), sendo duas unidades de 100 l/s cada, na ETE Norte em Cascavel/PR.	21
Figura 5 - Sequência de operação da descida das motobombas na lagoa de Maturação.	23
Figura 6 - Caixa de distribuição de fluxo aos biofiltros submersos, em aço galvanizado, medidas em mm.	24
Figura 7 - Biofiltros submersos em PEAD DN 1050 mm revestidos internamente com fibra de vidro.	25
Figura 8 - Recheio dos BS (brita 3) e corte/planta dos BS mostrando seu fundo falso, dimensões em cm.	26
Figura 9 - Dispositivo de coleta superficial do efluente final, em PVC DN 25 mm.	27
Figura 10 - Cobertura dos reservatórios, caixas distribuidoras de vazão e biofiltros submersos.	27
Figura 11 - Sistema de biofiltros submersos (SBSs), mostrando a numeração dos pontos de coleta de amostras: 1 a 8 para os biofiltros submersos (BS), sendo 1 a 4 para a zona intermediária e 5 a 8 para a zona superficial: EZI – Entrada da Zona Intermediária e EZS – Entrada da Zona Superficial.	28
Figura 12- Fluxograma A - Descritivo detalhado do caminhamento do fluxo de esgoto através do sistema de biofiltros submersos (SBSs).	30
Figura 13- Fluxograma B - Descritivo detalhado do caminhamento do fluxo de esgoto através do sistema de biofiltros submersos (SBSs).	31
Figura 14- Tubulações efluentes do experimento, em PVC DN 40 mm e DN 100 mm.	32
Figura 15 - Valores de Clorofila <i>a</i> em µg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZI – Entrada da zona intermediária.	40
Figura 16 - Valores de Clorofila <i>a</i> , em µg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial.	40
Figura 17 - Valores percentuais de eficiência de remoção de Clorofila <i>a</i> na zona intermediária. BS – Biofiltro Submerso.	42
Figura 18 - Valores percentuais de eficiência de remoção de Clorofila <i>a</i> na zona superficial. BS – Biofiltro Submerso.	42
Figura 19 - Valores de DQO (Demanda Química de Oxigênio), em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZI – Entrada da zona intermediária.	45
Figura 20 - Valores de DQO (Demanda Química de Oxigênio), em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial.	45
Figura 21- Valores percentuais de eficiência de remoção para DQO (Demanda Química de Oxigênio) na zona intermediária.	47
Figura 22 - Valores percentuais de eficiência de remoção para DQO (Demanda Química de Oxigênio) na zona superficial.	47
Figura 23 - Perfis de caracterização em 24 horas para a eficiência de remoção de DQO (Demanda Química de Oxigênio) dos biofiltros submersos (BSs) da zona intermediária.	48

Figura 24 - Perfis de caracterização em 24 horas para a eficiência de remoção de DQO (Demanda Química de Oxigênio) dos biofiltros submersos (BSs) da zona superficial.	49
Figura 25 - Valores de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), em mg/L, para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZI – Entrada da zona intermediária.	51
Figura 26 - Valores de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), em mg/L, para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial.....	51
Figura 27 - Valores percentuais de eficiência de remoção para DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) na zona intermediária. BS – Biofiltro Submerso.....	53
Figura 28 - Valores percentuais de eficiência de remoção para DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) na zona superficial. BS – Biofiltro Submerso.	54
Figura 29 - Valores de pH (potencial hidrogeniônico) obtidos para os biofiltros submersos (BS) alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação.	55
Figura 30- Valores de pH (potencial hidrogeniônico) obtidos para os biofiltros submersos (BS) alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação.	55
Figura 31- Valores de coliformes totais, em UFC/100 mL, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZI – Entrada da zona intermediária.	58
Figura 32 - Valores de coliformes totais, em UFC/100 mL, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial.....	58
Figura 33 - Valores percentuais de eficiência de remoção para coliformes totais na zona intermediária. BS – Biofiltro Submerso.	60
Figura 34 - Valores percentuais de eficiência de remoção para coliformes totais na zona superficial. BS – Biofiltro Submerso.....	60
Figura 35 - Valores de coliformes totais, em UFC/100 mL, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZI – Entrada da zona intermediária.	61
Figura 36 - Valores de coliformes totais, em UFC/100 mL, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial.....	62
Figura 37 - Valores percentuais de eficiência de remoção para coliformes termotolerantes na zona intermediária. BS – Biofiltro Submerso.....	63
Figura 38 - Valores percentuais de eficiência de remoção para coliformes termotolerantes na zona intermediária. BS – Biofiltro Submerso.....	64
Figura 39 - Valores de fósforo total, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZI – Entrada da zona intermediária.	65
Figura 40 - Valores de fósforo total, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZI – Entrada da zona superficial.	65
Figura 41 - Valores percentuais de eficiência de remoção para fósforo total na zona intermediária. BS – Biofiltro Submerso.	67
Figura 42 - Valores percentuais de eficiência de remoção para fósforo total na zona superficial. BS – Biofiltro Submerso.....	67
Figura 43 - Valores de nitrogênio total, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZI – Entrada da zona intermediária.	68

Figura 44 - Valores de nitrogênio total, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial.	69
Figura 45 - Valores percentuais de eficiência de remoção para nitrogênio total na zona intermediária. BS – Biofiltro Submerso.	71
Figura 46 - Valores percentuais de eficiência de remoção para nitrogênio total na zona superficial. BS – Biofiltro Submerso.	71
Figura 47 - Valores de sólidos totais, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso	73
Figura 48 - Valores de sólidos totais, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso.	73
Figura 49 - Valores percentuais de eficiência de remoção para sólidos totais na zona intermediária. BS – Biofiltro Submerso.	75
Figura 50 - Valores percentuais de eficiência de remoção para sólidos totais na zona superficial. BS – Biofiltro Submerso.	75
Figura 51 - Valores de sólidos suspensos totais, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZI – Entrada da zona intermediária.	77
Figura 52 - Valores de sólidos suspensos totais, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação.	77
Figura 53 - Valores de eficiência de remoção de sólidos suspensos totais, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZI – Entrada da zona intermediária.	79
Figura 54 - Valores de eficiência de remoção de sólidos suspensos totais, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial.	79
Figura 55 - Valores de sólidos dissolvidos totais, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZI – Entrada da zona intermediária.	81
Figura 56 - Valores de sólidos dissolvidos totais, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial.	81
Figura 57 - Valores de eficiência de remoção de sólidos dissolvidos totais, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso.	83
Figura 58 - Valores de eficiência de remoção de sólidos dissolvidos totais, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação.	83
Figura 59 - Valores de sólidos sedimentáveis, em mL/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZI – Entrada da zona intermediária.	84
Figura 60 - Valores de sólidos sedimentáveis, em mL/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial.	85
Figura 61 - Valores de eficiência de remoção de sólidos sedimentáveis obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação.	86

Figura 62 - Valores de eficiência de remoção de sólidos sedimentáveis obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluyente extraído da zona superficial da lagoa de maturação. (Obs.: Os traços são coincidentes).....	87
Figura 63 – Valores de sólidos totais fixos, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluyente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação.	88
Figura 64 - Valores de sólidos totais fixos, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluyente extraído da zona superficial da lagoa de maturação.....	88
Figura 65 - Valores de eficiência de remoção dos sólidos totais fixos, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluyente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso.....	90
Figura 66 - Valores de eficiência de remoção dos sólidos totais fixos, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluyente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso.....	90
Figura 67 - Valores de sólidos totais voláteis, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluyente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação.	91
Figura 68 - Valores de sólidos totais voláteis, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluyente extraído da zona superficial da lagoa de maturação.....	92
Figura 69 - Valores de eficiência de remoção dos sólidos totais voláteis, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluyente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação.....	94
Figura 70 - Valores de eficiência de remoção dos sólidos totais voláteis, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluyente extraído da zona superficial da lagoa de maturação.....	94
Figura 71 - Valores de óleos e graxas totais obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluyente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação.....	95
Figura 72 - Valores de óleos e graxas totais obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluyente extraído da zona superficial da lagoa de maturação.	96
Figura 73 - Valores de eficiência de remoção de óleos e graxas obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluyente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação.....	97
Figura 74 - Valores de eficiência de remoção de óleos e graxas obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluyente extraído da zona superficial da lagoa de maturação.	98
Figura 75 - Valores de óleos e graxas minerais, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluyente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação.	99
Figura 76 - Valores de óleos e graxas minerais, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluyente extraído da zona superficial da lagoa de maturação.....	99
Figura 77 - Valores de eficiência de remoção de óleos e graxas obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluyente extraído da zona superficial da lagoa de maturação. Obs.: Traços coincidentes.....	101
Figura 78 - Valores de óleos vegetais e gorduras animais, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluyente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação.	102
Figura 79 - Valores de óleos vegetais e gorduras animais, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluyente extraído da zona superficial da lagoa de maturação. ..	102
Figura 80 - Valores de eficiência de remoção de óleos vegetais e gorduras animais obtidos para biofiltros submersos alimentados com afluyente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação.....	104
Figura 81 - Valores de eficiência de remoção de óleos vegetais e gorduras animais obtidos para biofiltros submersos alimentados com afluyente extraído da zona superficial da lagoa de maturação.....	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros para lançamento de efluente em corpos receptores de acordo com a Resolução CONAMA 430/2011.....	4
Tabela 2 - Parâmetros SEMA/PR Resolução 021/2009.....	5
Tabela 3 - Características dos principais sistemas de lagoas.....	5
Tabela 4 - Resumo das eficiências médias percentuais de remoção.	14
Tabela 5 - Características de projeto e qualidade do efluente de um sistema de lagoa facultativa seguida de um filtro intermitente de areia.	16
Tabela 6 - Parâmetros de projeto da ETE Norte de Cascavel/PR (conforme dados da SANEPAR).....	20
Tabela 7 - Altura da camada filtrante para cada biofiltro submerso.	24
Tabela 8 - Volume útil dos biofiltros submersos.....	33
Tabela 9 - Volume útil dos biofiltros submersos.....	34
Tabela 10 - Outros Parâmetros de Estudos.....	34
Tabela 11 - Métodos de ensaios analíticos utilizados nesta pesquisa, de acordo com APHA, 2012.	35
Tabela 12 – Eficiências de Remoção de DBO e SST da ETE Norte de Cascavel/PR (conforme dados da SANEPAR)	37
Tabela 13 - Valores de Clorofila <i>a</i> em µg/L, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).....	39
Tabela 14 - Valores percentuais de eficiência de remoção mínima, máxima e média para Clorofila <i>a</i>	41
Tabela 15 - Valores de DQO (Demanda Química de Oxigênio), em mg/L, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).	44
Tabela 16 - Valores percentuais de eficiência de remoção mínima, máxima e média para DQO (Demanda Química de Oxigênio).....	46
Tabela 17 - Datas de realização dos perfis de caracterização de eficiência de remoção de DQO (Demanda Química de Oxigênio) para os biofiltros submersos (BS).	48
Tabela 18 - Valores de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), em mg/L, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).	50
Tabela 19 - Valores percentuais de eficiência de remoção mínima, máxima e média para DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio).....	52
Tabela 20 – Valores de pH (potencial hidrogeniônico) nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).	54
Tabela 21 - Valores de pH mínimos, máximos e médios para as zonas intermediária e superficial do sistema de biofiltros submerso (SBSs).	56
Tabela 22 - Valores de coliformes totais, em UFC/100 mL, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).	57
Tabela 23 - Valores percentuais de eficiência de remoção mínima, máxima e média para Coliformes Totais	59
Tabela 24 - Valores de coliformes termotolerantes em UFC/100 mL, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).	61
Tabela 25 - Valores percentuais de eficiência de remoção mínima, média e máxima para Coliformes Termotolerantes.	62
Tabela 26 - Valores de fósforo total, em mg/L, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).....	64
Tabela 27 - Valores percentuais de eficiência de remoção mínima, máxima e média para fósforo total.	66

Tabela 28 - Valores de nitrogênio total, em mg/L, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).....	68
Tabela 29 - Valores percentuais de eficiência de remoção mínima, máxima e média para nitrogênio total.....	70
Tabela 30 - Valores de sólidos totais, em mg/L, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).....	72
Tabela 31 - Valores percentuais de eficiência de remoção mínima, máxima e média para sólidos totais.	74
Tabela 32 - Valores de sólidos suspensos totais, em mg/L, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).	76
Tabela 33 - Valores de eficiência de remoção de sólidos suspensos totais, para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação.	78
Tabela 34 - Valores de sólidos dissolvidos totais, em mg/L, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).	80
Tabela 35 - Valores de eficiência de remoção de sólidos dissolvidos totais, para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação.	82
Tabela 36 - Valores de sólidos sedimentáveis, em mL/L, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).	84
Tabela 37 - Valores de eficiência de remoção de sólidos sedimentáveis, para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído das zonas intermediária e superficial da lagoa de maturação.....	85
Tabela 38 - Valores de sólidos totais fixos em mg/L, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).....	87
Tabela 39 - Valores percentuais de eficiência de remoção mínima, máxima e média para sólidos totais fixos.	88
Tabela 40 - Valores de sólidos totais voláteis, em mg/L, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).....	91
Tabela 41 - Valores de Eficiência de Remoção dos sólidos totais voláteis, para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zonas superficial e intermediária da lagoa de maturação.....	93
Tabela 42 - Valores de óleos e graxas, em mg/L, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).....	95
Tabela 43 - Valores de eficiência de remoção de óleos e graxas totais, para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído das zonas intermediária e superficial da lagoa de maturação.....	96
Tabela 44 - Valores de óleos e graxas minerais, em mg/L, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).	98
Tabela 45 - Valores de eficiência de remoção de óleos e graxas minerais, para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação.	100
Tabela 46 - Valores de óleos vegetais e gorduras animais, em mg/L, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).	101
Tabela 47 - Valores de eficiência de remoção de óleos vegetais e gorduras animais para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraídos da lagoa de maturação.	103
Tabela 48 - Valores de temperatura ambiente medidos no local da instalação de pesquisa. .	105
Tabela 49 - Análise Comparativa do Atendimento aos VMPs (Valores Máximos Permitidos) da Portaria CONAMA 430/2011 por parte das variáveis analisadas para o SBS.	106

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Agentes Tensoativos
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AS	Ácido Sulfúrico
AT	Acidez Total
AWWA	American Water Works Association
BIOTACE	Laboratório de Biotoxicologia em Águas Continentais e Efluentes
BS	Biofiltro Submerso
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Del Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DN	Diâmetro Nominal
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EPA	Environmental Protection Agency
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
EZI	Entrada Zona Intermediária
EZS	Entrada Zona Superficial
FD	Ferro Dútil
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
NAT	Nitrogênio Amoniacal Total
NT	Nitrogênio Total
OD	Oxigênio Dissolvido
OG	Óleos e Graxas
OGM	Óleos e Graxas Minerais
OMS	Organização Mundial de Saúde
OPAS	Organização Panamericana de Saúde
PE	Poliestireno
pH	Potencial Hidrogeniônico
PM	Peso Molecular
PP	Polipropileno
PR	Paraná
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
PT	Fosfato Total
PTFE	Poli Tetra Fluoroetileno (Teflon)
PVC	Policloreto de Vinila
RALEx	Reator Anaeróbio de Leito Expandido
RALF	Unidade Anaeróbia de Leito Fluidizado (UASB da SANEPAR)
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SBSs	Sistema de Biofiltros Submersos
SEMA	Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Estado do Paraná
SS	Sólidos Suspensos
SST	Sólidos Suspensos Totais
ST	Sólidos Totais
THM	Trihalometanos
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UNIOESTE	Universidade Estadual do Oeste do Paraná
ZI	Zona Intermediária
ZS	Zona Superficial

LISTA DE SÍMBOLOS

Al	Alumínio
cel/mL	células por mililitro (ou ind/mL)
CH ₄	Metano
cm	centímetro
Co	Cobalto
CO ₂	Dióxido de Carbono
CTM	Coliformes Termotolerantes
Cu	Cobre
Fe	Ferro
g	grama
h	altura
hab	habitante
kg	quilograma
kg/d	quilograma por dia
kg/m ³	quilograma por metro cúbico
L/d	litro/dia
L/s	litro por segundo
Log	unidades log
m ²	metro quadrado
m ³	metro cúbico
m ³ /h	metro cúbico por hora
m ³ /m ³ .d	metro cúbico por metro cúbico por dia
µm	micrômetro
mg Pt/L	miligramas de cloroplatinato por litro
mg/L	miligrama por litro
mL/L	mililitro por litro
mm	milímetro
mm/h	milímetro por hora
mm ³ /L	milímetro cúbico por litro
NH ₄ ⁺	íon amônio
Ni	Níquel
NMP	número mais provável
NTU	Nephelometric Turbidity Unit (unidade nefelométrica de turbidez)
O ₂	Oxigênio
°C	Graus Centígrados
pH	potencial hidrogeniônico
PtCo	Unidade de cor cloroplatinato
$\bar{Q}$	Vazão média
uH	unidade Hazen – unidade de cor
uT	unidade de turbidez (o mesmo que NTU)
Zn	Zinco
θ _c	tempo de retenção celular
θ _h	tempo de detenção hidráulica
µg/L	microgramas por litro
µS	microsiemens por centímetro

RESUMO

PAVANELLI, G. (2014). Biofiltro submerso modificado para pós-tratamento do efluente de lagoas de estabilização. São Carlos, 2014. 133p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Esta pesquisa propôs o desenvolvimento de um sistema de biofiltros submersos, modificados com base na configuração de filtros de pedra, visando o pós-tratamento do efluente de lagoas de estabilização, inicialmente para a remoção de algas. A modificação consiste na variação das alturas da camada filtrante e na colocação de tampa na superfície do BS, evitando o acesso da luz. O esgoto tratado captado na lagoa de maturação foi feito em duas profundidades – a 60 cm de profundidade da superfície da lagoa (denominada zona superficial) e a 180 cm de profundidade da superfície da lagoa (denominada zona intermediárias). O experimento foi composto por 8 BS sendo 4 BS alimentados pelo esgoto captado na zona superficial (60 cm) e outros 4 BS alimentados pela esgoto captado na zona intermediária (180 cm). Foi utilizado, como recheio dos biofiltros submersos, pedra brita nº 3, nas seguintes alturas de camada filtrante: 50 cm, 100 cm, 150 cm e 200 cm, tendo por objetivo avaliar a influência deste fator sobre a eficiência de remoção de algas mediante análise de Clorofila *a*, e outras 16 variáveis de qualidade associadas neste estudo. Concluiu-se que a extração a partir da zona superficial da lagoa de maturação, e uma profundidade de leito entre 150 cm e 200 cm, foram os parâmetros operacionais que levaram a um melhor desempenho global dos biofiltros submersos modificados, e mais especificamente quanto às seguintes variáveis: Clorofila *a*, DQO (Demanda Química de Oxigênio), DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e sólidos totais.

Palavras-chave: biofiltro, pós-tratamento de lagoa, remoção de algas.

ABSTRACT

PAVANELLI, G. (2014). Modified Submerged Biofilter for Post Treatment of the Effluent of Stabilization Lagoons. São Carlos, 2014. 133p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

This research proposed the development of a submerged bio filters system, modified based in rock filters configuration, aiming the post treatment of the effluent of stabilization lagoons, for algae removal first. The modification consists invariance of the heights of the filter layer and the cover placed on the surface of the BS, preventing access of light. The treated sewage captured in the maturation lagoon was made at two depths—at 60cm depth of the lagoon surface (called superficial zone) and at 180cm depth of the lagoon surface (called intermediary zone). The experiment consisted of 8 BS, with 4 BS being fed by sewage captured in the superficial zone (60 cm) and other 4 BS fed by sewage captured in the intermediary zone (180 cm). It was used, as a stuff of submerged biofilters, rock number three, at the following heights of filtering layers: 50 cm, 100 cm, 150 cm e 200 cm, aiming to evaluate the influence of this factor over algae removal efficiency towards chlorophyll *a*, and other 16 quality variables associated in this study. It was concluded that the collecting from superficial zone of the maturation lagoon, and a layer depth between 150 cm e 200 cm, were the operational parameters that lead to a better overall performance of modified submerged biofilters, and more particularly to the following variables: Chlorophyll *a*, COD (Chemical Oxygen Demand), BOD (Biochemical Oxygen Demand) and total solids.

Key words: biofilters; lagoon post treatment; algae removal.

1. INTRODUÇÃO

Dentre os principais problemas enfrentados em Estações de Tratamento de Esgoto – ETEs, providas de sistemas de tratamento por meio de lagoas, destaca-se o excesso de produção de algas, concorrendo para o não atendimento aos requisitos da legislação ambiental federal e estadual, para efluentes lançados em cursos d'água, no que diz respeito, por exemplo, aos valores de nitrogênio amoniacal.

Tal fato tem sido recorrente em instalações situadas em todo o mundo, ocorrendo também, nos últimos anos, em 65 ETEs nos sistemas de tratamento de esgoto da SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná, o que motivou o interesse na presente pesquisa, realizada mediante convênio celebrado entre a USP (Universidade de São Paulo), UNIOESTE (Universidade Estadual do Oeste do Paraná) e SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná), visando encontrar soluções para o problema enfrentado.

A literatura apresenta como alternativa de pós-tratamento para o problema de remoção de tais algas os chamados filtros de pedra, posicionados à jusante de lagoas de tratamento. Diversos autores nacionais e estrangeiros (VON SPERLING *et. al.*, 2005; MIDDLEBROOKS, 1995) pesquisaram o tema dos filtros de pedra como pós-tratamento de efluentes de lagoas.

Na presente pesquisa foram utilizados biofiltros submersos modificados, residindo os destaques do seu ineditismo: 1 - No estudo da relação entre a altura da camada filtrante nos biofiltros submersos, cuja configuração foi baseada em filtros de pedra, com a eficiência de remoção das algas e substâncias indesejadas presentes no efluente de uma lagoa de tratamento de esgoto, implicando em variações nos custos de instalações destinadas a tais fins, e em variações da eficiência global de sistemas de tratamento de esgoto sanitário; 2 – A influência da colocação de tampas nos biofiltros submersos sobre a eficiência de remoção das algas, realizado com vistas a obter um meio interno anaeróbio, que concorresse para a morte das algas; 3 – O estudo conjunto do desempenho dos biofiltros submersos para a remoção de algas e substâncias indesejadas do efluente de uma zona mais profunda (1,8 m, denominada intermediária) de uma lagoa de tratamento de esgoto, presumidamente tendendo a anaeróbia e com ausência de luz solar; e de uma zona menos profunda (0,60 m, denominada superficial) da mesma lagoa, presumidamente na presença de luz solar e com tendência a ser aeróbia.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver estudos com o uso de biofiltros submersos modificados (construídos com base na configuração de filtros de pedra) como unidades de pós-tratamento, à jusante de lagoas de tratamento de esgoto sanitário, visando verificar o desempenho na remoção de algas e sólidos suspensos para diferentes alturas de camada filtrante, de modo a incrementar a eficiência global do tratamento de esgoto em ETEs providas de lagoas, e promover adequação à legislação ambiental federal (CONAMA – Resolução 430/2011) e estadual (IAP – Instituto Ambiental do Paraná, e SEMA/PR - Resolução Nº 021/09).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 2.2.1. Associação da qualidade dos efluentes dos biofiltros submersos considerando as tomadas nas zonas, superficial a 60 cm e intermediária a 180 cm;
- 2.2.2. Avaliação do desempenho com relação a variação da altura do leito filtrante dos biofiltros submersos, operando com 50, 100, 150 e 200 cm de altura, com pedra brita nº 3;
- 2.2.3. Monitoramento da eficiência de remoção, em especial, das algas e sólidos suspensos, das unidades do experimento, considerando a obstrução de entrada de luz externa na superfície do biofiltro submerso.

3. REVISÃO DA LITERATURA

O processo de produção primária de biomassa de algas em lagoas para tratamento de esgoto tem origem nas condições geradas na superfície. Essas condições estão associadas ao fluxo de energia solar, temperatura, oxigênio dissolvido, dióxido de carbono, concentração de nutrientes e fatores bióticos. A temperatura e o tempo do fluxo solar são fatores fundamentais para o desenvolvimento das algas.

A presença excessiva das algas no efluente de uma ETE, com lagoas, faz com que as características desse não atendam aos padrões ambientais de emissão exigidos pela legislação, prejudicando o corpo receptor. O aumento das concentrações de algas ou florações nas lagoas de tratamento de esgoto está intimamente relacionado à presença de fósforo e nitrogênio, elementos abundantes nas lagoas de tratamento de esgoto.

Em uma lagoa, a termoclina é um ponto que divide e identifica uma alteração na temperatura e densidade, sendo a camada que divide o epilânio e o hipolânio. A existência dessas duas camadas líquidas faz com que algas não motoras permaneçam próximo à termoclina consumindo oxigênio, ao passo que as algas motoras situem-se entre 30 a 50 cm da superfície, formando uma camada espessa, dificultando a penetração da luz solar. Ao ocorrer o fenômeno da mistura e estratificação térmica na lagoa, devido à ação dos ventos e a um diferencial de temperatura, a distribuição das algas no interior da lagoa é favorecida (JORDÃO, 2005).

3.1 LEGISLAÇÃO

3.1.1 Legislação Ambiental Estadual e Federal

A Resolução CONAMA 430/2011 dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

O CONAMA não estabeleceu padrão de lançamento para sólidos suspensos (SS), ficando a cargo da legislação estadual pertinente, neste caso, o IAP, no estado do Paraná.

O Instituto Ambiental do Paraná - IAP, entidade autárquica, foi instituído em 1992, através da Lei Estadual n.º 10.066, de 27 de julho com a criação da Secretaria de Estado de Meio Ambiente - SEMA, e tem sido o órgão responsável pela formulação e execução da política ambiental no Estado do Paraná.

3.1.2 Parâmetros de Lançamento

A Tabela 1 apresenta os parâmetros que condicionam o lançamento de efluentes em corpos receptores, de acordo com a Resolução CONAMA 430/2011.

Tabela 1 - Parâmetros para lançamento de efluente em corpos receptores de acordo com a Resolução CONAMA 430/2011.

PARÂMETRO	VALORES LIMITES	OBSERVAÇÃO
pH	5 a 9	
Temperatura	40 °C	Sendo a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C na zona de mistura.
Ausência de Materiais Flutuantes		
Materiais Sedimentáveis	1,0 mL/L	Em teste de 1 hora em cone imhoff. Para o lançamento em lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes.
cor verdadeira	até 75 mg Pt/L	
turbidez	até 100 UT	
DBO 5 dias a 20°C	até 5 mg/L O ₂	
OD	5 mg/L O ₂	Em qualquer amostra, não inferior
clorofila _a	até 30 µg/L	
densidade de cianobactérias	até 50000 cel/mL ou 5 mm ³ /L	
fósforo total	até 0,030 mg/L	Em ambientes lênticos
	até 0,050 mg/L	Em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lêntico
Regime de lançamento no rio	Vazão permitida	Lançamento do efluente da ETE com vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente.

SEMA – Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Estado do Paraná

A Resolução N° 021/09 – SEMA, em seu artigo 11° determina os padrões de lançamento e de automonitoramento dos efluentes das ETEs, que somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, desde que obedeçam as condições e padrões estabelecidos, conforme apresenta a Tabela 2, resguardadas outras exigências cabíveis.

Tabela 2 - Parâmetros SEMA/PR Resolução 021/2009.

PARÂMETRO	VALORES LIMITES	OBSERVAÇÃO
pH	5 a 9	
Temperatura	40 °C	
Ausência de Materiais Flutuantes		
Materiais Sedimentáveis	1,0 mL/L	Em teste de 1 hora em cone imhoff. Para o lançamento em lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes.
DBO 5 dias a 20°C	30 até 90 mg/L	Para lançamentos no lago de Itaipu adotar limite inferior
DQO	75 até 225 mg/L	Para lançamentos no lago de Itaipu adotar limite inferior
Óleos e graxas:	até 20mg/L	Óleos minerais
	até 50mg/l	Óleos vegetais e gorduras animais

Observando esses valores limites, especialmente os da Tabela 1 referente aos padrões do CONAMA, e considerando o problema crescente de algas nos cursos d'água, constata-se a necessidade do desenvolvimento de sistemas de tratamento que garantam uma melhor qualidade das águas nos efluentes finais das ETEs, pois ainda há necessidade de melhoria da eficiência de remoção da DBO, DQO e sólidos suspensos, bem como de outras variáveis de qualidade, conforme se percebe pela Tabela 3.

Tabela 3 - Características dos principais sistemas de lagoas.

Item Geral	Item Específico	Sistemas de Lagoas				
		Facultativa	Anaeróbia-facultativa	Aerada-facultativa	Aerada – mistura completa-sedimentação	Anaeróbia-facultativa-maturação
Eficiência de Remoção (%)	DBO	75 – 85	75 – 85	75 – 85	75 – 85	80 – 85
	DQO	65 – 80	65 – 80	65 – 80	65 – 80	70 – 83
	SS	70 – 80	70 – 80	70 – 80	80 – 87	73 – 83
	Amônia	< 50	< 50	< 30	< 30	50 – 65
	Nitrogênio	< 60	< 60	< 30	< 30	> 50
	Fósforo	< 35	< 35	< 35	< 35	> 50
Requisitos	Coliformes	90 - 99	90 - 99	90 - 99	90 - 99	99,9 – 99,9999
	Área (m ² /hab.)	2,0 – 4,0	1,2 – 3,0	0,25 – 0,5	0,2 – 0,4	3,0 – 5,0
	Potência (W/hab)	≈ zero	≈ zero	1,2 – 2,0	1,8 – 2,5	≈ zero
Custos (US\$/hab)	Construção	15 - 30	12 - 30	20 - 35	20 - 35	20 - 40
	Operação e manutenção	0,8 – 1,5	0,8 – 1,5	2,0 – 3,5	2,0 – 3,5	1,0 – 2,0

FONTE – Adaptado de VON SPERLING (2007). **Obs.:** custos baseados na experiência brasileira.

3.2 TRATAMENTO POR LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

Lagoas convencionais de estabilização de despejos são consideradas mundialmente como uma técnica de tratamento de águas residuárias apropriada e de baixo custo (TCHOBANOGLOUS e ANGELAKIS, 1996; MARA e PEARSON, 1998; TSAGARAKIS *et al.*, 2000; ARCHER e MARA, 2003; AL-SA`ED e MUBARAK, 2006). Entretanto, as principais limitações incluem altas concentrações de sólidos suspensos totais e nitrogênio no efluente, devidas às grandes quantidades de células algais, e deficiências no processo de nitrificação, respectivamente (AL-SA`ED, ABU-MADI e ZIMMO, 2011).

De acordo com a visão de MARA (2009), o passado das lagoas de estabilização de despejos deve-se às primeiras experiências e critérios de projeto nos EUA e também a dois pesquisadores pioneiros, Oswald e Marais. O presente das lagoas de estabilização de despejos data de meados para o final dos anos 70, e é caracterizado por um grande número de sistemas em escala plena na França, Alemanha e EUA.

A pesquisa se expandiu grandemente em diversas universidades ao redor do mundo, e muito mais é conhecido agora acerca da remoção de nitrogênio e organismos patogênicos nas lagoas de estabilização de despejos, procedimentos de projeto, hidráulica e benefícios do chicaneamento das lagoas, e sobre o polimento de efluentes das lagoas facultativas em filtros de pedra aerados e não-aerados. Diversos manuais de projeto, livros e trabalhos referenciais têm sido publicados.

O futuro das lagoas de estabilização de despejos poderia vislumbrar muitos sistemas mais instalados, tanto em países industrializados como em desenvolvimento, incluindo reservatórios de tratamento e armazenamento de águas residuárias, com reuso de efluentes de lagoas e reservatórios na aquicultura e agricultura, de modo a dar uma grande contribuição à produção global de alimentos (MARA, 2009).

A separação das algas é inevitável a fim de produzir efluente de alta qualidade e para cumprir com os padrões locais para os efluentes. Medidas de controle de crescimento das algas incluindo, por exemplo, macrófitas emergentes e flutuantes, materiais para sombreamento, e aplicação de algicidas, foram estudadas e foram utilizadas com o objetivo de reuso do efluente, visando conservação de recursos hídricos e recarga de águas subterrâneas. Os resultados demonstraram a viabilidade do uso das macrófitas emergentes e livre-flutuantes para o sombreamento, visando o controle do crescimento de algas, em experimentos em batelada e em sistemas naturais híbridos de purificação de água em escala de campo, tais como *wetlands* de escoamento superficial (YEH, KE e LIN, 2011).

Parâmetros de qualidade de água incluindo DQO, turbidez e sólidos suspensos foram correlacionados com a concentração de algas e poderiam ser usados como indicadores do estado trófico de sistemas aquáticos. As macrófitas emergentes auxiliaram no controle do crescimento de algas de modo preventivo ao ser evitada a incidência de luz solar na coluna de água dos *wetlands* de escoamento superficial. Os mesmos resultados também permitem serem aproveitados em sistemas híbridos de purificação de águas naturais similares, no controle da atividade das algas e de modo a prevenir a deterioração do efluente (YEH, KE, e LIN, 2011).

Sistemas naturais de purificação de água tais como *wetlands* construídos e lagoas de oxidação são consideradas como algumas das medidas populares de tratamento de esgotos domésticos para pequenas comunidades em áreas rurais. Sistemas de purificação natural híbridos têm demonstrado serem métodos de melhoria da qualidade das águas superficiais ao redor do mundo, por serem de operação menos intensiva e de baixo custo, e de fácil manutenção (MOLLE, PROST-BOUCLE e LIENARD, 2008).

Em Taiwan, a abordagem de remediação verde através do emprego de sistemas naturais (*wetlands* híbridos providos de vegetais) e com filtros verticais e horizontais submersos, por exemplo, tem recebido atenção considerável, devido ao esgoto ser parcialmente tratado ou não tratado (CHEN *et. al.*, 2006; YEH e WU, 2009).

Por outro lado, nestes sistemas, o crescimento de algas, deteriorando a qualidade dos efluentes dos sistemas naturais, tornou-se o desafio da engenharia de tratamento de água local, de maneira a promover a reciclagem da água tratada nos sistemas naturais (YEH, KE, e LIN, 2011).

Uma medida apropriada de controle do crescimento das algas é inevitável para a melhoria da qualidade das águas. A restauração por meio de macrófitas tem-se demonstrado uma abordagem efetiva na redução de cargas de nutrientes e de restrição à floração de algas nos corpos d'água doce. A biomassa fitoplanctônica existente nos sistemas de purificação foi menor do que em cursos d'água. Este fenômeno tem sido atribuído à diminuição de luz disponível por ocorrência de sombreamento, à competição por nutrientes, à inibição da ressuspensão de sedimentos, e a todas as substâncias alelofáticas excretadas pelas macrófitas (NURMINEN e HORPPILA, 2009).

Além disso, tem sido demonstrada a supressão do crescimento algal pela presença de macrófitas flutuantes e a aceleração da desintegração das células algais ao longo de seu decaimento, atribuída principalmente à prevenção da penetração de luz nos sistemas naturais de tratamento (KIM e KIM, 2000).

Outras pesquisas têm demonstrado a efetividade de coberturas com sacos de polietileno para a manipulação das comunidades fitoplanctônicas devida às modificações nos níveis de intrusão de luz na coluna aquática (SINISTRO *et. al.*, 2007).

Entretanto, tal abordagem da cobertura física não deverá ser exequível para emprego em sistemas de tratamento natural de larga escala para um apropriado controle de algas. A diminuição de luz solar por sombreamento deve ser ainda uma medida viável para o controle da floração algal nos sistemas de purificação natural (YEH, KE, e LIN, 2011).

Sistemas de purificação natural incluindo lagoas de oxidação e *wetlands* de escoamento superficial livre no quais a redução da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) ocorre através da sustentação ao crescimento de algas, têm representado um desafio na manutenção de um efluente de qualidade consistentemente elevada (YEH, KE, e LIN, 2011).

Em sistemas naturais, as bactérias decompõem a matéria orgânica biodegradável e liberam dióxido de carbono, amônia e nitratos. As algas, através de processo fotossintético, liberam oxigênio, permitindo às bactérias decomporem resíduos orgânicos. O fitoplâncton é o produtor primário e constitui o estado do primeiro nível trófico na cadeia alimentar aquática para todos os animais aquáticos. As algas no efluente se apresentam sob a forma de sólidos suspensos e exercem uma demanda de oxigênio no fluxo receptor via degradação bacteriana. Portanto, perdas excessivas de algas nos sistemas naturais deterioram a qualidade do efluente (YEH, KE, e LIN, 2011).

A separação de algas é essencial na produção de menores concentrações de matéria orgânica, sólidos suspensos e nutrientes, bem como para cumprimento dos critérios da legislação de controle de águas. A combinação de lagoas de oxidação e *wetlands* de escoamento superficial livre tem se demonstrado como uma medida efetiva na retenção de algas de lagoas de efluentes e, ademais, para a melhoria da qualidade das águas (HERRERA *et. al.*, 2009).

Em locais como a Palestina, as condições áridas e semi-áridas prevalecentes fazem do reuso de efluentes tratados e recuperados para fins agrícolas e industriais um imperativo, para aumentar e assegurar o desenvolvimento econômico e a obtenção de proteção ambiental. A ampliação da lacuna entre o abastecimento de água e a demanda pode ser efetivamente reduzida por meio do uso de águas residuárias domésticas e municipais recuperadas. Aproximadamente 17% do total de águas residuárias domésticas e municipais coletadas em redes de esgoto centrais recebem tratamento em plantas de tratamento de águas residuárias centrais e *on-site* (AL-SA`ED, 2007).

Entretanto, tanto os serviços de esgoto *on-site* como centrais não são adequadamente operados nem mantidos, tornando o efluente tratado impróprio para a irrigação agrícola irrestrita. Devido ao acesso limitado às fontes de água doce, os agricultores usam avidamente tanto águas residuárias brutas como parcialmente tratadas para a irrigação agrícola (AL-SA`ED, 2007).

A presença de efluentes ricos em SST e nitrogênio podem restringir o reuso de efluentes na irrigação agrícola, apresentar riscos à saúde pública, e degradar a qualidade da água nos corpos receptores. A remoção de compostos nitrogenados em lagoas de algas é dirigida pelos processos de nitrificação e desnitrificação (MARA, 2000; ZIMMO, VAN DER STEEN e GIJZEN, 2004; CAMARGO VALERO e MARA, 2007).

Bactérias nitrificantes, cianobactérias e algas são microrganismos importantes em sistemas de lagoas de tratamento de águas residuárias abertas. A nitrificação, envolvendo a oxidação sequencial de amônia a nitrito e nitrato, devida principalmente às bactérias nitrificantes autotróficas, é essencial à remoção biológica de nitrogênio em águas residuárias e no ciclo global do nitrogênio (CHOI *et. al.* 2010).

Em um estudo conduzido por CHOI *et. al.* (2010), um bioreator autotrófico de fluxo contínuo foi projetado inicialmente apenas para o crescimento de bactérias nitrificantes. Na presença de cianobactérias e algas, foram monitoradas tanto a atividade microbiana através da medida da taxa de produção específica de oxigênio para as microalgas, como a taxa específica de retirada de oxigênio para as bactérias nitrificantes. O crescimento das cianobactérias e algas inibiu a taxa máxima de nitrificação por um fator de 4, embora o nitrogênio amoniacal alimentado no reator tenha sido quase completamente removido.

Não obstante a rápida taxa de crescimento e sua toxicidade para as bactérias nitrificantes, as microalgas e cianobactérias foram mais facilmente perdidas no efluente do que as bactérias nitrificantes, devido às suas características de baixa sedimentabilidade. Os microrganismos foram capazes de crescer juntos no bioreator com frações individuais de biomassa constantes devido aos tempos de retenção de sólidos independentes para algas/cianobactérias e bactérias nitrificantes. Os resultados indicaram que, comparados aos sistemas convencionais de tratamento de águas residuárias, tempos de retenção de sólidos mais longos (por exemplo, por um fator de 4), devem ser considerados em bioreatores fototróficos, para uma completa nitrificação e remoção de nitrogênio (CHOI *et. al.*, 2010).

Alguns poucos estudos em escala piloto (SWANSON e WILLIAMSON, 1980; SHIN e POLPRASERT, 1988; POLPRASERT e CHARNPRATHEEP, 1989; QI *et. al.*, 1993; SMITH, 1993; SAIDAM, RAMADAM e BUTLER, 1995; MIDDLEBROOKS, 1995;

ZHAO e WANG, 1996), reportaram acerca do aumento de desempenho de lagoas de algas na remoção de poluentes orgânicos, nitrogênio e metais pesados, por meio da adição de recheios de fibras artificiais (meios para crescimento aderido), em lagoas de diferentes configurações.

Pesquisas em laboratório e em campo, realizadas por SHILTON *et. al.* (2005), utilizando biofiltros de coluna empacotada em lagoas de algas, revelaram a efetividade do uso de calcário e limalha de ferro como meio filtrante na remoção de fósforo. A construção de filtros de pedra aerados (JOHNSON e MARA, 2005) foi também investigada; entretanto, estes foram associados com um aumento de custos de capital e custos anuais não-cessantes (TSAGARAKIS *et. al.* 2000; ARCHER e MARA, 2003; BARJENBRUCH e ERLER, 2005).

Sem adequados conceitos de projeto, AL-SA`ED (2007) verificou a grande demanda por área para as lagoas de algas (3 a 7 m² *per capita*), de modo a obter taxas de remoção de nutrientes aceitáveis nas condições mediterrâneas (VAN DER STEEN, BRENNER, ORON 1998; ZIMMO, VAN DER STEEN, GIJZEN, 2005), representando assim um potencial de larga aplicação, bem como opções de custo reduzido, para áreas rurais e periurbanas em países em desenvolvimento.

Na Alemanha, de acordo com AL-SA`ED, ABU-MADI e ZIMMO (2011), o layout e projeto de lagoas de algas é feito de acordo com a carga de demanda química superficial diária de oxigênio (DQO), e requer uma grande área específica de terra, entre 8 e 10 m² *per capita*.

O estudo realizado por apresentou um novo conceito de projeto para o uso de filtros de pedra como meios de filtração naturais *in-line*, em lagoas de estabilização de despejos. A pesquisa foi efetuada em um sistema de lagoa de algas-filtro de pedra em paralelo com um sistema de lagoas de algas, durante um período de 6 meses, a fim de avaliar a eficácia de tratamento de ambos os sistemas. Cada sistema requereu quatro lagoas de mesmo tamanho em série, e foi alimentado continuamente com esgoto doméstico da Universidade de Birzeit (AL-SA`ED, ABU-MADI e ZIMMO, 2011).

As taxas de remoção de matéria orgânica, nutrientes e coliformes fecais foram monitoradas em cada sistema de tratamento. Os resultados obtidos revelaram que o sistema de lagoa de algas-filtro de pedra foi mais eficiente na remoção de matéria orgânica [sólidos suspensos totais e demanda química de oxigênio (DQO), 86% e 84%, respectivamente] e coliformes fecais (4 log), do que o sistema de lagoa de algas (81%, 81%, 3 log, respectivamente) (AL-SA`ED, ABU-MADI e ZIMMO, 2011).

O sistema de lagoa de algas-filtro de pedra apresentou maiores taxas de remoção para amônia e fósforo (68,8% e 50,0%, respectivamente), comparado ao sistema de lagoa de algas (57,9% e 41,5%, respectivamente). A opção pelo sistema de lagoa de algas-filtro de pedra biogênico-aerado apresentou-se como uma alternativa com boa relação custo-benefício e com economia na área de implantação, e com efluente de qualidade adequada para irrigação agrícola restrita, e deveria ser pesquisada em larga escala de modo a aumentar a quantidade de informação disponível para tomadores de decisão, que estejam buscando por alternativas de tratamento de águas residuárias *on-site* sustentáveis (AL-SA`ED, ABU-MADI e ZIMMO, 2011).

Lagoas de estabilização localizadas em regiões com variações elevadas de temperatura ao longo do dia tendem a apresentar estratificação térmica, um fenômeno que altera o volume útil da lagoa. Neste trabalho, apresentam-se resultados experimentais obtidos em duas lagoas, facultativa e maturação, construídas na região central do estado de São Paulo. O acompanhamento do perfil de temperatura mostrou a ocorrência de estratificação térmica com ciclo nictimeral nas duas lagoas. Os ensaios hidrodinâmicos indicaram comportamento semelhante ao de reatores com mistura completa, com zonas mortas, volume útil de aproximadamente 60% na lagoa facultativa e 30% na lagoa de maturação (KELLNER e PIRES, 2002).

Em Werribee, Austrália, um estudo em torno dos fatores que influenciam a remoção de nitrogênio em lagoas de estabilização de águas residuárias foi realizado em 8 lagoas em série. Foram monitoradas mensalmente as seguintes espécies nitrogenadas: Nitrogênio Kjeldahl, nitrogênio amoniacal total, nitrito e nitrato, num período entre Março/1993 a Janeiro/1994. Ao mesmo tempo, valores de pH, temperatura, conteúdo de clorofila *a* e oxigênio dissolvido também foram registrados (LAI e LAM, 1997).

Os níveis mais elevados de remoção de nitrogênio ocorreram neste período, com os mais elevados níveis de conteúdo de clorofila *a* e oxigênio dissolvido, mas a taxa de remoção de nitrogênio não foi relacionada à temperatura e pH. A intensificação das atividades fotossintéticas resultantes de um aumento na abundância de fitoplâncton, devido ao tempo de detenção prolongado, causou um aumento do teor de oxigênio dissolvido, e criou condições ótimas para a ocorrência de nitrificação (LAI e LAM, 1997).

A parte o processo de nitrificação-desnitrificação, o qual foi a principal rota de remoção de nitrogênio no sistema estudado, a absorção de amônia, nitrato e nitrito por algas, como fontes de nutrientes, também contribuiu para a remoção de nitrogênio (LAI e LAM, 1997).

3.3 FILTROS DE PEDRA ASSOCIADOS OU DISSOCIADOS DE OUTRAS UNIDADES DE TRATAMENTO

Filtros de pedra constituem-se numa bem estabelecida tecnologia para polimento de efluentes de lagoas de maturação, fornecendo efluentes de alta qualidade em termos de DBO e sólidos suspensos totais (SST) (O'BRIEN *et. al.*, 1973; MARTIN e WELLER, 1973; SWANSON AND WILLIAMSON, 1980; MIDDLEBROOKS, 1988, 1995; SAIDAM *et. al.*, 1995; NEDER *et. al.*, 2002; USEPA, 2002).

Diversos autores vêm estudando o assunto, entre eles pesquisadores ligados ao PROSAB (Programa de Pesquisas em Saneamento Básico), e à UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais), tais como VON SPERLING *et. al.* (2008), além de especialistas ligados à UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina) e UFRN (Universidade Federal do Rio Grande do Norte). Também MIDDLEBROOKS (1995) e METCALF AND EDDYB (1991), entre outros, pesquisaram o tema dos filtros de pedra como pós-tratamento de efluentes de lagoas.

Entretanto tais filtros de pedra tornam-se rapidamente anóxicos e não ocorre (ou ocorre em uma escala muito pequena) a remoção de amônia. Para remover amônia, os filtros de pedra devem ser aerados, e é melhor tratar efluentes de lagoas facultativas (de preferência aos efluentes de lagoas de maturação) em tais filtros, de modo a que não sejam mais necessárias lagoas de maturação, e então não haja a necessidade de ocupação de áreas; a aeração também melhora as remoções de DBO e SST (JOHNSON, 2005; MARA e JOHNSON e MARA, 2006).

JOHNSON e MARA (2007) estabeleceram que um filtro de pedra aerado superou um *wetland* construído de escoamento horizontal subsuperficial, e MARA (2006) mostrou que a combinação de uma lagoa facultativa primária e um filtro de pedra aerado produziu um efluente de qualidade melhor, demandou menor área, e foi mais barato do que um tanque séptico e um *wetland* construído de escoamento horizontal subsuperficial. A aeração dos filtros de pedra foi proposta para *wetlands* construídos de escoamento horizontal subsuperficial por DAVIES AND HART (1990), COTTINGHAM *et. al.* (1999), MALTAIS-LANDRY *et. al.* (2007) e OUELLET-PLAMONDON *et. al.* (2007).

Na pesquisa desenvolvida por SHORT, CROMAR e FALLOWFIELD (2010) foram apresentados os resultados de experimentos com traçadores hidráulicos utilizados para caracterizar o comportamento hidrodinâmico de diversos sistemas de lagoas de tratamento avançado em escala piloto, envolvendo unidades como uma lagoa de algas convencional

“aberta”, um filtro de pedras e um novo reator horizontal provido de meio de crescimento aderido, além de lagoas de lentilhas d’água, para fins de verificação de sua efetividade no polimento de uma lagoa de tratamento terciário.

Foram realizados estudos duplicados para cada um dos 4 reatores experimentais, com a ajuda de corante fluorescente Rodamina WT. Os resultados mostraram que a distribuição de vazão em todos os reatores foi altamente dispersa, com graus variáveis de volumes de zonas mortas e de curto circuito, indicando que um percentual do volume total de cada reator ao longo dos sistemas de tratamento piloto estava inativa (SHORT, CROMAR e FALLOWFIELD, 2010).

As condições de escoamento mostraram-se ser mais altamente dispersas em dois dos reatores, do que no reator de filtro de pedras. Apesar deste apresentar um reduzido índice de zonas de curto-circuito, por outro lado apresentou um maior volume de zonas mortas. As observações efetuadas no estudo sugeriram que é razoável se esperar que as condições de escoamento no interior dos filtros de pedras devam melhorar com o aumento do comprimento da camada filtrante (isto é, num filtro de pedra em escala cheia, cuja relação comprimento-largura foi ampliada) (SHORT, CROMAR e FALLOWFIELD, 2010).

Estudo realizado por VON SPERLING *et. al.* (2008) investigou um pequeno sistema de tratamento de águas residuárias em escala plena, compreendendo as seguintes unidades em série: reator UASB, três lagoas de polimento e um filtro de pedra grosseira (dimensões: altura de 0,4 m, comprimento: no fundo - de 8,44 m, largura: no fundo - de 5,25 m, com uma área superficial de 50 m²). O desempenho global do sistema foi analisado com base em três anos de monitoramento, utilizando-se de parâmetros físico-químicos e biológicos, e pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4 - Resumo das eficiências médias percentuais de remoção.

Parâmetro	UASB	Lagoa 1	Lagoa 2	Lagoa 3	Filtro de Pedra	Eficiência Global
DBO	73	9	12	-13	21	81
DQO	62	-14	4	-31	45	71
SST	68	-36	1	-25	58	78
NITROGÊNIO TOTAL		21	28	26	9	56
NITROGÊNIO AMONÍACAL		24	32	34	-4	57
FÓSFORO TOTAL	-6	-13	4	4	5	-5
<i>E. coli</i>	89,2	99,3	83,4	96,4	58,4	99,9998
<i>E. coli</i> (unidades log)	0,97	2,13	0,78	1,44	0,38	5,7

Foi obtida uma boa remoção de matéria orgânica, sólidos suspensos e amônia, juntamente com uma excelente remoção de coliformes (5,7 unidades log) (Tabela 1). As concentrações médias dos principais parâmetros foram: DBO: 39 mg/L; DQO: 109 mg/L; SS: 41 mg/L; amônia: 10 mg/L; *E. coli*: 540 UFC/100 mL, indicando uma conformidade com os diversos parâmetros reguladores de lançamento de efluentes e reuso, incluindo as legislações europeias para os sistemas de tratamento contendo algas (lagoas de estabilização). Também a qualidade microbiológica do efluente permite seu uso para irrigação irrestrita, de acordo com as diretrizes estabelecidas pela Organização Mundial de Saúde (OMS) (VON SPERLING *et. al.*, 2008).

As principais classes de algas encontradas nas lagoas e efluente final foram *chlorophyta* e *euglenophyta*. O sistema é completamente desprovido de mecanização e apresenta um tempo de detenção hidráulico relativamente pequeno (menos de 13 dias), comparado à maioria dos sistemas de tratamento naturais, e a diversos sistemas e tratamento de águas residuárias mais sofisticados (VON SPERLING *et. al.*, 2008).

Nenhuma remoção de lodo das lagoas e do filtro de pedra foi necessária até o momento. O reator UASB é a principal unidade responsável pela remoção de matéria orgânica, enquanto as lagoas em série são responsáveis por uma excelente remoção de coliformes e boas remoções de amônia. O filtro de pedra grosseira reduz a concentração de algas no efluente, levando assim a uma remoção complementar de DBO e sólidos suspensos (SS) (VON SPERLING *et. al.*, 2008).

Aspectos positivos apresentados foram: a simplicidade do sistema, ausência de mecanização, ausência de requisitos energéticos e ausência de consumo de produtos químicos, aliados a baixos custos de construção e manutenção. Entretanto, desde que o sistema é predominantemente natural, a área total requerida é grande (cerca de 2 a 3 m² por habitante). Por outro lado, a configuração do sistema de tratamento é mais compacta do que a maioria dos sistemas naturais de tratamento (VON SPERLING *et. al.*, 2008).

3.4 FILTRO DE PEDRAS – OUTROS ESTUDOS

Em estudos com filtro de pedra, SEZERINO *et. al.* (2005), utilizando taxas de aplicação hidráulica de 1,48, 0,34 e 0,17 m³/m³.d, obteve os melhores resultados de eficiência com a menor taxa. Para taxa de aplicação hidráulica de 0,17, obteve taxas de remoção de DBO remanescente no efluente de 73%, e taxa de 83% para sólidos suspensos (SS).

ANDRADA (2005) desenvolveu pesquisa na ETE Arrudas, localizada na região de Sabará, na grande Belo Horizonte, em uma ETE Experimental da UFMG/COPASA, possuidora de um reator anaeróbio tipo UASB e quatro lagoas de polimento rasas que foram parte do Tema 2 - Edital 3 do PROSAB, em escala real, conforme a Figura 1.

Foi concluído que, com o uso de pedras comerciais brita 3, foram atendidas as normas ambientais com relação aos SST, comparada a seixos rolados (10 cm) que atenderam somente 68% dos resultados. Para os coliformes termotolerantes as eficiências médias foram de 99,99979%. Suas recomendações a respeito do seu projeto são: fazer análises para verificar a quantidade e qualidade das algas do sistema; fazer uso de taxas de aplicação diferenciadas; por fim, avaliar o acúmulo de lodo no sistema.

Figura 1- Foto e vista da ETE Arrudas em Belo Horizonte/MG (ANDRADA, 2005).

ANDRADA (2005) comenta que a UFRN utilizou o filtro de pedra com fluxo ascendente e descendente, mas com UASB, não interessando muito essa aplicação para este estudo de pós-tratamento em lagoas.

MIDDLEBROOKS (1988) desenvolveu diversos trabalhos nos Estados Unidos com filtros de pedra, os quais apresentaram operação simplificada e baixo custo de implantação, obtendo resultados promissores para os efluentes finais dos mesmos, tais como valores de DBO inferiores a 30 mg/L, e valores de sólidos suspensos de 37 mg/L, para uma taxa de aplicação volumétrica de 0,80 m³/m³.d.

No entanto, o autor encontrou dificuldades com a remoção do composto NH₄⁺, frente aos requisitos da legislação ambiental vigente. Os filtros de pedra por ele operados apresentavam profundidades de 1,5 a 2,0 m, e foram preenchidos com pedras de 100 mm de diâmetro. As algas apresentaram acúmulo na superfície das pedras, e sendo degradadas biologicamente, provocaram problemas ao sistema, liberando com sua morte alimento para o crescimento das bactérias aderidas a tais pedras.

3.5 FILTRO INTERMITENTE DE AREIA

MIDDLEBROOKS (1995) efetuou a aplicação do efluente de lagoas sobre leito de areia filtrante com altura mínima de 45 cm, de tal modo que a retenção progressiva de sólidos no topo do leito levou à colmatção, demandando a remoção de cerca de 5 a 8 cm da camada superficial para permitir a continuidade do processo (Tabela 5).

Tabela 5 - Características de projeto e qualidade do efluente de um sistema de lagoa facultativa seguida de um filtro intermitente de areia.

Q projeto (m ³ /d)	Tempo det. hid. (d)	Carga hid. (m ³ /m ² .d)	DBO5 (g/m ³)	SST (g/m ³)	N-NH ₃ (g/m ³)
303	56	0,03	28	41	4,0
303	70	0,37	22	29	1,2
568	59	0,47	17	30	-
378	52	0,37	21	25	2,4
568	55	0,31	17	16	5,4

FONTE: MIDDLEBROOKS (1995).

OLIVEIRA (1999) afirmou que filtros intermitentes de areia podem operar com cargas hidráulicas superficiais entre 0,37 a 0,56m³/m².d, no entanto, para concentrações de sólidos acima de 50 mg/L, estas cargas aplicadas deverão ser reduzidas para 0,19 a 0,37 m³/m².d.

Por outro lado, na pesquisa bibliográfica realizada não foram detectados estudos que demonstrassem a influência exercida pela altura de camada filtrante em filtros de pedra, usado como pós-tratamento do efluente de lagoas de tratamento de esgoto, não somente sobre a eficiência de remoção das algas, mas de sólidos e substâncias indesejadas presentes nos mesmos, razão pela qual o presente estudo foi realizado.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo como pré-requisitos, desenvolveu-se:

- Análise dos dados da ETE Norte de Cascavel, considerando o histórico disponibilizado pela SANEPAR nos últimos 5 (cinco) anos, como base inicial para o estudo;
- Monitoramento da comunidade fitoplanctônica ao longo de um ciclo sazonal avaliado quanto à sua composição, estrutura e densidade, nas lagoas secundária e de maturação da ETE Norte da SANEPAR, em parceria com a UNIOESTE;

Será apresentada inicialmente a descrição das instalações da ETE Norte da SANEPAR, e a seguir, a descrição dos equipamentos, materiais e procedimentos/métodos utilizados para a montagem da instalação de pesquisa na área da ETE Norte (Figura 2).

Para caracterização das algas, a partir de um estudo prévio com base em dados fornecidos pela UNIOESTE, foram definidas as espécies que se desenvolveram ao longo do período de out/2010 a fev/2012, constando os resultados de 19/out/2010 à 21/7/2011 (ver Anexo).

As instalações de biofiltros submersos foram construídas próximas ao acesso da ETE Norte, em seu lado esquerdo, com as tomadas das zonas superficial (60 cm) e intermediária (180 cm), na parte final da lagoa de maturação da ETE Norte, sendo recalcado o afluente aos biofiltros submersos por meio de bombas submersíveis, conforme indicado na Figuras 12. Para efeito de apresentação do sítio experimental onde a presente pesquisa foi desenvolvida, é apresentada na Figura 2 a vista aérea e o corte do perfil hidráulico da ETE Norte da SANEPAR, em Cascavel/PR. Nos estudos dos projetos da ETE Norte dispôs-se dos parâmetros previstos na Tabela 6.

A pesquisa foi desenvolvida nos seguintes locais:

- Instalações experimentais: ETE Norte da SANEPAR, em Cascavel/PR;
- Análises de Clorofila *a*: BIOTACE (SHS/ EESC/USP);
- Demais análises de laboratório: divididas entre o local do experimento, Laboratório ETE Oeste - SANEPAR, e Laboratório Central de Cascavel - SANEPAR.

CORTE ESQUEMÁTICO

Figura 2 - Vista aérea e corte esquemático da ETE Norte da SANEPAR, situada em Cascavel/PR (Fonte: Google Earth - 22/12/2013), com seu respectivo perfil hidráulico.

Tabela 6 - Parâmetros de projeto da ETE Norte de Cascavel/PR (conforme dados da SANEPAR)

PARÂMETRO	ANO 2000 1º Etapa	ANO 2010 2º Etapa	ANO 2020 Final de Plano	SATURAÇÃO
População atendida (hab)	46628	70950	94983	144366
Vazão Doméstica média (l/s)	69,22	105,58	141,67	209,25
Vazão de infiltração em épocas de chuvas (l/s)	69,06	70,05	70,05	80,28
Vazão média sanitária ($\bar{Q}$ = l/s)	138,28	175,63	211,72	290,11
Vazão do dia de maior contribuição (l/s)	152,13	196,74	240,05	331,96
Vazão máxima (l/s)	193,66	260,09	325,05	457,51
Carga DBO (kg/dia)	2518	3831	5129	7796
Concentração DBO (mg/l)	211	252	280	311
Carga DQO (kg/dia)	5036	7662	10258	15592
Concentração DQO (mg/l)	422	504	560	622
NMP Colif. Fecal / 100 ml (sem chuvas)	$3,9 \times 10^7$	$4,7 \times 10^7$	$5,2 \times 10^7$	$5,8 \times 10^7$

Parte do projeto básico de engenharia da ETE Norte, de forma resumida, está representado nas Figuras 3 e 4, sendo basicamente constituído de tratamento preliminar com gradeamento mecânico e desarenador ciclônico; tratamento secundário distribuído em dois reatores UASB (RALF-100), módulos para 100 L/s, totalizando uma capacidade de 200 L/s; lagoa facultativa; tratamento terciário com uma lagoa de maturação e sistema de desinfecção, antecedendo o lançamento do efluente final no Rio das Antas.

Figura 3 - Planta do Tratamento Preliminar com Gradeamento Mecânico e Desarenador tipo ciclônico da ETE Norte em Cascavel/PR.

Fonte: SANEPAR (2014).

Figura 4 - Corte do Tratamento Secundário utilizando o Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado – RALF (UASB), sendo duas unidades de 100 l/s cada, na ETE Norte em Cascavel/PR.

Fonte: SANEPAR (2014).

As atividades experimentais foram divididas em Fase I e Fase II. Em julho/2013 foram concluídas as atividades experimentais da Fase I, com a finalização da montagem das instalações experimentais. Na Fase II, a partir de setembro/2013, até maio/2014, foram realizadas as coletas para caracterização das algas e as demais análises físico-químicas e biológicas necessárias ao desenvolvimento da pesquisa.

Uma vista aérea é mostrada na Figura 2, onde foi realizado o experimento na ETE Norte de Cascavel/PR.

Nas tomadas na lagoa, efetuadas por meio de duas motobombas submersíveis, foi considerado que ocorre maior concentração de algas próximo da superfície, sendo assim foram estudadas duas alturas diferentes como afluentes aos biofiltros submersos, uma a 0,60m de profundidade da superfície da lagoa, e outra a 1,80m.

4.1. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS/MÉTODOS UTILIZADOS PARA A MONTAGEM DA INSTALAÇÃO DE PESQUISA NA ÁREA DA ETE NORTE

A descrição dos materiais e procedimentos/métodos utilizados na montagem da instalação de pesquisa na área da ETE Norte foram aqui divididos em quatro itens principais:

4.1.1 - Sistema de Recalque;

4.1.2 – Sistema de Distribuição Hidráulica;

4.1.3 – Sistema de Biofiltros Submersos (**SBSs**);

4.1.4 – Sistema de Efluentes e Descargas.

4.1.1. Sistema de Recalque

Para o sistema de recalque foram utilizadas bombas centrífugas da SULZER – ABS, modelo UNI 100 M.

O objetivo foi de obter duas alturas de coleta da lagoa de maturação, uma na zona superficial - profundidade de 60 cm e outra na zona intermediária - profundidade de 180 cm, ambas a partir do nível superficial da lagoa. Para tanto foi feita uma estrutura em madeira de lei, apoiada em sua base com blocos de concreto, conforme a Figura 5.

Figura 5 - Sequência de operação da descida das motobombas na lagoa de Maturação

A tubulação de recalque foi construída em PEAD PN10 PE80 DE32 mm, sendo necessárias duas tubulações com extensão de 550 m cada uma.

4.1.2. Sistema de Distribuição Hidráulica

Para o sistema de distribuição hidráulica foram previstos dois reservatórios em fibra de vidro com capacidade de 250 litros cada um, apoiados em uma laje de concreto armado com 3,20 m de altura. Estes reservatórios operavam com a vazão afluyente, em cada uma das linhas de recalque das bombas, em torno de 800 L/h, e em função do extravasor, garantia-se o nível constante, consequentemente a carga hidráulica permanecia constante, para a distribuição das vazões aos biofiltros submersos.

A distribuição uniforme de vazão aos reatores foi garantida pela caixa distribuidora de fluxo (Figura 6). Feita em aço galvanizado para evitar oxidação devido a agressão do esgoto afluyente. Esta caixa foi dividida em 10 seções iguais, com vertedores triangulares em cada uma, posteriormente foi prumada e nivelada. A saída do reservatório com nível constante foi direcionada para um hidrômetro $\varnothing 3/4'' \times 3 \text{ m}^3/\text{h}$, aferido em 90 L/h, desta forma, em cada um dos 10 vertedouros da caixa distribuidora, a vazão era de 9 L/h. Assim sendo o BS1 (Biofiltro Submerso-1) operava com vazão de 9 L/h, e os demais com vazão de 18 L/h, 27 L/h e 36 L/h, respectivamente para BS2, BS3 e BS4. O mesmo ocorrendo com BS5, vazão 9 L/h, e os demais BS6, BS7 e BS8 com 18 L/h, 27 L/h e 36 L/h respectivamente.

Figura 6 - Caixa de distribuição de fluxo aos biofiltros submersos, em aço galvanizado, medidas em mm.

4.1.3. Sistema de Biofiltros Submersos (SBSs)

Foram construídos 4 biofiltros submersos para a alimentação de afluente da zona superficial (Ezs) a 60 cm, e mais 4 biofiltros submersos para a alimentação de afluente da zona intermediária (EZI) a 180 cm, estes afluentes tomados da lagoa de maturação (ver os BSs na Figura 7). A Tabela 7 mostra as profundidades de camada filtrante de cada biofiltro submerso, com suas respectivas numerações.

Tabela 7 - Altura da camada filtrante para cada biofiltro submerso.

Nº do Biofiltro Submerso (ZI)	Altura da camada filtrante (cm)	Nº do Biofiltro Submerso (ZS)	Altura da camada filtrante (cm)
BS - 1	50	BS - 5	50
BS - 2	100	BS - 6	100
BS - 3	150	BS - 7	150
BS - 4	200	BS - 8	200

Os biofiltros submersos foram apoiados em um radier de concreto armado, com desnível adequado para operarem por gravidade.

Para execução dos biofiltros submersos foram utilizados, como fôrma, tubos da TIGRE-ADS em PEAD com diâmetros DN 1050 mm, com extensão de 6 m. Como a utilização dos biofiltros submersos deveria ocorrer na vertical, para garantir a estanqueidade da base executou-se um revestimento em fibra de vidro, internamente, em todo o tubo. Foram deixados os orifícios, um para o afluente, outro para o efluente do biofiltro submerso

em PVC DN 25 mm, e a saída para descarga em PVC DN 100 mm. Como durante a montagem ocorreram chuvas, e o entorno das lagoas apresenta problemas com insetos, foi necessário efetuar uma cobertura provisória dos reatores, com lona plástica.

Figura 7 - Biofiltros submersos em PEAD DN 1050 mm revestidos internamente com fibra de vidro.

Os biofiltros submersos foram preenchidos com quatro alturas de recheio: 50 cm, 100 cm, 150 cm e 200 cm. Para os recheios foi utilizada pedra brita nº 3 (Figura 8). Foi necessário realizar uma seleção manual dessas pedras, para a obtenção de leitos filtrantes homogêneos. Demandou um tempo considerável na separação, sendo necessário o dobro do volume previsto, devido ao material rejeitado. Entende-se que o mercado tem dificuldade de fornecer um material com uniformidade adequada para os BSs.

Figura 8 - Recheio dos BS (brita 3) e corte/planta dos BS mostrando seu fundo falso, dimensões em cm.

O afluente aos biofiltros submersos era conduzido por um tubo de PVC DN 25 mm, passando pelo interior do recheio, distribuindo-se o fluxo por uma malha do mesmo tubo, com furações de $\varnothing$ 10 mm a cada 3 cm. O fundo falso em fibra de vidro reforçada, com furações executadas em malha de 10 cm, e com furos de $\varnothing$ 20 mm, resultando em um fluxo ascendente mais uniforme.

Após passagem pelo leito filtrante do biofiltro submerso, três trechos de tubulações em PVC DN 25 mm, com furos de $\varnothing$ 10 mm, cada 3 cm, coletavam na superfície o efluente final, de modo uniforme, buscando-se evitar caminhos preferenciais (Figura 9).

Figura 9 - Dispositivo de coleta superficial do efluente final, em PVC DN 25 mm.

Os reservatórios de entrada, as caixas distribuidoras de vazão, e os biofiltros submersos, foram cobertos com tampas em fibra de vidro, com objetivo de redução de incidência de luz.

Os pontos de coleta do experimento. Os pontos afluentes foram denominados de EZS e EZI, respectivamente sendo Entrada da Zona Superficial e Entrada da Zona Intermediária.

Cada afluente alimenta os BS da seguinte forma:

- EZI – BSs de 1 a 4;
- EZS – BSs de 5 a 8;

As Figuras 10 e 11 apresentam maiores detalhes dos pontos de coleta.

Figura 10 - Cobertura dos reservatórios, caixas distribuidoras de vazão e biofiltros submersos.

Figura 11 - Sistema de biofiltros submersos (SBSs), mostrando a numeração dos pontos de coleta de amostras: 1 a 8 para os biofiltros submersos (BS), sendo 1 a 4 para a zona intermediária e 5 a 8 para a zona superficial: EZI – Entrada da Zona Intermediária e EZS – Entrada da Zona Superficial.

4.1.4. Sistema de Efluentes e Descargas

Para as coletas tanto dos dois afluentes recalcados da lagoa, pontos EZI e EZS, como das oito descargas de efluentes dos biofiltros submersos, foram previstos dois registros em PVC DN 25 mm, um para fechar a saída e outro para permitir a coleta da amostra.

Na base, na parte inferior, saindo diretamente do fundo falso dos biofiltros submersos, foram posicionados os registros de descargas em FD DN 100 mm. Os registros de descarga em FD DN 100 mm foram previstos com o intuito de evitar possíveis obstruções do leito filtrante, além de permitir a quantificação de sólidos do efluente, quando se fizessem necessárias descargas. Para que destas descargas se fizesse a coleta para as análises de sólidos, foi necessário prever um reservatório em fibra de vidro, com volume adequado para atender o volume descartado pelo biofiltro submerso de maior volume. Neste caso foi utilizado um reservatório de lodo em fibra de vidro, com capacidade para 2.500 litros.

Para a descarga, fechava-se a saída do reservatório de lodo, abria-se o registro de descarga do biofiltro submerso, sendo o fluxo direcionado por uma tubulação em FD DN 100 mm, e, após a descarga, procedia-se à homogeneização do conteúdo do reservatório DE 2.500 L, para em seguida realizar-se a coleta para análise dos sólidos retidos no biofiltro submerso. Um fluxograma descritivo dividido em duas partes para melhor visualização do caminhamento do fluxo de esgoto através do sistema de biofiltros submersos é apresentados nas Figuras 12 e 13.

Figura 12- Fluxograma A - Descritivo detalhado do caminhamento do fluxo de esgoto através do sistema de biofiltros submersos (SBSs).

Figura 13- Fluxograma B - Descritivo detalhado do caminhamento do fluxo de esgoto através do sistema de biofiltros submersos (SBSs).

As saídas do excesso de vazão das linhas de recalque, bem como dos efluentes dos biofiltros submersos foram direcionadas à lagoa secundária, por meio de uma tubulação em PVC DN 40 mm. A descarga do reservatório de lodo foi também direcionada à lagoa secundária por uma tubulação em PVC DN 100 mm, conforme apresentado na Figura 14.

Figura 14- Tubulações efluentes do experimento, em PVC DN 40 mm e DN 100 mm.

4.2 PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

Inicialmente os biofiltros submersos foram preenchidos com água potável, a fim de testar sua estanqueidade após a colocação do recheio, por motivo de segurança. Nesta etapa foram medidos os volumes de cada biofiltro submerso, considerando a altura útil e o volume de vazios do recheio (Tabela 8).

Tabela 8 - Volume útil dos biofiltros submersos

VOLUME ÚTIL BIOFILTROS SUBMERSOS		
BIOFILTRO	VOLUME VAZIO (m³)	VOLUME PEDRA (m³)
1	0,866	0,433
2	1,299	0,866
3	1,732	1,299
4	2,165	1,732
5	0,866	0,433
6	1,299	0,866
7	1,732	1,299
8	2,165	1,732

4.2.1 Dimensionamento dos biofiltros submersos

Para o estudo foram consideradas duas zonas de captação na lagoa de maturação da ETE Norte em Cascavel/PR, uma sendo a zona superficial e outra a zona intermediária. Para cada uma dessas zonas serão considerados para o estudo 4 (quatro) biofiltros submersos, totalizando 8 (oito) unidades. No dimensionamento dos biofiltros foram considerados os seguintes parâmetros e dados:

- Diâmetro do biofiltro = 105 cm;
- O recheio em pedra brita nº 3;
- Alturas dos recheios variando de 50, 100, 150 e 200 cm;
- Taxa de aplicação volumétrica de $0,50 \text{ m}^3/\text{m}^3.\text{d}$, adotada, com base em SEZERINO *et. al.* (2005): 0,17 a $1,48 \text{ m}^3/\text{m}^3.\text{d}$; ANDRADA (2005): $0,80 \text{ m}^3/\text{m}^3.\text{d}$.; MIDDLEBROOKS (1988): $0,80 \text{ m}^3/\text{m}^3.\text{d}$.; EPA (1983): Eudora, Kansas - até 1,20 ($0,40$ no inverno) e California, Missouri – $0,25$ e $0,40 \text{ m}^3/\text{m}^3.\text{d}$. e Veneta, Oregon – $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^3.\text{d}$.

Como resultado da taxa de aplicação volumétrica a vazão varia conforme a altura do recheio, conforme apresentado na Tabela 9.

Existem outros parâmetros utilizados como: TAS – Taxa de Aplicação Superficial e TDH – Tempo de Detenção Hidráulica. Estes parâmetros foram colocados na Tabela 10 a título de informação, no entanto para os SBSs deste estudo, o parâmetro principal foi a TAV – Taxa de Aplicação Volumétrica em $\text{m}^3/\text{m}^3.\text{d}$.

Tabela 9 - Volume útil dos biofiltros submersos.

UNIDADE DE BOMBEAMENTO				Qtot=90 l/h
TAXAS		0,5	m ³ /m ³ .d	h = 0,5 m
DIÂMETRO	ÁREA	VOLUME	VAZÃO	VAZÃO
m	m ²	m ³ /m	m ³ /d	l/h
1,05	0,8659	0,4329	0,2165	9,0195
TAXAS		0,5	m ³ /m ³ .d	h = 1,0 m
DIÂMETRO	ÁREA	VOLUME	VAZÃO	VAZÃO
m	m ²	m ³ /m	m ³ /d	l/h
1,05	0,8659	0,8659	0,4329	18,0391
TAXAS		0,5	m ³ /m ³ .d	h = 1,5 m
DIÂMETRO	ÁREA	VOLUME	VAZÃO	VAZÃO
m	m ²	m ³ /m	m ³ /d	l/h
1,05	0,8659	1,2988	0,6494	27,0586
TAXAS		0,5	m ³ /m ³ .d	h = 2,0 m
DIÂMETRO	ÁREA	VOLUME	VAZÃO	VAZÃO
m	m ²	m ³ /m	m ³ /m ³ .d	l/h
1,05	0,8659	1,7318	0,8659	36,0782

Tabela 10 - Outros Parâmetros de Estudos

CAMADA FILTRANTE	TAV - cte	TAS	TDH
h - (m)	m ³ /m ³ .d	m ³ /m ² .d	d
0,5	0,5	0,25	4,00
1,0		0,50	3,00
1,5		0,75	2,67
2,0		1,00	2,51

4.3 MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA ANALÍTICA

Nesta seção serão descritos os materiais, equipamentos e a metodologia analítica utilizada na pesquisa, baseada no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 22th Edition, 2012), com seus respectivos métodos de ensaio (referenciados numericamente nesta publicação) para as variáveis de qualidade analisadas durante a pesquisa, de acordo com a Tabela 11.

Tabela 11 - Métodos de ensaios analíticos utilizados nesta pesquisa, de acordo com APHA, 2012.

VARIÁVEIS DE QUALIDADE	UNIDADE	MÉTODO (APHA, 2012)	LIMITE DE DETECÇÃO DO MÉTODO - LDM
pH	-----	4500 – H+B	-----
CLOROFILA <i>a</i>	-----	10200-H	-----
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO	(mg O ₂ /L)	5220 - D	3mg/L
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO	(mg O ₂ /L)	5210 - B	-----
NITROGÊNIO TOTAL	(mg N/L)	4500	-----
FÓSFORO TOTAL	(mg PO ₄ ³⁻ /L)	4500 - P	-----
COLIFORMES TOTAIS	(UFC/100 mL)	9222 - D	-----
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	(UFC/100 mL)	9222 - D	-----
ÓLEOS E GRAXAS (OG)	(mg/L)	5520	5mg/L
ÓLEOS E GRAXAS MINERAIS (OGM)	(mg/L)	5520	5 mg/L
ÓLEOS E GORDURAS ANIMAIS	(mg/L)	5520	5 mg/L
SÓLIDOS TOTAIS	(mg/L)	2540	-----
SÓLIDOS TOTAIS FIXOS	(mg/L)	2540	-----
SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS	(mg/L)	2540	-----
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	(mg/L)	2540	-----
SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS	(mg/L)	2540	-----
SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS	(mL/L)	2540	0,1 mL/L

Equipamentos de laboratório

- Amostrador automático de campo – Utilizado nas coletas dos perfis 24h;
- Reagente para determinação de DQO, na faixa de 3-150 mg/l;
- Digestor: Reator para digestão de DQO (Demanda Química de Oxigênio) modelo DRB200;
- Espectrofotômetro visível DR2800;
- Medidor de pH digital DM-23 Digimed;;
- Bombas de Vácuo Primatec modelos 131 e 132.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para que os objetivos fossem alcançados, foi feito inicialmente um levantamento de dados operacionais da ETE Norte, obtendo-se um histórico dos últimos 5 anos (2006 a 2010), fornecidos pela SANEPAR, considerando os valores mensais dos seguintes parâmetros: pH, Agentes Tenso Ativos-ABS, Oxigênio Dissolvido-OD, Óleos e Graxas-OG, Sólidos Suspensos Totais-SST, Fosfato Total-PT, Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO, Demanda Química de Oxigênio-DQO, Óleos e Graxas Minerais -OGM, e Sólidos Suspensos -SS. Para o período entre os anos de 2006 a 2008, existem além dos parâmetros citados: Coliformes Totais-CT, Coliformes Termotolerantes-CTM, Nitritos, Turbidez, Cloretos, Nitratos, Acidez Total l-AT, Ácido Sulfúrico-AS, Nitrogênio Amoniacal Total-NAT, e Nitrogênio Total- NT.

Com estes dados fornecidos pela SANEPAR foram verificadas as eficiências do tratamento da ETE Norte, considerando DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e SST (Sólidos Suspensos Totais), de acordo com a Tabela 12.

Tabela 12 – Eficiências de Remoção de DBO e SST da ETE Norte de Cascavel/PR
(conforme dados da SANEPAR)

EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO						
DATA	DBO (%)			SST (%)		
	ETE	LAGOA1-EFL	LAGOA1-EFL	ETE	LAGOA1-EFL	LAGOA1-EFL
16/01/2006		82,84	81,32		53,40	
20/02/2006			68,18			55,07
20/03/2006			68,00			48,31
17/04/2006	57,17					
15/05/2006			66,31			54,59
19/06/2006			68,20			61,02
17/07/2006		65,30			53,75	
14/08/2006		87,10			57,01	
28/08/2006		85,25				
18/09/2006		83,17				
16/10/2006		83,08			67,60	
27/11/2006					51,78	
18/12/2006		77,87			47,52	
15/01/2007	71,00	21,09		47,55		
19/02/2007	81,37	61,52	19,70	57,44	50,30	14,37
19/03/2007	77,53	16,42		58,52		10,43
16/04/2007	65,10			53,19		
21/05/2007	85,65			57,48		12,20
20/06/2007	88,44			59,21		
16/07/2007	93,10	59,94	23,17	56,70	24,75	
20/08/2007	84,33	25,24	32,46	59,31		8,89
17/09/2007	63,73			50,77		
15/10/2007	87,94	13,97	15,99			
12/11/2007	80,03		41,52	61,90		
26/12/2007	71,35					
07/01/2008	88,31	13,92	38,83	43,13	-22,13	-28,45
18/02/2008	64,93			41,45	-18,38	-22,90
17/03/2008	83,91			49,49	-2,78	-0,68
14/04/2008	63,68	34,78	28,57	29,36	-33,91	0,65
19/05/2008	72,77			49,55		
16/06/2008	90,00	90,62	37,50			
21/07/2008	91,45	28,57		66,16	4,78	1,97
18/08/2008	90,25	23,08	20,00	57,99	14,10	0,00
29/09/2008	90,16	10,00	10,00	55,88	-0,55	1,60
20/10/2008	82,26	56,14	83,88	54,03	55,52	43,88
17/11/2008	91,61	25,61	11,67	57,91	-12,71	-8,13
19/01/2009	88,57			80,39		
16/03/2009	86,27			81,25		
18/05/2009	85,94			79,41		
20/07/2009	93,37			93,37		
21/09/2009	84,14			81,71		
15/03/2010	52,16			60,53		
18/01/2010	71,37			82,00		
15/03/2010	75,10			83,33		
17/05/2010	78,97			80,95		
01/07/2010	89,56			89,56		
01/09/2010	88,72			92,31		
16/11/2010	80,00			70,31		
MÉDIA GERAL	80,28	49,79	42,08	63,82	22,94	14,87

FONTE: resumo compilado de dados fornecidos pela Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR.

Obs: os dados completos não foram liberados para divulgação.

A vazão afluyente da ETE Norte situa-se em torno de 140 L/s, sendo sua capacidade nominal de 200 L/s. Observando na Tabela 12 a eficiência do sistema, considerando o histórico dos últimos 5 anos, obteve-se uma média para DBO de 80,28%, e para SST 63,82%. Caso calcule-se a média do último semestre/2010, se obtêm valores mais elevados, para DBO de 80,62%, e para SST 83,08%.

5.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir, são apresentados e discutidos os resultados obtidos para cada variável de qualidade analisada, iniciando pelos valores de DQO (Demanda Química de Oxigênio), compreendendo, além de seus valores, uma avaliação da eficiência de remoção de cada variável de qualidade.

Na apresentação dos dados sob a forma de tabelas, buscou-se inicialmente fornecer uma visão geral e ampla dos mesmos através da totalidade dos valores obtidos para as zonas intermediária e superficial.

Quanto aos gráficos, optou-se pela apresentação dos dados de cada zona lagunar em separado, para evitar a aglomeração de dados e consequente dificuldade de interpretação visual dos mesmos.

Em uma seção posterior deste trabalho, foram analisados separadamente: os valores máximos, médios e mínimos para cada variável de qualidade e um comparativo dos Valores Máximos Permitidos (VMPs) de acordo com a legislação ambiental vigente (Portaria 430/2011), para os valores obtidos na pesquisa para cada variável de qualidade.

Um fluxograma descritivo dos 10 (dez) pontos de amostragem para os quais foram analisadas as variáveis de qualidade apresentadas na Tabela 11 foi apresentado na Figura 11 (p 28).

5.1.1 Clorofila *a*

Na mesma sequência de apresentação das variáveis de qualidade anteriores, estão os resultados de Clorofila *a* (Tabela 13), obtidos para os 10 pontos de amostragem do sistema de biofiltros submersos (**SBSs**), e nas Figuras 15 e 16, tem-se os valores de Clorofila *a* para a zona superficial e zona intermediária, separadamente. A seguir são expostos os dados de eficiência de remoção desta variável (Tabela 14 e Figuras 17 e 18).

Tabela 13 - Valores de Clorofila *a* em µg/L, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).

		Pontos de Coleta									
		BS-1	BS-2	BS-3	BS-4	BS-5	BS-6	BS-7	BS-8	E Z I	E Z S
2013	15/dez	60,84	4,6	24,67	46,04	16,12	6,91	7,89	89,46	296,99	361,12
	30/dez	23,02	48,68	63,80	36,18	75,64	34,2	26,97	56,24	231,87	227,92
	15/jan	165,43	110,18	124,32	112,15	73,67	68,08	27,63	20,39	948,19	758,75
	30/jan	52,95	28,28	97,02	39,47	87,48	90,77	112,48	45,39	455,84	557,47
2014	15/fev	4,6	5,92	7,89	2,3	33,55	17,43	1,97	1,32	57,23	295,01
	07/mar	59,84	69,64	124,85	102,31	60,43	70,21	66,35	62,65	435,21	235,41
	16/abr	250,12	159,84	307,84	61,67	145,53	174,15	185,49	144,05	357,17	540,69
	30/abr	37,00	32,56	63,64	44,40	43,41	56,73	46,87	39,96	334,48	336,45
	15/mai	79,43	68,08	87,81	118,4	126,79	169,21	62,65	118,89	542,67	580,56

LEGENDA: BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial; EZI – Entrada da zona intermediária.

Figura 15 - Valores de Clorofila *a* em $\mu\text{g/L}$, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluentes extraído da zona intermediária da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZI – Entrada da zona intermediária

Figura 16 - Valores de Clorofila *a*, em $\mu\text{g/L}$, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluentes extraído da zona superficial da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial.

Tabela 14 - Valores percentuais de eficiência de remoção mínima, máxima e média para Clorofila *a*.

Clorofila <i>a</i> - Eficiência de Remoção			
Pontos de Coleta	BS1	Mínima	30,00%
		Máxima	92,00%
		Média	80,10%
	BS2	Mínima	55,30%
		Máxima	98,30%
		Média	85,10%
	BS3	Mínima	13,80%
		Máxima	90,90%
		Média	73,90%
	BS4	Mínima	76,50%
		Máxima	96,00%
		Média	85,20%
	BS5	Mínima	66,80%
		Máxima	95,50%
		Média	81,80%
	BS6	Mínima	70,20%
		Máxima	98,10%
		Média	82,70%
	BS7	Mínima	65,70%
		Máxima	99,30%
		Média	86,00%
	BS8	Mínima	73,40%
		Máxima	99,60%
		Média	87,30%

BS – Biofiltro Submerso.

Os resultados de Clorofila *a* são correlacionados à quantidade de algas nos afluentes e efluentes dos biofiltros submersos do experimento.

Os valores de eficiência de remoção da Clorofila *a* nos biofiltros submersos da zona intermediária situaram-se em valores mínimos de 13,80%, e máximos de 99,30%, conforme resultados contidos nas Tabelas 14 e Figuras 17 e 18.

Para os biofiltros operando com afluente da zona superficial, o valor mínimo foi de 65,70% e o valor máximo de 98,10%, sendo a média de 84,45%, conforme Tabela 13.

Assim, pode ser concluído que a remoção de Clorofila *a* para os BSs da zona superficial foi mais efetiva. Para os valores médios de eficiência de remoção de Clorofila *a*, os maiores valores foram dos BSs 7 e 8 (150 e 200 cm, respectivamente), com os valores de 86,00% e 87,30%, respectivamente, na zona superficial.

Figura 17 - Valores percentuais de eficiência de remoção de Clorofila *a* na zona intermediária. BS – Biofiltro Submerso.

Figura 18 - Valores percentuais de eficiência de remoção de Clorofila *a* na zona superficial. BS – Biofiltro Submerso.

5.1.1.1 Densidade das Algas

Os valores de densidade das algas são resultado de um estudo conjunto entre SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná) e UNIOESTE (Universidade Estadual do Oeste do Paraná), para monitoramento e caracterização da comunidade fitoplanctônica ao longo de um ciclo sazonal, avaliado quanto à sua composição, estrutura e densidade, nas lagoas secundárias e de maturação da ETE Norte da SANEPAR.

O principal objetivo do estudo da UNIOESTE foi a determinação do tamanho e quantidade (densidade) das algas presentes nestes locais, para um estudo posterior e decorrente deste, que seria o de uso de membranas filtrantes para a remoção das algas do efluente dos biofiltros submersos, complementando a ação destes biofiltros, o qual, entretanto, não veio a ser realizado. Os resultados estão referidos no ANEXO.

5.1.2 DQO (Demanda Química de Oxigênio)

A Tabela 15 exhibe os resultados de DQO (Demanda Química de Oxigênio) obtidos para os 10 pontos de amostragem do sistema de biofiltros submersos (**SBSs**). A seguir, nas Figuras 19 e 20, têm-se os valores de DQO (Demanda Química de Oxigênio), separados por zona lagunar estudada, ou seja, zona superficial e zona intermediária, para efeito de comparação. E por fim, os valores de eficiência de remoção desta variável de qualidade, com seus mínimos, médias e máximos, para cada zona lagunar estudada (Tabelas 16 e Figuras 21 e 22).

Tabela 15 - Valores de DQO (Demanda Química de Oxigênio), em mg/L, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).

		Pontos de coleta									
		BS-1	BS-2	BS-3	BS-4	BS-5	BS-6	BS-7	BS-8	EZI	EZS
2013	29-nov	68	64	76	80	30	27	36	33	135	97
	16-dez	43	50	56	58	27	30	22	24	85	94
	27-dez	38	46	51	53	29	23	21	28	75	104
	6-jan	50	56	55	61	33	23	31	27	88	107
	15-jan	47	59	52	64	31	26	34	24	91	104
	29-jan	51	55	57	62	34	24	30	28	90	106
	5-fev	52	54	58	60	37	28	33	31	89	110
	12-fev	54	53	60	58	34	31	35	33	91	105
	19-fev	45	52	58	60	29	33	26	28	87	98
	26-fev	48	55	54	63	34	34	28	32	91	103
2014	12-mar	63	68	67	61	48	43	37	35	97	108
	19-mar	60	65	63	58	51	46	39	33	99	118
	9-abr	63	80	97	94	95	80	55	49	154	185
	16-abr	69	81	94	98	95	84	55	48	150	180
	28-abr	71	83	96	99	97	82	51	45	156	193
	30-abr	71	83	95	99	97	85	50	45	160	197
	7-mai	71	78	95	96	93	82	56	51	150	183
	14-mai	81	88	98	92	98	92	68	63	181	199
	21-mai	78	75	99	80	76	88	63	67	99	205
	26-mai	67	66	123	79	70	82	66	64	93	226

LEGENDA: BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial; EZI – Entrada da zona intermediária.

Figura 19 - Valores de DQO (Demanda Química de Oxigênio), em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZI – Entrada da zona intermediária.

Figura 20 - Valores de DQO (Demanda Química de Oxigênio), em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial.

Tabela 16 - Valores percentuais de eficiência de remoção mínima, máxima e média para DQO (Demanda Química de Oxigênio).

DQO - Eficiência de Remoção			
Pontos de Coleta	BS1	Mínima	41,57%
		Máxima	59,09%
		Média	46,64%
	BS2	Mínima	24,24%
		Máxima	48,05%
		Média	40,99%
	BS3	Mínima	10,10%
		Máxima	45,86%
		Média	35,65%
	BS4	Mínima	17,50%
		Máxima	49,17%
		Média	35,13%
	BS5	Mínima	47,22%
		Máxima	77,80%
		Média	61,23%
	BS6	Mínima	53,33%
		Máxima	80,00%
		Média	64,53%
	BS7	Mínima	65,74%
		Máxima	79,80%
		Média	70,16%
	BS8	Mínima	67,59%
		Máxima	76,68%
		Média	71,97%

LEGENDA: BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial; EZI – Entrada da zona intermediária.

Observa-se, de modo geral, nas Figuras 21 e 22 e Tabela 16, que os biofiltros submersos que operam com afluente da zona intermediária, apresentaram uma eficiência média em torno de 39,60%, enquanto que os biofiltros submersos que operam com afluente da zona superficial, apresentaram eficiência média em torno de 66,90 %.

Esta diferença no valor da eficiência média mostra que a zona superficial da lagoa de maturação propiciou um melhor desempenho na remoção de matéria orgânica e de outros compostos ou substâncias quimicamente oxidáveis, representados pela DQO.

Para a zona superficial os biofiltros submersos 7 e 8 apresentaram uma maior uniformidade de resultados, para a mesma taxa de aplicação hidráulica volumétrica, ou seja, para as alturas de 150 e 200 cm, respectivamente.

Figura 21- Valores percentuais de eficiência de remoção para DQO (Demanda Química de Oxigênio) na zona intermediária.

Figura 22 - Valores percentuais de eficiência de remoção para DQO (Demanda Química de Oxigênio) na zona superficial.

5.1.2.1 Perfis de caracterização para a DQO (Demanda Química de Oxigênio)

Foram realizados perfis de caracterização do sistema de biofiltros submersos em 24 h (vinte e quatro horas), visando verificar o comportamento do sistema quanto à remoção

temporal de DQO (Demanda Química de Oxigênio), para cada biofiltro submerso. Os resultados encontram-se nas Figuras 23 e 24, e na Tabela 17 podem ser verificadas as datas em que estes perfis de caracterização foram realizados para cada biofiltro submerso (BS).

Tabela 17 - Datas de realização dos perfis de caracterização de eficiência de remoção de DQO (Demanda Química de Oxigênio) para os biofiltros submersos (BS).

Data Perfil 24h		
Pontos de Coleta	BS1	27.11. 2013
	BS2	28.11. 2013
	BS3	06, 01, 2014
	BS4	08.01. 2014
	BS5	03.12. 2013
	BS6	10.12.2013
	BS7	12.12. 2013
	BS8	17.12. 2013

Figura 23 - Perfis de caracterização em 24 horas para a eficiência de remoção de DQO (Demanda Química de Oxigênio) dos biofiltros submersos (BSs) da zona intermediária.

Figura 24 - Perfis de caracterização em 24 horas para a eficiência de remoção de DQO (Demanda Química de Oxigênio) dos biofiltros submersos (BSs) da zona superficial.

Verifica-se que os valores de eficiência de remoção de DQO (Demanda Química de Oxigênio) situaram-se acima de 30%, para todos os biofiltros submersos da zona intermediária (BSs 1 a 4).

Por outro lado, para os biofiltros submersos correspondentes à zona superficial, os valores de eficiência de remoção de DQO (Demanda Química de Oxigênio) situaram-se acima de 70%, indicando a maior capacidade de remoção de matéria orgânica e de outros compostos ou substâncias bioquimicamente oxidáveis, por parte destes biofiltros.

Deve ser feita uma ressalva, porém, com relação à velocidade de formação de biofilmes aderidos às superfícies dos componentes da camada filtrante (brita número 3), quanto ao tempo de formação dos mesmos, o qual pode ter sido diferenciada devido às características próprias de uma e outra zona lagunar.

5.1.3 DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio)

Na Tabela 18 podem ser vistos os resultados de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) obtidos para os 10 pontos de amostragem do sistema de biofiltros submersos (SBSs), Figuras 25 e 26, são apresentados os valores de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), para a zona superficial e zona intermediária, separadamente. E por fim, os valores de eficiência de remoção desta variável de qualidade, com seus mínimos, máximos e médias para cada zona lagunar estudada (Tabelas 19 e Figuras 27 e 28).

Tabela 18 - Valores de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), em mg/L, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).

		Pontos de Coleta									
		BS-1	BS-2	BS-3	BS-4	BS-5	BS-6	BS-7	BS-8	EZI	EZS
2014	24/fev	12	1	14	10	12	9	7	7	39	49
	24/mar	29	30	44	5	26	23	23	23	56	52
	28/abr	37	27	33	31	31	17	27	22	84	117
	26/mai	31	29	37	29	20	23	23	24	35	185

LEGENDA: **BS** – Biofiltro Submerso; **EZS** – Entrada da zona superficial; **EZI** – Entrada da zona intermediária.

Figura 25 - Valores de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), em mg/L, para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZI – Entrada da zona intermediária.

Figura 26 - Valores de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), em mg/L, para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial.

Tabela 19 - Valores percentuais de eficiência de remoção mínima, máxima e média para DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio).

Demanda Bioquímica de Oxigênio			
Eficiência de Remoção			
Pontos de Coleta	BS 1	Mínima	11,4%
		Máxima	69,2%
		Média	46,2%
	BS 2	Mínima	17,1%
		Máxima	97,4%
		Média	57,2%
	BS 3	Mínima	-5,7%
		Máxima	64,1%
		Média	48,7%
	BS 4	Mínima	17,1%
		Máxima	91,1%
		Média	61,4%
	BS 5	Mínima	50,0%
		Máxima	89,2%
		Média	57,1%
	BS 6	Mínima	55,0%
		Máxima	87,6%
		Média	75,5%
	BS 7	Mínima	55,8%
		Máxima	87,6%
		Média	76,5%
	BS 8	Mínima	55,8%
		Máxima	87,0%
		Média	77,4%

LEGENDA: BS – Biofiltro Submerso

Observa-se que a remoção de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) para os biofiltros submersos que operaram com afluente da zona intermediária, apresentaram um intervalo de valores desde -5,70% até 97,40% (Tabela 19), ao passo que os biofiltros submersos que operaram com afluente da zona superficial, apresentaram um intervalo de valores desde 50,00% até 89,20% (Tabelas 19).

Para a zona superficial, os biofiltros submersos de BS-5 a BS-8 apresentaram uma maior uniformidade nos resultados, considerando a mesma taxa de aplicação hidráulica volumétrica. Tais valores acompanharam a tendência observada para a DQO (Demanda Química de Oxigênio), com os valores obtidos para a zona superficial exibindo uma maior uniformidade.

Para os valores médios de eficiência de remoção de DBO, os maiores valores foram dos biofiltros submersos 7 e 8, com os valores de 76,50% e 77,40% respectivamente, pertencentes à zona superficial, conforme Tabela 19 e Figuras 27 e 28.

Para a zona superficial os biofiltros submersos 7 e 8 apresentaram uma maior uniformidade de resultados, para a mesma taxa de aplicação hidráulica volumétrica, ou seja, para as alturas de camada filtrante de 150 e 200 cm, respectivamente, repetindo também o comportamento para a remoção de DBO (Demanda Química de Oxigênio).

Figura 27 - Valores percentuais de eficiência de remoção para DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) na zona intermediária. BS – Biofiltro Submerso.

Figura 28 - Valores percentuais de eficiência de remoção para DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) na zona superficial. BS – Biofiltro Submerso.

5.1.4 Potencial Hidrogeniônico (pH)

A Tabela 20 exhibe os resultados de pH (potencial hidrogeniônico) obtidos para os 10 pontos de amostragem do sistema de biofiltros submersos (**SBSs**), fornecendo uma visão geral de todos os dados obtidos. A seguir, nas Figuras 29 e 30, têm-se os valores de pH separados por zona lagunar estudada, ou seja, zona superficial e zona intermediária, para efeito de comparação em separado.

Tabela 20 – Valores de pH (potencial hidrogeniônico) nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).

		Pontos de Coleta									
		BS 1	BS 2	BS 3	BS 4	BS 5	BS 6	BS 7	BS 8	EZI	EZS
2014	07/abr	6,15	6,39	6,44	6,31	6,85	6,63	6,82	6,71	6,53	6,38
	14/abr	6,10	6,34	6,49	6,36	6,8	6,7	6,87	6,74	6,48	6,31
	22/abr	6,13	6,33	6,47	6,34	6,81	6,65	6,83	6,73	6,47	6,33
	06/mai	7,25	7,13	7,12	7,00	7,14	7,07	7,20	7,12	6,93	6,84
	13/mai	7,02	6,9	6,89	6,77	6,91	6,84	6,97	6,89	6,72	6,69
	20/mai	7,14	7,02	7,01	6,89	7,03	6,96	7,09	7,01	6,84	6,81
	27/mai	7,00	6,88	6,87	6,75	6,89	6,82	6,95	6,87	6,7	6,67

LEGENDA: BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial; EZI – Entrada da zona intermediária.

Figura 29 - Valores de pH (potencial hidrogeniônico) obtidos para os biofiltros submersos (BS) alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação.

Figura 30- Valores de pH (potencial hidrogeniônico) obtidos para os biofiltros submersos (BS) alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação.

Pode ser observado nas Tabelas 20 e Figuras 29 a 30 que os valores de pH

apresentam variações acentuadas para os biofiltros submersos da zona intermediária, ora apresentando-se mais elevados em relação ao seu afluente, ora apresentando-se com valores mais baixos do que seu afluente.

No entanto, para a zona superficial, observa-se que, ao contrário da zona intermediária, ocorreu uma maior uniformidade de valores de pH, com tendência a valores na faixa alcalina, ou seja, acima de 7,0, embora não tenha havido diferenças significativas (Tabela 21 – valores mínimos, médios, e máximos) no afluente de cada zona, o que pode indicar um melhor desempenho dos biofiltros tratando esgoto extraído desta zona lagunar.

Tabela 21 - Valores de pH mínimos, máximos e médios para as zonas intermediária e superficial do sistema de biofiltros submerso (SBSs).

		pH	
Pontos de Coleta	BS 1	Mínima	6,10
		Máxima	7,25
		Média	6,68
	BS 2	Mínima	6,88
		Máxima	7,13
		Média	6,71
	BS 3	Mínima	6,44
		Máxima	7,01
		Média	6,76
	BS 4	Mínima	6,31
		Máxima	7,00
		Média	6,63
	BS 5	Mínima	6,80
		Máxima	7,14
		Média	6,92
	BS 6	Mínima	6,63
		Máxima	7,07
		Média	6,81
	BS 7	Mínima	6,82
		Máxima	7,20
		Média	6,96
	BS 8	Mínima	6,71
		Máxima	7,12
		Média	6,86
	EZI	Mínima	6,48
		Máxima	6,93
		Média	6,66
	Ezs	Mínima	6,31
		Máxima	6,84
		Média	6,57

LEGENDA: BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial; EZI – Entrada da zona intermediária.

5.1.5 Coliformes Totais

Os resultados de coliformes totais obtidos para os 10 pontos de amostragem do sistema de biofiltros submersos (**SBSs**) são apresentados na Tabela 22, assim como nas Figuras 31 e 32, estão os valores de coliformes totais para a zona superficial e zona intermediária. Na sequência são demonstrados os dados de eficiência de remoção desta variável (Tabela 23 e Figura 33 e 34).

Tabela 22 - Valores de coliformes totais, em UFC/100 mL, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).

		Pontos de Coleta									
		BS-1	BS-2	BS-3	BS-4	BS-5	BS-6	BS-7	BS-8	EZI	EZS
2014	18/fev	49.900	90.000	40.600	45.000	34.700	7.200	8.900	58.900	25.700	197.900
	27/mar	24.700	33.200	93.400	7.800	68.900	74.200	11.900	8.500	42.100	184.600
	14/abr	34.700	39.200	28.000	53.700	30.400	1.700	31.200	5.100	50.900	72.200
	06/mai	68.000	26.000	23.000	300.000	42.000	12.000	26.000	94.000	336.000	88.000
	21/mai	20.300	3.00	45.900	5.300	8.700	7.500	8.500	8.700	1.600	1.400

LEGENDA: **BS** – Biofiltro Submerso; **EZS** – Entrada da zona superficial; **EZI** – Entrada da zona intermediária.

Figura 31- Valores de coliformes totais, em UFC/100 mL, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZI – Entrada da zona intermediária.

Figura 32 - Valores de coliformes totais, em UFC/100 mL, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial.

Tabela 23 - Valores percentuais de eficiência de remoção mínima, máxima e média para Coliformes Totais

Coliformes Totais - Eficiência de Remoção			
Pontos de Coleta	BS1	Mínima	-1168,80%
		Máxima	79,76%
		Média	50,97%
	BS2	Mínima	-250,20%
		Máxima	92,26%
		Média	45,46%
	BS3	Mínima	-2768,80%
		Máxima	93,16%
		Média	69,07%
	BS4	Mínima	-231,25%
		Máxima	81,47%
		Média	28,90%
	BS5	Mínima	-521,43%
		Máxima	82,47%
		Média	63,83%
	BS6	Mínima	-435,71%
		Máxima	97,65%
		Média	85,04%
	BS7	Mínima	-507,14%
		Máxima	95,50%
		Média	79,07%
	BS8	Mínima	-521,43%
		Máxima	95,40%
		Média	62,94%

BS – Biofiltro Submerso.

Comparando as zonas superficial e intermediária, observa-se que a zona superficial apresenta um teor maior de coliformes totais, com valores à entrada acima dos valores das saídas dos biofiltros submersos. Já para a zona intermediária as variações dos valores de eficiência de remoção de coliformes totais não seguiram uma constância com relação aos biofiltros submersos (Tabelas 23 e Figuras 33 e 34). Este fato pode ser explicado provavelmente pelo efeito da profundidade sobre a sedimentação dos organismos. A zona superficial apresentou uma maior estabilidade e uniformidade nos valores, além de uma maior eficiência de remoção de coliformes totais, ou de decaimento do número de organismos vivos no meio aquático. Para os valores médios de eficiência de remoção de coliformes totais, os maiores valores foram dos BSs 6 e 7, com os valores de 85,04% e 79,07%, respectivamente, na zona superficial.

Figura 33 - Valores percentuais de eficiência de remoção para coliformes totais na zona intermediária. BS – Biofiltro Submerso.

Figura 34 - Valores percentuais de eficiência de remoção para coliformes totais na zona superficial. BS – Biofiltro Submerso.

5.1.6 Coliformes Termotolerantes

Os resultados de coliformes termotolerantes obtidos para os 10 pontos de amostragem do sistema de biofiltros submersos (SBSs) são apresentados na Tabela 24, assim como nas Figuras 35 e 36, estão os mesmos valores, divididos para a zona superficial e zona intermediária. A seguir têm-se os dados de eficiência de remoção desta variável (Tabela 25 e Figura 37 e 38).

Tabela 24 - Valores de coliformes termotolerantes em UFC/100 mL, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).

Pontos de Coleta											
	BS-1	BS-2	BS-3	BS-4	BS-5	BS-6	BS-7	BS-8	EZI	EZS	
2014	18/fev	1.100	400	600	1	100	600	1	1	8.000	164.300
	27/mar	900	200	9.800	300	1	900	1	1	700	123.900
	14/abr	2500	4500	2.400	5.100	400	1	100	100	2.700	4.100
	06/mai	1	1	1.000	6.000	2.000	3.000	1.000	7.000	37.000	4.000
	21/mai	29.300	1.700	35.600	3.300	3.500	1.200	3.600	100	100	1

LEGENDA: BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial; EZI – Entrada da zona intermediária.

Figura 35 - Valores de coliformes totais, em UFC/100 mL, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluentes extraído da zona intermediária da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZI – Entrada da zona intermediária.

Figura 36 - Valores de coliformes totais, em UFC/100 mL, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial.

Tabela 25 - Valores percentuais de eficiência de remoção mínima, média e máxima para Coliformes Termotolerantes.

Coliformes Termotolerantes - Eficiência de Remoção			
Pontos de Coleta	BS1	Mínima	-29200,00%
		Máxima	100,00%
		Média	64,55%
	BS2	Mínima	-1600,00%
		Máxima	100,00%
		Média	88,81%
	BS3	Mínima	-35500,00%
		Máxima	97,30%
		Média	66,97%
	BS4	Mínima	3200,00%
		Máxima	99,99%
		Média	38,01%
	BS5	Mínima	0,00%
		Máxima	100,00%
		Média	85,05%
	BS6	Mínima	0,10%
		Máxima	99,98%
		Média	80,97%
	BS7	Mínima	-75,00%
		Máxima	100,00%
		Média	99,19%
	BS8	Mínima	-825,00%
		Máxima	99,44%
		Média	76,24%

Da mesma forma que para os coliformes totais, os coliformes termotolerantes na zona superficial tiveram eficiência de remoção predominantemente acima de 90%, o mesmo não ocorrendo para a zona intermediária, onde esta eficiência teve valores inconstantes tanto positivos como negativos. A zona superficial apresentou uma maior estabilidade e uniformidade nos valores, além de uma maior eficiência de remoção de coliformes totais, ou de decaimento do número de organismos vivos no meio aquático, da mesma maneira que para os coliformes totais.

Para os valores médios de eficiência de remoção de Coliformes Termotolerantes, apresentados na Tabela 25 e Figuras 37 e 38, os maiores valores situaram-se nos BSs 7, 2, 5, 6 e 8, com os valores de 99,19%, 88,81%, 85,05%, 80,79% e 76,24% respectivamente, sendo somente o BS 2 pertencente à zona intermediária.

Figura 37 - Valores percentuais de eficiência de remoção para coliformes termotolerantes na zona intermediária. BS – Biofiltro Submerso.

Figura 38 - Valores percentuais de eficiência de remoção para coliformes termotolerantes na zona intermediária. BS – Biofiltro Submerso.

5.1.7 Fósforo Total

Os valores de fósforo total para todo o sistema de biofiltros submersos (SBSs) são exibidos na Tabela 26, e nas Figuras 39 e 40, têm-se os mesmos valores, divididos em zona superficial e zona intermediária. A seguir têm-se os dados de eficiência de remoção desta variável (Tabela 27 e Figuras 41 e 42).

Tabela 26 - Valores de fósforo total, em mg/L, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).

		Pontos de Coleta									
		BS-1	BS-2	BS-3	BS-4	BS-5	BS-6	BS-7	BS-8	EZI	EZS
2014	24/fev	3,95	4,8	4,51	3,92	4,63	4,76	4,64	4,72	9,86	4,14
	24/mar	5,30	4,70	5,10	4,60	4,40	4,30	4,30	2,60	4,60	4,50
	07/abr	4,30	5,20	4,70	4,70	4,30	4,40	4,60	4,50	5,20	4,50
	28/abr	5,08	4,24	4,32	4,04	4,16	4,40	4,16	4,80	4,16	3,52
	05/mai	4,23	4,29	4,20	4,35	4,37	3,84	4,15	4,44	4,28	3,47
	26/mai	4,20	4,50	4,50	4,30	4,40	4,60	4,50	4,50	4,10	9,80

LEGENDA: BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial; EZI – Entrada da zona intermediária.

Figura 39 - Valores de fósforo total, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZI – Entrada da zona intermediária.

Figura 40 - Valores de fósforo total, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EVS – Entrada da zona superficial.

Tabela 27 - Valores percentuais de eficiência de remoção mínima, máxima e média para fósforo total.

Fósforo Total - Eficiência de Remoção			
Pontos de Coleta	BS1	Mínima	-22,1%
		Máxima	59,9%
		Média	26,1%
	BS2	Mínima	-9,8%
		Máxima	51,3%
		Média	25,7%
	BS3	Mínima	-13,3%
		Máxima	54,3%
		Média	21,9%
	BS4	Mínima	-4,9%
		Máxima	60,2%
		Média	24,2%
	BS5	Mínima	-25,9%
		Máxima	55,1%
		Média	20,6%
	BS6	Mínima	-25,0%
		Máxima	53,1%
		Média	19,9%
	BS7	Mínima	-2,2%
		Máxima	54,1%
		Média	29,3%
	BS8	Mínima	0,0%
		Máxima	54,1%
		Média	32,1%

LEGENDA: BS – Biofiltro Submerso

Para os valores médios de eficiência de remoção de Fósforo, os maiores valores foram os referentes aos BSs 7 e 8 (alturas de camada filtrante de 150 e 200 cm, respectivamente), com os valores de 29,3% e 32,1% respectivamente, pertencentes à zona superficial. Conforme a Tabela 27 e a Figuras 41 e 42 conclui-se que a remoção de Fósforo, com relação aos outros parâmetros é relativamente baixa.

Figura 41 - Valores percentuais de eficiência de remoção para fósforo total na zona intermediária. BS – Biofiltro Submerso.

Figura 42 - Valores percentuais de eficiência de remoção para fósforo total na zona superficial. BS – Biofiltro Submerso.

5.1.8 Nitrogênio Total

Da mesma forma que para as demais variáveis, os resultados de nitrogênio total para todo o sistema de biofiltros submersos (**SBSs**) são exibidos na Tabela 28, e nas Figuras 43 e 44, tem-se os mesmos valores, divididos em zona superficial e zona intermediária. Em seguida têm-se os dados de eficiência de remoção desta variável (Tabela 29 e Figura 45 e 46).

Tabela 28 - Valores de nitrogênio total, em mg/L, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).

	BS-1	BS-2	BS-3	BS-4	BS-5	BS-6	BS-7	BS-8	EZI	EZS
2014	24/fev	29,6	33,6	34,0	33,6	32,4	34,0	35,0	32,0	61,2
	24/mar	34,0	37,0	37,0	32,0	43,0	36,0	34,0	37,0	35,0
	07/abr	38,0	44,0	46,5	58,5	54,5	52,0	54,0	51,0	41,0
	28/abr	33,0	34,5	33,5	31,5	34,5	28,0	32,0	30,5	39,0
	05/mai	38,0	32,0	37,0	44,0	50,0	35,0	35,0	34,0	37,0
	26/mai	36,5	38,5	44,0	39,0	41,5	43,5	31,5	37,0	79,0

LEGENDA: BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial; EZI – Entrada da zona intermediária.

Figura 43 - Valores de nitrogênio total, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZI – Entrada da zona intermediária.

Figura 44 - Valores de nitrogênio total, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluentes extraído da zona superficial da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial.

Tabela 29 - Valores percentuais de eficiência de remoção mínima, máxima e média para nitrogênio total.

Nitrogênio Total - Eficiência de Remoção			
Pontos de Coleta	BS1	Mínima	-4,3%
		Máxima	51,6%
		Média	24,8%
	BS2	Mínima	-10,0%
		Máxima	45,1%
		Média	20,5%
	BS3	Mínima	-25,7%
		Máxima	44,4%
		Média	16,4%
	BS4	Mínima	-18,9%
		Máxima	45,1%
		Média	25,9%
	BS5	Mínima	-38,9%
		Máxima	47,5%
		Média	21,5%
	BS6	Mínima	-26,8%
		Máxima	44,9%
		Média	19,4%
	BS7	Mínima	-31,7%
		Máxima	60,1%
		Média	16,9%
	BS8	Mínima	-24,4%
		Máxima	53,2%
		Média	21,9%
BS – Biofiltro Submerso			

Para os valores médios de eficiência de remoção de Nitrogênio, de acordo com a Tabela 29 e Figuras 45 e 46, os maiores valores foram dos BSs 4, 1, 8 e 5, com os valores de 25,9%, 24,8%, 21,9% e 21,5% respectivamente. Os BSs 4 e 1 pertencem à zona intermediária e o 8 e 5 à zona superficial. Conclui-se que a remoção de Nitrogênio semelhantemente a de Fósforo, com relação aos outros parâmetros é relativamente baixa.

Figura 45 - Valores percentuais de eficiência de remoção para nitrogênio total na zona intermediária. BS – Biofiltro Submerso.

Figura 46 - Valores percentuais de eficiência de remoção para nitrogênio total na zona superficial. BS – Biofiltro Submerso.

5.1.9 Sólidos Totais

Os resultados de sólidos totais para o sistema de biofiltros submersos (**SBSs**) são apresentados na Tabela 30, enquanto Figuras 47 e 48 (nas quais foi destacada a descarga realizada no **SBS**), têm-se os mesmos valores, novamente divididos em zona intermediária e superficial. Na sequência são apresentados os dados de eficiência de remoção desta variável (Tabela 31 e Figura 49 e 50).

Tabela 30 - Valores de sólidos totais, em mg/L, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).

	Pontos de Coleta									
	BS-1	BS-2	BS-3	BS-4	BS-5	BS-6	BS-7	BS-8	EZI	EZS
23/jan	343,0	310,0	330,0	240,0	296,0	334,0	298,0	271,0	425,0	390,0
30/jan	349,0	315,0	337,0	249,0	299,0	330,0	306,0	275,0	455,0	373,0
06/fev	349,0	315,0	337,0	249,0	299,0	330,0	306,0	275,0	455,0	373,0
13/fev	265,0	249,0	271,0	283,0	273,0	253,0	277,0	263,0	519,0	273,0
20/fev	343,0	325,0	343,0	259,0	313,0	322,0	298,0	284,0	445,0	387,0
27/fev	264,0	280,0	278,0	290,0	292,0	268,0	276,0	274,0	518,0	334,0
13/mar	269,0	285,0	274,0	283,0	287,0	256,0	274,0	270,0	499,0	346,0
20/mar	189,0	249,0	78,0	567,0	267,0	247,0	252,0	393,0	220,0	279,0
27/mar	191,0	253,0	84,0	565,0	265,0	244,0	250,0	390,0	225,0	285,0
2014 Descarga										
08/abr	525,0	511,0	515,0	491,0	527,0	503,0	503,0	497,0	785,0	803,0
15/abr	512,0	498,0	502,0	478,0	514,0	490,0	503,0	484,0	772,0	790,0
22/abr	548,0	516,0	520,0	496,0	532,0	508,0	521,0	502,0	790,0	808,0
29/abr	538,0	524,0	528,0	504,0	540,0	516,0	516,0	510,0	798,0	816,0
06/mai	544,0	530,0	534,0	510,0	546,0	522,0	522,0	516,0	804,0	822,0
13/mai	532,0	730,0	572,0	536,0	566,0	594,0	570,0	568,0	588,0	838,0
22/mai	516,0	714,0	556,0	520,0	550,0	578,0	554,0	552,0	572,0	822,0
26/mai	552,0	770,0	572,0	556,0	556,0	584,0	570,0	558,0	558,0	1438,0

LEGENDA: **BS** – Biofiltro Submerso; **EZS** – Entrada da zona superficial; **EZI** – Entrada da zona intermediária.

Figura 47 - Valores de sólidos totais, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso

Figura 48 - Valores de sólidos totais, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso.

Tabela 31 - Valores percentuais de eficiência de remoção mínima, máxima e média para sólidos totais.

Sólidos Totais - Eficiência de Remoção			
Pontos de Coleta	BS1	Mínima	1,10%
		Máxima	49,00%
		Média	32,50%
	BS2	Mínima	-38,00%
		Máxima	45,90%
		Média	35,70%
	BS3	Mínima	-2,50%
		Máxima	47,80%
		Média	34,20%
	BS4	Mínima	0,40%
		Máxima	45,30%
		Média	37,20%
	BS5	Mínima	0,00%
		Máxima	61,30%
		Média	37,20%
	BS6	Mínima	7,30%
		Máxima	59,40%
		Média	38,00%
	BS7	Mínima	-2,00%
		Máxima	60,00%
		Média	38,40%
	BS8	Mínima	-40,90%
		Máxima	61,20%
		Média	39,50%
BS – Biofiltro Submerso			

Os biofiltros submersos de 1 a 4 obtiveram eficiência num intervalo que compreendeu valores mínimos negativos, a um valor máximo de 49,00% (Tabela 31). Observa-se que para os biofiltros submersos de 5 a 8, o intervalo de valores para eficiências também abrangeu valores mínimos negativos, a um valor máximo de 61,30%, conforme mostra a Tabela 31.

Para os valores médios de eficiência da zona superficial, os melhores resultados foram dos BSs 7 e 8, com os valores de 61,3% e 61,20%, respectivamente, resultando em valores maiores para a zona superficial do que para a zona intermediária.

Os gráficos de eficiência de remoção dos sólidos totais estão apresentados a seguir nas Figuras 49 e 50.

Figura 49 - Valores percentuais de eficiência de remoção para sólidos totais na zona intermediária. BS – Biofiltro Submerso.

Figura 50 - Valores percentuais de eficiência de remoção para sólidos totais na zona superficial. BS – Biofiltro Submerso.

5.1.10 Sólidos Suspensos Totais

Os resultados de sólidos suspensos totais para o sistema de biofiltros submersos (SBSs) são apresentados na Tabela 32, enquanto Figuras 51 e 52 (nas quais foi destacada novamente a descarga realizada no SBS), têm-se os mesmos valores, divididos em zona intermediária e superficial. Já os dados de eficiência de remoção desta variável são apresentados na Tabela 33 e Figuras 53 e 54.

Tabela 32 - Valores de sólidos suspensos totais, em mg/L, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).

Pontos de Coleta											
	BS-1	BS-2	BS-3	BS-4	BS-5	BS-6	BS-7	BS-8	EZI	EZS	
2014	23/jan	13,0	14,0	24,0	14,0	19,0	20,0	15,0	16,0	68,0	75,0
	30/jan	29,0	20,0	37,0	9,0	12,0	16,0	13,0	24,0	43,0	62,0
	06/fev	21,0	24,0	43,0	28,0	16,0	23,0	23,0	19,0	52,0	60,0
	13/fev	5,0	42,0	13,0	15,0	22,0	23,0	7,0	14,0	9,0	23,0
	20/fev	15,0	34,0	49,0	38,0	30,0	15,0	15,0	28,0	42,0	74,0
	27/fev	4,0	36,0	12,0	12,0	24,0	20,0	4,0	16,0	4,0	76,0
	13/mar	9,0	21,0	8,0	15,0	19,0	33,0	20,0	14,0	23,0	68,0
	20/mar	16,0	16,0	68,0	20,0	8,0	8,0	12,0	24,0	100,0	55,0
	27/mar	16,0	23,0	69,0	22,0	12,0	11,0	9,0	24,0	108,0	65,0
	Descarga										
	08/abr	8,0	16,0	8,0	4,0	4,0	4,0	4,0	12,0	160,0	144,0
	15/abr	8,0	16,0	8,0	4,0	4,0	4,0	17,0	12,0	160,0	144,0
	22/abr	26,0	16,0	8,0	4,0	4,0	4,0	13,0	12,0	160,0	144,0
	29/abr	8,0	16,0	8,0	4,0	4,0	4,0	4,0	12,0	160,0	144,0
	06/mai	8,0	16,0	8,0	4,0	4,0	6,0	4,0	12,0	160,0	144,0
	13/mai	30,0	26,0	24,0	18,0	26,0	44,0	16,0	38,0	77,0	56,0
	22/mai	36,0	32,0	30,0	24,0	32,0	50,0	22,0	44,0	83,0	62,0
	26/mai	20,0	16,0	24,0	28,0	12,0	24,0	16,0	8,0	44,0	359,0

LEGENDA: BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial; EZI – Entrada da zona intermediária.

A Tabela 32 apresenta os resultados de sólidos suspensos totais para a zona intermediária. O intervalo de valores de eficiência conforme Tabela 33 variou num intervalo que abrangeu valores negativos até um valor máximo de 97,50%.

Figura 51 - Valores de sólidos suspensos totais, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZI – Entrada da zona intermediária.

Figura 52 - Valores de sólidos suspensos totais, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação.

Tabela 33 - Valores de eficiência de remoção de sólidos suspensos totais, para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação.

Sólidos Suspensos - Eficiência de Remoção			
Pontos de Coleta	BS1	Mínima	0,00%
		Máxima	95,00%
		Média	79,50%
	BS2	Mínima	-366,67%
		Máxima	90,00%
		Média	80,59%
	BS3	Mínima	-44,44%
		Máxima	95,00%
		Média	81,60%
	BS4	Mínima	-66,67%
		Máxima	97,50%
		Média	76,80%
	BS5	Mínima	4,35%
		Máxima	97,22%
		Média	85,20%
	BS6	Mínima	0,00%
		Máxima	97,22%
		Média	77,40%
	BS7	Mínima	61,67%
		Máxima	97,22%
		Média	87,80%
	BS8	Mínima	29,03%
		Máxima	97,77%
		Média	71,20%
BS – Biofiltro Submerso.			

Para os valores médios de eficiência da zona intermediária conforme Tabela 33, os melhores resultados foram dos BSs 1,3 e 4 (respectivamente altura de camada filtrante de 50 cm 100 cm e 150 cm), com os valores de 95,1% ; 95% e 97,50% e respectivamente.

Para os sólidos suspensos da zona superficial, variaram na sua eficiência de remoção num intervalo de valores desde 0,00% ao valor percentual máximo de 97,77%.

Para os valores médios de eficiência da zona superficial, os melhores resultados foram dos BSs 5 e 7 (respectivamente altura de camada filtrante de 50 cm e 150 cm), com os valores de 85,20% e 87,80%, respectivamente. O BS 8 (altura de camada filtrante de 200 cm) registrou uma eficiência média de 71,20%.

Os gráficos de eficiência de remoção dos sólidos suspensos estão apresentados a seguir nas Figuras 53 e 54.

Figura 53 - Valores de eficiência de remoção de sólidos suspensos totais, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZI – Entrada da zona intermediária.

Figura 54 - Valores de eficiência de remoção de sólidos suspensos totais, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial.

5.1.11 Sólidos Dissolvidos Totais

São apresentados os valores de sólidos dissolvidos totais para o sistema de biofiltros submersos (**SBSs**) na Tabela 34. Em seguida, nas Figuras 55 e 56 (nas quais foi destacada novamente a descarga realizada no **SBS**), têm-se os mesmos valores, divididos em zona intermediária e superficial. Em seguida têm-se os dados de eficiência de remoção desta variável (Tabela 35 e Figuras 57 e 58).

Tabela 34 - Valores de sólidos dissolvidos totais, em mg/L, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).

		Pontos de Coleta									
		BS-1	BS-2	BS-3	BS-4	BS-5	BS-6	BS-7	BS-8	EZI	EZS
2014	23/jan	330	296	306	226	277	314	283	255	357	315
	30/jan	320	295	300	240	287	314	293	251	412	311
	06/fev	328	291	294	221	283	307	283	256	403	313
	13/fev	260	207	258	268	251	230	270	249	510	250
	20/fev	328	291	294	221	283	307	283	256	403	313
	27/fev	260	244	266	278	268	248	272	258	514	258
	13/mar	260	264	266	268	268	223	254	256	476	278
	20/mar	173	233	10	547	259	239	240	369	120	224
	27/mar	175	230	15	543	253	233	241	366	117	220
	Descarga										
	08/abr	517	495	507	487	523	499	499	485	625	659
	15/abr	504	482	494	474	510	486	486	472	612	646
	22/abr	522	500	512	492	528	504	508	490	630	664
	29/abr	530	508	520	500	536	512	512	498	638	672
	06/mai	536	514	526	506	542	516	518	504	644	678
	13/mai	502	704	548	518	540	550	554	530	511	782
	22/mai	480	682	526	496	518	528	532	508	489	760
	26/mai	532	754	548	528	544	560	554	550	514	1079

LEGENDA: **BS** – Biofiltro Submerso; **EZS** – Entrada da zona superficial; **EZI** – Entrada da zona intermediária.

Figura 55 - Valores de sólidos dissolvidos totais, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZI – Entrada da zona intermediária.

Figura 56 - Valores de sólidos dissolvidos totais, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial.

Tabela 35 - Valores de eficiência de remoção de sólidos dissolvidos totais, para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação.

Sólidos Dissolvidos - Eficiência de Remoção			
Pontos de Coleta	BS1	Mínima	-49,57%
		Máxima	49,02%
		Média	21,50%
	BS2	Mínima	-96,58%
		Máxima	59,41%
		Média	30,07%
	BS3	Mínima	-7,57%
		Máxima	91,67%
		Média	36,40%
	BS4	Mínima	-364,10%
		Máxima	53,57%
		Média	35,60%
	BS5	Mínima	-15,63%
		Máxima	49,58%
		Média	19,80%
	BS6	Mínima	-6,70%
		Máxima	48,66%
		Média	18,80%
	BS7	Mínima	-9,55%
		Máxima	48,66%
		Média	20,90%
	BS8	Mínima	-66,36%
		Máxima	49,03%
		Média	21,90%
BS – Biofiltro Submerso.			

Para a zona intermediária, o intervalo de valores das eficiências de remoção variou a partir de valores negativos até 91,67%, conforme Tabela 35 e Figuras 57 e 58.

Para os valores médios de eficiência de remoção de sólidos dissolvidos totais da zona intermediária, os melhores resultados foram dos BSs 3 e 4 (alturas de camada filtrante de 150 cm e 200 cm), com valores de 36,40% e 35,60%, respectivamente.

Para os valores médios de eficiência da zona superficial, os melhores resultados foram dos BSs 7 e 8, com os valores de 20,90% e 21,90%, respectivamente. Os melhores valores foram os obtidos pelos BSs da zona intermediária.

Figura 57 - Valores de eficiência de remoção de sólidos dissolvidos totais, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso.

Figura 58 - Valores de eficiência de remoção de sólidos dissolvidos totais, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação.

5.1.13 Sólidos Sedimentáveis

Os valores de sólidos sedimentáveis para o sistema de biofiltros submersos (**SBSs**) são exibidos na Tabela 36. Em seguida, nas Figuras 59 e 60, têm-se os mesmos valores, divididos em zona intermediária e superficial. Os dados de eficiência de remoção desta variável são apresentados na Tabela 37 e Figuras 61 e 62.

Tabela 36 - Valores de sólidos sedimentáveis, em mL/L, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).

		Pontos de Coleta									
		BS 1	BS 2	BS 3	BS 4	BS 5	BS 6	BS 7	BS 8	EZI	EZS
2014	24/fev	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,80
	24/mar	0,10	0,10	2,00	0,20	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,20	2,10
	28/abr	0,10	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	7,50	6,50
	26/mai	< 0,1	< 0,1	0,30	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,70	32,00

LEGENDA: BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial; EZI – Entrada da zona intermediária.

Figura 59 - Valores de sólidos sedimentáveis, em mL/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZI – Entrada da zona intermediária.

Figura 60 - Valores de sólidos sedimentáveis, em mL/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluentes extraído da zona superficial da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial.

Tabela 37 - Valores de eficiência de remoção de sólidos sedimentáveis, para os biofiltros submersos alimentados com afluentes extraídos das zonas intermediária e superficial da lagoa de maturação.

Sólidos sedimentáveis Eficiência de Remoção			
Pontos de Coleta	BS 1	Mínima	0,00%
		Máxima	98,70%
		Média	78,10%
	BS 2	Mínima	0,00%
		Máxima	98,70%
		Média	78,10%
	BS 3	Mínima	-900,00%
		Máxima	98,70%
		Média	77,90%
	BS 4	Mínima	0,00%
		Máxima	98,70%
		Média	92,20%
	BS 5	Mínima	87,50%
		Máxima	99,70%
		Média	95,20%
	BS 6	Mínima	87,50%
		Máxima	99,70%
		Média	95,20%
	BS 7	Mínima	87,50%
		Máxima	99,70%
		Média	95,20%
	BS 8	Mínima	87,50%
		Máxima	99,70%
		Média	95,20%
BS – Biofiltro Submerso			

Conforme Tabela 37 e Figuras 61 e 62, os valores de eficiência de remoção para os sólidos sedimentáveis atingiram até 98,77%. Este valor da zona intermediária se repetiu para todos os biofiltros submersos. No entanto, a zona superficial apresentou melhores resultados, com uma ligeira vantagem de 1%, com valor 99,7%.

Figura 61 - Valores de eficiência de remoção de sólidos sedimentáveis obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação.

Figura 62 - Valores de eficiência de remoção de sólidos sedimentáveis obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação. (Obs.: Os traços são coincidentes).

5.1.14 Sólidos Totais Fixos

Os valores de sólidos totais fixos para o sistema de biofiltros submersos (**SBSs**) são exibidos na Tabela 38. Em seguida, nas Figuras 63 e 64, têm-se os mesmos valores, divididos em zona intermediária e superficial. Na sequência são apresentados os dados de eficiência de remoção desta variável (Tabela 39 e Figura 65 e 66).

Tabela 38 - Valores de sólidos totais fixos em mg/L, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).

		Pontos de Coleta									
		BS 1	BS 2	BS 3	BS 4	BS 5	BS 6	BS 7	BS 8	EZI	EZS
2014	24/fev	118	196	182	186	214	204	180	182	344	200
	24/mar	121	165	46	466	179	172	182	297	156	109
	28/abr	374	386	356	328	374	350	360	340	396	376
	26/mai	360	372	388	368	372	364	414	368	338	432

LEGENDA: **BS** – Biofiltro Submerso; **EZS** – Entrada da zona superficial; **EZI** – Entrada da zona intermediária.

Figura 63 – Valores de sólidos totais fixos, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluentes extraído da zona intermediária da lagoa de maturação.

Figura 64 - Valores de sólidos totais fixos, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluentes extraído da zona superficial da lagoa de maturação.

Tabela 39 - Valores percentuais de eficiência de remoção mínima, máxima e média para sólidos totais fixos.

Sólidos Totais Fixos Eficiência de Remoção			
Pontos de Coleta	BS 1	Mínima	-7,0%
		Máxima	65,7%
		Média	31,2%
	BS 2	Mínima	-10,0%
		Máxima	74,0%
		Média	22,8%
	BS 3	Mínima	-15,0%
		Máxima	81,0%
		Média	42,6%
	BS 4	Mínima	-198,7%
		Máxima	79,0%
		Média	31,6%
	BS 5	Mínima	-64,2%
		Máxima	14,0%
		Média	7,2%
	BS 6	Mínima	-57,8%
		Máxima	16,0%
		Média	11,3%
	BS 7	Mínima	-67,0%
		Máxima	10,0%
		Média	6,1%
	BS 8	Mínima	-172,5%
		Máxima	15,0%
		Média	11,1%

BS – Biofiltro Submerso

A Tabela 39, Figuras 65 e 66, apresentam os valores percentuais de eficiência de remoção mínima, média e máxima para sólidos totais fixos. O intervalo de valores de eficiência variou abrangendo valores negativos até um valor máximo de 81,00%. Para os valores da zona intermediária, os melhores resultados foram dos BSs 1 e 3 com valores de 65,7% e 81,0%, respectivamente.

Na zona superficial, o intervalo de valores de eficiência variou abrangendo valores negativos até um valor máximo de 16,0%.

Para os valores da zona superficial, os melhores resultados foram dos BSs 5 e 6 com valores de 14,0% e 16,0%, respectivamente. Conclui-se que, para os Sólidos Totais Fixos, os melhores resultados situaram-se nos biofiltros submersos da zona intermediária.

Figura 65 - Valores de eficiência de remoção dos sólidos totais fixos, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso.

Figura 66 - Valores de eficiência de remoção dos sólidos totais fixos, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação. BS – Biofiltro Submerso.

5.1.15 Sólidos Totais Voláteis

Na Tabela 40 são apresentados os resultados de sólidos totais voláteis para o sistema de biofiltros submersos (**SBSs**). A seguir, nas Figuras 67 e 68, têm-se os mesmos valores, divididos em zona intermediária e superficial. Os dados de eficiência de remoção desta variável estão na Tabela 41 e Figuras 69 e 70.

Tabela 40 - Valores de sólidos totais voláteis, em mg/L, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).

		Pontos de Coleta									
		BS 1	BS 2	BS 3	BS 4	BS 5	BS 6	BS 7	BS 8	EZI	EZS
2014	24/fev	76	84	96	104	78	64	96	92	174	134
	24/mar	68	84	32	101	88	75	70	96	123	111
	28/abr	164	138	172	176	166	166	156	170	402	440
	26/mai	192	398	254	188	184	220	156	190	220	1006

LEGENDA: BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial; EZI – Entrada da zona intermediária.

Figura 67 - Valores de sólidos totais voláteis, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluentes extraídos da zona intermediária da lagoa de maturação.

Figura 68 - Valores de sólidos totais voláteis, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação.

Tabela 41 - Valores de Eficiência de Remoção dos sólidos totais voláteis, para os biofiltros submersos alimentados com afluentes extraídos das zonas superficial e intermediária da lagoa de maturação.

Sólidos Totais Voláteis Eficiência de Remoção			
Pontos de Coleta	BS 1	Mínima	13,0%
		Máxima	59,0%
		Média	43,2%
	BS 2	Mínima	-81,0%
		Máxima	66,0%
		Média	49,7%
	BS 3	Mínima	-15,0%
		Máxima	74,0%
		Média	58,7%
	BS 4	Mínima	15,0%
		Máxima	56,0%
		Média	32,2%
	BS 5	Mínima	21,0%
		Máxima	82,0%
		Média	51,6%
	BS 6	Mínima	32,0%
		Máxima	78,0%
		Média	56,3%
	BS 7	Mínima	28,4%
		Máxima	84,0%
		Média	53,6%
	BS 8	Mínima	14,0%
		Máxima	81,0%
		Média	46,8%

BS – Biofiltro Submerso

O valor máximo para a eficiência de remoção na zona intermediária para os de sólidos totais voláteis foi de 74,00%. Conforme Tabela 41 e Figuras 69 e 70.

Para os valores da zona intermediária, os melhores resultados foram dos BSs 2 e 3 com valores de 66,0% e 74,0%, respectivamente.

Para a zona superficial, o valor máximo para a eficiência de remoção na zona superficial para os de sólidos totais voláteis foi de 84,00%, sendo os melhores resultados aqueles obtidos pelos biofiltros submersos da zona superficial (BS 5 a 7), respectivamente nos percentuais 82,0% e 84,0%.

Figura 69 - Valores de eficiência de remoção dos sólidos totais voláteis, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação.

Figura 70 - Valores de eficiência de remoção dos sólidos totais voláteis, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação.

5.1.16 Óleos e Graxas

São apresentados os valores de óleos e graxas para o sistema de biofiltros submersos (SBSs) na Tabela 42. Em seguida, nas Figuras 71 e 72, tem-se os mesmos valores, divididos em zona intermediária e superficial. Os dados de eficiência de remoção desta variável estão na Tabela 43 e Figuras 73 e 74.

Tabela 42 - Valores de óleos e graxas, em mg/L, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).

		Pontos de Coleta									
		BS-1	BS-2	BS-3	BS-4	BS-5	BS-6	BS-7	BS-8	EZI	EZS
2014	24/fev	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
	24/mar	< 5	8	6,20	10,40	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	5,50
	28/abr	< 5	< 5	< 5	< 5	6,8	< 5	< 5	5,05	8,4	11
	26/mai	< 5	12,0	12,5	8,0	7,1	8,9	9,2	5,2	12,3	41,5

LEGENDA: BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial; EZI – Entrada da zona intermediária.

Figura 71 - Valores de óleos e graxas totais obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluentes extraído da zona intermediária da lagoa de maturação.

Figura 72 - Valores de óleos e graxas totais obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluentes extraído da zona superficial da lagoa de maturação.

Tabela 43 - Valores de eficiência de remoção de óleos e graxas totais, para os biofiltros submersos alimentados com afluentes extraídos das zonas intermediária e superficial da lagoa de maturação

Óleos e Graxas Totais			
Eficiência de Remoção			
Pontos de Coleta	BS1	Mínima	0,0%
		Máxima	59,3%
	BS2	Mínima	-60,0%
		Máxima	40,5%
	BS3	Mínima	-24,0%
		Máxima	40,5%
	BS4	Mínima	-108,0%
		Máxima	40,5%
	BS5	Mínima	0,0%
		Máxima	82,9%
	BS6	Mínima	0,0%
		Máxima	78,6%
	BS7	Mínima	0,0%
		Máxima	77,0%
	BS8	Mínima	0,0%
		Máxima	87,5%

BS – Biofiltro Submerso

Parece ter ocorrido uma redução dos teores desta variável ao longo do tempo. Entretanto em alguns pontos ocorreu acúmulo, e houve aumento de óleos e graxas no mês de abril e de maio, onde as temperaturas do ambiente onde se encontra o experimento baixaram.

De acordo com a Tabela 43 e as Figuras 73 e 74, os valores máximos ocorreram para zona superficial chegando em 82,9% no BS5 e em 87,5% no BS 8. A melhor média dos valores analisados também foi para a zona superficial com 35,5% para BS6 e 37,7% para BS8.

Figura 73 - Valores de eficiência de remoção de óleos e graxas obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação.

Figura 74 - Valores de eficiência de remoção de óleos e graxas obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluentes extraído da zona superficial da lagoa de maturação.

5.1.17 Óleos e Graxas Minerais

São apresentados os valores de óleos e graxas minerais para o sistema de biofiltros submersos (**SBSs**) na Tabela 44. A seguir, nas Figuras 75 e 76, têm-se os mesmos valores, divididos em zona intermediária e superficial. A Tabela 45 e Figura 77 apresentam os dados de eficiência de remoção desta variável.

Tabela 44 - Valores de óleos e graxas minerais, em mg/L, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).

		Pontos de Coleta									
		BS-1	BS-2	BS-3	BS-4	BS-5	BS-6	BS-7	BS-8	EZI	EZS
2014	24/fev	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
	24/mar	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
	28/abr	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
	26/mai	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	7,6

LEGENDA: **BS** – Biofiltro Submerso; **EZS** – Entrada da zona superficial; **EZI** – Entrada da zona intermediária.

Figura 75 - Valores de óleos e graxas minerais, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluyente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação.

Figura 76 - Valores de óleos e graxas minerais, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluyente extraído da zona superficial da lagoa de maturação.

Tabela 45 - Valores de eficiência de remoção de óleos e graxas minerais, para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação.

Óleos e Graxas Minerais			
Eficiência de Remoção			
Pontos de Coleta	BS1	Mínima	0,0%
		Máxima	0,0%
		Média	0,0%
	BS2	Mínima	0,0%
		Máxima	0,0%
		Média	0,0%
	BS3	Mínima	0,0%
		Máxima	0,0%
		Média	0,0%
	BS4	Mínima	0,0%
		Máxima	0,0%
		Média	0,0%
	BS5	Mínima	0,0%
		Máxima	34,2%
		Média	8,6%
	BS6	Mínima	0,0%
		Máxima	34,2%
		Média	8,6%
	BS7	Mínima	0,0%
		Máxima	34,2%
		Média	8,6%
	BS8	Mínima	0,0%
		Máxima	34,2%
		Média	8,6%

BS – Biofiltro Submerso.

Esta variável praticamente se manteve constante, ao longo dos meses observados, no afluente ao sistema, em valores menores que 5 mg/L (Tabelas 44 e 45). Entretanto, não pôde ser demonstrado que o **SBS** esteja apto para a remoção do mesmo, pois para a zona superficial sua eficiência de remoção média foi de apenas 8,6% (ver Tabela 45 e Figura 77).

O resultado de Óleos e Graxas Minerais para a Zona Intermediária estão abaixo de 5, como o ensaio para valores abaixo de 5 não são considerados, desta forma, não há o gráfico para este parâmetro.

Figura 77 - Valores de eficiência de remoção de óleos e graxas obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluentes extraído da zona superficial da lagoa de maturação. Obs.: Traços coincidentes.

5.1.18 Óleos Vegetais e Gorduras Animais

Os valores de óleos vegetais e gorduras animais para o sistema de biofiltros submersos (**SBSs**) são apresentados na Tabela 46. Em seguida, nas Figuras 78 e 79. Para eficiência de remoção de Tabela 47 e Figuras 80 e 81.

Tabela 46 - Valores de óleos vegetais e gorduras animais, em mg/L, nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos (SBSs).

		Pontos de Coleta									
		BS-1	BS-2	BS-3	BS-4	BS-5	BS-6	BS-7	BS-8	EZI	EZS
2014	24/fev	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
	24/mar	< 5	7,80	5,50	5,80	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	5,40
	28/abr	< 5	< 5	< 5	< 5	5,6	< 5	< 5	< 5	6,8	10,0
	26/mai	< 5	9,0	7,6	< 5	7,4	6,5	7,1	4,0	9,3	33,9

LEGENDA: BS – Biofiltro Submerso; EZS – Entrada da zona superficial; EZI – Entrada da zona intermediária.

Figura 78 - Valores de óleos vegetais e gorduras animais, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação.

Figura 79 - Valores de óleos vegetais e gorduras animais, em mg/L, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação.

Tabela 47 - Valores de eficiência de remoção de óleos vegetais e gorduras animais para os biofiltros submersos alimentados com afluentes extraídos da lagoa de maturação.

Óleos Vegetais e Gorduras Animais			
Eficiência de Remoção			
Pontos de Coleta	BS 1	Mínima	0,0%
		Máxima	46,2%
		Média	0,0%
	BS 2	Mínima	-56,0%
		Máxima	26,5%
		Média	9,9%
	BS 3	Mínima	-10,0%
		Máxima	26,5%
		Média	14,9%
	BS 4	Mínima	-16,0%
		Máxima	46,2%
		Média	24,2%
	BS 5	Mínima	0,0%
		Máxima	78,2%
		Média	8,6%
	BS 6	Mínima	0,0%
		Máxima	80,8%
		Média	8,6%
	BS 7	Mínima	0,0%
		Máxima	79,1%
		Média	8,6%
	BS 8	Mínima	0,0%
		Máxima	88,2%
		Média	8,6%

BS – Biofiltro Submerso

De acordo com a Tabela 47 e as Figuras 80 e 81, os valores máximos ocorreram para zona superficial chegando em 88,2% no BS8 e em 80,8% no BS 6. A melhor média dos valores analisados foi para a zona intermediária com 24,2% para BS4 e 14,9% para BS3.

Figura 80 - Valores de eficiência de remoção de óleos vegetais e gorduras animais obtidos para biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação.

Figura 81 - Valores de eficiência de remoção de óleos vegetais e gorduras animais obtidos para biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação.

5.1.19 Temperatura

A Tabela 48 apresenta os valores de temperatura ambiente no local da instalação de pesquisa.

A influência da temperatura sobre o desempenho do sistema de biofiltros submersos (SBSs) pode ser avaliada pela sua correlação com algumas das demais variáveis analisadas nesta pesquisa, especialmente óleos e graxas e DQO (Demanda Química de Oxigênio).

Foi observado que nos meses de abril e de maio/2014, conforme já mencionado, as temperaturas do ambiente onde se encontra o experimento baixaram, o que pode explicar o acúmulo de gordura no sistema de biofiltros submersos e a variação brusca nos valores de DQO.

Tabela 48 - Valores de temperatura ambiente medidos no local da instalação de pesquisa.

Temperaturas Ambiente ETE NORTE			
Meses de Coleta	Novembro	Mínima	16°C
		Máxima	35 °C
	Dezembro	Mínima	19 °C
		Máxima	35 °C
	Janeiro	Mínima	19 °C
		Máxima	36 °C
	Fevereiro	Mínima	16 °C
		Máxima	38 °C
	Março	Mínima	17 °C
		Máxima	34 °C
	Abril	Mínima	14 °C
		Máxima	23 °C
	Maio	Mínima	7 °C
		Máxima	31 °C
	Junho	Mínima	8 °C
		Máxima	29 °C

5.2 Análise Comparativa dos VMPs (Valores Máximos Permitidos) para as Variáveis de Qualidade

As variáveis de qualidade analisadas para o sistema de biofiltros submersos (SBSs) são descritas a seguir em termos de quais delas atendem aos requisitos de VMPs (Valores

Máximos Permitidos) da legislação ambiental vigente (Portaria CONAMA 430/2011, a qual dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes).

Este comparativo pode ser visto na Tabela 49.

Tabela 49 - Análise Comparativa do Atendimento aos VMPs (Valores Máximos Permitidos) da Portaria CONAMA 430/2011 por parte das variáveis analisadas para o SBS.

Parâmetro	VMP	ATENDE AOS VMPs?
pH	5 a 9	SIM
Temperatura	40°C	SIM
Materiais sedimentáveis	1mL/L	SIM
DBO	Máx 120 mg/L	NEM SEMPRE
Sólidos grosseiros e materiais flutuantes	Visualmente ausente	-----
Sólidos suspensos totais	Eficiência de remoção 20%	NEM SEMPRE
Óleos e Graxas	Até 100mg/L	SEMPRE

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

CONCLUSÕES

1. Na avaliação da influência da profundidade de tomada de afluentes de acordo com a zona lagunar (intermediária – 180 cm, e superficial – 60 cm) sobre o desempenho dos BSs, constatou-se para todas (ou grande parte delas) das análises, e em especial: Clorofila *a*, DQO, DBO e Coliformes Totais: a tomada de afluentes na zona superficial (profundidade 60 cm) se mostrou como a melhor alternativa;
2. Na avaliação da influência da altura da camada filtrante de pedra brita sobre o desempenho dos BSs, observou-se que as camadas de maior espessura (150 e 200 cm) apresentaram os melhores resultados, com valores mais constantes e uniformes, para a mesma taxa de aplicação volumétrica;
3. A alternativa de pós-tratamento apresentada na pesquisa demonstrou viabilidade de aplicação, atendendo aos requisitos da atual legislação ambiental.

SUGESTÕES

1. Realizar estudos mais aprofundados sobre a questão do acúmulo de sólidos no leito filtrante, dessa forma sugere-se estudar o biofilme aderido ao meio filtrante;
2. Estudar o regime de descargas e o procedimento de limpeza do leito filtrante. É necessária, para tanto, a previsão de descargas de fundo para os BSs;
3. Verificar a velocidade em que se deve operar a descarga, e sua influência sobre o arraste do biofilme aderido na superfície do material de recheio;
4. Para a limpeza do BS será necessário prever a fonte desta vazão, que deverá ser uma vazão significativa. Em escala real, poderá ser locada a unidade do BS em nível inferior ao da lagoa, dessa forma, proverá água da própria lagoa para sua limpeza;
5. Estudos acerca da influência do fluxo ascendente ou descendente no desempenho do BS;
6. Com base nos estudos feitos sobre algas em parceria com a UNIOESTE/PR, nos quais foram definidas as classes e as densidades em ind/mL, sugere-se seu aproveitamento como base teórica para determinar o tamanho de membranas a serem

utilizadas para remoção de algas em outro experimento, e também como pós-tratamento (conforme Anexo, p. 131 a 133);

7. Aprofundar os estudos acerca da influência do tipo de cobertura utilizada para os BSs, de tal forma que estas possam criar condições visando um ambiente anaeróbio em que se promova mais eficazmente a eliminação das algas;

8. Para utilização dos BSs em escala real deve ser prevista uma cobertura para a unidade, evitando a entrada de luz solar, que como opção pode ser feita com o uso de lonas pretas em polipropileno (PP 200 micras);

9. Há indicação de que outros estudos possam ser realizados para estas unidades de BSs, no entanto, é possível se pensar em uma aplicação em escala real para diversos sistemas com lagoa facultativa e/ou de maturação existentes;

10. Estudar a influência do uso de brita nº 4 para o leito filtrante, ao invés de brita nº 3, ou mesmo de outros materiais sintéticos de recheio.

11. Fazer análise comparativa de custos considerando operação e manutenção do SBS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-SA`ED, R. (2007). **Pathogens assessment in reclaimed effluent used for industrial crops irrigation**. Int. J. Environ. Res. Public Health, 4 (1), 68–75.

AL-SA`ED, R.; MUBARAK, S. (2006). **Sustainability assessment of onsite sanitation facilities in Ramallah-Albireh district with emphasis on technical, socio-cultural and financial aspects**. Manage. Environ. Qual. Int. J., 17 (2), 140–156.

ANDRADA, J. G. B. (2005). **Utilização de Filtros Grosseiros para Remoção de Algas presentes em Efluentes de lagoas de Polimento**. Belo Horizonte, MG. 115 p. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

ARCHER, H. E.; MARA, D. D. (2003). **Waste stabilization pond developments in New Zealand**. Water Sci. Technol., 48 (2), 9–15.

BARJENBRUCH, M.; ERLER, C. (2005). **A performance review of small German ABPs identifying improvement options**. Water Sci. Technol., 51 (12), 43–49.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – MMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (2011). **Resolução Nº 430 de 13 de maio de 2011**, 2011 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.

CAMARGO VALERO, M. A.; MARA, D. D. (2007). **Nitrogen removal via ammonia volatilization in maturation ponds**. Water Sci. Technol., 55 (11), 87–92.

CHEN, T. Y. ; KAO, C. M. ; YEH, T. Y. ; CHIEN, H. Y. ; CHAO, A. C. (2006). **Application of a constructed wetland for industrial wastewater treatment: A pilot-scale study**. Chemosphere 64 (2006), p. 497-502.

CHOI, OKKYOUNG; DAS, ATREYEE; YU, CHANG-PING; HU, ZHIQIANG (2010). **Nitrifying Bacterial Growth Inhibition in the Presence of Algae and Cyanobacteria**. *Biotechnology and Bioengineering*, Vol. 107, Nº. 6, 2010.

COTTINGHAM, P. D.; DAVIES, T. H.; HART, B. T. (1999). **Aeration to promote nitrification in constructed wetlands**. *Environmental Technology* 20 (1), 69–75

DAVIES, T. H.; HART, B. T. (1990). **Use of aeration to promote nitrification in reed beds treating wastewater.** In *Constructed Wetlands in Water Pollution Control* (ed. Cooper, P. F. and Findlater, B. C.), pp. 383–389. Pergamon Press, Oxford.

EPA (1983). **Design Manual –Municipal Wastewater Stabilization Ponds.** U.S. Environmental Protection Agency. EPA-625/1-83015. October, 1983. 327 p.

GOH, Y. T.; HARRIS, J. L.; RODDICK, F. A. (2010). **Reducing the effect of cyanobacteria in the microfiltration of secondary effluent.** *Water Science and Technology*, 62 (7), 1682-1688 (2010).

HAMDAN, R.; MARA, D.D. (2009). **The effect of aerated rock filter geometry on the rate of nitrogen removal from facultative pond effluents.** In: IWA International Conference on Waste Stabilization Ponds, 27–30 April, Belo Horizonte, Brazil.

HERRERA MELIAN, J. A., ARAÑA, J., GONZÁLEZ DÍAZ, O., AGUIAR BUJALANCE, M. E., & DOÑA RODRÍGUEZ, J. M. (2009). **Effect of stone filters in a pond–wetland system treating raw wastewater from a university campus.** *Desalination*, 237, 277–284.

JOHNSON, M. L. (2005). **Aerated rock filters for enhanced ammonia and faecal coliform removal from facultative pond effluents.** *Journal of the Chartered Institution of Water and Environmental Management* 19 (5), 143–146.

JOHNSON, M. L.; MARA D. D. (2007). **Ammonia removal from facultative pond effluents in a constructed wetland and an aerated rock filter: performance comparison in winter and summer.** *Water Environment Research* 79 (5), 567–570.

JOHNSON, M.; MARA, D. D. (2005). **Aerated rock filters for enhanced nitrogen and faecal coliform removal from facultative waste stabilization pond effluents.** *Water Sci. Technol.*, 51 (12), 99–102.

JORDÃO, E.P.; PESSÔA, C. A (2005). **Tratamento de esgotos domésticos.** 4. ed. Rio de Janeiro, 932p.

KELLNER, E.; PIRES, E.C. (2002) **The influence of thermal stratification on the hydraulic behavior of waste stabilization ponds.** *Water Science and Technology*, v. 45, n. 1, p. 41-48.

KIM, Y.,; KIM, W. (2000). **Roles of water hyacinths and their roots for reducing algal concentration in the effluent form waste stabilization ponds.** *Water Research*, 34, 3285–3294.

LAI, PATRICK C. C; LAM., PAUL K. S. (1997). **Major Pathways For Nitrogen Removal In Waste Water Stabilization Ponds.** *Water' Air, and Soil Pollution* 94: 125-136, 1997).

MALTAIS-LANDRY, G., CHAZARENC, F., COMEAU, Y., TROESCH, S. AND BRISSON, J. (2007). **Effects of artificial aeration, macrophyte species, and loading rate on removal efficiency in constructed wetland mesocosms treating fish farm wastewater.** *Journal of Environmental Engineering and Science* 6 (4), 409–414.

MARA, D. D. (2000). **The production of microbiologically safe effluents for wastewater reuse in the Middle East and North Africa.** *Water, Air, Soil Pollut.*, 123 (1–4), 595–603.

MARA, D. D. (2006). **Constructed wetlands and waste stabilization ponds for small rural communities in the United Kingdom:** a comparison of land area requirements, performance and costs. *Environmental Technology* 27 (4), 573–757.

MARA, D. D.; JOHNSON, M. L. (2006). **Aerated rock filters for enhanced ammonia and fecal coliform removal from facultative pond effluents.** *Journal of Environmental Engineering, American Society of Civil Engineers* 132 (4), 574–577.

MARA, D. D.; PEARSON, H. (1998). **Design manual for waste stabilization ponds in Mediterranean countries,** Lagoon Technology International, Leeds, UK.

MARA, D.D. (2009). **Waste stabilization ponds:** past, present and future. *Desalination and Water Treatment*, 4.

MARTIN, J. L.; WELLER, R. (1973). **Removal of Algae from Oxidation Pond Effluent by Upflow RockFiltration.** Department of Civil Engineering, University of Kansas, Lawrence, KS.

METCALF & EDDY (1991). **Wastewater Engineer:** treatment, disposal and reuse. Mc Graw-Hill Inc., 3 ed., New York EUA, 1334p.

MIDDLEBROOKS, E. J. (1988). **Review of rock filters for the upgrade of lagoon effluents.** *Journal WPCF*, 60 (9), 1657-1662.

MIDDLEBROOKS, E. J. (1995). **Upgrading pond effluents: an overview.** *Water Science & Technology*, 31(12), 353-368.

MOLLE, P., PROST-BOUCLE, S.; LIENARD, A. (2008). **Potential for total nitrogen removal by combining vertical flow and horizontal flow constructed wetlands: a full-scale experiment study.** *Ecological Engineering*, 34, 23–29.

NEDER, K. D., CARNEIRO, G. A., QUEIROZ, T. R., AND DE SOUZA, M. A. A. (2002). **Selection of natural treatment processes for algae removal from stabilisation pond effluents in Brasília, using multi-criterion methods.** *Water Science and Technology* 46 (4–5), 347–354.

NURMINEN, L.; HORPPILA, J. (2009). **Life form dependent impacts of macrophyte vegetation on the ratio of resuspended nutrients.** *Water Research*, 43, 3217–3226.
O'BRIEN, W. J.; MCKINNEY, R. E.; TURVEY, M. D.; MARTIN, D. M. (1973). **Two methods for algae removal from wastewater stabilization ponds.** *Water & Sewage Works Journal* 120 (3), 66–73.

OLIVEIRA, F. F. (1999). 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, I – 089-**Principais Tecnologias Empregadas no Polimento de Efluentes de Lagoas de estabilização**, Prof. do Departamento de Hidráulica e Saneamento –Centro Tecnológico – UFES.

OLIVEIRA, J.A. (2009). **Remoção de microcistina em águas provenientes de reservatório eutrofizado associando técnicas de clarificação, pré-oxidação com permanganato de potássio, adsorção em carvão ativado e pós-cloração.** São Carlos, SP. 191 p. Dissertação. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

OUELLET-PLAMONDON, C., CHAZARENC, F., COMEAU, Y. AND JACQUES BRISSON, J. (2007). **Artificial aeration to increase pollutant removal efficiency of constructed wetlands in cold climate.** *Ecological Engineering* 27 (3), 258–264.

POLPRASERT, C.; CHARNPRATHEEP, K. (1989). **Heavy metal removal in attached-growth waste stabilization ponds.** *Water Res.*, 23, 625–631

QI, P. S., WANG, B. Z., MA, F., ZHANG, J. S., AND LI, T. J. (1993). **Intensification of a pond by fibrous carriers.** *Water Sci. Technol.*, 28 (7), 117–123.

RASHED AL-SA'ED; MAHER ABU-MADI; OMAR ZIMMO (2011). **Novel Design Concept for Facultative Ponds Using Rock Filters to Reclaim the Effluent**. Journal of Environmental Engineering, ASCE / APRIL 2011 – pgs. 284 – 290.

SAIDAM, M. Y., RAMADAN, S. A.; BUTLER, D. (1995). **Upgrading waste stabilization pond effluent by rock filters**. Water Sci. Technol., 31(12), 369–378.

SEMA - SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO PARANÁ (2009). **Resolução Nº 21 de 17 de março de 2009**, dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

SHILTON, A.*et al.* (2005). **Active filters for upgrading phosphorus removal from pond systems**. Water Sci. Technol., 51 (12), 111–116.

SHIN, H. K.; POLPRASERT, C. (1988). **Ammonia nitrogen removal in attached-growth ponds**. J. Environ. Eng., 114, 846–863.

SHORT, M.D.; CROMAR, N.J.; FALLOWFIELD, H.J. (2010). **Hydrodynamic performance of pilotscale duckweed, algalbased, rock filter and attached growth media reactors used for waste stabilisation pond research**. Ecological Engineering 36 (2010) 1700–1708.

SINISTRO, R., SANCHEZ, M. L., MARINONE, M. C., & IZAGUIRRE, I. (2007). **Experimental study of the zooplankton impact on the trophic structure of phytoplankton and the microbial assemblages in a temperate wetland** (Argentina). Limnological, 37, 88–99.

SMITH, D. W. (1993). **Wastewater treatment with complementary filter feeders: a new method to control excessive suspended solids and nutrients in stabilization ponds**. Water Environ. Res., 65 (5), 650–654.

SWANSON, G. R.; WILLIAMSON, K. J. (1980). **Upgrading lagoon effluents with rock filters**. J. Environ. Eng., 106 (6), 1111–1129.

TCHOBANOGLIOUS, G.; ANGELAKIS, A. N. (1996). **Technologies for wastewater treatment appropriate for reuse: potential for applications in Greece**. Water Sci. Technol. 33 (10–11), 15–24.

TSAGARAKIS, K. P., MARA, D. D., HORAN, N. J., AND ANGLELAKIS, A. N. (2000). **Small municipal wastewater treatment plants in Greece**. Water Sci. Technol., 41 (1), 41–48.

USEPA (2002). **Rock Media Polishing Filter for Lagoons (Wastewater Technology Fact Sheet No.EPA 832-F-02-023**. Office of Water, US Environmental Protection Agency, Washington, DC.

VAN DER STEEN, P.; BRENNER, A.; AND ORON, G. (1998). **An integrated duckweed and algae pond system for nitrogen removal and renovation**. Water Sci. Technol., 38 (1), 335–343.

VON SPERLING, MARCOS; OLIVEIRA, CAROLINA MOREIRA; ANDRADA, JULIANA G. B.; GODINHO, VALÉRIA M.; ASSUNÇÃO, FERNANDO A. L.; MELO JUNIOR, WILSON R. (2008). **Performance evaluation of a simple wastewater treatment system comprised by UASB reactor, shallow polishing ponds and coarse rock filter**. Water Science and Technology, 58 (6), 1313-1319 (2008).

YEH, T. Y., & WU, C. H. (2009). **Pollutants removal within hybrid constructed wetland system in tropical regions**. Water Science and Technology, 59, 223–240.

YEH, T. Y.; KE, T. Y.; LIN, Y. L. (2011). **Algal Growth Control Within Natural Water Purification Systems: Macrophyte Light Shading Effects**. Water Air Soil Pollution (2011) 214: 575–586.

ZHAO, Q. L.; WANG, B. Z. (1996). **Evaluation on a pilot-scale attached growth pond system treating domestic wastewater**. Water Res., 30 (1), 242–245.

ZIMMO, O.; VAN DER STEEN, P.; GIJZEN, H. (2004). **Nitrogen mass balance across pilot-scale algae and duckweed-based wastewater stabilization ponds**. Water Res., 38 (4), 913–920.

ZIMMO, O.; VAN DER STEEN, P.; GIJZEN, H. (2005). **Effect of organic surface load on process performance of pilot-scale algae and duckweed-based waste stabilization ponds**. J. Environ. Eng., 131 (4), 587–594.

ANEXO

* Processo - Extensão da cauda da alga

**UNOP - Denominação de amostras no herbário

Espécie	comprimento	largura	compr. + processo	altura	*processo
	(µm)	(µm)	(µm)	(µm)	(µm)
**UNOP- 3201 / 3202/3203 - Lagoa Secundária Ponto 1 19/10/10					
oscillatoria sp.	0,83-2,49	4,15-5,83			
plantotrix sp.					
phormidium sp.					
leptocinlis fusiformis/ovum	42	37,8	50,4		
leptocinlis caudata	48,3	27,3	54,6		
pinnularia microstauron	46,2-65,1	8,4-14,7		6,3-14,7	
hantzchia	21,58	4,15			
hyalophacus ocellatus					
gomphonema parvulum	14,11-19,92	6,64-8,3		4,15-5,81	
phacus sp.	27,3-64,74	26,56-41,5			4,15
melamona	comp. cel. (4,15-9,96)	larg. cel. (3,32-5,81)			
phacus sp.2	35,69-58,8	28,22-39,9	41,5-67,2		
euglena caudata	50,4-75,6	23,1-31,5	75,6-77,7		
chorococcus	diâmetro (8,4-48,3)				
cyathomonas truncata	7,47-31,54	4,98-18,26			
Nitzschia palea	24,9-27,39	3,32-4,15		2,49-3,32	
spirulina subsalsa					
chorococcus sp. 2 (2 CEL.)	11,62	7,47			
UNOP - 3207/3208/3209 - Lagoa de Maturação Ponto 2 19/10/10					
phacus sp.	27,3-52,5	23,1-42	44,1-75,6		
Chorococcus sp.	diâmetro (12,6-39,9)				
phacus caudata	29,4-46,2	16,8-50,4	42-60,9		
gomphonema brasiliense	48,97	8,3			
melamona	4,2-8,4				

Espécie	comprimento	largura	compr. + processo	altura	processo
	(µm)	(µm)	(µm)	(µm)	(µm)
heteronema sp.	diâmetro (16,6)	flagelo (28,22)			
eudorina elegans	8,4	4,2			
UNOP - 3281/3282/3283 - Lagoa Secundária Ponto 1- 26/11/10					
phacus sp.	21-29,4	10,5-16,8			
hialophacus ocellatus	24,9-79,8	17,43-57,27			4,98-19,09
euglena polymorpha	41-54	21-28			
leponciclis caudata	45,1-51,7	22,5-24			5,81
leponciclis truncata	11,62-28,22	9,13-20,75			
entosiphon sulcatum	31,54-48,97	19,09-33,2			
gomphonema sp.	14,94-21	5,1-8,4			
coelastrum astroideum	7,47	Ø (4,98)			
euglena spp.	35,7-56,7	10,5-18,9			
nizchia	18,26-29,88	2,49-4,15		1,66-3,32	
euglena acus/certa	39,1	18,9			
oscillatoria	4,15-6,64	1,66			
Chroococalles	diâmetro (1,66-3,32)				
melamona	5,81-9,13	3,32-5,81			
leptolynbya	1,66-3,32	0,83			
stigonematales	4,98-8,3	1,66-2,49			
phormidium	3,32-4,15	1,66-2,49			
melamona sp.2	8,3-9,96	4,98-6,64			
UNOP- 3285/3286/3287 - Lagoa de Maturação Ponto 2 - 26/11/10					
Zooplancôn					

Espécie	comprimento	largura	compr. + processo	altura	processo
	(µm)	(µm)	(µm)	(µm)	(µm)
ciano sp.	1,66	2,83			
ciano sp.2	4,15-7,47	2,49-3,32			
leptolyngbya margaretheana	2,49	0,81			
UNOP-3326/3327/3328 - Lagoa Secundária Ponto 1 - 15/12/10					
euglena sp.	44,1-56,7	14,7-18,9			
phacus sp.	54,6-69,3	27,3-37,8	12,6-16,8		
lepocinclis sp. 1	16,8	12,8			
melamona	8,4-12,6	4,2-8,4			
oscillatoria sp.1	21	6,3			
oscillatoria sp. 2	7,47-8,4	3,32-4,2			
leptolyngbya	2,49	0,83			
pinnularia microstaurum	48,14	11,62		9,96	
nitzchia palea	27,39	4,15		29,5	
gomphonema parvulum	19,09	6,64			
ciano sp.	4,2	2,1			
UNOP 3330/3331/3332 - Lagoa de Maturação Ponto 2 - 15/12/10					
phacus sp.	16,8-60,9	14,7-25,2			4,2-8,4
euglena acus	39,9-50,4	14,7-18,9			
closterium	289-331,5	56,7-58,8	pirenóides (9)		
leptolyngbya sp.	2,1-4,2	2,1-4,2			
ciano sp.	6,3-18,9	2,49-5,25			
pinnularia	44,1	10,5		8,4	
tapinothrix	1,05-2,1	2,1 -3,15	largura + bainha (4,2)		
nitzchia	23,1-29,4	6,3		23,1-25,2	
melamona	6,3	4,2	9 células		

Espécie	comprimento	largura	compr. + processo	altura	processo
	(µm)	(µm)	(µm)	(µm)	(µm)
leptolyngbya	2,49	0,83			
clorella sp.2	diâmetro (8,4)				
gomphonema	14,94-20,75	5,81-6,64			
ciano sp.	0,83	2,07			
nitzchia	24,07	4,15			
UNOP - 3654/3655/3656 - Lagoa de Maturação Ponto 2 - 24/05/2011					
phacus sp. 6	23,1-48,3	18,9-27,3			
phacus sp. 4	37,8-46,2	16,8-23,1			
euglena caudata	52,5-56,7	10,5-14,7			
lepocinclis	12,6	6,3			
euglena sp.2	48,3	18,9			
melamona	18,9-25,2	12,6-13,6			
nitzchia palea	25,2-31,5	4,2-6,3			
oscillatoria sp.	6,3	2,1-3,15			
gomphonema	14,7-21	6,3-8,4			
pinnularia brebissoni/gibba	41,5-50,4	9,96-12,6			
ciano sp.	2,1	2,1			
tetrastum	diâmetro (6,3)	Ø da colônia(21)			
closterium parvulum	285,6-321,3	39,9-63			
heteroleibleinia kuetzinguii	3,32	0,83			
UNOP - 3702/3703/3704 - Lagoa Secundária Ponto 1 - 16/06/2011					
oscillatoria/phormidium	6,22-6,64	2,1-3,32			
heteroleibleinia	1,05	2,1			
phacus sp. 4		27,3-33,6	42-46,2		8,4

Espécie	comprimento	largura	compr. + processo	altura	processo
	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)
euglena polimorpha	23,1-39,9	12,6-18,9			
tetrastum glabrum	diâmetro (18,9-27,3)				
anabaena	6,3	2,1			
tetrastum triangulares/komarekii	diâmetro (6,2-10,5)	Ø da colônia (25,2)			
nitzchia	23,1-25,2	3,78-4,2			
euglena acus	52,5-77,7	14,7-21			
leibleinia epiphytica	1,57	2,1			
oscillatoria	6,3	2,52-3,15			
Scenendesmus acuminatus					
pinnularia	39,9	10,5			
gomphonema	16,8	6,3			
euglena acuminatus	46,2-56,7	12,6-16,8			
anabaena	2,49	1,24			
ciano sp.	1,66	2,49			
planktolingbya limnetica	3,32	0,83			
spirulina	3,32	1,24			
ciano sp. 2	2,49	1,66			
UNOP- 3483/3484/3485 - Lagoa de Maturação Ponto 2 - 02/03/2011					
chlorella	diâmetro (12,6-19,5)				
euglena sp.1	29,4-39,9	16,8-18,9			
phacus sp.	39,9-56,7	18,9-29,4			
euglena acus	48,3-75,6	12,6-18,9			

Espécie	comprimento	largura	compr. + processo	altura	processo
	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)
tetrastum	diâmetro (4,2-8,4)	Ø da colônia(11-25,2)			
leponcinclis	16,8-21	10,5- 14,7			
melamona	8,4				
ciano sp.	2,1	8,44			
coelastrum	diâmetro (5,25)	Ø da colônia(14,7)			
tetrastum	diâmetro (4,2-10,5)	Ø da colônia(25,2)			
oscillatoria sp.2	6,3	2,1			
UNOP- 3348/3349/3350 - Lagoa Secundária Ponto 1 - 13/04/2011					
phacus sp.1	33,7-42	16,8-18,9			
chorella sp.	diâmetro (12,6)				
euglena sp. 2	25,2-37,8	12,6-18,9			
euglena acus	52,5-65,1	12,6-23,6			
phacus sp.4		25,2-31,5	50,4-58,8		8,4-18,9
oscillatoria	6,3	2,1			
ankistrodesmus sp	67,2				
tetrastum	diâmetro (3,15)	Ø da colônia (10,5)			
terpisonoe	diâmetro (6,3)				
lepocinclis	14,7	12,6			
chorococcus sp.	5,95	2,55			
pseudanabaena	2,12	0,85			
UNOP - 3552/3553/3554 - Lagoa de Maturação Ponto 2 - 13/04/2011					
chorococcus sp	diâmetro (12,6-16,8)	Ø com bainha (14,7-23,1)			
lepocinclis	27,3-33,6	16,8-18,9			
phacus sp.4		21-31,5	39,9-58,8		10,5-18,9

Espécie	comprimento	largura	compr. + processo	altura	processo
	(µm)	(µm)	(µm)	(µm)	(µm)
synechococcus elongatus	5,25	2,1			
euglena sp.		18,9	44,1		6,3
chorococcus minimus	diâmetro (10,5)				
euglena acuminatus		14,7-18,9	54,6-56,7		8,4-10,5
pinnularia	44,1-46,2	10,5		47,25-48,3	
oscillatoria subrevis	8,4	2,1			
tetrastum	diâmetro (6,3)	Ø da colônia (14,7)			
phormidium	25,5	1,7			
pyrobotris	6,3	3,15-4,2	Ø da colônia (21)		
micractinium pusillum	diâmetro (8,4)	setas(23,1)			
leptolynbya margaretheana	4,15	0,83			
ciano sp.1	3,32	4,15			
ciano sp. 2	0,4	4			
gomphonema	18,9	6,3			
UNOP - 3650/3651/3652 - Lagoa Secundária Ponto 1 - 24/05/2011					
euglena sp. 1	52,5-56,7	14,7-16,8			
lepocinclis	10,5-12,6	4,2-6,3			
euglena sp. 2	27,3-36,7	14,7-16,8			
chorococcus sp	4,2-10,5	2,1-3,15			
chorella	diâmetro (6,3)				
oscillatoria sp. 1	6,3-16,8	2,1-3,32			
melamonas	18,9-29,4	10,5-16,8			
phacus sp.4	46,2-50,4	27,3-37,8	63-65,1		
pinnularia	37,8-46,2	6,3-12,6			

Espécie	comprimento	largura	compr. + processo	altura	processo
	(µm)	(µm)	(µm)	(µm)	(µm)
leptolyngbya	2,49	0,83			
clorella sp.2	diâmetro (8,4)				
gomphonema	14,94-20,75	5,81-6,64			
ciano sp.	0,83	2,07			
nitzchia	24,07	4,15			
UNOP - 3654/3655/3656 - Lagoa de Maturação Ponto 2 - 24/05/2011					
phacus sp. 6	23,1-48,3	18,9-27,3			
phacus sp. 4	37,8-46,2	16,8-23,1			
euglena caudata	52,5-56,7	10,5-14,7			
lepocinclis	12,6	6,3			
euglena sp.2	48,3	18,9			
melamona	18,9-25,2	12,6-13,6			
nitzchia palea	25,2-31,5	4,2-6,3			
oscillatoria sp.	6,3	2,1-3,15			
gomphonema	14,7-21	6,3-8,4			
pinnularia brebissoni/gibba	41,5-50,4	9,96-12,6			
ciano sp.	2,1	2,1			
tetrastum	diâmetro (6,3)	Ø da colônia(21)			
closterium parvulum	285,6-321,3	39,9-63			
heteroleibleinia kuetzinguii	3,32	0,83			
UNOP - 3702/3703/3704 - Lagoa Secundária Ponto 1 - 16/06/2011					
oscillatoria/phormidium	6,22-6,64	2,1-3,32			
heteroleibleinia	1,05	2,1			
phacus sp. 4		27,3-33,6	42-46,2		8,4

Espécie	comprimento	largura	compr. + processo	altura	processo
	(µm)	(µm)	(µm)	(µm)	(µm)
myrmecia	diâmetro (8,4)	Ø da colônia (12,6)			
ciano	0,83-1,24	0,83			
synechocistis aquatilis	5,81-6,22	2,49			
pinnularia	37,8-48,3	8,4- 10,5			
chorella	diâmetro (8,4)				
ciano sp.2	1,66	1,07			
leptolyngbya	4,15	1,07			
leptolyngbya com pontuações	6,3	2,1			
spirulina	9,96	2,49			
microcystis aeruginosa	diâmetro (4,2-6,3)				
closterium	29,4	4,2			
UNOP - 3706/3707/3708 - Lagoa de Maturação Ponto 2 - 16/06/2011					
phacus sp.3	52,5-60,9	25,2			14,7
euglena caudata	58,8-75,6	16,8-21			
lepocinclis	12,6	8,4			
pyrobotris	8,4	6,3	Ø da colônia (25,2)		
petalomonas	21-25,2	14,7-16,8			
oscillatoria	6,3	4,2			
nitzchia palea	14,7-25,2	4,2-8,4			
tetrastum	diâmetro (4,2)				
snowella sp.	2,49	1,66			
closterium lunula	340,1-354,9	23,1-52,5			
ciano sp.	6,3	3,15			
microcystis aeruginosa	diâmetro (6,3)				

Espécie	comprimento	largura	compr. + processo	altura	processo
	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)
heterolebleinia	2,83	0,83			
UNOP - 3744/3745/3746 - Lagoa Secundária Ponto 1 - 21/07/2011					
nitzchia palea	22,41-29,4	4,2-4,98		3,32	
clorella	diâmetro (12,6)				
microcystis aeruginosa	diâmetro (2,1)				
aphanocapsa minutissima	4,15	2,49			
tetrastum	diâmetro (4,2)	Ø da colônia (8,4)			
ciano/ pseudanabaena	2,07-4,2	2,1-2,49			
heteroleibleinia	2,62	2,1			
ciano	2,9	0,83			
myrmecia	diâmetro (4,98)				
leptylngbya	4,15	0,83			
pinnularia	44,1	8,4			
UNOP - 3747/3748/3749 - Lagoa de Maturação Ponto 2 - 21/07/2011					
phacus sp. 4	42-46,2	23,1-25,2			
petalomonas	23,1	14,7			
euglena sp.2	33,6-42	14,7			
euglena polimorpha	44,1-52,5	23,1-25,2			12,6
oscillatoria/planktotrix isothrix	6,3	2,1			
planktolyngbia	0,83	0,83			
aphanocapsa minutissima	3,15	2,1			
leptolyngbya	6,3	3,15			
tetrastum					
pinnularia	25,2	5,2			

Espécie	comprimento	largura	compr. + processo	altura	processo
	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)
pseudanabaena limnetica	4,2	2,1			
heteroleibleinia	4,2	1,05			
phacus sp. 1	25,2	18,6			
phacus sp. 6	39,9-48,3	23,1-37,8			8,4
gomphonema	21-23,1	23,1-37,8		5,25	
nitzchia	23,1-25,2	4,2		2,1	
lepocinclis sp.	10,5	8,4			

Seguem fotos do microscópio do setor de Biologia da Unioeste de alguns tipos de algas encontradas no efluente da ETE Norte de Cascavel/PR.

Microcystis sp.

Classe- Cyanophyceae

Oscillatoria sp.

Classe- Cyanophyta

Grupo algal- azul

Phacus sp.

Classe- Euglenophyta

Grupo algal- Flagelado

Os dados a seguir são referentes ao resumo dos estudos feitos com algas onde consta a densidade.

Data da coleta	Ponto da coleta	Classe	Densidade em ind/ml
02/03/2011	Lagoa secundária	Chlorophyceae	9,04
		Cyanophyceae	34,3
		Euglenophyceae	11,33
		Bacillariophyta	0,52
02/03/2011	Lagoa maturação	Chlorophyceae	14,93
		Cyanophyceae	43,63
		Euglenophyceae	21,12
		Bacillariophyta	0,21
13/04/2011	Lagoa secundária	Chlorophyceae	6,55
		Cyanophyceae	48,46
		Euglenophyceae	7,48
		Zignemaphyceae	0,52
13/04/2011	Lagoa maturação	Chlorophyceae	5,58
		Cyanophyceae	98,3
		Euglenophyceae	5,83
		Bacillariophyta	0,63
24/05/2011	Lagoa secundária	Chlorophyceae	5,39
		Cyanophyceae	43,3
		Euglenophyceae	18,57
24/05/2011	Lagoa maturação	Chlorophyceae	114,02
		Cyanophyceae	102,61
		Euglenophyceae	6,66
		Bacillariophyta	0,73
16/06/2011	Lagoa secundária	Chlorophyceae	8,7
		Cyanophyceae	90,4
		Euglenophyceae	2,12
16/06/2011	Lagoa maturação	Chlorophyceae	2,55
		Cyanophyceae	151,89
		Euglenophyceae	4,45
21/07/2011	Lagoa secundária	Chlorophyceae	13,5
		Cyanophyceae	55,8
		Euglenophyceae	0,54

21/07/2011	Lagoa maturação	Chlorophyceae	6,08
		Cyanophyceae	157,8
		Euglenophyceae	7,9
17/08/2011	Lagoa secundária	Chlorophyceae	75,9
		Cyanophyceae	35,9
		Euglenophyceae	0,52
17/08/2011	Lagoa maturação	Chlorophyceae	24,78
		Cyanophyceae	56,57
		Euglenophyceae	13,59
		Bacillariophyta	0,27
29/09/2011	Lagoa secundária	Chlorophyceae	58,63
		Cyanophyceae	30,55
		Euglenophyceae	1,8
29/09/2011	Lagoa maturação	Chlorophyceae	29,12
		Cyanophyceae	129,2
		Euglenophyceae	8,74
20/10/2011	Lagoa secundária	Chlorophyceae	0,48
		Cyanophyceae	191,23
		Euglenophyceae	21,57
		Bacillariophyta	0,39
20/10/2011	Lagoa maturação	Chlorophyceae	1,8
		Cyanophyceae	245,2
		Euglenophyceae	8,77
		Bacillariophyta	0,32
17/11/2011	Lagoa secundária	Chlorophyceae	1,04
		Cyanophyceae	200,67
		Euglenophyceae	11,04
		Bacillariophyta	0,34
17/11/2011	Lagoa maturação	Chlorophyceae	2,76
		Cyanophyceae	251,22
		Euglenophyceae	3,22
		Bacillariophyta	0,16
01/12/2011	Lagoa secundária	Chlorophyceae	11,89
		Cyanophyceae	92,01
		Euglenophyceae	15,52

01/12/2011	Lagoa maturação	Chlorophyceae	3,92
		Cyanophyceae	93,46
		Euglenophyceae	4,63
26/01/2012	Lagoa secundária	Chlorophyceae	103,7
		Cyanophyceae	56,8
		Euglenophyceae	50,64
		Bacillariophyta	0,14
26/01/2012	Lagoa maturação	Chlorophyceae	13,22
		Cyanophyceae	66,77
		Euglenophyceae	18,6
23/02/2012	Lagoa secundária	Chlorophyceae	46,15
		Cyanophyceae	273,3
		Euglenophyceae	17,48
		Bacillariophyta	0,12
23/02/2012	Lagoa maturação	Chlorophyceae	17,59
		Cyanophyceae	96,69
		Euglenophyceae	8,99
		Bacillariophyta	0,6